

**GIYSİ TASARIMINDA PNÖMATİK ESASLI HAPTİK ETKİLEŞİMLER: BİR
MAKER YAKLAŞIMI**

Ekin UÇAK

Yüksek Lisans Tezi

Endüstriyel Sanatlar Anabilim Dalı

Moda Tasarımı Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özgür CEYLAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Mayıs 2022

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Ekin UÇAK, GİYSİ TASARIMINDA PNÖMATİK ESASLI HAPTİK ETKİLEşİMLER: BİR MAKER YAKLAşIMI başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Dr. Öğr. Üyesi zgr CEYLAN

ÖZET

GIYSİ TASARIMINDA PNÖMATİK ESASLI HAPTİK ETKİLEŞİMLER: BİR MAKER YAKLAŞIMI

Ekin UÇAK

Endüstriyel Sanatlar Anabilim Dalı

Moda Tasarımı Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mayıs 2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özgür CEYLAN

Moda tasarımcısının 21.yy. ile birlikte tasarıma bakış açısı değişime uğramaya başlamıştır. Yaşanan teknolojik gelişmelerin sonucunda moda ve moda tasarımcısının rolü günümüzde giyinmek için ürün üretmek yerine farklı işlevselliği olan ürünler üretmeye doğru değişime uğramaya başlamıştır. Bu durum, giysinin kullanıcısıyla ve akıllı cihazlarla etkileşime geçen, örtünmeden öte bir nesneye dönüşmesine neden olmuştur. Söz konusu etkileşimlerin içerisinde en ilgi çekicilerinden birisi sanal ortamlar ile kullanıcının kurduğu etkileşimdir. Kullanıcı, giysiler sayesinde sanal ortamları daha etkin bir şekilde deneyimlemeye başlamıştır. Çalışma pnömatik sistemle çalışan bir haptik geri bildirim prototipinin maker yaklaşımından yola çıkılarak yapılan tasarım ve üretim süreciyle ilgilidir. Üretilen prototipin Arduino mega sayesinde açık kaynaklı kodlarla programlanarak, seçilen görüntü ile eş zamanlı olarak çalışabilmesi sağlanmış ve bu sayede izlenen görselin/sanal ortamın kullanıcı üzerinde bıraktığı etkiyi arttırmak hedeflemiştir. Üretilen prototipin 3 boyutlu simülasyon programı üzerinde simülasyonu yapılarak basınç değerleri alınmıştır. ANSYS yazılımında pnömatik sistemde kullanılan hava keseciklerinin modellenmesi oluşturularak, mekanik analizleri yapılmış ve 3 boyutlu simülasyon programından elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın son aşamasında, prototipin avantaj ve dezavantajları değerlendirilerek daha gelişmiş bir model üretebilmek için gerekli olan koşullar tartışılmış, modüler bir giyilebilir haptik geri bildirim giysisi olan PuzzleSuit önerisi yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Haptik giysi tasarımı, Pnömatik geri bildirim, İnteraktif, Sanal gerçeklik, Maker.

ABSTRACT

PNEUMATICALLY-ACTUATED HAPTIC INTERACTIONS IN GARMENT DESIGN: A MAKER APPROACH

Ekin UÇAK

Department of Industrial Arts

Programme in Fashion Design

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, May 2022

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Özgür CEYLAN

With the 21st century, the perspective of the fashion designer on design has begun to transform. The role of fashion and fashion designer, which changed drastically as a result of technological developments, has evolved towards producing products with functionality instead of producing products just for dressing. In this context, the garments transformed into an object that interacts with the user and smart devices, more than just being a dress. One of the most interesting types of these interactions is the interaction of the user with virtual environments. The users have begun to experience virtual environments more effectively by means of clothing. This study deals with the design and manufacturing of a wearable pneumatic prototype with haptic feedback using the Maker approach. Using Arduino mega, the prototype produced was enabled to work simultaneously with the selected image by programming with open-source codes. The aim of this approach was to increase the impact of the image/virtual environment on the user. The produced prototype was simulated on the 3D simulation program and the pressure values were obtained from the stress map. The modeling of the air sacs used in the pneumatic system was made in the ANSYS software. The mechanical analyzes were performed and compared with the values obtained from the 3D simulation program. At the last stage of the study; where the advantages and disadvantages of the prototype were evaluated and the requirements for producing a more advanced model were discussed, a modular wearable haptic feedback garment namely PuzzleSuit was proposed.

Keywords: Haptic garment design, Pneumatic feedback, Interactive, Virtual reality, Maker.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başlangıcında yola birlikte çıktığım, konu seçimi, araştırma basamaklarının belirlenmesi ve her zaman yol gösteren tavrı ile özgürce fikirlerimizi ortaya koyabilmemize olanak tanıyan, öğrencisi olmaktan her zaman gurur ve mutluluk duyduğum Prof. Dr. Mustafa ÜREYEN'e, çalışmamın her aşamasındaki bilgi ve görüşleri, yönlendirmeleri, amacın sadece bilgi aktarmak olmadığına vurgu yaparak bana duyduğu güvenle cesaretlendiren ve risk almamı sağlayan değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Özgür CEYLAN'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışmayı hazırlarken bilgi ve deneyimlerini, güler yüzü ve desteğini esirgemeyen aynı zamanda tez savunmamda bulunan jüri üyesi Emre TÜFEKÇİOĞLU'na ve Doç. Dr. Çiğdem AKDUMAN'a, çalışmamın başlangıcında kullanılacak malzemeler hakkında fikirlerini benden esirgemeyen Araş. Gör. Dr. Barış DERViŞ ve Ateş DERViŞ'e yaptığı katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Konuyu farklı noktalardan ele almamı sağlayan görüşleriyle beni yönlendiren, bilimsel çalışmaya teşvikleri ve sonsuz desteğini her zaman hissettiğim Necati EFE'ye teşekkür ederim.

Çalışmamın farklı evrelerinde bana destek olan arkadaşlarım, Esra GÖÇMEN, Nihal EFE, Zeliha TÜRK ve Nesligül KILIÇ'a, atölyelerini kullanmama izin veren ve bilgi birikimleri, malzemelerini benimle paylaşan Erdoğan ÇALIK, Macit CİBİŞ, Orhan KARATAŞ ve Tayfun TAŞÇI'ya teşekkür ederim.

Hayatımın her evresinde olduğu gibi bana olan inançlarıyla her zaman yanımda olan canım aileme desteklerinden dolayı sonsuz teşekkürler.

Ekin UÇAK

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Ekin UÇAK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
GÖRSELLER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GİYİLEBİLİR TEKNOLOJİ KAVRAMI	6
2.1. Tarihçesi.....	7
2.2. Üretim Şekillerine Göre Giyilebilir Teknolojiler	19
2.3. Kullanıldığı Sektöre Göre Giyilebilir Teknolojiler	22
3. AKILLI TEKSTİLLER KAVRAMI	26
3.1. Faz Değiştiren Akıllı Tekstiller (PCM)	27
3.2. Biçim Hafızalı Akıllı Tekstiller (SMM).....	28
3.3. Kromik Akıllı Tekstiller	29
3.4. Elektronik Tekstiller	29
3.4.1. Elektronik tekstilleri oluşturan elemanlar	30
3.5. Akıllı Tekstil (ve Konfeksiyonun) Gelişim Süreci	34
3.5.1. Akıllık (ya da zekâ) düzeyine göre	35
3.5.2. Entegrasyon derecesine göre	35

3.5.3. Öz yeterlilik (kendi kendine yeterlilik) derecesine göre	36
4. İNTERAKTİF (ETKİLEŞİM) KAVRAMI.....	38
4.1. Etkileşim Türleri	40
4.2. Etkileşimli Moda	41
4.3. İnteraktif Tekstil Türleri.....	46
5. SANAL GERÇEKLİK (VR) VE ARTTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) KAVRAMLARI	48
5.1. Sanal Gerçeklik Kavramı.....	48
5.2. Sanal Gerçekliğin Temel Unsurları.....	50
5.3. Sanal Gerçekliğin Tarihsel Gelişimi.....	52
5.4. Sanal Gerçekliğin Kullanım Alanları.....	56
5.4.1. Sanal gerçeklik ortamı	57
5.4.2. Sanal gerçeklik sistemleri	58
6. HAPTİK KAVRAMI VE HAPTİK TEKSTİL	61
6.1. Haptik Kavramı	61
6.2. Haptik Türleri	66
6.3. Haptik Tekstil Örnekleri	67
6.3.1. Pnömatik haptik geri bildirim örnekleri.....	74
7. MAKER KAVRAMI	78
8. TASARIM VE TASARIMCININ DEĞİŞEN ROLÜ	83
8.1. Geleneksel Tasarım Süreci.....	84
8.2. Çağdaş Tasarım Süreci.....	85
9. MATERYAL VE METOT.....	89
9.1. Materyal.....	90
9.1.1. Giysi tasarımı ve dikimi	90
9.1.2. Pnömatik sistem.....	90
9.1.3. Elektronik komponentler.....	91
9.2. Metot	92
10. SONUÇ VE TARTIŞMA	94

10.1. Eskiz Süreci	94
10.2. Kumaş Kiti ile Kullanılan Kumaşın Ölçümlemesi.....	103
10.3. Prototipin ve Serum Poşetlerinin 3 Boyutlu Tasarım Programlarında Simülasyonunun Oluşturulması	106
10.3.1. Prototipin 3 boyutlu tasarım programında simülasyonunun oluşturulması	106
10.3.2. Serum poşetlerinin 3 boyutlu simülasyonda mekanik analizi.....	115
10.3.3. Elektronik komponentler ve haptik sistemin 3 boyutlu modellemesi.....	118
10.4. Haptik Sistemin Kurulması.....	120
10.5. Elektronik Komponentlerin Entegre Edilmesi.....	125
10.6. Kod Yazımı	128
10.7. Prototipin Dikimi	131
10.8. Sistemin Prototipe Yerleştirilmesi.....	137
11. ÖNERİLER	150
KAYNAKÇA.....	156
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Dünya çapında akıllı saat ve egzersiz takip cihazları satış rakamları.....	13
Tablo 6.1. Algı sistemleri.....	62
Tablo 10.1. Temas uzunluğu ve bükülme direnci uzunluğu test sonuçları.....	104
Tablo 10.2. Denim kumaş ölçüm değerleri.....	105
Tablo 10.3. Clo 3D 6.2 sürümünde kullanılan avatar ölçüleri.....	107
Tablo 10.4. İç ceplerin basınç noktaları ve kPa değerleri.....	115
Tablo 10.5. Modelde kullanılan hiperelastik malzeme parametreleri.....	116

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Üretim şekillerine göre giyilebilir teknolojiler.....	19
Şekil 2.2. Giyilebilir teknolojilerin başlıca kullanıldığı sektörler	22
Şekil 5.1. Sanal gerçeklik Sistemleri	58
Şekil 10.1. Pnömatik sistem bağlantıları için eskizler.....	94
Şekil 10.2. Mekanoreseptörlerin vücut yüzeyinde dağılımları.....	95
Şekil 10.3. Statik yapısal analizi yapılmış olan model	115
Şekil 10.4. SOLID187 ögesi.....	116
Şekil 10.5. Hekzahedral elemanlarla gerçekleştirilen, ikinci simülasyon için kullanılan model ve hesaplamalar sonucunda elde edilen deformasyon değerleri	117
Şekil 10.6. SOLID186 ögesi ve farklı opsiyonları	118
Şekil 10.7. Haptik sistemin 3 boyutlu modellemesi	118
Şekil 10.8. Elektronik komponentlerin modellemesi	119
Şekil 10.9. Prototipin ve serum poşetlerinin 3 boyutlu modellemesi ile ilgili görseller ve videolar için QR kod	119
Şekil 10.10. Haptik sistemin kurulması ile ilgili görseller ve videolar için QR kod....	125
Şekil 10.11. Elektronik komponentlerin entegre edilme süreci ile ilgili QR kod	128
Şekil 10.12. Kod yazım süreci ile ilgili QR kod.....	131
Şekil 10.13. Prototipin dikim süreci ile ilgili QR kod.....	136
Şekil 10.14. Prototipin diyagramı.....	142
Şekil 10.15. Sistemin prototipe yerleştirilme süreci ile ilgili QR kod.....	143
Şekil 10.16. Pnömatik esaslı haptik geri bildirim prototipi ile ilgili görseller ve videolar için QR kod.....	149
Şekil 11.1. PuzzleSuit tasarım önerisi ile ilgili QR kod	155

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1. 2016-2021 giyilebilir teknolojiler kronolojisi	15
Görsel 5.1. Sürükleyici sanal ortamlar için VR mağara ve uygulama örnekleri.....	59
Görsel 6.1. Morton Heiling'in Sensorama çizimi.....	65
Görsel 10.1. Hava kesecikleri yerleşim yerleri eskizi.....	96
Görsel 10.2. Hava kesecikleri yerleşim yerleri eskizi 2.....	97
Görsel 10.3. Eskiz çalışması	98
Görsel 10.4. Tulum denemesi	99
Görsel 10.5. Modüler çizim denemeleri.....	99
Görsel 10.6. Polipropilen çuval ve polyester tır brandası	101
Görsel 10.7. Dış macunu ve su poşeti	102
Görsel 10.8. Ambalaj poşeti ile yapılan denemeler	102
Görsel 10.9. Clo 3D'de 2 boyutlu alanda kalıp çalışması	106
Görsel 10.10. Clo 3D'de avatar oluşturma	107
Görsel 10.11. Clo 3D'de avatar giydirme	108
Görsel 10.12. Kalıplara denim kumaşın atanması	109
Görsel 10.13. Kumaş ataması sonrası prototipin 3 boyutlu alanda simülasyonu.....	109
Görsel 10.14. Prototip simülasyonunun ön, arka ve yan görünümü	110
Görsel 10.15. Serum poşeti ve hortum modellemesi	111
Görsel 10.16. Clo 3D'de stress map basınç değerleri	112
Görsel 10.17. Stress map'te elde edilen ön cep kPa değerleri	113
Görsel 10.18. Stress map'te elde edilen arka cep kPa değerleri	114
Görsel 10.19. Stress map'te elde edilen kol cebi kPa değeri	114
Görsel 10.20. 12V dilsiz hava pompası	120
Görsel 10.21. Buzdolabı kompresörü.....	121
Görsel 10.22. Basınç tüpü	122
Görsel 10.23. Kayış tahrikli hava kompresörü.....	122
Görsel 10.24. Dağıtıcı denemesi	123
Görsel 10.25. 5/2 solenoid valf	124
Görsel 10.26. Benzin kesici solenoid valf.....	124
Görsel 10.27. Sistemin tekli denemesi.....	125
Görsel 10.28. Baskılı devre kartı bağlantıları	127

Görsel 10.29. Elektronik komponentlerin bağlantısı	128
Görsel 10.30. Arduino IDE'de yazılan const int ve pinMode kodları	129
Görsel 10.31. Arduino IDE'de yazılan digitalWrite kodları	130
Görsel 10.32. Arduino pin çıkışlarının bağlantıları	131
Görsel 10.33. Kalıpların kumaşa yerleştirilmesi	132
Görsel 10.34. Kol cırt bant detayı	133
Görsel 10.35. Dış cep denemesi	133
Görsel 10.36. Ağırlık haritası	134
Görsel 10.37. Hareket empedansı haritası	134
Görsel 10.38. Hortumları sabitlemek için dikilen köprülerin görünümü	135
Görsel 10.39. Prototip ön ve arka görünüm	135
Görsel 10.40. Kapüşon için hazırlanan desen çalışması	136
Görsel 10.41. Prototipin katmanları (ön)	137
Görsel 10.42. Prototipin katmanları (arka)	138
Görsel 10.43. Prototipin katmanları (kol)	138
Görsel 10.44. Arka cep ve iç detay modellemesi	139
Görsel 10.45. Elektronik komponentlerin sigorta kutusuna yerleşimi	140
Görsel 10.46. "Y" çatalı	141
Görsel 10.47. Pnömatik hortumların prototip içinde yerleşimi	142
Görsel 10.48. Hava kesecikleri için denenen malzemeler	144
Görsel 10.49. Hava akımını elde etmek için denenen ekipmanlar	145
Görsel 11.1. Kavramsal bir tasarım önerisi olarak "PuzzleSuit"	151
Görsel 11.2. Üst gövde için modüler iskelet giysi tasarımı	152
Görsel 11.3. Göğüs kemeri detayı	153
Görsel 11.4. Fermuar ve kemer detayları	154

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

2B	: İki boyutlu
3B	: Üç boyutlu
AR	: Arttırılmış gerçeklik
CAD	: Bilgisayar destekli grafik tasarım
CAM	: Bilgisayar destekli üretim
GPS	: Küresel konum belirleme sistemi
GSM	: Mobil iletişim için küresel sistem
HMD	: Başa takılan ekran
kPa	: Kilopaskal
PCM	: Faz değiştiren akıllı tekstiller
QR KOD	: Karekod
SMM	: Biçim hafızalı akıllı tekstiller
VR	: Sanal gerçeklik

1. GİRİŞ

Yapılan arkeolojik kazılar sonucunda, Paleolitik ve Mezolitik dönemlerde avcı toplayıcı olarak yaşayan insan topluluklarının hayvan derilerinden ürettikleri ürünlerle giyinme ihtiyaçlarını karşıladıkları, Neolitik dönemde ise yün, kenevir, pamuk gibi doğal lifleri dokuyarak giysi üretmeye başladıkları bilinmektedir.¹ Arkeolojik çalışmalar sonucu Neolitik dönemde başlamış olduğu kanıtlanan dokuma sanatı, Sanayi Devrimine kadar evlerde üretilen bir el sanatı olarak kalmaya devam etmiştir. Tarih boyunca insan gücü ve emeği sayesinde üretim gerçekleştiren ve gelişen insan toplulukları buharlı makinelerin keşfi sayesinde üretim kapasitesini büyük oranda arttırmıştır. Değişen üretim teknolojileri ve teknikleri tekstil üretimini ve dolayısıyla modayı da etkilemiştir. Sanayi devrimi öncesinde evlerde kullanılan dokuma tezgâhları ile insan gücü ve emeğinin ön planda olduğu ve sınırlı sayıda üretilen tekstil malzemeleri, 18.yüzyılda ilk mekanik dokuma tezgâhlarının tasarlanması sayesinde atölyelerde üretilmeye başlanmıştır. Su ve buhar gücü ile çalışan mekanik makinelerin yer aldığı bu dönem 1. Sanayi Devrimi olarak adlandırılmaktadır. Üretim hızı ve maliyeti düşen tekstil malzemelerinin en büyük sorunu hammaddedir. 1665 yılında İngiliz Robert Hook ipeğin suni olarak üretilbilecek bir malzeme olduğunu iddia etmiş olmasına rağmen 19. yüzyıla kadar suni bir lifin üretimi mümkün olmamıştır.

19. yüzyılda elektrik üzerine yapılan bilimsel çalışmaların çoğalması 2. Sanayi devriminin temelini oluşturmuştur. 1821 yılında Michael Faraday'ın elektrikli motoru keşfetmesi sanayinin gelişimi için önemli bir adım olmuştur. 19. Yüzyılın ikinci çeyreğinden sonra sanayinin birçok alanında kullanılmak üzere elektrik ile çalışan makinelerin icadına ve elektrik üzerine yapılan bilimsel çalışmalara hız verilmiştir. 1870 yılında ilk üretim bantlarının kullanılması ise 2. Sanayi Devriminin başlangıcı olarak kabul edilmiştir. Geçmiş yüzyıllara oranla hızla artmakta olan dünya nüfusuna yetebilecek oranda ürün üretimi Sanayi Devrimleri sayesinde gerçekleştirilebilir hale gelmiştir. 1865'te selüloz asetat ve 1884 yılında suni ipeğin bulunması, 1925'te Alman kimyager Prof. Hermann Staudinger'in sentetik lif biliminin temelini oluşturması, 1935 yılında Amerikalı bir kimyager olan Wallace H. Carothers ve ekibinin ilk polyamid olan naylonu keşfetmeleri tekstil endüstrisinde büyük değişimlere yol açmıştır. Sentetik

¹ Çatalhöyük kazısının 2017 Arşiv Raporu incelediğinde "Toplamda 19 adet dokuma materyali kaydedildi" ifadesi görülmektedir. (Haddow, 2017)

liflerin doğal liflere oranla nem çekme özelliğinin düşük olması, sürtünmelere ve güneş ışığına karşı dayanıklılıklarının fazla olması vb. özellikleri 20. yüzyılda tekstil endüstrisi tarafından tercih edilme nedenleri olmuştur.

Sanayi devrimleri ile başlayan bu hızlı üretim süreciyle değişen dünya düzeni insanlara yeni tüketim alanları ve yeni bir sosyal düzen getirmiştir. 1945 yılında üretilen ilk dijital bilgisayar ENIAC ve medya araçları sayesinde bir enformasyon çağı başlamıştır. 1970 yılına gelindiğinde ise bilgisayar ve dijital sistemler üretim sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. CAD/CAM programları sayesinde tasarımcının rolü ve üretimin şekli yeni bir boyut kazanmıştır. Tasarımların bilgisayar programlarında yapılması ve 3 boyutlu (3B) modellemeler sayesinde ürünün bitmiş halinin görülebilmesi tasarım sürecinin ve ürünün üretiminin hızlanmasına neden olmuştur. 1970'lerde başlayan bu değişim 3. Sanayi devrimi olarak adlandırılmaktadır.

20. yüzyılın ikinci yarısından sonra enformasyon toplumuna dönüşen toplumların, yaşam şekilleri ile tükettikleri ürünler üzerindeki beklentileri de değişime uğramaya başlamıştır. 1970'lere geldiğimizde içinde hesap makinesi fonksiyonu bulunan kol saatlerinden, yürürken müzik dinlenebilmesini sağlayan Walkman'lere, 1980'lere geldiğimizde TV izlenmesine ve oyun oynanmasına olanak sağlayan kol saatlerine kadar üretilen aksesuarlar kullanıcının tüketimine sunulmuştur.

1973 yılında Motorola ile başlayan cep telefonu girişimleri ise 1983 yılında firmanın ticari olarak piyasaya sürdüğü dünyanın ilk cep telefonu, insanoğlunun yaşam şekli ve beklentileri, gündelik alışkanlıkları üzerinde ciddi bir değişime neden olmuştur. 1994 yılında Ericson firması tarafından bluetooth teknolojisinin cep telefonlarında kullanılmasıyla, cep telefonları ve mobil cihazlar birbirlerine kablosuz olarak bağlanmak ve birbirleriyle iletişim kurmak gibi olanaklara sahip olmuştur.

1990'lı yıllarda Bluetooth teknolojisinde yaşanan gelişmeler, internet erişiminin yaygınlaşması ve hızlanması nesnelerin diğer cihazlarla bluetooth ya da internet üzerinden bağlantı kurması ve iletişime geçerek veri aktarmasını daha kolay ulaşılabilir bir teknoloji haline getirmiştir. Gündelik hayatın vazgeçilmez bir parçası haline gelen cep telefonu ses ve mesaj yolu ile iletişim kurmanın ötesine geçerek daha fonksiyonel bir nesne haline dönüşmüştür. Cep telefonunda kullanılan teknolojik gelişmeler diğer nesnelere de uygulanmaya başlanmıştır. Televizyondan buzdolabına, kahve

makinesinden arabalara kadar birçok nesne fiziksel bir temas kurmadan çalıştırabilir ya da onlara istenilen komut yüklenerek gerekli veriler hakkında bu nesnelerden geri dönüş alınabilir hale gelmiştir. Tarih boyunca yaşanan bütün siyasi, sosyal ve teknolojik gelişmelerde olduğu gibi 1990'lardan sonra yaşanan bu gelişmelerde moda sektörünü etkilemiştir.

Hollywood yapımı ajan filmlerinde, bilim kurgu ve çizgi romanlarda görmeye alışkın olunan belli öğelerin aslında sadece birer hayal ürünü olarak kalmayıp gündelik hayatta insanlar için kullanılabilir ürünler haline geldiği bir döneme girilmiştir. Dick Tracy'in kullandığı 2 kanallı radyo bilekliğinden Hugo Gernsback'in tele-gözlüğüne kadar birçok ürün teknoloji firmaları, tekstil firmaları ve moda tasarımcılarının bazen multidisipliner bazen interdisipliner çalışmaları sayesinde geliştirilerek piyasaya sürülmüştür.

1990'lı yıllarla beraber bilgisayar teknolojisinin hızlı gelişimi ve gündelik hayata dahil olan internet, cep telefonu gibi teknolojiler sayesinde insanların iletişim şekllinden yaşam şeklllerine kadar birçok alanda hızlı bir değişim yaşanmıştır. Gsm operatörleri ve İnternet servis sağlayıcılarının sunduğu olanaklar sayesinde veriye ve istenilen kişiye ulaşmak daha kolay bir hale gelmiştir. İnternet ve yeni iletişim şeklleri veri yoğunluğunun artmasına neden olmuştur. Artan bu veri yoğunluğu bilimsel veriler olmanın dışına çıkarak bireyselleşmeye, her bireyin gündelik hayatında gerçekleştirdiği birçok eylemin kayıt altına alındığı bir yapıya dönüşmüştür. Fotoğraflardan videolara, günlük atılan adım sayısından bir durum karşısında verilen kişisel tepkilere kadar değişkenlik gösteren verilerin daha kolay depolanması ve istenilen anda o verilere ulaşma isteği gündelik hayatın kaçınılmaz bir parçası olmuştur.

Almanya'da 2011 yılında düzenlenen Hannover Fuarı'nda dijitalleşen günümüz dünyası; bulut sistemleri, bilişsel bilgi işlem, otonom robotlar, arttırılmış gerçeklik (AR), nesnelerin interneti gibi kavramlar ve siber sistemler ile fiziksel sistemlerin iç içe geçmeye başlaması nedeniyle 4. Sanayi devrimi olarak adlandırılmıştır.

Ulaşılan teknolojisi sonucu üretilen ürünlerin fiziksel bağ olmaksızın insanlar ve diğer nesneler ile etkileşime geçebilmesi 4. Sanayi devrimini başlatan en önemli etmenlerden birisi olmuştur.

Kahve makinesi, buzdolabı, araba, güvenlik kameraları gibi bu süreçte tasarlanan ürünler içerisinde akıllı sistemler entegre edilmeye başlanmış ve kullanıcı ile sürekli bir veri alışverişi halinde olmaları planlanmıştır. Moda sektörü de uzun yıllardır üzerinde çalıştığı giyilebilir teknolojiler hakkında yeni perspektifler geliştirmiş ve gündelik ürünlerde bile kullanıcının giyinme dışında ihtiyaçları giderme çabasına hız vermiştir.

Değişen koşullar doğrultusunda moda tasarımcısı kullanıcı ihtiyaçlarını karşılamak için bir ürün tasarlamadan ötesine geçerek ürüne entegre ettiği özellikler sayesinde hizmet sunan bir konuma gelmiştir. Kıyafetler artık sadece toplum içerisinde karşılaşılan bireylerle etkileşime girip kullanıcıyı tatmin etmenin ötesinde, akıllı nesneler diye tanımlanan diğer nesnelerle de etkileşime geçerek kullanıcıya farklı hizmetler sunabilir hale gelmiştir. Örneğin adım sayısı, kalp atışı vb. değerlerin ölçümü, çağrı ve mesaj gönderme alma gibi giyilebilen ürünlerden önceki yüzyıllarda beklenmeyen özellikler 21. yüzyıl tasarımcısının kullanıcıya sunmaya hazır olduğu ve üzerinde çalıştığı konular haline gelmiştir.

20. yüzyılın Kendin Yap (DIY) akımının devamı olan Maker hareketi de giyilebilir teknolojiler için yeni olanaklar sağlamaya başlamıştır. Lilypad Arduino ve iletken tekstil yüzeyleri elektronik tekstillerin giyilebilir bir hale gelmesini kolaylaştırmaya başlamıştır.

Giyilebilir teknoloji ürünleri eğitim, sağlık, askeri gibi stratejik alanlar için üretilirken bir yandan da oyun, video, sanal gerçeklik (VR) gibi eğlence amaçlı sektörlerle hizmet etmek içinde üretilmektedirler. Eğlence amaçlı üretilen giyilebilir teknoloji ürünlerinin amacı kullanıcıyı yapmakta olduğu aktivitenin daha sürükleyici olmasını sağlamak temeline dayanmaktadır. Bu sürükleyicilik; eğitim, askeri ve uzay sektörleri için üretilen ürünler içinde geçerlidir. İster eğlence ister eğitim amaçlı üretilmiş olsun, gösterilen görüntünün, imgenin, simülasyonu oluşturulan sanal ortamın etkisini kullanıcıya aktarmayı hedefleyen giyilebilir teknolojiler mevcuttur. Bu aktarım görsel sistem kalitesinin, ses kalitesinin artırılmasının yanında haptik geri bildirim sistemlerini de içermelidir.

Haptik geri bildirim sistemleri, insanın dokunma duyusundan yararlanarak iletilmek istenen veriyi, hissi kullanıcıya aktaran sistemlerdir. Genellikle titreşim odaklı olan haptik geri bildirim sistemleri mekanik yapıları gereği dokunulan yüzeyin dokusu, sertliği vb. birçok etkiyi yeterli düzeyde verememektedir. Talhan ve Jeon (2017)

yaptıkları araştırmada pnömatik sistemle üretilen bir ürünün vermiş olduğu haptik geri bildirimin daha etkili olduğunu iddia etmişlerdir.

Çalışma kapsamında birinci bölümde pnömatik bir giyilebilir teknoloji prototipini Maker yaklaşımını ele alarak üretmenin mümkün olup olmadığı araştırılmıştır. İkinci bölümünde prototipin 3 boyutlu simülasyon programlarında yapılan modellemeleriyle basınç değerleri ölçümlenip değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda ise elde edilen veriler doğrultusunda giyilebilir modüler bir haptik geri bildirim sistemi önerisi yapılmıştır.



2. GİYİLEBİLİR TEKNOLOJİ KAVRAMI

Giyilebilir teknolojiler üzerine literatürde genel kabul gören net bir tanım yapılamadığı gibi belli terimlerin giyilebilir teknoloji yerine kullanılıyor olması da ürün sınıflandırılması ve konumlandırılması konusunda sıkıntı yaşanmasına neden olmaktadır. "Giyilebilir cihazlar", "giyilebilir bilgisayarlar", "giyilebilir elektronikler", "giyilebilir akıllı tekstiller", "elektronik tekstiller" vb. gibi terimler birbirlerinin yerine kullanılmasına rağmen aslında giyilebilir teknoloji ürünlerinin alt sınıflandırmalarını oluşturan terimlerdir.

Seymour' (2008) göre giyilebilir teknoloji; teknoloji entegre edilmiş moda ya uygun giysileri tanımlar. Kablosuz iletişim ağları ya da diğer nesnelerle iletişim kurabilme özelliğine sahip ürünlerdir. Giyilebilir teknoloji ürünleri geçtiğimiz yüzyıl içerisinde sağlık, askeri ve uzay endüstrilerinde işlevsellik üzerine profesyonel amaçlarla üretilen ve maliyeti yüksek ürünlerdi. Yaşanan teknolojik gelişmeler, insanların gündelik yaşam şekilleri, ihtiyaç ve beklentilerinde yaşanan değişimlerin etkisiyle günümüzde eğitim, sanat, spor, oyun ve medya araçlarını da içeren geniş bir sektör yelpazesi içerisinde kendisine yer bulmakta ve bireysel kullanıma da sunulmaktadır.

Giyilebilir teknoloji ürünlerinin profesyonel alanlarda kullanılmak üzere üretilmesinden, gündelik hayatta kullanılmak üzere üretilen nesneler haline dönüşmesi, ürün yelpazesinin genişlemesini sağlamıştır. Kullanım alanı ve çeşitliliği hızla artan giyilebilir teknoloji ürünleri üzerine yapılan ar-ge çalışmaları ve bilimsel araştırmalarda bununla paralel artmaya başlamıştır. Yüzyılı aşkın bir süredir üretilen giyilebilir teknoloji ürünlerinin, hızla değişime uğrayan hali literatürde yeni tanımlamalar ve sınıflandırmalar yapılması gerekliliğini doğurmuştur. Anlamı ve sınıflandırılmasında uzlaşmış tek bir tanım olmamasından dolayı, giyilebilir teknoloji ürünleri denildiğinde birçok ürünü bu kavram ile tanımlamak ya da birçok ürünü bu kavram dışında konumlandırmak mümkündür.

Oxford Learner's Dictionaries'e göre "giyilebilir" giyilmeye uygun; hoş ve rahat giyilebilir (<http-1>) olarak açıklanmaktadır. Cambridge Dictionary'e göre "teknoloji" terimi "bilim ve endüstride kullanılan bilgi, ekipman ve yöntemler" (<http-2>) olarak tanımlanmaktadır. Teknoloji, Türk Dil Kurumu genel sözlük ve diğer sözlüklerinde de ekipman, araç gereç, makine ve bunlara ilişkin bilgilerin tümünü kapsayan bir terimdir (<http-3>). "Giyilebilir teknoloji ve giyilebilir cihazlar, vücuda rahatça takılabilen giyim ve

diğer aksesuarlara entegre edilen elektronik ve bilgisayarları tanımlayan ifadelerdir. Bu cihazlar, cep telefonları ve dizüstü bilgisayarlar gibi elde tutulan teknolojilerle aynı görevlerin çoğunu yerine getirirken, biyogeribildirim ve fizyolojik işlevin izlenmesi gibi duyuşal ve tarama özellikleri sayesinde” (Wright and Keith, 2014, s. 204-205) daha üstün özellikler ve performanslar sergileyebilirler.

Sözlüklerde yer alan "giyilebilir" ve "teknoloji" tanımlarından yola çıkıldığında; Baumann’ın yüksek lisans tezinde (2016) Peter Henlein’in saatini, Rhodes’un 1998 yılındaki “A Brief History of Wearable Computing” (http-4) isimli araştırmasında 1280 yılında üretilen gözlüğü ilk giyilebilir teknik/teknoloji ürünleri olarak ele almaları anlaşılabilir bir yaklaşımdır.

Literatürde giyilebilir teknoloji ürünlerinin birbirinden farklı şekillerde sınıflandırıldığı görülmektedir. Örneğin Hicran Özgüner Kılıç’ın (2017) makalesine göre; giyilebilir teknoloji ürünleri "baş, göz, kol, bacak-ayak, kulak, gövde, bilek odaklı ve diğer ürünler” gibi vücutta odaklandığı noktalara göre sınıflandırılmaktadır. Genellikle giyilebilir teknolojinin kullanıldığı sektörler ve üretim şekline göre sınıflandırmalarının en yaygın kullanılan sınıflandırmalar olduğu görülmektedir. Üretim şekline göre giyilebilir teknoloji ürünleri; implantlar, saatler, bileklikler, takılar, gözlükler, başa takılan ekranlar, giysiler olarak sınıflandırılırken, kullanıldığı sektörler ve amaçlarına göre sağlık, eğitim, askeriye, uzay, spor, eğlence (oyun, gösteri), turizm olarak sınıflandırılmaktadırlar.

2.1. Tarihçesi

Giyilebilir teknoloji ürünleri terimi günümüzde oldukça popüler hale gelmiş olsa bile ilk giyilebilir cihazların ortaya çıkış tarihinin 16. Yüzyıla kadar uzandığı görülmektedir. Günümüz teknoloji düzeyi göz önüne alındığında teknoloji içeren ürünler gibi görünmese bile “Alman mucit, Peter Henlein tarafından 1510 yılında yapılan küçük taşınabilir saat tasarımları”², “Çin’de 17. yüzyılda kullanılan karmaşık abaküs halkası

² Peter Henlein’in saat tasarımı, biçimi ve yapıldığı şehrin isminden dolayı "Nuremberg (Nürnberg) Yumurtası" olarak bilinmektedir. İlk taşınabilir saat olan Nuremberg yumurtası, saat mekanizması ve bir kapak kısmından oluşmaktaydı. Saat camı daha icat edilmemiş olmasından dolayı Henlein saat kadranının doğru çalışması için saati iki parça halinde tasarladı. Saat mekanizması ile onu örten bir kapaktan oluşan bu saate yumurtayı andıran bir biçim verdi. Saat üzerinde bulunan bir halkaya geçirilen zincir ile köstekli saatlerin temelini oluşturmuştur. (Cırdarlıoğlu, 2013, s. 39)

şeklindeki yüzük” (Değerli, 2019, s. 53), gözlük³, 1800ler Victoria dönemi İngiltere'sinde icat edilen klimalı şapka, 1905 yılı Expo cep saati kamerası gibi tasarımlar bireyin üzerinde taşıyabildiği ve zamanının teknolojisini içeren birer aksesuar olmalarından dolayı birçok araştırmacı tarafından giyilebilir teknoloji ürünleri arasında değerlendirilmektedir.

Teknoloji içeren tasarımlar olmasına rağmen Peter Henlein'in saati, gözlük, Çin Abaküs yüzüğü, 1884 yılında Electric Girl ismiyle yapılmış olan dansçı kıyafeti gibi ürünler Adam Thierer gibi birçok araştırmacı tarafından giyilebilir teknoloji ürünleri arasında değerlendirilmemektedir. Bunun nedeni bu ürünlerin işlevlerini kendi içlerinde yapıyor olmaları ve sensör, çip gibi günümüz teknolojilerini içermemeleridir. Adam Thierer'e (2015, s. 1) göre, giyilebilir teknoloji ürünleri akıllı cihazların bir alt kategorisi olarak sahip oldukları sensör, çipler sayesinde, kullanıcının ihtiyaç ve beklentileri doğrultusunda veri toplayabilmeli, etkinlik takibi yapabilmeli, kablosuz iletişim teknolojileri aracılığıyla başka bir cihaz ile iletişim kurup veri aktarabilecek düzeyde teknik donanıma da sahip olmalıdır.

Thierer'in tanımına uygun olan ilk giyilebilir teknoloji ürünü 1955 yılında Edward O. Thorp tarafından tasarlanmıştır. Amerikalı bir matematik profesörü olan Thorp (2000) blackjack, rulet ve tavla üzerine yapmış olduğu araştırmalarla bilinmektedir. Olasılık teorisinin modern uygulamalarına yazdığı makaleleri ile öncülük eden Thorp, olasılık teorisinin kumar oyunları üzerindeki önemi üzerine yaptığı araştırmalar ile rulet ve blackjack oyunlarında bu olasılıklar üzerinden nasıl para kazanılacağına odaklanmıştır. Bunun üzerine Thorp, ayakkabı tabanına yerleştirilen bir zamanlayıcı sayesinde rulet oyununda olasılık hesaplarını kullanarak finansal kazanç sağlamayı hedeflemiştir. Thorp'un 1955 yılında tasarladığı bu ürün, Claude Shannon'un katılımı ile 1961 yılında, tasarımından 6 yıl sonra üretilir. Ürünü kumarhanede kendi deneyen Thorp yaşanan birkaç teknik aksaklıktan dolayı hedefine ulaşamaz.

1960 yılında görüntü yönetmeni Morton Heilig, genişletilmiş sinema ve sanal gerçekliğin erken bir biçimi olarak Başa takılan ekranın (HMD) patentini almıştır. Bunu,

³ İlk gözlük camı 1280 yılında dışbükey mercekler kullanılarak İtalyan Armati tarafından icat edilmiş olmasına rağmen 1730 yılında Edward Scarlett sabit gözlük sapını icat edene kadar giyilebilir bir cihaz olma niteliğini kazanamamıştır. (Öztürk, 2020, s. 6)

1962'de "Sensorama Simülatörü" (A.B.D. Patent No. 3,050,870, 1962) isimli VR simülatörü patenti izlemiştir.

1963 yılında bilim kurgu yazarı ve bilim kurgu türünün isim babası Hugo Gernsback, günümüz VR gözlüklerinin atası sayılabilecek tele-gözlüğü icat etmiştir. Tasarımında her göz için ayrı ekranlar kullanması stereoskopik görüntüleri göstermesine olanak sağlamaktaydı. Stereoskopik görüntü tekniği; iki boyutlu görüntülerden oluşan fakat birbirlerini takip eden görüntülerden oluşturulduğundan birbirlerini tamamlayarak izleyicide 3 boyutlu olarak algılanır. İzleyicide oluşturduğu bu algıdan dolayı da Gernsback'ın tele-gözlük tasarımı VR gözlüklerinin öncüsü olarak ele almak gerekmektedir.

1970'li yıllara gelindiğinde ise dijital saat sektörü hız kazanmaya başlamıştır. Pulsar firması Hamilton Watch Company ile ortaklaşa ilk dijital saati 1972 yılında tasarlamıştır. Pulsar'ın ardından Seiko, Commodore International, HP, Intel, Sinclair gibi birçok firma dijital saat sektörüne girmiştir. 1982 yılına gelindiğinde Seiko dijital saat ekranına Tv özelliği ekleyerek Tokyo'da piyasaya sürmüştür. 1984 yılında ise firma Seiko UC-2000 ismi ile piyasaya sürdüğü ürün ile saat teknolojisinde farklı bir çıkış açmıştır. Seiko UC-2000 üretildiği döneme göre oldukça alışılmamış bir üründür. Firmanın UC-2200 ismini verdiği bir bağlantı noktası sayesinde saat programlanabilmektedir. UC-2200 bağlantı noktası; klavye, yazıcı ve Microsoft Basic programlama yazılımından oluşmaktadır. Zamanı göstermesi ve hesap makinesi olarak kullanılması dışında programlanabilen bu saatin içerisine Seiko, "Hit" ve "Race" ismini verdikleri iki oyun yerleştirmiştir. 1985 yılına gelindiğinde ürünün daha gelişmiş modeli Epson C-20 dokunmatik bir ekrana sahip olarak piyasaya sürülmüştür. Seiko firmasının üretmiş olduğu bu ürünler günümüz akıllı saat teknolojisinin temelini oluşturmaktadır. Commodore International, Hp, Intel gibi firmalar 1980li yılların sonlarına doğru bilgisayar sektörüne yönelim göstermişlerdir. 21. yüzyıla gelindiğindeyse, akıllı saat teknolojisinin gelişmesi ve bu sektörün sahip olduğu pazar payının büyüklüğü yüzünden günümüzde ise birçok bilgisayar firmasının saat üretimine yöneldiği görülmektedir (Ometov, ve diğerleri, 2021, s. 4-5).

1977'de Smith-Kettlewell tarafından, görme engelliler için başa monte edilen bir kameradan çekilen görüntüleri giydikleri bir yeleğe entegre ederek dokunmatik olarak dönüştüren giyilebilir cihaz tasarlanmıştır (Ometov, ve diğerleri, 2021, s. 5).

1979 yılında Sony firması Walkman ismini verdiği ürünü piyasaya sürmüştür. Kasetçalar bir gövde ve kulaklıktan oluşan bu ürün müzik dinleme alışkanlıklarını değiştirmiştir. İnsanlar artık yürürken, koşarken ya da bir toplu taşıma aracında yolculuk yaparken, bir parkta dinlenirken kendi seçtiği müziği dinleyebilme lüksüne sahip olmuşlardır (Ometov, ve diğerleri, 2021, s. 5).

1980’li yıllara gelindiğindeyse Kanadalı profesör ve mucit Steve Mann, bir sırt çantasına yerleştirdiği kamera ile gündelik hayatını kayıt altına almaya başlamıştır. Sırt çantasında taşıdığı kamerası ile giyilebilir teknolojinin ilk örneklerini sunmaya başlayan Steve Mann’ın bu girişimi ilerleyen yıllarda yaygınlaşarak "Lifelogging" adı verilen, bireyin gündelik hayatını kayıt altına alarak bazen bant yayın bazen de canlı yayın olarak insanlarla paylaştığı bir akıma dönüşmüştür (Michael, 2015). 1994 yılına gelindiğinde ise Mann kullandığı teknolojiyi geliştirerek kablosuz bir web kamerası kullanmaya başlamıştır⁴. Kablosuz kamera kullanımı ve sosyal medya araçlarının ortaya çıkışı ile Lifelogging’in gelişim evresinde yeni bir boyut açılmıştır.

1989 yılında Reflection Technology firması tarafından Private Eye’ı piyasaya sürülmüştür. Başa takılan monokrom bir ekran ve bilek klavyesi içeren bu ürünün ana hedefi bilgisayar monitörüne karşı bir alternatif oluşturmaktır. Bilek klavyesi sayesinde belge düzenlemeyi ve bilgisayarda yapılabilecek belli işleri mobil haldeyken de kullanıcının yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Ekipmanın ağır olması birçok kullanıcı tarafından tercih edilmemesine neden olduysa da günümüz akıllı gözlüklerinin gelişimi açısından önemli bir yere sahiptir.

1994 yılında Toronto Üniversitesi’nden Mike Rucci ve Edgar Matias, kullanıcının koluna takılabilen bileklik biçiminde bilgisayar geliştirmişlerdir. Aynı yıl Mike Flynn ve Mile Lamming, insanlar ve cihaz arasındaki iletişimi sürekli olarak kaydetmek ve depolamak için “Forget-Me-Not” cihazını oluşturmuşlardır (Baumann, The Story of Wearable Technology: A Framing Analysis, 2016, s. 12)

1997’de ilk kez Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Carnegie Mellon Üniversitesi ve Georgia Teknoloji Enstitüsü tarafından ortaklaşa “Akıllı Giyilebilir Bilgisayar” isimli

⁴ Giyilebilir kameralar ilk defa 1907 yılında Dr Julius Neubronner tarafından icat edilmiş ve 1908 yılında patenti alınmıştır. Bu ilk giyilebilir kamera tasarımı insanlar üzerinde değil güvercinler üzerinde kullanılmış ve güvercin kamerası olarak adlandırılmıştır. Savaş zamanında ise düşman siperlerini gözetlemek ve bilgi almak amacıyla kullanılmışlar (Neubronner, 1909, s. 78).

uluslararası bir sempozyum düzenlenmiştir. O zamandan beri akıllı giyilebilir bilgisayarlar ve akıllı giyilebilir teknolojiler akademi ve endüstri alanında büyük ilgi görmektedir (Jiang, ve diğerleri, 2015, s. 592).

80'li ve 90'lı yıllarda ilgi çekmeye başlayan giyilebilir teknoloji sektörü 2000'li yıllarda gelişimini daha da hızlandırmıştır. Piyasada sahip olduğu pazar payının büyüklüğü sayesinde birçok üreticinin dikkatini çeken bu sektör hem moda tasarımcıları ve tekstil firmalarının, hem de teknoloji firmalarının içinde bulunduğu büyük bir sektör halini almıştır.

2000 yılında, üzerine yerleştirilen algılayıcılar sayesinde kullanıcının sağlık durumunu her an gözlemlemeyi mümkün kılan bir yüzük tasarlanmıştır (Sağbaş, Ballı, ve Yıldız, 2016, s. 751).

2002 yılında Nokia bluetooth kulaklık setini pazara sunmuştur. İlk çıkış yaptığı yıllarda büyük beğeni toplayan bluetooth kulaklıklar sonraki yıllarda birçok firma tarafından üretilmeye başlanmış ve hala birçok kullanıcı tarafından tercih edilen bir ürün haline gelmiştir.

2004 yılında ilk GoPro piyasaya çıkmıştır. GoPro küçük ve hafif olması nedeniyle Lifelogging yapanlar ya da gündelik hayatında yaşadıkları deneyimleri dijital platformlarda paylaşmak isteyen bireyler açısından tercih edilen bir kamera olmuştur.

2006 yılında Nike ve Apple firmaları ortaklaşa bir proje geliştirerek, kullanıcıların hareketlerini takip etmek amacıyla ayakkabı içerisine yerleştirilen bir fitness izleme kiti oluşturmuştur. Kullanıcılar bu kit sayesinde, iPod'un Nano ekranında egzersiz yoluyla tüketilen gerçek zaman, mesafe, hız ve kalori bilgilerini görüntüleyebilmektedir (Desjardins, 2015).

2007 yılında İtalyan moda şirketi Zegna, Alman Interactive Wear AG ve Innovative Solarprodukte GmbH (Solarc) tarafından geliştirilmiş elektronikleri entegre ettiği Solar JKL montunu Floransa'da bir defilede sergilemiştir. Ceketin yakasına yerleştirilen iki güneş paneli sayesinde cep telefonu, MP3 çalar gibi cihazları şarj edebilmek mümkündür. Bu ürün dünyanın ilk dış giyim ürünüdür (<http-5>).

2009 yılında Fitbit firması ilk ürünü olan Fitbit Tracker'ı piyasaya sürmüştür. Bu bileklik kullanıcının fitness verilerini düzenli olarak takip edebilmesine ve kayıt altında tutabilmesine olanak sağlamaktadır.

2010'da kurulan WeisWear ve 2013'te kurulan Ringly firmaları, akıllı telefona kurulan bir uygulamaya bluetooth aracılığıyla bağlanabilen mücevher tasarımları yaparak giyilebilir teknoloji ürün yelpazesinin çeşitlenmesini sağladılar. Farklı titreşimler ve renklerde geri bildirim yapabilen bu ürünler, kullanıcının uygulama üzerinde yaptığı tercihlere dayanarak; e-posta, arama ya da bir sosyal medya uygulamasından gelen bildirimi ürün üzerinden aktarabilmektedir.

2010 yılında Abbey Liebman nanopartiküler ve yarı iletken polimerlerle kaplanarak iletkenlik kazandırılmış pamuk lifleri ile tasarladığı elbisesini sergilemiştir. Elbise ince esnek güneş pilleri ile elde ettiği elektriği USB şarj bağlantısı ile mobil cihazları şarj etme imanı sağlamaktadır (Boscia, 2010).

2013 yılında Google Glass olarak adlandırılan akıllı gözlük piyasaya çıkmıştır. Eller serbest internet erişimi sağlayan, internet sayesinde görüntü yakalama özelliği ile artırılmış gerçeklik özelliğini birleştirerek bulunulan çevre hakkında bakış açısını değiştiren ilk sesli optik başa takılabilen ekran ürünü olmuştur. Google ürünün satışını durdurmuş olsa da ürünü geliştirmeye devam ettiklerini duyurmuştur ([http-6](http://6)). Aynı yıl Samsung Galaxy Gear akıllı saati piyasaya çıkmıştır.

2014 yılı birkaç medya kuruluşu tarafından “Giyilebilir Teknoloji Yılı” olarak adlandırılmış ve giyilebilir teknoloji ürünleri popülerlik kazanmıştır ([http7](http://7), [http-8](http://8)). Kullanıcıların hareket halindeyken telefonlarını şarj etmesine olanak tanıyan güneş enerjili ceket, Tommy Hilfiger tarafından piyasaya sunulmuştur ([http-9](http://9)). Yıl içerisinde Samsung Gear Live ve LG G watch akıllı saatleri, Mimo akıllı bebek monitörü piyasaya çıkmıştır.

2014 yılında Ralph Lauren Omsignal iş birliği ile üretilen Polo Tech akıllı tişörtü Amerika Açık tenis turnuvasında tanıtılmıştır. İletken gümüş lifler ve naylon ile dokunan kumaş sayesinde ürün bireyin biyometrik verilerinin kaydını oluşturmaya olanak tanımaktadır. OMsignal 2016 yılında OMbra akıllı sütyenini çıkarmış ve bu ürünü Nike, Under Armour, Victoria Secret içinde özel olarak üretmiştir.

2015 yılında Ambiotex TechUnit isimli bir parçanın üzerine takılan EKG sensörlerini içeren ve performans verilerini optimize etmeye, yaralanmaları önlemeye yardımcı olacak tişörtünü piyasaya sürmüştür. Owlet akıllı bebek çorabının birinci nesli, Athos egzersiz takibi için ürettiği tişörtü, Fransız Spinali Design'ın güneş ışınlarına karşı kullanıcıyı uyaran su geçirmez bir sensörü entegre ettiği akıllı bikinisini, Triton firmasının yüzücülerin performansını takip edip geliştirebilmesi için tasarladığı TritonWear isimli ürünü aynı yıl piyasaya çıkan ürünler arasında yer almaktadır. 2015 yılının en önemli gelişmelerinden birisi de Apple firmasının Apple Watch'un ilk serisinin lansmanını yapmasıdır. Bir diğer teknoloji devi olan Samsung Rogaris iş birliğiyle ürettiği NFC akıllı takımının tanıtımını yapmıştır. NFC akıllı takımı, kullanıcıya takım elbise üzerinden akıllı telefonunu kontrol etme olanağını sağlamaktadır.

Apple firmasının da akıllı saat piyasasına dahil olması ile artan rekabet sonucunda 2015 yılından sonra üretilen akıllı saat sayısı artmaya başlamıştır. Apple, Huawei, Zepp, Fitbit ve Samsung firmalarının başı çektiği akıllı saat ve bileklik sektörüyle, bu ürünlerin kullanıcıya sunduğu hizmetler hızla gelişmektedir. Üretilen bu ürünlere oluşmuş olan talebin göstergesi ve sektörün büyüklüğü CCS Insight'ın dünya üzerinde yaptığı satış verileri analizinde görülebilmektedir. CCS Insight'ın satış verileri araştırmasının sonuçları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Dünya çapında akıllı saat ve egzersiz takip cihazları satış rakamları (Stables, 2022)

Firma Adı	2020 (Milyon adet)	2021 (Milyon adet)	Değişim
Apple	44 M	52 M	%19
Huawei	32 M	45 M	%49
Zepp	46 M	38 M	-%18
Fitbit	15 M	14 M	-%18
Samsung	11 M	13 M	%18
Diğerleri	47 M	71 M	%52
Toplam	1193 M	232 M	%20

Tabloda; 2020 ve 2021 yılları arasında toplam satış hacmi %20'lik bir artış göstermiştir.

CCS Insight'ın verilerinde dikkat çeken bir diğer noktada piyasada, ilk beşte yer almayan firmaların satışlarının toplamının %52 gibi yüksek bir değere ulaşmış olmasıdır.

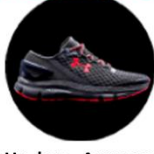
2015 yılı sonrasında üretilen ya da patenti alınarak tanıtımı yapılan giyilebilir teknoloji ürünlerinden ön plana çıkanları Görsel 2.1’de kronolojik olarak listelenmiştir. Üretilen rn sayısının fazlalığından dolayı 2015 sonrasında piyasaya sürülen akıllı saatler ve bileklikler kronolojik listenin dışında bırakılmıştır.



2016



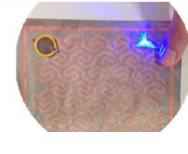
Samsung, Oculus işbirliği ile ürettiği sanal gerçeklik gözlüğü Gear VR (SM-R323) piyasaya sürülmüştür.



Under Armour, Speedform Gemini 2 ayakkabı akıllı telefona ihtiyaç duymadan performans ölçümü yapabilme özelliğine sahiptir.



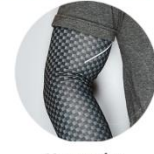
Iris Apfel, giyilebilir teknoloji firması olan WiseWear için, mücevher koleksiyonu tasarlamıştır.



Loomia, kapasitif dokunma ve dokunsal geri bildirim yeteneklerine sahip iplik ve mürekkep bazlı, yumuşak, esnek tekstil devreleri geliştirmiştir.



Thync, sakın ya da enerji hissetmek için beyne küçük elektrik sinyalleri göndermektedir.



Komodo Technologies elektrokardiyogram (EKG) teknolojisini kullanan kol manşonu AIO Smart Sleeve'i piyasaya sürmüştür.



Medtronic, CardioInsight ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) onaylı 3 boyutlu kardiyak haritalama yeleğini üretmiştir.



Sensoria Fitness, tekstil sensörleriyle donatılmış akıllı çoraplarını piyasaya sürmüştür.

2017



Seismic Powered Suit, vücudun doğal hareketlerine göre vücuda kas gücü desteği sağlamaktadır.



Bellabeat Smart Jewelry, kullanıcıların aktivite uyku ve üreme sağlığı hakkındaki verilerini toplamaktadır.



Quietude'in duyma engelli kadınlar için tasarladığı aksesuarlar, sesleri algılayarak bunları şekil değişikliklerine, ışık desenlerine ve titreşimlere dönüştürmektedir.



LIVALL'in akıllı kask bisikletçiler ve kayakçıların hız, mesafe ve standart sürüş ölçümleri, kadans ve kalp atış hızını algılamaktadır.



VivaInk, FDA onaylı giyilebilir termometre yaması Fever Scout'u satışa sunmuştur.



PrecisionWEAR, The A.I Powered Sportif veri takipçisini piyasaya sürmüştür.



LogicInk'in Logic UV adlı geçici bir dövme olarak piyasaya sürdüğü ürün UV ışınlarına uzun süre maruz kaldığında renk değiştirerek kullanıcıyı uyarmaktadır.

Görsel 2.1. 2016-2021 giyilebilir teknolojiler kronolojisi

2017



Sabine Seymour'un firması Supa, kalp atış hızı sensörü ve yapay zekayı moda'nın estetiği ile buluşturan ürünler piyasaya sürmektedir. Ürün içine gizlenmiş biyometrik sensörler antrenmanları takip etmek dışında UV seviyesi takibi gibi özelliklere de sahiptir.



Levis ve Google işbirlikteliği ile üretilen Jacquard Trucker Jacket kol manşetine dokunan iletken iplikler sayesinde dokunmatik ve interaktif bir kumaş yüzeyine sahiptir. Manşete dokunarak telefona gelen çağrılarını yanıtlamak ya da çalan müziği değiştirmek gibi işlemleri telefona dokunmadan yapabilmek mümkündür.

2018



Ministry of Supply, kullanıcının vücut ısısını takip ederek optimum sıcaklık değerini dengeleyen otomatik olarak ısıtan ilk akıllı ceketini piyasaya sürmüştür.



Sensoria ve Optima ilk akıllı diyabetik ayakkabıyı piyasaya sürmüştür.



Wearable X firması erkekler için Nadi X yoga taytını piyasaya sürmüştür.



Sensoria spor takip ayakkabısı olan Vivobarefoot'u piyasaya sürmüştür.



Siren, FDA onaylı akıllı çorapları, şeker hastalarının verilerini takip amaçlı üretilmiş bir ürünü piyasaya sürmüştür.



Owlet firmasının akıllı çorabı bebeklerin sağlık verilerini eş zamanlı olarak ebeveynlere aktarılmasını sağlamaktadır.



Seam firması tarafından güvenlik amaçlı üretilen Lotus bir kişisel güvenlik cihazıdır. Firma 15 mart 2022 tarihinde faaliyetlerine son vermiştir.



Withings Go kişisel fitness cihazı piyasaya çıkmıştır.



HeartBeat sensörler sayesinde güneş ışığına maruz kalınan süreyi takip ederek kullanıcıya uyarılarda bulunmaktadır.



Neviano akıllı mayo kullanıcının yüzme performansını ölçümlemektedir.



Dreem-dreem band uyku süresi, uykuya başlama süresi, pozisyon değişiklikleri, kalp atış hızı ve solunum analizi yaparak en iyi koşullar hakkında önerilerde bulunmaktadır.



Beddr SleepTuner cihazı FDA onaylı bir uyku takip cihazıdır.

Görsel 2.1. (Devam) 2016-2021 giyilebilir teknolojiler kronolojisi

2018



Like a glove akıllı sütyen form haritasını ve göğüs ölçülerini belirleyip internet alışverişini kolaylaştırmaktadır.



Neviano akıllı mayo kullanıcısının yüzme performansını ölçümlemektedir.

Hexoskin Pro KIT - WOMEN'S



Hexoskin, Kalp atış hızını, nefes almayı ve hareket, yakılan kalori, yorgunluk seviyesi ve uyku kalitesi gibi bir dizi sportif ölçüm hakkında bilgi sağlamaktadır.

2019



Cutecircuit firmasının HugShirt teknolojisi üzerine yapılandığı Soundshirt, kumaşa gömülü 30 mikro aktüatörle sesi gerçek zamanlı olarak, çalınan müzik parçasına özgü dokunsal bir dile çeviren ses gömleğidir. İşitme engellilerin müziği tenlerinde hissetmelerini sağlayan dokunsal giyilebilir bir cihazdır.



Japon Xenoma firması 24 elektrotlu tam vücut EMS (elektrikli kas stimülasyonu) akıllı giysisi olan e-skin EMStyle'in demosunu tanıttığı CES 2020 fuarında inovasyon ödülü aldı.

Levi's ve Google, akıllı ceket Jacquard Commuter Jacket 2.0'yi tanıtmıştır. Project Jacquard, Levi's ve Google arasında bir işbirliği olmaktan çıkarak diğer firmalarla da ortaklaşa işler üretilmeye başlanmıştır. Yves Saint Laurent ceketin 2. versiyonu ile aynı yıl piyasaya sürülmüştür.



La Roche - Posay My Skin Track UV sensör herhangi bir kıyafetin üzerine broş gibi takılarak güneş ışığına maruz kalma süresini takip etmektedir.



Spire'in akıllı mayo maruz kalan güneş ışınları hakkında bilgilendirme yapmaktadır.



L'Oréal, ciltteki pH seviyesini ölçen ilk mikroakışkan sensörünün prototipini tanıtmıştır.



QUS Sports'un entegre tekstil sensörleri 100'den fazla yıkama döngüsüne dayanıklıdır. Kalp ve solunum hızının hassas ölçümlerini yerleşik ünitesine kaydeder. Hareket halindeyken herhangi bir bağlantıya ihtiyaç duymamaktadır. Sütyen ve tişört olarak iki ayrı seçeneği bulunmaktadır.

Görsel 2.1. (Devam) 2016-2021 giyilebilir teknolojiler kronolojisi

2020



Nurvv firmasının tasarımı Form Coach koşu süresinde adım uzunluğu, kadans, ayak vuruşu takibi yaparak koşu anında enerjiyi dengeli bir şekilde kullanabilmek için gerekli olan önerileri ve çalışma programını sunmaktadır.



Polar H9 kalp atış hızı monitörü ANT+ ve 5kHz teknolojileri sayesinde birden fazla cihaza aynı anda bağlanabilme özelliğine sahiptir.



Motiv akıllı yüzük 3 eksenli ivmeölçer ve optik kalp atış sensörleri ile hem egzersiz verilerini hem de uyku düzenini takip etmeye yardımcı olmaktadır.



Wahoo Tickr X kalp atış hızı ve kalori yakımı hakkında veri toplamakta ve ANT+ teknolojisi sayesinde egzersiz anında bile verilere ulaşarak egzersizi yönlendirme şansı tanımaktadır.

2021



Upright Go S sensör sayesinde omurga duruşunda oluşan eğimi takip eder ve gerektiğinde titreşim göndererek kullanıcıyı dik oturması konusunda uyarır.



Strav piyasada bulunan kalp atış monitörlerinin verilerini toplamak ve analiz etmek için tasarlanmış bir uygulamadır.



Polar Verity Sense kola yerleştirilen bant ve bant üzerinde bulunan klipsin yüzücü gözlüğüne takılmasıyla suda da kullanılabilen optik kalp atış hızı sensörüdür. Sensör kol bantı yerine istenilen kıyafete de yerleştirilerek kullanıcıya yerleşim özgürlüğü tanımaktadır.



Samsung, kalp atış hızınızı gösterebilen esnek bir giyilebilir cihazı tasarlamıştır.



Fitbit kandaki oksijen seviyelerinin iletici olarak incelenmesini sağlayan bir fotodetektör sensörü patentini almıştır.



Under Armour koşu ayakkabısı katologuna 3 yeni model eklemiştir. HOVR Machina 2, HOVR Infinite 3 ve HOVR Sonic 4. isimli bu ürünler uygulama üzerinden koşu anında veriler aktararak performansı arttırmaya yardımcı olurken, koşu sonrası veri değerlendirilmesine olanak sağlayarak kişisel koçluk yapma özelliğine sahiptir.

Xenoma firması 2019 yılında tanıttığı e-skin EMStyle ürünüyle beraber günlük aktiviteleri ve uyku aktivitesi verilerini takip edebilmek için e-skin Sleep&Lounge ve e-skin Shirt ürünlerini piyasaya sürmüştür.

Bu ürünler ev rahatlığında giyinilerek veri takibi yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.

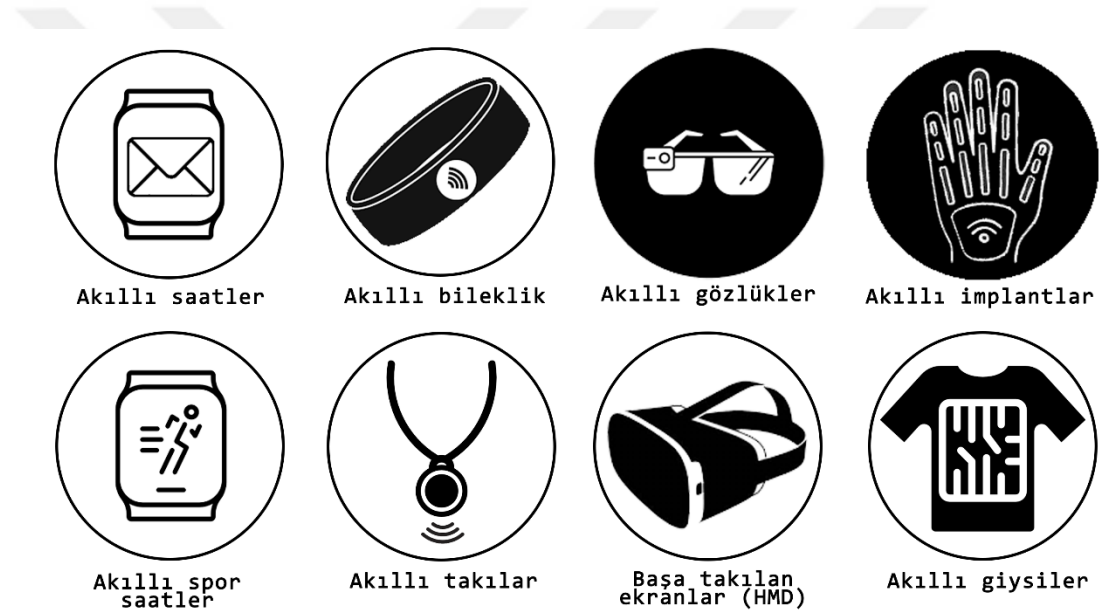


Görsel 2.1. (Devam) 2016-2021 giyilebilir teknolojiler kronolojisi

Listeye bakıldığında giyilebilir teknoloji ürünü üretiminin; sportif aktiviteler ve sağlık verilerinin takibi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Üretilen ürünlerin çoğunluğunu ise akıllı saatler, bileklikler ve fitness takibi cihazları oluşturmaktadır. Üretim şekillerine göre ve kullanıldıkları sektörlere göre yoğunlaşmanın spor ve sağlık sektörleri ve akıllı saatler ile bilekliklerde olsa da bunların dışında da üretim şekilleri ve kullanım alanlarının mevcut olduğu da bilinmektedir.

2.2. Üretim Şekillerine Göre Giyilebilir Teknolojiler

Giyilebilir teknoloji ürünlerini üretim şekillerine göre akıllı saatler, akıllı bileklikler, HMDler, akıllı gözlükler, akıllı takılar, implantlar, akıllı giysiler gibi kategorilere ayrılmaktadır (Bkz. Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Üretim şekillerine göre giyilebilir teknolojiler

Akıllı saatler

Apple, Huawei, Samsung, Xaomi gibi firmaların üretici olarak başı çektiği giyilebilir teknoloji ürünleri arasında en yaygın olarak kullanılan ürün akıllı saatlerdir. Alışlagelmiş saatlerden farklı olarak içlerinde bulundurdıkları işletim sistemleri ile kullanıcısının saat üzerinden elektronik postalarını okumasına, sosyal medya hesaplarına erişebilmesine, cep telefonu ile oluşturduğu bağlantı sayesinde kısa mesajlarına, aramalarına ulaşabilmesi ve yanıt verebilmesine olanak sağlamaktadır.

Akıllı spor saatler

Üzerinde bulundurduğu GPS sayesinde kullanıcısının gün içinde attığı adım sayısı, koşu mesafesi ve süresi, yüzme, bisiklete binme gibi sportif aktivitelerini raporlayarak bir uygulama üzerinde toplayan ya da bulut üzerine aktaran, topladığı verilerle kullanıcının kişisel veri havuzunu oluşturarak, sportif ilerlemesini kaydeden cihazlardır. Bu cihazlar sahip oldukları uygulamalar sayesinde kullanıcısına bireysel aktivitelerini hangi düzeyde geliştirmesi gerektiğine dair önerilerde de bulunabilmektedir.

Akıllı bileklikler

Piyasada bulunan akıllı bileklikler kullanıcının kalp ritmi, harcadığı kalori, adım sayısı gibi verilerini toplayarak bireyin gün içindeki egzersiz hareketliliğinin istatistiğini çıkarır.

Tasarım aşamasında olan Cicret Bracelet projesi ile telefon arayüzünün bileklik üzerinde bulunan projektör ile insan koluna yansıtılması planlanmaktadır. Bileklik üzerinde bulunan 8 uzunluk sensörü kolumuza yaptığımız teması algılayarak telefonun arayüzüne ulaşabilmesine ve kontrol edebilmesine olanak sağlayacaktır. Şu an sadece prototipi üretilmiş olan bu ürün toplanan bağışlar sayesinde geliştirilmeye devam etmektedir (<http-10>).

Başa takılan ekranlar (HMD)

HMDler oyun ve video sektöründe eğlence amaçlı kullanılırken, mühendislik, tıp, havacılık gibi sektörlerde de eğitim amaçlı kullanılmaktadır. Kullanıcısını 3 boyutlu olarak modellenmiş bir simülasyon ortamı içerisine çeken HMDler sanal gerçeklik düzeyini arttırmaktadır. Gerçek dünya görüntüleri ile bilgisayar ortamında modellenmiş görüntülerin üst üste bindirilmesi ile arttırılmış gerçeklik için üretilmiş HMD bulunmaktadır.

Akıllı gözlükler

Akıllı gözlükler, kullanıcılara retina hizasında saydam plastik bir ekran üzerinden verilerin ulaşmasını sağlamaktadır. Pek çok firmanın üzerinde çalıştığı akıllı gözlük sektöründe ön plana çıkan isim 2013 yılında piyasaya sürdüğü gözlüğü ile Google olmuştur. Fotoğraf, video çekme, sosyal medya araçlarını kullanabilme gibi akıllı

telefonlarda bulunan birçok özelliği barındıran bu ürün kullanıcılar tarafından firmanın hedeflediği talebi görmemiştir (http-6).

Oxford Üniversitesi profesörü Stephen Hicks ve ekibi tarafından tasarlanan ‘Smart Glasses’ adı verilen akıllı gözlük sayesinde görme engelli kişilerin kısmen görmesi sağlanmıştır. Gözlükte bulunan özel kameralar beyne gerekli sinyalleri ilettiğinden görme engelli kişi nesneyi siyah-beyaz figür şeklinde görmektedir. 3 boyutlu kameralara sahip gözlük, yakındaki objelere odaklanmakta ve onların çevresindeki dünyayı arka plan olarak resmetmektedir. Gözlük İngiltere’de bir doğum kliniğinde görme engelli anne tarafından denenmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır (http-11).

Bunun dışında Amerikan Uzay Ajansı NASA uzay istasyonunda çalışacak astronotların akıllı gözlük kullanmalarını planlamaktadır. Öncelikle bakım ve onarım işlemleri daha sonra insanları küçük gezegenlere ve Mars’a götürecek olan Orion uzay gemisindeki astronotların kullanması için planlanan bu gözlüklerden faydalanılmasını amaçlayan NASA Uzay Ajansı Osterhout Design Group ile akıllı gözlükler için anlaşma sağlamıştır (Davydov & Riabovol, 2019, s. 6).

Ülkemizde ise kolluk kuvvetlerinin kullanmaya başlamış olduğu akıllı gözlükler sayesinde GBT (genel bilgi toplama) sorgulamaları daha kısa sürede yapılabilmektedir.

Akıllı takılar

Akıllı takılar; kişinin sağlık değerlerini, vücut konumu gibi verileri depolayabildikleri gibi, akıllı telefonlarla kurdukları bağlantı sayesinde telefona gelen bildirimleri de aktarabilmektedir. Hedef kitle olarak kadın kullanıcıları temel alan bu kategoride; yüzük, kolye gibi daha estetik unsurları barındıran mücevher görünümünde tasarımlar bulunmaktadır (Rantala, Colley and Hakkıla, 2018).

İmplantlar

Vücudun tamamında veri akışı ve depolanmasının hedeflendiği bu alan geliştirilmeye devam etmektedir. Deri altına konulan saç telinden ince iletken bilgisayar kabloları ve çipler sayesinde ekstra bir araca ihtiyaç duyulmadan yaşamsal verilere ulaşılması hedeflenmektedir. Vücuda yerleştirilebilir akıllı telefonlar⁵, iyileştirici çipler,

⁵ Sanatçı AnthonyAntonellis 2013 yılında, elinin içine yerleştirdiği bir RFID çiple akıllı cihazlara sanat eserlerini kaydedip depolayabilmenin önünü açmıştır (Mchugh & Yarwey, 2014).

siber haplar, akıllı dövmeleler, 3 boyutlu akıllı organlar gibi farklı implant türleri üzerine araştırmalara devam edilmektedir (Temel, 2017, s. 12).

Akıllı giysiler

Eldiven, çorap (http-12), ayakkabı, gömlek, tişört (http-13), büstiyer (http-14) vb. ürün yelpazesi olan akıllı giysiler, kişisel birçok verinin (vücut ısı düzeni, kalp ritmi, solunum sayısı, tansiyon, kilo kaybı, kalori, şeker, meme kanserinde tümör oluşumu gibi) düzenli olarak gözlemlenebilmesine olanak sağlamaktadır.

2.3. Kullanıldığı Sektöre Göre Giyilebilir Teknolojiler

Giyilebilir teknoloji ürünlerinin sağlamış olduğu avantajlar göz önüne alınınca birçok sektörün bu alana ilgi duyması ve bu alan üzerinde çalışmalar yapıp ürünler ortaya koyması kaçınılmaz bir hale gelmiştir. Birçok sektör, çalışanlarının iş yükünü hafifletmek, yapılan iş sonucu toplanan verinin devamlılığını ve kolay depolanabilmesini sağlamak, işi daha güvenli ve eğlenceli bir hale getirmek için giyilebilir teknoloji ürünlerinden yararlanmaktadır. Birçok birey de yaptıkları aktiviteleri daha eğlenceli hale getirmek ya da kişisel sağlık verilerini depolamak için bu ürünlerden yararlanmaktadır.

Sağlık, eğitim, askeriye, uzay, spor, eğlence (oyun, gösteri, etkinlik), turizm giyilebilir teknoloji ürünlerinden yararlanan başlıca sektörler Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Giyilebilir teknolojilerin başlıca kullanıldığı sektörler

Sağlık

Sağlık sektörü giyilebilir teknoloji ürünleri içerisinde en hızlı ilerleyen sektörlerin başında gelmektedir. Bir bireyin sağlık değerlerinin hastane gözetiminde uzun vadeli ve devamlılığı olan bir şekilde ölçümlerinin yapılması, depolanması geçmişte ciddi bir personel ve alt yapı ihtiyacı gerektirirken, giyilebilir teknoloji ürünleri sayesinde birçok sağlık değeri 7/24 takip edilebilmekte ve kayıt altına alınabilmektedir. Sağlık sektöründe kullanılan giyilebilir teknoloji ürünleri Research and Markets'ın Eylül 2020'de yayınladığı "The Global Market for Wearable Technology in Healthcare" raporunda; "akıllı saatler, spor ve fitness takipçileri, uyku izleyiciler ve giyilebilir monitörler, akıllı gözlükler ve HMD (VR, AR, MR, görme kaybı ve göz izleyiciler), elektronik cilt yamaları, giyilebilir sağlık uyarısı ve izleme cihazları , sürekli glikoz izleme (CGM) minimal invaziv CGM sensörleri ve non-invaziv CGM sensörler, kardiyovasküler EKG sensörleri ve PPG sensörleri, gebelik ve yenidoğan takibi, giyilebilir sıcaklık izleme, hidrasyon sensörleri, giyilebilir ter sensörleri (tıbbi ve spor), giyilebilir ilaç verme, kozmetik yamalar, akıllı ayakkabılar, akıllı kontakt lensler, akıllı yara bakımı, giyilebilir dış iskeletler" olarak alt kategorilere ayırmıştır ([http-](http://) 15).

Sağlık alanında kullanılan giyilebilir teknoloji ürünleri insan vücudunun hayati belirtileri olan kan basıncı, kalp atışı, vücut ısısı ve solunum hızı gibi değerleri ölçmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu değerlerin herhangi birinde yaşanacak bir problem durumunda ürün bağlı olduğu sistem üzerinden hastane ya da hasta yakınına haber vererek bireyin karşılaştığı sağlık sorunu hakkında yardım için gerekli talepte bulunmakla beraber bu yardım çağrısı ile kişinin konumunu da karşı tarafa iletmektedir.

Eğitim

Öğrenim sürecinin maliyetli ve riskli olduğu meslek gruplarında (sağlık, askeri v.b.) oluşturulan simülasyonlar sayesinde kullanıcının birinci şahıs bakış açısı ile o iş hakkında deneyimini arttırmak hedeflenmektedir.

Meslek gruplarının eğitimi dışında; "kişiselleştirilmiş öğrenme ve kişisel öğrenme ortamları için öğrenme analitiklerinin tutulması, özel gereksinime sahip bireylerin günlük yaşam deneyimlerinin geliştirilmesi için kullanılması (Sezgin, 2016, s. 412)" teknik servis desteği, dil öğrenimi, çevrimiçi derslere katılım amaçlı, öğrenci oryantasyonu ve

eğitici sanal geziler (müze, sergi vb.) amacıyla da giyilebilir teknoloji ürünleri kullanılabilir.

Askeriye

Simülasyon programları sayesinde askeri eğitimde kullanılan ürünler olduğu gibi askerlerin sahada kullanmaları amacıyla tasarlanan ve üretilen ürünlerde bulunmaktadır. Bu ürünler sayesinde askerlerin komuta merkezi ve kendi aralarında iletişimlerini kolaylaştırmaktadır. Kullanılan gözlükler sayesinde askerlerin her ortamda görüş olanağı bulması, tehlikeli alanları gözlükten gelen görsel uyarıcı veriler sayesinde ayırt edebilmesi ve düşmanı daha kolay seçebilmesini sağlayan ürünler de tasarlanmıştır (Gece görüşü, termal görüş vb.). Askerlerin yaşamsal verilerini ve konumlarını merkeze ileten ürünlerde askeri operasyonlar için önem teşkil etmektedir.

Uzay

Arttırılmış gerçeklik (AR) ve Sanal gerçeklik gözlükleri, oluşturulmuş olan simülasyon programlarında daha gerçekçi bir deneyim sağlayarak astronotların eğitimi için kullanılmaktadır. Eğitim amaçlı kullanımları dışında, AR gözlükleri uzay istasyonlarında astronotların onarım işlerini kolaylaştırmaktadır.

Spor

Günümüzde giyilebilir teknoloji ürünlerinden akıllı saatler ve akıllı bileklikler spor sektöründe en çok kullanılanlardır. Bu ürünlerin dışında; akıllı kask, akıllı yüzücü gözlüğü, akıllı tişört, akıllı büstiyer, akıllı şort, akıllı eldiven, akıllı çorap ve akıllı ayakkabılarda sporcular tarafından tercih edilen ürünler arasındadır. Bu ürünler sporcunun spor anında ulaşmış olduğu hızı, dengesini, vücut ısısının ulaştığı seviyeyi, kan basıncını, terleme oranını, kas ve iskelet eylemlerini, kas ve kemiklerde biriken stres yükünü vb. değerleri cihaz üzerinde ya da bluetooth sayesinde aktardığı uygulama içerisinde depolayarak, kullanıcıya aktarmaktadır.

Sporcu ürünün bağlı olduğu uygulama üzerinden önceden belirlediği sportif hedefe ulaşip ulaşmadığını elde ettiği bu veriler sayesinde takip edebilir. Bu ürünlerin bir kısmı da uygulama üzerinden sporcuya izlemesi gereken yolları ve yapması gereken aktivitelerde yol göstererek bir nevi kişisel antrenörlük yapmakta ve sporcu gelişimine yardımcı olmayı hedeflemektedir.

Spor alanında kullanılan giyilebilir teknoloji ürünleri ayrıca sporcuyla aşırı efor durumunda uyarmakla birlikte kas, tendon ve bağlarda oluşabilecek yaralanmalar hakkında bilgilendirerek sporcu sağlığını korumaktadır.

Eğlence (oyun, gösteri, etkinlik)

Eğlence sektörü içerisinde günümüzde en büyük pazar payına sahip olan oyun endüstrisidir. Nintendo, Microsoft, Sony gibi firmalar oyun konsolları haricinde; kullanıcılarına daha gerçekçi deneyimler sunabilmek ve oyunları daha eğlenceli hale getirebilmek için haptik geri bildirimler sunan kıyafetler ve VR gözlükler üzerine çalışmaktadırlar. VR gözlükler sayesinde kullanıcı oynadığı oyunda karakterinin görüş açısını 3 boyutlu olarak görebilmekte ve oyun için tasarlanmış olan mekânın içindeymiş gibi hissedebilmektedir. Tesla, Oculus gibi firmaların üretmiş oldukları giysiler ve eldivenler ise kullanıcının oyun içinde yaşanan hava değişimlerinden, oyun karakterinin almış olduğu darbelere kadar kullanıcıyı haptik geri bildirimlerde bulunarak kullanıcı ve oyun karakteri arasında daha gerçekçi bir bağ oluşturmaktadır. VR gözlükler ve Haptik giyilebilir teknoloji ürünleri sayesinde oyunlar daha gerçekçi bir hale gelmektedir.

VR gözlükler oyun endüstrisi dışında gösteri ve etkinliklerinde (tiyatro, dans, konser ve belki ilerleyen dönemlerde sportif aktivitelere) mekâna gitmeden, bir internet bağlantısı sayesinde izlenebilir hale gelmesini sağlayabilmektedir.

Fox Sport Uyarı Tişörtü (Fox Sport Alert Shirt) ise sporcular ve taraftarlar tarafından giyilen bir üründür. Bu ürün sporcunun saha içerisinde yaşadığı hissi ölçerek, sporcudan aldığı verileri taraftarın giydiği tişörte aktarmakta, taraftarların sporcunun sahada ne yaşadığını ya da ne hissettiğini algılamaları sağlamaktadır. Bu sayede sportif aktiviteyi izleyen kişi oyunla ve sporcuyla daha gelişmiş bir bağ kurabilmektedir.

Turizm

Turizm Endüstri Devrimi ile beraber gelişen ulaşım kolaylığının etkisi ve 20. Yüzyılda pazarlama stratejileri ile birçok ülke için ekonomik değeri yüksek bir sektör haline gelmiştir. Kent hayatı ve yoğun çalışma temposu içinde sıkışmışlık yaşayan birçok insan boş zamanlarını farklı yerleri ve kültürleri keşfederek rahatlamaya çalışmaktadır. Giyilebilir teknoloji ürünlerinden olan VR gözlükler sayesinde, günümüzde kullanıcılar bulundukları yerden birçok müzeyi, antik kenti, tarihi eserleri gezebilmekte ve birçok canlı etkinliğe (eğlence turizmi) dahil olabilmeye şansına sahip olabilmektedirler.

3. AKILLI TEKSTİLLER KAVRAMI

Akıllı tekstiller teknik tekstiller içerisinde yer alan, karşılaştığı etkiyi veya etki değişimlerini algılayabilen ve bunun doğrultusunda tepki verebilen ürünlerdir. Genel anlamda teknik tekstilleri geleneksel tekstillerden ayıran en önemli özelliği performans ve fonksiyonelliğin üretim sürecinde ön planda tutulmasıdır. Bu özelliklerinden dolayı teknik tekstiller; uzay sanayisinde, denizcilikte, askeriyede, tıpta, ulaşırmada, endüstride kısaca yüksek teknoloji gerektiren birçok alanda kullanılmaktadır. Teknik tekstiller geleneksel tekstil ürünlerinin sahip olduğu bir problemi çözme amacıyla (örneğin ısı, ultraviyole ışınlar, radyasyon, su geçirmezlik vb.) tasarlanan ürünlerdir. Geleneksel tekstil malzemelerinin aksine teknik tekstil malzemeleri tekstil dışında ürünlerde de (örneğin; araba lastiğinden zeplin ya da balon kumaşına, filtreleme sistemlerinden inşaatlarda yalıtım malzemesine kadar farklı alanlarda) kullanılmaktadır. Teknik tekstiller yüksek ve ileri teknoloji sistemlerini kullanan ve katma değeri yüksek ürünlerdir. Teknik tekstil malzemelerinin çevresel koşullarda karşılaştığı fiziksel etkiler, biyolojik ya da kimyasal tehditleri algılayabilen ve bu durumlara bir tepki verebilir hale gelmesi akıllı tekstiller teriminin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Akıllı tekstiller kısaca mekanik, termal, kimyasal, elektriksel, manyetik veya başka bir kaynaktan gelen çevresel etken ya da uyaranları algılayan ve reaksiyon gösteren malzeme olarak tanımlanabilmektedir (Tao, 2001, s. 2-3) Akıllı tekstil ürünlerini 3 ayrı kategori altında sınıflandırmak mümkündür. Çevresindeki etkiyi ve değişimleri sadece algılayabilen "pasif akıllı tekstiller", algılama sonucu bu etki ya da değişime gerekli olan bir tepki verebiliyorsa "aktif akıllı tekstiller", algılama ve tepkinin dışında özelliklerini yeni karşılaştığı duruma adapte edebilen "çok akıllı tekstiller" olarak sınıflandırılmaktadır.

Almanya Hohenstein Araştırma Enstitüsü ise akıllı tekstilleri: Transfer Sistemleri, Adapte Olabilen Sistemler, Akıllı Giysiler, Aktarıcı Sistemler, Mikroteknoloji ve Nanoteknoloji başlıkları altında sınıflandıran bir sistem oluşturmuştur (Sünter, 2011, s. 5-6)

- Transfer sistemleri (Transfer systems): Neme, basınca ve sıcağa maruz kaldığında belirli aktif maddeler yayan nanokapsüller, moleküler depolar veya mikrokapsüller ile birleştirilmiş tekstil yüzeyleridir.

- Adapte olabilen sistemler (Adaptive systems): Nem, ısı, ışık değişimlerine reaksiyon gösterir ve bu değişimler doğrultusunda çevresel değişimlere uyum sağlar.
- Akıllı giysiler (Smart clothing): Elektronik malzemeler ile tekstil yüzeylerinin birleştirilmesi ile oluşturulan giysilerdir. Bu gruba örnek olarak Owlet Baby Akıllı Çorap gösterilebilir. Çorap, nabız atımını takip ederek bebeğin kalp ritmi ve oksijen seviyesi hakkında verileri ölçümler ve herhangi bir problem durumunda ebeveynleri uyarır.
- Aktarıcı sistemler (Transponder systems): Lazer kodları veya radyo frekans alanları sayesinde akıllı tekstiller içerik yüklenebilen ya da değiştirilebilen minyatürize edilmiş elektronik depo araçlarına dönüştürülür.
- Mikroteknoloji ve Nanoteknoloji: Sensör, aktüatör gibi elektronik parçaların tekstil yüzeyine entegre edilmesiyle elde edilen tekstil grubudur. Google Jacquard Projesi bu gruba örnek olarak verilebilir. Levis ile iş birliği içinde üretilen Google Jacquard tekstil yüzeyinde bulunan teknoloji sayesinde kullanıcı interaktif kot kumaşı yüzeyi sayesinde akıllı cihazlarına müdahale edebilir.

Literatürde en çok kabul gören bir diğer akıllı tekstil sınıflandırması ise Norstebo'ya aittir. Norstebo (2003, s.5) akıllı tekstilleri; Faz değiştiren materyallerden (Phase Change Material) elde edilen akıllı tekstiller, biçimsel hafızalı materyallerden (Shape Memory Materials) elde edilen akıllı tekstiller, kromik materyallerden elde edilen akıllı tekstiller, elektronik/ iletken liflerden elde edilen akıllı tekstiller ve diğer akıllı kumaşlar, tekstiller olarak sınıflandırmıştır.

3.1. Faz Değiştiren Akıllı Tekstiller (PCM)

Bir malzeme ısıtıldığında sıcaklığı artar, soğutulduğunda ise sahip olduğu ısıyı ortama salarak soğur. Faz değiştiren materyaller ise sıcaklık artışı karşısında erime süreci, sıcaklık düşüşü karşısında da kristalleşme eğilimde olduklarından her zaman sabit bir ısıda kalırlar. Bu malzemeler sıcaklık değişimlerine karşılık faz (hal) değiştirirken (örneğin katıdan sıvıya geçiş yaparken) ısıyı emer, depolar ya da yayarak kendi ısı dengesini sağlar. Faz değiştiren materyallerin hal değişimleri sırasında ısıları sabittir. Bu prensipten hareketle faz değiştiren bir materyal, diğer malzemelere nazaran daha fazla ısıyı absorbe eder (Norstebo, 2003, s. 5). Faz değiştiren malzemelere en basit örnek sudur. Suyun katı halden yani buz halinden sıvı hale geçebilmesi için ihtiyaç duyduğu ısı

333,55 J/g'dır, katıdan sıvı hale geçmek için gerekli olan bu ısı miktarı buzun özgül ağırlığıyla alakalıdır. Faz değişimin yaşandığı süreçte sıvı ya da katı haldeki buzun sıcaklık değeri aynıdır.

Sıcaklık belirli bir değere geldiğinde faz değiştiren maddeler katıdan sıvı ya da sıvıdan katıya dönüştüğü için tekstil yüzeylerine mikro kapsüller içinde depolanarak applike edilirler. “Uygulamada dikkat edilmesi gereken hususlardan birisi faz değiştiren materyalin sıcaklık aralığının, uygulama sıcaklık aralığı ile örtüşmesidir” (Norstebo, 2003, s. 5). Faz değiştiren materyal applike edilmiş tekstil ürünleri; ev izolasyonundan etiketleme ve paketlenme, giysilerden araba koltukları ve pusetlere kadar birçok alanda kullanılmaktadır.

Ticari olarak üretilmiş ilk PCM lif Outlast firmasının 1994 yılında piyasaya sürmüş olduğu akrilik liftir. Firmanın ilerleyen yıllarda suni ipek ve polyester üzerine de PCM içeren mikro kapsülleri applike etmeyi başarmıştır. Outlast firmasının ürettiği iplik ve elyaf ile PCM içeren yatak takımları, giysi, ayakkabı, ev mobilyaları, araba koltukları, tekerlekli sandalyeler, vücut zırhı, hayatta kalma giysileri, ortopedik bandajlar, evcil hayvan giysileri ve yatakları üretmek mümkündür ([http-17](http://17)).

3.2. Biçim Hafızalı Akıllı Tekstiller (SMM)

Biçim hafızalı materyaller ısı, ışık, nem, pH, elektrik ve manyetik alan vb. dışsal uyaranlar karşısında form değiştiren malzemelerdir. Form değişimlerinin büyük çoğunluğu ısı değişimleri ile gerçekleşir. Sıcaklık değişimi sonucunda deformasyona uğrayarak form değiştiren bu malzemeler, programlandıkları sıcaklığa maruz bırakıldıklarında orijinal formlarına yani ilk hallerine dönebilen malzemelerdir. Giysi katmanları arasına yerleştirilen biçim hafızalı materyaller ısı değişimlerinde aralarında bulunan hava boşlukları miktarının değişimi sonucunda yalıtım görevi görürler.

Biçim hafızalı polimerler, lif formunda (macro, mikro ve nanolifler), çözelti olarak, film ve köpük şeklinde kumaşlara veya diğer tekstil yüzeylerine entegre edilebilir ve dokusuz yüzeyler, kaplamalar, apre (bitim), laminasyon, dokuma ve örgü gibi tekstil ve giyim uygulamalarında kullanılabilirler (Hu ve vd., 2012'den aktaran Yüce, Yükseloğlu, ve Canoğlu, 2017, s. 42).

3.3. Kromik Akıllı Tekstiller

Renk değiştirebildikleri için bukalemun lifleri de denilen kromik malzemeler, mikro kapsüller içerisinde depolanan floresan boyar maddeler sayesinde tekstil malzemesine boya ya da baskı yoluyla applike edilmektedirler. Mikro kapsüller içerisine depolanmış floresan boyar madde çevresel koşulların etkisiyle renk değiştirir. Floresan maddenin özelliğine göre tepki verdiği çevresel koşullar değişiklik göstermektedir. Bazı boyar maddeler ışığa bazıları ısıya bazıları ise sıvılara tepki verirler. Kromik materyallerden elde edilen akıllı tekstil malzemeleri tepki verdikleri çevresel koşulların ismi ile sınıflandırılmışlardır. Buna göre; termokromik materyaller ısı etkisiyle, fotokromik materyaller ışık (ultraviyole ışınlar dahil) etkisiyle, iyonokromik materyaller pH etkisiyle, elektrokromik materyaller elektrik enerjisinin etkisiyle, piezokromik materyaller basınç etkisiyle, solventkromik materyaller sıvı etkisiyle, carsolkromik materyaller ise elektrik ışınlarının etkisiyle renk değiştirmektedir (Norstebo, 2003, s. 6).

3.4. Elektronik Tekstiller

Geniş bir kullanım alanı ve kapsamı olan akıllı tekstil kavramının içerisinde yer alan ve akıllı tekstillerin bir alt kolu olarak literatürde tanımlanan elektronik tekstiller, tekstil malzemeleri ile elektronik malzemelerin bir arada kullanıldığı ürünlerdir.

Elektronik tekstil ürünleri elektronik parçaların tekstil yüzeyine eklenmesi ya da entegre edilmesi ile üretilebildikleri gibi tekstil yüzeylerinin iletken hale getirilmesi ile de elde edilebilirler.

Tekstil malzemesinin nanoteknoloji sayesinde yaşamış olduğu gelişimler ile iletken hale dönüştürülmesinden önce üretilmiş olan elektronik tekstil ürünleri, tekstil yüzeyine elektronik parçaların eklenmesi, entegre edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Elektronik tekstil ürünlerinin ortaya çıkışının 1850'li yıllara kadar uzandığı belirtilmektedir (Pamuk ve Yıldız, 2021, s. 320). Elektro terapi amacı ile üretilmiş olan kemer ve korselerin elektronik tekstil ürünlerinin başlangıcı olarak değerlendirilmesinin nedeni elektrik aksamı içermeleridir. 1890 yılında "Electric Girl" isimli aydınlatma şirketinin bir kıyafet içine yerleştirmiş olduğu ampul ve bataryalar sayesinde hazırladığı sahne kostümleri ele alındığında teknoloji ile tekstili ve giyimi birleştirme çabasının bundan 150 yıl öncesine kadar uzandığı rahatlıkla söylenbilir. İlk üretilen bu örneklerden 1980li yıllara kadar geçen süreç içerisinde elde edilen ürünlerin esnekliği, yıkanabilirliği gibi özelliklerinin olmaması bu ürünlerin popüler olmasına engel olmuştur. Rijit ve hassas bir yapıya sahip

olan elektronik parçalar görevlerini yerine getirmek için bir enerji kaynağına ihtiyaç duymaktadırlar. Son 30 yıla kadar bu enerji kaynaklarının kapladıkları alanın büyüklüğü, elektronik parça ile enerji kaynağı arasında oluşturulan bağlantıların tekstil yüzeyi üzerine eklenen kablolar ile yapılması bu ürünlerin en büyük sorunlarıydı. Gelişen teknoloji sayesinde elektronik parçaların boyutlarında yaşanan küçülmeler, ihtiyaç duyduğu enerji miktarının azalması, daha dayanıklı ve dirençli hale gelmeleri, daha konforlu olmalarıyla beraber, tekstil yüzeylerine de iletkenlik kazandırılabilmesi sayesinde elektronik tekstil ürünlerini daha uygulanabilir ve daha popüler ürünler haline getirmiştir.

Elektronik tekstil ürünlerini oluşturan elemanları tekstil esaslı malzemeler (iletken elyaf, iletken iplik, iletken tekstil yüzeyleri) ve diğer materyaller (sensörler, led lambalar, GPS ve GSM modülleri, bataryalar, mikroişlemciler, ısıtma panelleri vb.) olarak iki ayrı kategori içerisinde değerlendirilmektedir.

3.4.1. Elektronik tekstilleri oluşturan elemanlar

İletken elyaflar, iletken iplikler, iletken tekstil yüzeyleri elektronik tekstil ürünlerinde kullanılan tekstil esaslı malzemelerdir.

İletken elyaflar doğal yapıları gereği iletkenliğe sahip olabildikleri gibi, farklı malzeme kullanımı ve muameleler sonucu iletkenlik kazandırılanlar olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Liflere sonradan iletkenlik özelliklerinin kazandırılmasında birçok farklı yöntem uygulanabilmektedir. Bu yöntemlerin arasında metal levha ve bantlarla lif eldesi, farklı çekim ve üretim yöntemleriyle lif eldesi ve liflerin çeşitli malzemelerle muamele edilip iletkenlik kazandırılması yöntemleri sayılabilmektedir (Bedeloğlu, Sünter, ve Bozkurt, 2010, s. 10).

İletken iplikler filament halindeki iletken liflerden, kesikli formda üretilmiş iletken liflerden, iletken liflerin veya iletken tellerin çeşitli eğrilme yöntemleriyle beraber eğrilmesinden veya çeşitli kaplama metotlarıyla üretilebilmektedir (Bedeloğlu, Sünter, ve Bozkurt, 2010). İletken iplikler tekstil malzemesinin dokuma veya örme sürecinde atkı ya da çözgü yönünde kullanılmakta ve tekstil yüzeyinin iletken bir yapıya sahip olmasına yardımcı olmaktadır.

İlken tekstil yüzeyleri oluşturmak için iletken elyaftan, iletken ipliklerden yararlanılabildiği gibi özel olarak tasarlanmış iletken yüzeylerde mevcuttur.

Dokuma veya örme sürecinde iletkenlik özelliğine sahip olan iplik kullanımı, iletken tekstil yüzeyi oluşturmak için kullanılan en yaygın yöntemdir. Atkı ya da çözgü yönünde kullanılan iletken ipliklerle oluşturulan konstrüksiyonlar, kullanılacak elektronik komponentler (işlemci, sensör vb.) için bir devrenin sahip olması gereken iletim tabanını oluşturmaktadır. İster kumaşın içine entegre edilen iletken iplikler ya da diğer yöntemlerle elde edilen iletken tekstil yüzeyleri, kullanıcı konforu ve ürünün kullanım kolaylığı açısından avantajlar sağlamaktadır. (Bilir, 2016, s. 77)

Tekstil yüzeylerine iletkenlik kazandırmanın bir diğer yoluysa iletken boyalardır. Bu boyalar fırça yolu ile tekstil yüzeyine sürülebildikleri gibi kalem şeklinde olanları da bulunmaktadır. İletken boyalar bağlayıcı ile içerisinde iletken maddeyi taşıyan katı kısımdan oluşur. Yapısal olarak siyah karbon, grafit, endüstriyel karbon, metal tozları (nikel, çelik, bakır vb.) veya plakalı parçacıkları içermektedirler (Bilir, 2016, s. 90). Yıkabilirlik, esneklik ve bükülebilirlik gibi avantajlara sahip olan tekstil boyaları, kullanım kolaylığı ve maliyetinin uygun olması nedeniyle tercih edilen bir iletkenlik kazandırma yöntemidir.

İletken tekstil yüzeylerine örnek olarak; iletken şeritler, iletken cırt bantlar, iletken boya uygulamaları sayılabilir. Elektronik tekstil ürününün elde edilebilmesi için tasarımın tekstil esaslı olmayan bazı malzemeler içermesi gerekmektedir. Tekstil esaslı olmayan ve elektronik tekstil tasarımında kullanılan ürünler; sensörler, işlemciler, LEDler, GPS/GSM/ Bluetooth modülleri ve bataryalardır.

Herhangi bir dış olguyu (sıcaklık, basınç, nem vb.) elektrik sinyallerine çevirebilen araçlara sensör ya da algılayıcı denilmektedir. Gelişen teknoloji sayesinde sensörlerin darbe dayanımının artması, boyutlarında yaşanan küçülme, dış koşullara daha dirençli hale gelmeleri, en önemlisi de yıkanabilir sensörlerin üretilebilmesi, tekstil malzemesine sensörlerin entegre edilmesini kolaylaştırmıştır.

Tasarımın amacına göre kullanılan sensörler çeşitlilik göstermektedir. Dokunma sensörü, hareket sensörü, kuvvet sensörü, sıcaklık sensörü, kalp atış sensörü, nefes takip sensörü, gaz sensörü, büküm ve strech sensörleri tekstil tasarımında sıklıkla kullanılan sensör çeşitleridir.

Dokunma sensörü; kullanıcının sensörün işlendiği kumaş yüzeyine dokunmasıyla beraber, sensör için tanımlanmış olan komutu yerine getirir. Bu komutlar önceden

programlanmış lojik 1 ve lojik 0 komutlarıyla devreyi açar ve kapatır. Sensörün bağlı olduğu sisteme bu eylemin verisi gönderilir ve yapılması hedeflenen işlem gerçekleştirilir (Işık, 2013, s. 13). Örneğin; Google Jacquard projesinde kullanıcı tekstil yüzeyine dokunarak telefona gelen çağrılara ya da mesajlara yanıt verebilmektedir. Hareket sensörü kullanıcının hareketini algılamak, kuvvet sensörü ise belli bir alana uygulanan kuvveti ölçmektedir. Sıcaklık sensörleri ise ısı değişimini algılayarak direnci değişen maddelerden üretilmektedir. Sıcaklık sayesinde direnci değişen sensörlere termistör denmektedir. PTC (Positive temperature coefficient) tipi sensörlerin sıcaklıkla doğru orantılı olarak dirençleri artarken, NTC (Negative temperature Coefficient) tipi termistörlerin ise sıcaklıkla ters orantılı olarak dirençleri azalır (Erkan, Labview Tabanlı Bir Ani Su Isıtıcı Sisteminin Tasarlanması, 2012, s. 6). Sıcaklık sensörleri ortam sıcaklığını algılamakla beraber, kullanıcı vücut ısısını algılamak içinde kullanılmaktadır. PTC ve NTC sıcaklık sensörleri haricinde giyilebilir teknoloji ürünlerinde kullanılan termokupl sensörler de mevcuttur. Termokupl sensörler; farklı iletkenlik düzeylerine sahip olan iki metalin bir arada kullanılmasıyla elde edilirler. Termokupl sensörler, maruz kaldıkları ısı derecesiyle doğru orantılı elektriksel gerilim oluştururlar (Işık, 2013, s. 49).

Kullanıcının vücut ısısı sıcaklık sensörleri sayesinde ölçümlenebilirken, kalp atış hızını ölçümleyen sensörler kullanıcının yaşamsal verileri takip edilebilmektedir. Kalp atış hızını ölçümleyen sensörler, kalpte meydana gelen elektriksel faaliyetleri algılar ve algılanan bu sinyallerin akım aracılığıyla yükseltilmesi sayesinde oluşturulan verilerin grafiksel olarak elde edilmesinde kullanılmaktadır. Tıp alanında Elektrokardiyogram ölçümü göğüs kısmına yerleştirilen elektrotlar sayesinde yapılmaktadır. Elektronik tekstil ürünlerinde de kullanılanlar ise farklı yöntemlerle giysiye entegre edilebildikleri gibi, tekstil ürünlerinde kullanılmak için tasarlanan kalp atış sensörleri de bulunmaktadır. Marozas ve vd.'nin (2011) yaptıkları çalışmada elde ettikleri tekstil esaslı elektrotlar sahip oldukları yapı sayesinde kullanıcı konforunu olumsuz yönde etkilememektedir. Kalp atış düzeninin takibi spor yapan insanların performans ölçümleri için, yaşlı ve kalp rahatsızlığı olan kişilerin anlık kalp atış düzenlerinin kontrolleri için uygulanmaktadır.

Özellikle hasta ve yalnız yaşayan bireylerde meydana gelebilecek beklenmedik, hayati durumunu etkileyecek veri değişikliklerinin takibi için kalp atış sensörleri önem teşkil etmektedir. Bu sensörlerden elde edilen veriler doğrultusunda gerekli sağlık kuruluşları

ve hastanın yakını ile ürünün iletişime geçmesi, gerekli tıbbi müdahalenin gecikmeden ve çok daha hızlı bir şekilde yapılması sağlanabilmektedir.

Kalp atış hızını ölçümleyen sensörlerle beraber tıbbi verileri elde etmek için kullanılan bir diğer sensör ise nefes alışı takip eden sensörlerdir. Bu sensörler göğsün alt ve üst kesimlerine yerleştirilmektedir. Göğüs kafesinin nefes alıp verirken genişlemesi ve daralmasının etkisi ile bu sensörler yapısal değişikliğe uğrar. Sensördeki uzama ve kısılma gibi yaşanan yapısal değişimler sonucunda oluşan direnç değişimlerinin ölçülmesi sayesinde kullanıcının nefes takibi yapılabilir. (Hancılar ve Ayten, 2021)

Gaz sensörleri ise ortamda bulunan gaz türlerini algılayabilen ve insana zarar verebilecek düzeye ulaştığında uyarı oluşturulabilmesine olanak sağlayan sensörlerdir. Gaz sensörlerinin temel çalışma prensibinde amperometrik oksijen sensörleri, potansiyometrik karbondioksit sensörleri, metal oksit yarı iletken alan etkili transistör, organik iletken polimerler ve piezoelektrik kristal sensörler gaz tespiti için kullanılabilir. (Bilir, 2016, s. 88) Bu sensör tipleri giysiye entegre edilerek kullanıcının bulunduğu ortamın insan sağlığı açısından zararlı olup olmadığının anlaşılması açısından önem teşkil etmektedir.

Büküm ve gerilme sensörleri vücut hareketlerini yakalamak için genellikle eklem yerlerine yerleştirilen sensörlerdir. Bu iki sensör de piezoelektrik prensibi ile çalışmaktadır. Büküm sensörü belli bir açıya kadar kırılmadan bükülebilmektedir ve her açıda farklı bir elektrik direnci oluşturmaktadır. Gerilme sensörü ise uzayıp kısalarak farklı dirençler oluşturmaktadır. Direnç farklarından elde edilen değerler sistem tarafından değerlendirilerek, vücut ve eklemlerin konumu hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir.

Sensörler sayesinde ölçülen verileri yorumlayabilmek ve elektronik komponentlerin kontrolünü sağlamak için mikro işlemciler ya da mikro denetleyiciler kullanılmaktadır. Mikro işlemciler yüksek hesaplama gücüne sahiplerken mikro denetleyiciler daha düşük hesaplama gücünü sahiptirler. Mikro işlemciler ve mikro denetleyiciler önceden yazılmış kodları/programları içinde barındıran gömülü bir önbelleğe sahiptirler. Kodlar ve programlar sayesinde gereken veri analizini yapar ve gerekli komutları yerine getirirler.

Mikro işlemciler ve mikro denetleyiciler, GPS, GSM ve Bluetooth modülleri sayesinde, diğer cihazlara ya da bulut ortamına veri aktarabilmekte ya da oradan gelen verileri alabilmektedir.

Yukarıda sayılan malzemeler dışında, LED lambalar ve ısınma pedleri giyilebilir teknoloji ürünlerinde karşımıza çıkan diğer elektronik malzemelerdir.

Elektronik tekstil ürünlerinin sahip olması gereken güç kaynağını oluşturmak tasarım süreci için ayrı bir problem oluşturmaktadır. Elektronik tekstil ürününün ihtiyaç duyduğu güç kaynağı, bataryalar ya da güneş panelleri gibi farklı yollar sayesinde elde edildiğinde kullanıcı konforu açısından belli sorunlar oluşturmaktadır. Yapısı gereği güç kaynakları; esnek olmayan, tekstil malzemesine kıyasla ağır malzemelerdir. Güç kaynaklarının verimini arttırmak, daha hafif güç kaynakları elde edebilmek ve pillerin tekstil yüzeyine daha kolay yerleştirilebilmesi için esneklik kazanmalarını sağlamak amacıyla iletken pil lifleri tasarlanmıştır. İletken pil lifleri; ince bir film haline getirilmiş olan lityum-iyon filmlerin, lif üzerine kaplanması ile elde edilmektedir. Bu sayede lifler güç kaynağı olma özelliği kazanırken, ürün için ekstra bir güç kaynağı kullanma ihtiyacı ortadan kaldırılmaktadır (Qu vd. 2013).

3.5. Akıllı Tekstil (ve Konfeksiyonun) Gelişim Süreci

Akıllı tekstiller ve konfeksiyonun gelişim süreci akıllılık (ya da zeka) düzeyine göre, entegrasyon derecesine göre ve öz yeterlilik (kendi kendine yetebilme) derecesine göre Şekil 3.1’de görüldüğü gibi üç farklı şekilde değerlendirilebilmektedir (Wu and Li, 2019, s. 6-9).



Şekil 3.1. Akıllı Tekstil ve Konfeksiyonun evrimini özetleyen akış şeması. (Wu and Li, 2019, s. 7)

3.5.1. Akıllılık (ya da zekâ) düzeyine göre

Bu kategorilerden birincisi Tao'nun (2001) tanımına benzer bir şekilde; ürünün zekâ/akıllılık derecesine göre tanımlanmış dört alt başlıktan oluşmaktadır.

- I. Geleneksel akıllı olmayan tekstiller: Wu ve Li akıllı olmayan ama işlevselliği olan pamuk, kaşmir, yün gibi malzemeleri bu başlık altında sınıflandırır. Pamuğun emici özelliği, yünün sıcaklık veren işlevselliklerinden dolayı yazarlar tarafından, geleneksel akıllı olmayan tekstiller olarak tanımlanmalarına neden olmuştur.
- II. Pasif akıllı tekstiller: Tao'nun da tanımladığı gibi çevresel uyarıları algılayabilen fakat tepki vermeyen tekstillerdir.
- III. Aktif akıllı tekstiller: Çevresel uyarıları algılayabilen ve bu uyarılara bir tepki verebilen tekstil ürünleridir.
- IV. Çok akıllı tekstiller: Algılayabilen, tepki veren ve koşullara göre kendini uyarlayabilen, uyum sağlayabilen tekstil ürünleridir.

3.5.2. Entegrasyon derecesine göre

Kullanılan bileşen/malzeme/maddenin tekstil malzemesine hangi düzeyde entegre edildiği ile ilgili olan bu bölüm Hughes-Riley vd.'nin (2018, s. 2) E-tekstil için yaptığı; birinci, ikinci ve üçüncü kuşak tanımlamasının aslında elektronik olmayan akıllı tekstilleri de kapsayacak şekilde yeniden uyarlanmış halidir.

- I. Birinci nesil (dışa bağlı): En düşük entegrasyon derecesine sahip olan birinci nesil, tekstil yüzeyine yapılan uygulamaları ve entegrasyonları içermektedir. İletken mürekkepli baskı devreleri, arduino, sensör, pil ya da batarya gibi malzemelerin kullanımı içeren birinci nesil örnekler kullanılan malzemelerden dolayı sert ve hacimli bir yapıya sahiptirler.
- II. İkinci Nesil (yapıya entegre): İletkenlik oluşturmak için iletken ipliklerin dokunması ya da örülmesi yoluyla elde edilen akıllı tekstil malzemeleridir.
- III. Üçüncü nesil (iplik/elyaf içine entegre): Nanoteknoloji sayesinde üretilen ve iplik/elyaf içine yarı iletken sistemlerin yerleştirilmesi sonucu ortaya çıkan üçüncü nesil akıllı tekstil ürünleri, enerji toplama ve depolama, kendi kendini temizleyebilme gibi özelliklere sahiptirler.
- IV. Dördüncü nesil (doğrudan vücut/cilt üzerinde): Henüz üretimde olmayan, Carole Collet'in "Suicide Pouf" ([http-18](#)) ve McRae ile Tilbury'nin ([http-19](#)) kavramsal sanat çalışmaları gibi potansiyel bir sonraki entegrasyon derecesini tanımlamak için kullanılır.

3.5.3. Öz yeterlilik (kendi kendine yeterlilik) derecesine göre

- I. Geçmiş (bağımlı/sürdürülemez): Yenilemeyen ve doğada yok olmayan malzemelerden üretilen, sürdürülebilirliği olmayan tekstillerdir.
- II. Şimdiki (kendi kendine yeterli/sürdürülebilir): Enerji girişine ihtiyaç duymadan algılama ve tepki verme yeteneklerine sahip, doğada çözünebilir malzemelerden üretilen tekstillerdir.
- III. Gelecek (akıllıca kendi kendine yeterli/sürdürülebilir): Wu ve Li'nin şimdiki yeterlilik seviyesine sahip ürünlerin, gelecekte yapay zekanın da yardımıyla performansı iyileştirmeyi öğrenerek uyum sağlama becerisi kazanacağı öngörüsünden ortaya çıkan potansiyel tekstil ürünleridir.

Wu ve Li'nin yaptığı sınıflandırmalara bakıldığında; gelişmekte olan akıllı tekstil sektörünün gelecekte entegrasyon ve öz yeterlilik anlamında da bir üst seviyeye çıkması beklenmektedir. Başlangıçta elektronik komponentlerin entegre edildiği, ardından tekstil malzemesine iletkenlik kazandırıldığı, günümüzde ise nanoteknoloji sayesinde tekstil yüzeyine farklı özellikler (kendini temizleme, enerji toplama ve depolama, sensör gibi) kazandırılan akıllı tekstil ürünleri, Collet'in ([http-18](#)) 2008 yılında biyolojik olarak uzun yıllar doğada çözülmeyen polyester ve naylon gibi materyaller ile bitkisel bazlı üretmiş

olduğu ipliklerin kombinasyonu sayesinde ürettiği “Suicide Puff” gibi yaklaşımlarla yeni bakış açıları kazanmaya devam edecektir.

Wu ve Li’nin öz yeterlilik seviyesi için belirttikleri gelecek sınıflandırması ise; hala gelişmekte olan yapay zekanın akıllı tekstil malzemelerinin programlanabilen özelliklerine, öğrenebilen ve öğrenirken yeni koşullara uyum sağlayabilen bir beceri kazanabileceğine gönderme yapmaktadır.

Gelecek hakkında yapılan bu öngörüler günümüzde akıllı tekstilleri üzerine yapılan çalışma ve araştırmalara dayandırıldığından; akıllı tekstillerin gelecekte gündelik hayatta daha işlevsel bir yer edineceği olası görünmektedir.



4. İNTERAKTİF (ETKİLEŞİM) KAVRAMI

Etkileşim kelimesi sözlüklerde kişilerin ya da şeylerin karşılıklı olarak etki kurma işi olarak tanımlanmaktadır (http-21; http-22). Bu tanımdan da anlaşılacağı gibi etkileşimin gerçekleşebilmesi için birden fazla kişi ya da şey gerekmektedir. Karşılıklı olarak etki kurmak içinse; tek yönlü olmayan ve devamlılığı olan bir bilgi transferi gerekmektedir. Etkileşim kavramı, bir iletiye tepki olarak oluşan ileti sonucu ortaya çıkan iletişim sürecini tanımlamaktadır. İletişim sürecinde etkileşim için, kaynak tarafından ortaya konan ileti ve alıcı tarafından bu iletiye karşı oluşturulan yeni iletinin geri dönüşünün kaynağa yansıtılması gerekmektedir.

Etkileşim insandan insana, makineden makineye ya da insandan makineye/makineden insana gerçekleşebilmektedir.

Etkileşim tasarımı

İnsandan makineye/makineden insana gerçekleşen etkileşim süreci, dijital teknolojilerin gelişmesiyle beraber karşımıza çıkan ve farklı disiplinlerin multidisipliner çalışması sonucu oluşturulan çok yönlü bir tasarım süreci gerektirmektedir.

1980’li yılların sonralarına doğru Bill Moggridge ve Bill Verplank tarafından önerilen etkileşim tasarımı terimi, Macdonald’ın (2006) dediği gibi içinde bulunduğumuz yüzyılın anahtar tasarım becerilerinden biri haline geldi.

Dijital teknolojilerin gelişmesi insanoğlunun çevresi ve nesnelerle kurmuş olduğu iletişim şeklinde değişimlere yol açtı. Bilgiye ulaşma, veri toplama, dış dünya ile iletişim kurma biçimimiz, oynadığımız oyunlar ve nesnelerden beklentilerimiz değişti. Endüstriyel olarak tasarlanan birçok giyilebilir bilgi işlem ürünün kullanıcı tarafından daha kolay kullanılabilir olması için etkileşim tasarımı alanı ortaya çıktı. Verplank’a göre (Bagnara and Smith, 2006) etkileşim tasarımı, bir bilgisayar terimi olan “kullanıcı arayüzü tasarım” sürecinin endüstriyel nesnelerin tasarımı sürecine uyarlanmış halidir.

Giyilebilir bilgisayarlar ile başlayan ve her yerde karşımıza çıkan bilgi işlem süreçlerinin kullanıcı tarafından daha kolay algılanıp kullanılması arayüz tasarımının başarısı ile doğru orantılıdır. Arayüz tasarımı nesne ile insan arasında oluşacak iletişimin yürütüleceği platformdur. Arayüz sayesinde kullanıcı bilgi teknolojisi sistemine ait bir nesne üzerinde veri girişi yapabilir, önceden girilmiş veriler üzerinde

değişiklik yapabilir, en önemlisi sistemden geri bildirim alabilir. Sistemden geri bildirim alabilmesi ve veri akışının çift yönlü olması etkileşim sürecini karşımıza çıkarmaktadır.

Giyilebilir bilgisayarların gelişmesi, dijital alanlarda yaşanan teknolojik gelişmeler, teknik tekstil alanında yaşanan gelişmeler giyilebilir teknoloji ürünlerinin çeşitliliğini ve insan ile kurmakta oldukları etkileşim düzeyinin artmasını sağlamıştır.

B. Moggridge'in (2007) da belirttiği gibi tasarımcılar artık daha güzel ya da faydacı bir nesne tasarlamakla değil, tasarlanan nesne ile insan etkileşiminin nasıl gerçekleşeceği üzerine yoğunlaşmaktadır. Bir endüstriyel nesne ile insanın etkileşimi farklı düzeylerde ve seviyelerde olabileceği gibi farklı yöntemlerle de gerçekleştirilebilir.

Etkileşimi gerçekleştirmek için tasarlanan ürün sensörler yardımı ile kullanıcıdan belli veriler elde edebilir ve bu verilere yanıt olarak; ses, ışık, sıcaklık, titreşim gibi yollar tercih eder. Etkileşimli nesneler kullanıcı verilerine karşı bir yanıt oluşturmakla beraber (bluetooth WI-FI gibi bağlantılar sayesinde) bağlı oldukları sistem üzerinden de elde ettikleri verilerin aktarımını kullanıcıya yansıtmaktadırlar. Örneğin Nadi X yoga taytı; kullanıcının vücut hareketlerini izleyen sensörleri sayesinde doğru yapılamayan yoga duruşlarında, titreşim göndererek kullanıcıya doğru duruşu bulması konusunda yardımcı olur. Levis ve Google iş birlikteliği ile üretilen Jacquard ise; bağlı olduğu bilgi işlem teknolojisi ürünü olan cep telefonuna gelen aramalar, mesajlar vb iletileri ile telefon ekranını kumaş yüzeyine yansıtarak kullanıcı ile etkileşime geçer. Üründen alınan geri bildirimler bazen ses, ışık, koku bazen de titreşim olabilmektedir.

Etkileşim sürecinin tasarımı karmaşık bir yapıya sahiptir. Macdonald (2006) bu süreci "insan bilişi, kullanım bağlamı, erişim platformu, görev analizi ve kullanıcı deneyimini" içeren bir süreç olarak tanımlar. Etkileşim tasarımı sürecinde insan davranışı ve beklentilerinden, bilgi teknolojisine kadar birçok etmen göz önünde bulundurulmalıdır. Ürünün kullanıcı tarafından doğru ve başarılı bir şekilde kullanılabilmesi için gerekli olan formun elde edilebilmesi, birden fazla becerinin göz önünde bulundurarak tasarımın gerçekleştirilmesine bağlıdır. Kullanıcı beklentilerine karşılık verebilmek için ürünün estetik açıdan güzel ve faydalı olması dışında tercih edilen arayüzünde karmaşık bir yapıya sahip olmaması gerekmektedir.

4.1. Etkileşim Türleri

Literatüre baktığımızda etkileşim süreçlerinin Wenjing (2011, s. 54-56) tarafından ilişki seviyeleri ve etkileşim düzeylerine göre iki farklı şekilde sınıflandırıldığını görürüz

İlişki seviyesine göre nesnenin etkileşimi; iletişimsiz/reaktif, interaktif veya iletişimsel olmak üzere üç farklı seviyede değerlendirilmektedir.

Wenjing'in üç farklı seviyede ele aldığı ilişki durumlarına göz atacak olursak; Birinci ilişki durumunda süreç, etkileşimsiz veya reaktiftir. Bu seviyede eser, çevre ya da insana programlandığı hali ile etki eder. Bu ilişki durumunda karşıdan herhangi bir bilgi almaksızın, tek taraflı olarak gerçekleştirilen bir etkileşim vardır.

İkinci ilişki durumunda süreç interaktiftir. Bu seviyede eser çevresinden bilgi elde edebilir ve bu bilgi doğrultusunda bir tepki verir. Örneğin; kullanıcısının kalp atışına göre renk değiştirebilir.

Üçüncü ilişki durumunda ise süreç iletişimseldir. İlişki durumuna göre değerlendirildiğinde en etkili ve karmaşık ilişki durumu üçüncü seviyedir. Bu seviyede eser kullanıcıya veri aktarırken düzenli olarak kullanıcı verilerini toplar ve arayüz sayesinde yorumlayarak yeni veri akışı oluşturur. Bu süreç döngüseldir. Eser ve insan arasında yinelenen bir veri akışı vardır. Veri akışının düzenli olarak yinelenmesi, bu sürecin iletişimsel süreç olarak tanımlanmasına neden olmaktadır. Bu süreçte kullanıcı ve eser düzenli olarak etkileşim halindedir.

Wenjing etkileşim sürecini etkileşim düzeylerine göre; etkileşim süreci dört farklı seviyede değerlendirilmektedir.

Etkileşimsiz olan birinci düzeyde etkileşim pasiftir. Gönderilen veriye alıcıdan herhangi bir yanıt alınmaz.

Reaktif olan ikinci düzeyde gönderilen veriye yanıt alınır.

Etkileşimli'de süreç aktiftir.

İletişimsel'de ise süreç, karşılıklı veri akışının düzenli olduğu bir etkileşim düzeyidir.

Dijital ürünlerde etkileşim düzeyi ürünün kategorize edilmesi için önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Liu ve Shrum (2002) ise etkileşim sürecini üç seviyede

inceler. Birinci seviyede herhangi bir mesaj ile ilişkisi olmayan bir mesajın iletildiği etkileşimli olmayan; ikinci seviyede yalnızca son mesaja tepki olarak oluşturulan bir mesajın olduğu reaktif; üçüncü seviyede ise birden fazla mesajı olarak oluşturulan mesaj ve döngüselliliğin olduğu etkileşimli süreç bulunmaktadır.

Etkileşim tasarımı endüstri nesnelerinin insan ile olan etkileşim sürecini tasarlamak ile alakalı olduğundan bir nevi makine insan etkileşimi tasarımıdır. Makine ve insan arasında gerçekleşen etkileşim için bir arayüz gerekmektedir. Gerekli olan arayüzler donanım bileşenleri ya da yazılımla oluşturulabilir. Arayüz aracılığıyla belirlenen doğrultudaki iletiler verilere çevrilerek programlanan ve hedeflenen tepki oluşturulur. Veri toplama yöntemleri, veri aktarım hızı ve elektronik cihazların boyutlarında yaşanan teknolojik gelişmeler, kullandığımız akıllı nesnelerin bizler ile olan etkileşim düzeylerini gün geçtikçe arttırmaktadır.

Pasif bir süreç olarak başlayan makine insan etkileşim süreci, kullanıcı beklentileri de göz önünde bulundurulunca iletişimsel bir sürece doğru gelişim göstermektedir.

4.2. Etkileşimli Moda

Moda bireyin toplum içinde diğeri bireyler ile etkileşime girme şeklinin başlangıcıdır. Geleneksel moda anlayışında bir stile sahip olup olmamak, stilin uyumluluğu, tercih edilen ürünün rengi ve deseni, kullanılan aksesuarlar sayesinde bireyler arasında bir dil oluşur. Fakat geleneksel modanın sahip olduğu bu etkileşim dili pasif bir dildir. Etkileşimli moda ise moda kavramının pasif durumdan aktif duruma geçtiği ve Wenjing'in (2011, s. 67) dediği gibi yeni bir moda dilidir. Etkileşimli moda eseri insan ihtiyaçlarına ya da çevre koşullarına göre değişim gösterebilmekte ya da bir tepki oluşturabilmektir. Etkileşimli moda, moda eserini pasif, statik ve sessiz bir konumdan, aktif, dinamik ve iletişim kuran bir eser haline getirir.

"Etkileşim" kavramına dayanan etkileşimli moda, genellikle elektronik mühendisliği ve yeni malzemeleri moda ile birleştirir, kullanıcıya ve gözlemcilere karşı bir geriye dönük tepki olarak yeni moda biçimlerini iletir (Pirhonen vd., 2005, aktaran Wenjing, 2011, s. 69). Wenjing (2011, s. 2) etkileşimsel modayı oluşturan temel öğeleri sıralarken etkileşimi ön koşul olarak gösterirken, elektronik tasarım teknolojisinin etkileşim süreçlerini kurmak ve tüm etkileşimli moda sistemini oluşturmak için temel

gereklilikler arasında olduğunu vurgular. Diğer temel öğeler geleneksel modada olduğu gibi rahatlık ve estetikdir.

Adam Thierer'in (2015, s. 1) "Giyilebilir teknolojiler, veri toplayabilen, etkinlikleri takip edebilen ve deneyimleri kullanıcıların ihtiyaç ve isteklerine göre özelleştirebilen ağ bağlantılı cihazlardır." tanımı günümüz giyilebilir teknoloji ürünlerinin etkileşimli bir kullanıma sahip olması vurgusunu yapmaktadır. Kulaklık, gözlük, saat ve benzeri aksesuar niteliği taşıyan giyilebilir ürünler her ne kadar üzerimizde taşıdığımız teknolojik ürünler olsalar da işlevlerini kendi içlerinde görüp başka bir ürün ile etkileşime geçemedikleri için Thierer'in bakış açısı ele alındığında bu tanım kapsamına girmemektedirler.

Giyilebilir teknoloji ürünleri Thierer'e (2015) göre; "Bu teknolojiler, mikroçipler, sensörler ve kablosuz iletişim yetenekleri ile donatılmış ağı bağlı akıllı cihazların bir alt kümesidir" Bu akıllı cihazlar başka bir nesne ile bağlantı kurarak bir ağ üzerinden veri depolama ya da iletme yeteneğine sahiptirler. Bu işlemleri gerçekleştirebilmek için mikroçip, sensör gibi elektronik donanımlara ve yazılıma sahip olması gerekmektedir. Sensörler aracılığı ile toplanan verinin işlenebilmesi, yazılım sayesinde ise verinin işlenip beklenen tepkinin oluşturulması gerekmektedir.

Giyilebilir teknoloji ürünlerinin sensörler sayesinde vücuttaki kan basıncı, kalp atışı, vücut ısısı ve solunum hızı gibi hayati değerlerde yaşanan değişimleri algılayabilmesi gerekmektedir. Algıladığı bu değişimleri çip aracılığıyla işleyebilmeli ve elde ettiği veriyi kaydedebilmelidir. Kaydedilen veri ürünün etkileşimli olarak tanımlanabilmesi için kızılötesi, bluetooth ya da WI-FI gibi bağlantıları kullanılarak depolanacağı konuma (bilgisayar, cep telefonu, bulut vb.) aktarılabilmelidir.

Etkileşimsel elektronik tekstil ürünlerinde veri aktarımı yapılacak konum ile düzenli bir halde bağlantının sağlanabilmesi, ürünün güç kaynağının kesintisiz bir şekilde devamlılığı, elde edilen verilerin doğruluk oranı gibi etmenler ürün için artı değer oluşturmaktadır. Bu etmenler ürünün pasif etkileşimden aktif etkileşime ve iletişimsel etkileşime geçiş sürecinde önemli bir yer tutmaktadır.

Etkileşimsel moda ürünlerinin, piyasada başarı sağlayabilmesi için göz önünde bulundurması gereken önemli faktörler Hatton'a (2014, s. 32-35) göre; Sürekli etkileşim, alışkanlık oluşturma, sosyal motivasyon ve hedef geliştirmedir.

Etkileşimsel moda ürünü kullanıcının üzerinde taşıdığı her an kullanılabilir aktif olmalı ve etkileşimini sürdürebilmelidir. Etkileşimin kısıtlanması kullanıcı deneyimi açısından kullanıcıda olumsuz bir yargı oluşturacaktır. Kullanıcının sürekli etkileşimi sağlamanın haricinde etkileşimsel moda ürününü kabullenebilmesi için önemli olan bir diğer faktörde; "alışkanlık oluşturma"dır. Veri toplamak, geri bildirim yapmak dışında kullanıcının gündelik hayatında oluşmuş davranış ve alışkanlıklarında değişimler oluşturabilmeli ve bu değişim sayesinde kullanıcı tarafından ürünün kabul edilebilirliği için bir etki oluşturmalıdır. Ürünün başarısı için gerekli olan bir diğer faktör ise "sosyal motivasyon"dur. Sosyal bağlantı insan için temel ihtiyaçlardan birisidir. Eğer ürün oluşturmuş olduğu verileri, ürünü kullanan diğer kullanıcılar ile kıyaslama yapabileceği bir sosyal platformda birleştirebilirse; kullanıcı sosyal bir meydan okuma sağlayabilir ya da kendi verilerini diğer kullanıcı verileri ile kıyaslayarak kendisini motive edebilir. Sürekli etkileşim, alışkanlık oluşturma ve sosyal motivasyonun ardından; ürün, kullanıcının sahip olduğu verileri daha iyi hale getirebilmesi amacıyla "hedef güçlendirmesi" yönünde veri akışı sağlamalıdır. Örneğin egzersiz verilerini ya da koşu verilerini toplayan bir ürünün kullanıcısına sunduğu bir hedef program çizelgesi olmalıdır. Kullanıcı her aktivite sonrasında hedef kontrolü yapabilmeli ve program çizelgesinin hangi düzeyinde olduğu, gelişim için neler yapması gerektiği hakkında net bir fikre sahip olmalıdır. Hedeflenen güçlendirme olumlu sonuçlanmışsa, kullanıcı kendi isteği doğrultusunda talep etmesi halinde, bir üst güçlendirme hedefini programına ekleyerek kendisine yeni bir hedef olarak belirleyebilmelidir.

Etkileşimli moda kullanıcı beklentileri ve deneyimlerini göz ardı etmeden tasarlanmalıdır. Hatton'a (2014) göre; sürekli etkileşim, alışkanlık oluşturma, sosyal motivasyon ve hedef geliştirme ürün tasarımında önemli faktörler olarak karşımıza çıkarken, Wenjing'in (2011) bahsettiği temel öğeleri de göz ardı etmemek gerekmektedir. Wenjing (2011) etkileşimsel modanın temel öğelerini etkileşim, rahatlık ve estetik olarak sıralamaktadır.

Norman'a (2013, s. 4) göre etkileşim tasarımının kaliteli olabilmesi için mühendislik, üretim, ergonomi koşullarını karşılarken biçim ve estetik yönüne de dikkat edilmesi gerekirken, ortaya konan ürünlerin aynı zamanda keyifli ve eğlenceli olması gerekmektedir.

Kullanıcı beklentilerine baktığımızda; ürünün estetik olması, konforlu olması, fonksiyonel olması, kullanıcıya fayda sağlaması, arayüz tasarımının basit olması, makul bir piyasa fiyatının olması, teknik servis olanaklarının gelişmesi, minimum özgül soğurma değeri ve elektromanyetik dalga değerlerine sahip olması, veri gizliliğinin sağlanması öne çıkan başlıklardır. (Hatton, 2014)

Ürünün estetik olması: Moda ürünlerinde kullanıcı beklentilerini ele aldığımızda ilk öne çıkan etmenlerden birisi; ürünün sahip olduğu görünüşünün estetik bir değere sahip olması gerekliliğidir. Örneğin; Hugo Gernsback'in 1963 yılında tasarlamış olduğu tele-gözlük günümüz giyilebilir teknoloji ürünlerinin gelişimi açısından önemli bir değer taşımasına rağmen, sahip olduğu garip görünümü yüzünden kullanıcı tarafından beğenilmemiş ve ürün piyasada beklenen başarıyı elde edememiştir.

Ürün kullanıcının tercih sebebi olabilmesi için iyi bir görünüme sahip olmalıdır. Kullanıcı giyimi ile karakterini topluma yansıtır. W.Shakespeare'in dediği gibi "Elbiseler, insanın ruhudur." Bu nedenle tercih ettiği elektronik tekstil ürününün kullanıcı karakterini yansıtabilecek estetik değerlere sahip olması kullanıcı açısından önemli bir tercih nedeni oluşturmaktadır. Tasarımcılar giysi tasarımından farklı olarak elektronik tekstil ürünleri tasarımında farklı zorluklarla karşılaşmaktadırlar. Kullanılan malzemeler tasarımcıya tasarladığı ürünün sahip olduğu klasik forma ulaşması konusunda zorluklar oluştururken, ürünlerin enerji ihtiyacını gidermek için kullanılan yöntemlerde (pil, güneş paneli vb) tasarımı klasiğin dışında tasarlama zorunluluğu oluşturmaktadır. Tasarımcı ürünü verimlilik açısından ne kadar başarılı tasarlırsa tasarlasın kullanıcı ürünün verimliliği kadar görüntüsünü de önemsemektedir. Sırtı tamamen güneş paneli ile kaplı bir montu giymeyi birçok kullanıcı tercih etmeyecektir. Bu nedenle tasarımcılar bu problemlere çözüm bulmak zorundadır.

Konforlu olması: Kullanıcı açısından ürünün konforlu olması ürün estetiği kadar önemli olan bir diğer faktördür. Elektronik tekstil ürünleri üretiminde kullanılan malzemelerin giysi tasarımında kullanılan malzemelerden farklılıkları, ürünün ağırlığından esnekliğine kadar birçok sorun teşkil etmektedir. Tasarımcı ürünü bu sorunları göz önünde bulundurarak kullanıcı konfor parametrelerine göre tasarlamalıdır. Kullanıcı üzerinde taşıırken ağırlığından dolayı kendisini yoracak ya da yeterli esnekliğe sahip olmadığı için hareket kısıtlılığı yaratan bir ürünü tercih etmeyecektir.

Fonksiyonel olması: Kullanıcının elektronik tekstil ürününü tercih etmesinde önemli olan etmenlerden birisi de fonksiyonel olmasıdır. Ürünün sahip olduğu fonksiyonlar arttıkça kullanıcı ilgisini ve beğenisini daha kolay sağlayabilmektedir.

Kullanıcıya fayda sağlaması: İster eğlence ister sağlık, isterse sportif aktivitelerin takibi açısından olsun; elektronik tekstil ürünü kullanıcıya bir fayda sağlamalıdır. Kullanıcının bu ürünleri tercih etmesinin nedeni yapmakta olduğu eylem hakkında verileri depolayabilmek ve bu veriler doğrultusunda sağlığını, sportif aktivitelerini vb. kontrol altında tutarak kişisel gelişimini izleyebilme olanağını bulabilmesidir. Eğlence (oyun) sektörü ve turizm sektöründe kullanılan ürünler ise kullanıcıya daha gerçekçi deneyimler yaşatarak farklı bir fayda sağlamaktadırlar.

Kullanıcı arayüzü tasarımının karmaşık bir yapıya sahip olmaması: elektronik tekstil ürünlerinin pazar payının gelişebilmesi için tasarlanan arayüzün ortalama düzeyde bir bilgiye sahip olan kişiler tarafından da kolayca kullanılabilmesi gerekmektedir.

Ürün satış fiyatının makul seviyelerde olması: elektronik tekstil ürünlerinin üretiminde kullanılan malzemelerin günümüzde maliyetinin yüksek olması elde edilen nihai ürünün maliyetini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bu maliyetlerin düşürülmesi için birçok firma, araştırma merkezi, üniversite gibi kurumlarda Ar-ge çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda ürün maliyetlerinin düşürülüp daha geniş bir hedef kitleye ulaşılması planlanmaktadır. Günümüzde piyasaya sürülmüş olan ürünlerin hedef kitlesi fiyatlarından dolayı kısıtlı kalmaktadır. Kullanıcı kitlesi daha uygun fiyatlı ürün beklentisindedir.

Teknik servis ihtiyacının kolay karşılanabilmesi: Elektronik tekstil ürünleri sahip oldukları yapıları dolayısıyla zamanla belli teknik arızalar çıkarabilme potansiyeline sahip ürünlerdir. Bu ürünlerin çıkartacakları herhangi bir teknik arıza sonucunda kısa sürede onarılıp kullanıcıya ulaştırılması gerekmektedir. Günümüz kullanıcıları hiçbir ürünün onarımı, değişimi için uzun süreler beklemeyi göze alamayacak sabırsızlık düzeyinde olduğu için, firmalar yeterli teknik servis ağını kurabilmelidir.

Minimum Özgöl Soğurma Değeri (Sar) ve Elektromanyetik Dalga (Emr) değerlerine sahip olması: Gün geçtikçe daha bilinçli hale gelen tüketici kitlesi satın aldığı ürün ya da hizmetin insan sağlığı üzerine yaptığı etkileri de göz önünde

bulundurmaktadır. Yüksek Sar ve Emr değerlerine sahip ürünler uzun süreli kullanımlarda kullanıcı üzerinde olumsuz etkiler yaratacağından kullanıcı tarafından tercih edilmemektedir.

Veri gizliliğinin sağlanması: Kızılötesi, bluetooth ya da wi-fi gibi bağlantılar sayesinde veri aktarımı sağlayan elektronik tekstil ürünleri veri hırsızlığı peşinde olan hackerlar için yeni bir saldırı alanı oluşturmaktadır. Bilgisayar ve akıllı cep telefonları gibi internete bağlanılan her türlü cihazda olduğu gibi verilerin hacker saldırılarından korunabilmesi ve veri güvenliğinin sağlanması kullanıcının önemli beklentilerinden birisidir. Bu beklenti kullanıcıları marka güvenilirliği daha yüksek olan firmaların üretmiş olduğu ürünlere yönlendirmektedir.

Bu beklentiler doğrultusunda kullanıcı açısından etkileşimli moda ürünlerinin olumsuz gözüken yönleri; (Hatton, 2014)

- Kullanıcının yüksek Sar ve Emr değerlerine sürekli maruz kalmasından kaynaklı yaşanabilecek sağlık problemleri,
- Üretim maliyeti, bakım onarım maliyeti (kablolar, sensör, çip bağlantılarla ilgili) ve teknik servis altyapısı eksikliği,
- Bireylerin fiziksel farklılıklarından dolayı işlenecek verilerin bireye göre uyarlanma zorunluluğu,
- Veri gizliliğinin korunabilme zorluğu,

olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.3. İnteraktif Tekstil Türleri

İnteraktif tekstil ürünlerini Wenjing'in (2011) etkileşim süreçleri üzerine yaptığı sınıflandırmaya göre değerlendirmek mümkündür. Wenjing etkileşim süreçlerini; ilişki seviyeleri (iletişimsiz/reaktif, interaktif veya iletişimsel) ve etkileşim düzeylerine göre (etkileşimsiz, reaktif, interaktif, iletişimsel) iki ayrı kategoride sınıflandırmaktadır. Aynı şekilde Tao'da (2001) akıllı tekstil sınıflandırması yaparken ürünün çevresel faktörleri algılayabilmesini ve çevresine tepki verebilmesi gerektiğini belirtip; pasif akıllı tekstiller, aktif akıllı tekstiller, algılama çok akıllı tekstiller sınıflandırmasını yapmaktadır. Wenjing ve Tao'nun yaptıkları sınıflandırmalar, ürünün çevresi ya da kullanıcısı ile olan etkileşim düzeyini tanımlamaktadır. Bir ürünün interaktif olarak tanımlanabilmesi için etkileşim süreci içerisine girmesi gerekmektedir. Gerçekleştirebildiği etkileşim seviyesi ise

interaktif bir ürünün Wenjing ve Tao'nun tanımlarına göre sınıflandırılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu sınıflandırmaların dışında Norstebo'nun (2003); PCMlerden elde edilen akıllı tekstiller, SMMlerden elde edilen akıllı tekstiller, kromik materyallerden elde edilen akıllı tekstiller ve elektronik tekstiller sınıflandırmasının da farklı düzeylerde etkileşim içeren ürünler barındırdıklarını söylemek mümkündür.

Bu sınıflandırmaların her birinin interaktif tekstilleri sınıflandırma konusunda değerlendirilebileceği görülmektedir.



5. SANAL GERÇEKLİK (VR) VE ARTTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) KAVRAMLARI

5.1. Sanal Gerçeklik Kavramı

Sanal gerçeklik terimini daha iyi anlamak için öncelikle etimolojik kökenine bakmak faydalı olacaktır. TDK sözlüğüne göre “sanal” kelimesi gerçekliği olmayan ve sadece zihinde tasarlanan, mevhum, farazi ve tahmini kelimeleri ile açıklanır. “Gerçek” kelimesi ise bu kelimenin tam tersi olarak var olan şeyleri tanımlamaktadır. Birbirine zıt olan bu iki kelime bir araya geldiklerinde var olmayan bir şeyi gerçekte varmış gibi sanmak ya da sanal olan bir şeyin gerçeklik ile bağlantısını kurmak olarak tanımlanabilir (http-23).

İngilizcedeki karşılığı virtual olan kelimenin kökü, insan anlamına gelen viros sözcüğünden gelmektedir. Latincenin ilk zamanlarında vir, karar verme yeteneği anlamına gelmiştir. Skolâstik Latin dünyası Orta çağ’da virtualis’i insanın bir şeyi yapabilme gücü olarak tanımlarken, Cicerus virtus’u ruh; Saint Augustin ise özgürlüğün doğru kullanımı olarak nitelemiştir (http-24).

Farklı yazarlar tarafından farklı tanımları bulunsa da sanal gerçeklik kavramı günümüzde bilgisayar teknolojileri ile içiçe geçmiş ve onunla bir bütün olarak algılanmaktadır. Bilgisayar teknolojisi; kullanıcılar tarafından sayısal bir ortam ve kodlar olarak algılanmasının ötesine geçip grafik tabanlı uygulamalar, 3 boyutlu yazılımlar ve internetin gelişimi sayesinde etkileşimli bir hal alarak geçtiğimiz yüzyıldan tamamen farklı bir evreye geçmiştir. Yaşanan bu teknolojik ilerlemeler sanal gerçeklik ortamlarını oluşturan cihazların gündelik hayatta kullanıma sunulmasına ve her bireyin bu deneyimi yaşayabilmesine olanak sağlamıştır.

Günümüzde sık sık kullanılmaya başlanan sanal gerçeklik kavramının ilk kullanıldığı yer Ray Bradburry’nin 1950 yılında yayınladığı kısa hikayesi The Velvet’dir. Kurbanoglu’nun (1996) aktardığına göre;

Hikâyede varlıklı bir aile, Afrika bozkırlarını görüntü, ses, koku gibi akla gelebilecek her türlü duyuya hitap eden özellikleri ile üç boyutlu olarak temsil eden bir sistemi satın alır ve çocuklarının odasına kurarlar. Çocuklarının bu sanal Afrika dünyasına duydukları tutkunun giderek artmasından endişe duyan ebeveynler bir süre sonra söz konusu sanal dünyayı kaldırmaya karar verir ve bu kararlarını çocuklarına açıkladıktan sonra birdenbire ortadan kaybolurlar. Hikâyenin sonunda sanal dünyadaki sanal Afrika aslanları iki insan vücudunu

parçalamaktadır. Tutkuyla bağlandıkları sanal dünyalarından artık ayrılmak zorunda olmayan çocuklar ise çok mutludur... (Kurbanoğlu, 1996, s. 21-22)

İşte bu hikâyesi ile Bradbury'e sanal gerçeklik kavramının yaratıcısı ünvanı verilmiştir.

Birçok farklı tanımı bulunan sanal gerçeklik kavramını Stone'un ve Oppenheim'in yaptığı tanımlar özetler niteliktedir. Stone'a (1991) göre; sanal gerçeklik insan ve makine arasındaki iletişimi artırmak için geliştirilen, insan duyularına hitap eden bir çoklu ortam (multimedia)dır. Oppenheim'a (1993) göre ise; sanal gerçeklik insan-makine etkileşimini, görsel ve işitsel iletişimle yetinmeyip, hissetme yoluyla artırmaya çalışan bir teknolojidir (Kurbanoğlu, 1996, s. 22).

Literatür incelendiğinde birçok yerde sanal gerçeklik kavramı ile eş anlamlı kullanılan Siber uzay kavramı ile karşılaşılmaktadır. Siber uzay kavramı Latince kybernan (yönetmek, kontrol etmek) sözcüğünden türemiş ve Norbert Wiener'in Sibernetik adlı kitabında geçen makineler ve canlılardaki iletişim ve kontrol mekanizmalarını inceleyen karşılaştırmalı bir bilim tanımını ifade etmede kullanılmıştır (Sürücü, 2017, s. 7).

Amerikalı bilimkurgu yazarı William Gibson'ın 1984 yılında yazdığı ve bilimkurgu külliyatının kült eserleri arasına giren Neuromancer romanı, siber uzay kelimesinin günümüzdeki anlamıyla ilk defa kullanıldığı yerdir. Neuromancer "siberpunk" olarak tanımlanan ve bireyin gelecekteki teknoloji ile olan mücadelesini ve karşılaşılabileceği problemleri ele alan yazın türünün başlangıcını oluşturmuştur. Bu eserde Gibson siber uzay kavramını süper bir bilgisayar ağından oluşan ve herkesin bağlanabildiği bir sistem olarak tanımlamaktadır (Devecioğlu, 1995'ten aktaran Kurbanoğlu, 1996, s. 23).

Literatürden anlaşılacağı gibi ilk defa bilim kurgu romanlarında yer alan sanal gerçeklik ve siberuzay kavramları; medyanın gündelik hayatta önemli bir yer tuttuğu 21. Yüzyıl içerisinde, insana ulaşan enformasyonların insan ve makine etkileşimi ile deneyimlenmesi sonucu sunulan sanal ortamın daha gerçekçi algılanmasını sağlamayı hedeflemektedir. Görsel imgelerin ön plana çıktığı 21. Yüzyılda sanal gerçeklik teknolojisi sayesinde hiç gidilmeyen mekanlar 3 boyutlu modellemeleri sayesinde dolaşabilmekte, sanki oradaymış hissi uyandırılarak deneyimlenebilmektedir. Bilgisayarda oynanan bir oyun ya da izlenen bir film üretilen teknolojiler sayesinde görüntü ile eş zamanlı olarak film karakteri ya da oyun avatarının yaşadığı fiziksel

zorlukları kullanıcıya hissettirebilmektedir. Bu deneyimler kullanıcıya aslında hiç yaşamadığı ya da yaşamaya cesaret edemeyeceği belli deneyimlerin sunulmuş birer imgesel kopyasından ibarettir.

Bu imgesel kopyalar ya da imajlardan oluşan görüntüleme teknolojisinin sanal gerçeklik dünyası ile birleştiği noktada, Baudrillard (2011); “Gerçek, simülasyona dönüştü. Buna yol açarsa kültür endüstrisinin kendisidir. Yaşadığımız evren simülasyon evrenidir,” sözüyle günümüzde imgesel kopyalardan oluşan simülasyonla, gerçekliğin nasıl yer değiştirmekte olduğuna vurgu yapar.

5.2. Sanal Gerçekliğin Temel Unsurları

Sanal imgelerin gerçekliğin yerini alabilmesi için kullanıcının oluşturulan sanal evren ile kurmakta olduğu bağın olabildiğince güçlü olması gerekmektedir. Sanal gerçeklik deneyimi insan ve makine etkileşimi sonucu ortaya çıkan bir kavramdır. Bu deneyim için gerekli olan belli temel unsurlar vardır. 2000’li yılların başlarında William Sherman ve Alan Craig sanal gerçeklik deneyiminin dört temel unsurundan bahseder. Bunlar; sanal dünya, içine girme, duygusal geri bildirim ve etkileşimdir (Sherman and Craig, 2003). 2019 yılında yeni baskısını yaptıkları kitaplarında bir beşinci temel unsur olarak; katılımcılar ve içerik oluşturucuların öneminden bahsederler. Sanal gerçeklik deneyimini her katılımcı kendine has bir şekilde deneyimler. Bireylerin referans çizgileri, deneyimleri, algı ve yorumlarında oluşan farklılaşmalar, sanal dünya ortamını diğer bireylerden farklı bir şekilde deneyimlemesine neden olmaktadır. Çünkü sanal gerçeklik denilen kavram bütün büyüsunü katılımcısının zihninde gerçekleştirilmektedir. Beşinci temel unsur ise içerik oluşturuculardır. Sherman ve Craig’in (2019) kitaplarının ikinci bölümünde daha ayrıntılı aktardıkları gibi aslında medya bize içerik üreten bir sanal dünyadır. Zihnimizde kavramların oluşturduğu imgeler yönlendirilmeler ile bir yere çekilir. Örneğin kitap kelimesi insan zihninde bir sürü şey çağrıştırırken spesifik bir kitap ismi belirtildiğinde düşünce sadece o kitaba odaklanır. İçerik üreticilerin medya araçlarında yaptıkları bu yönlendirmelerin bir benzeri sanal ortam tasarımcısının yaptığı ile özdeşleşir. Katılımcının sanal ortamdan alabileceği deneyim tasarımcının/içerik üreticinin sunabildiği kadardır (Sherman and Craig, 2019, s. 61-109).

Sanal Dünya

Dijital olarak oluşturulmuş olan ortamın ana içeriğidir. Sanal dünya bir sanal gerçeklik sistemi içinde görüntülenmeden var olamaz. Var olan sanal dünyanın deneyimi için belli başlı ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Oluşturulmuş bir dijital veri ortamı (sanal dünya evreni), bu ortamı görüntülemek için bir ekran ya da gözlük sanal dünya deneyimi için gerekli olan başlıca ekipmanlardır.

İçine Girme

Sanal dünyanın başlıca amacı; kullanıcıyı zihinsel olarak içinde bulunduğu ortamdan soyutlayarak, sanal dünyanın içine dahil edebilmek ve ona odaklanmasını sağlamaktır. Deneyim sürecinde kullanıcı dış etkenlerden ne kadar soyutlanabilirse, örneğin sanal dünyanın sunulduğu bir araç olan ekrana değil, ekranın sunmuş olduğu içeriğe odaklanabilirse deneyimin etkisi daha gerçekçi olacaktır. Deneyimin gerçekliğinin arttırılması amacıyla ekran ve VR gözlük teknolojisi çalışmalarında artış, dijital ortamlarda kullanılan grafik kalitesinin artışı sanal ortamın içine girme deneyimini mümkün hale getirmektedir.

Duyusal Geri bildirim

Sanal ortamda yapılan eylemlerin, avatarın konumu ve mekânsal özelliklerin kullanıcı tarafından da hissedilebilmesi duyuşal geri bildirim sağlayan donanımlarla mümkün olabilmektedir. Kullanıcının vücut hareketlerini avatara yansıtan donanımlar, sanal dünya ortamında avatarın maruz kaldığı koşulların kullanıcıya aktarımını sağlayan giyilebilir teknoloji ürünleri, sanal ortamı kullanıcının daha gerçekçi hissetmesine ve içine daldığı ortamdan daha fazla etkilenmesine olanak sağlamaktadır.

Etkileşim

Sanal dünya ve kullanıcı arasında bir etkileşim gerçekleşmelidir. Makine ve insan etkileşimi olarak tanımlanan bu etkileşimin hangi düzeyde olduğu ve kullanıcının ne kadar sanal dünyanın içindeymiş hissini alabilmesi VR gözlükler, haptik kıyafetler ve kullanılan donanımların gelişmişlik düzeyi ile doğru orantılıdır. Gerçeklik hissini artabilmesi için kullanıcı sanal ortam içerisinde deneyimlediği dünyaya müdahale edebilmelidir. Ortam içerisinde bulunan nesneleri yönlendirebilmeli, vücut hareketlerinin yansımalarını sanal ortamda oluşturulan avatara aktarabilmelidir. Ama sadece bu durum

sanal dünyanın içine dalınabilmesi için yeterli değildir. Kullanıcı sanal dünyaya müdahale edebildiği gibi o dünyanın yansımını da gerçek dünyada hissetmek isteyecektir. Bu nedenle üretilen haptik giyilebilir teknoloji ürünleri kullanıcıya avatarın maruz kaldığı fiziksel durumları birebir aktarmayı hedeflemektedir. İnsan makine etkileşimi bu ürünler sayesinde geri bildirim alınabilen ve makineden de insana etkileşim oluşmasını sağlayan çift yönlü bir veri akışı sağlamaktadır. Kullanılan ekipman sayısının artması ya da ekipmanın özellikleri, sanal dünya deneyiminin gerçek dünyada var olan kullanıcıya daha gerçekçi aktarılmasına olanak sağlar. Kullanıcı sanal evrene müdahale edebildiği gibi sanal evreni hissedebildiği düzeyde etkileşim oranı artar ve deneyim gerçekliğe daha yakın bir hale gelir.

5.3. Sanal Gerçekliğin Tarihsel Gelişimi

Sanal Gerçekliğin tarihsel gelişimine verilebilecek farklı birçok örnek olmasına rağmen bu bölümde; “Understanding Virtual Reality: Interface, Application and Design” (Sherman and Craig, 2019) adlı kitaptan uyarlanarak ve sadeleştirilerek hazırlanmıştır. Belirtilen kaynaktan yer almayan ama önemli görülen ve sanal gerçeklik için kilometre taşı olabilecek gelişmeler kronolojik listeye eklenmiştir.

1916- Albert B. Pratt, başa takılarak kullanılmak üzere periskopik bir ekran tasarımı yaptı. Bu tasarım sanal gerçeklik tarihi için önemli bir yere sahiptir ve görüntüleme alanında insanın bakış açısını değiştirmek üzerine yapılan ilk çalışmadır.

1929- Edward Link tasarladığı uçuş simülatörünün ilk modelini piyasaya sürdü. Link Trainer ismiyle anılan bu simülatör pilotaj eğitimine yeni bir olanak sunmuştur.

1946- ENIAC tasarlandı. Pensilvanya Üniversitesinde Amerikan Ordusu için geliştirilen ENIAC ilk programlanabilen elektronik ve dijital bilgisayar olarak tarihe geçmiştir.

1956- Morton Heilig tarafından tasarlanıp geliştirilen Sensorama'nın tanıtımı yapıldı. Stereo ses sistemi, stereoskopik renkli görüntü sistemi, koku yayıcıları, hareketli sandalyesi ve rüzgâr efekti verebilen fanlarıyla Sensorama duyuşsal teknolojinin bilinen en eski örneğidir. Sensoroma ilk sanal gerçeklik sistemlerden biri olarak kabul edilmektedir.

1961- Comeau ve Bryan, Headsight adını verdikleri HMD ürettirler. Bilgisayar simülasyonu için üretilen bir ürün olmamasına rağmen, göz hareketlerini algılayabilme potansiyeli sayesinde kendisinden sonra gelen ürünler için önemli bir üründür.

1963- Ivan Sutherland MIT’de doktora öğrencisiyken Sketchpad’i tasarladı. Bu ürün interaktif bilgisayar tabanlı grafik dünyasına çizim yaparak veri girişi sağlanabilmesine olanak sağlamıştır.

1968- Bob Sproull ve Ivan Sutherland tarafından tasarlanan stereoskopik HMD tanıtıldı. “Demokles’in Kılıcı” ismi verilen bu ürün; bilgisayarda oluşturulmuş grafiksel görsellerde, kullanıcının baktığı yönde konum değiştirebiliyordu. Bu özelliği görseli sabit bir durum olmaktan çıkararak, kullanıcının kafa hareketi ve bakış açısına göre sunmasıyla sanal gerçeklik için önemli bir çalışma olmasını sağlamıştır ([http-25](http://25)).

1968- Sanatçı Myron Krueger, VIDEOPLACE’i geliştirmiştir. 1970’lerin başında Myron Krueger bilgisayarda oluşturulan çevrelerle ilgili bazı deneyler yapmış ve birkaç adet bilgisayar sanatı projesi gerçekleştirmiştir. Bilgisayarlar seyircilerin çeşitli jestlerini yorumlayarak ve çeşitli hareketleri öngörerek karşılık vermektedir. Seyirciler videoda oluşmuş silüetlerine dokunabilmekte ve etkileşebilmektedirler. Sistem “Videoplace” adındaki sistem Krueger tarafından “yapay gerçeklik (artificial reality)” olarak adlandırılmıştır (Krueger, Gionfriddo and Hinrichsen, 1985).

1977- MIT’de geliştirilen “Aspen Film Haritası” simülasyon sayesinde kullanıcıların sanal bir tura katılmaları sağlanmıştır. Bu çalışma mekânsal uygulamalar açısından değerlendirildiğinde ilk örneklerden birisidir.

1979- Eric Howlett LEEP görüntü sistemini geliştirmiştir. Leep kullanıcıya ekstra perspektif sağlayan, geniş açılı bir stereoskopik görüntü sistemidir. Bu görüntü sistemi ilerleyen yıllarda NASA tarafından HMDlere entegre edilmiş, sistemin teknik özellikleri kendisinden sonra gelen VR görüntüleme sistemlerinin temelini oluşturmuştur.

1977- Daniel Sandin ve Thomas Defanti ilk veri eldiveni olan Sayre Glove’u icat etmiştir.

1982- Armstrong Tıbbi Araştırma Laboratuvarı’nda Thomas Furness ve ekibi “süper kokpit” ismini verdikleri uçuş simülasyonunu tasarladılar. HMD ile desteklenen

bu uçuş simülasyonu sayesinde kullanıcı daha gerçekçi bir deneyime sahip olma olanağı bulmuştur.

1984- NASA çalışanlarından Michael Grevvy stereoskopik HMD tasarlarken aynı yıl Scott Fisher de VIEW (Virtual Interface Environment Workstation) isimli aracı geliştirmiştir. “VIEW; bilgisayar grafikleri, video görüntüleme, 3 boyutlu ses, ses tanıma ve sentezleme, HMD ve veri eldiveni gibi standart sanal gerçeklik araçlarını içermektedir (Şeker, 2006, s. 36).”

1984- William Gibson Cyberspace (Siberuzay) kavramını Neuromancer romanıyla duyurmuştur.

1984- Jaron Lanier ve Thomas Zimmerman VPL (sanal programlama dilleri) Research’ü kurdu. VPL Research sanal gerçeklik ürünlerini tasarlayıp kitlesel olarak pazarlayan ilk şirkettir. Firma veri eldiveni, HMD ve DataSuit gibi ürünler üzerine çalışmalar yaptı. Jaron Lanier aynı zamanda 1987 yılında sanal gerçeklik terimini ilk kullanan kişi olmuştur.

1990- Tom Caudell ilk defa arttırılmış gerçeklik terimini kullanmıştır. Aynı yıl Jim Kramer CyberGlove’u piyasaya sürmüştür.

1991- İlk VR oyun sistemi piyasaya sürülmüştür. Amiga 3000 ile destelenen oyun sistemi bir HMD, koltuk ve joysticklerden oluşmaktadır.

1991- Düzenlediği konferansta SIGGRAPH (Bilgisayar Grafikleri ve Etkileşimli Teknikler üzerine Uluslararası Bilgisayar Makineleri Özel İlgi Grubu Derneği) VR teknolojisinin ilk jürili sergisini açmıştır. Bilgisayar grafikleri üzerine düzenlenen konferansların 1991 yılında ana teması VR teknolojileridir. Konferansta Tomorrow's Realities adında, VR teknolojisi ve uygulamasında önemli bir gelişmeyi sağlayacak bir sanal ortam tanıtımı yapmıştır.

1992- SIGGRAPH’92 konferansında Illinois Üniversitesi’nin geliştirmiş olduğu The CAVE (Cave Automated Virtual Environment) (VR Mağara) tanıtılmıştır. Carolina Cruz-Neira tarafından geliştirilen bu görüntüleme sistemi; kullanıcının görüş alanının tamamını kaplayan stereoskopik ekranlarla kaplanmasıyla oluşturulmuştur. Bu görüntüleme tekniği ile kullanıcı izlediği görüntünün içine daha fazla dahil olabilmekte ve VR daha etkin hale gelebilmektedir.

- 1993- LCD ekran ve stereo kulaklık içeren Sega VR gözlüğü piyasaya sürülmüştür.
- 1994- SIGGRAPH kongresinde 3B etkileşimli bir çalışma alanı olan Responsive Workbench, GMD tarafından tanıtılmıştır.
- 1994- SegaWorld oyun salonlarında Sega, VR-1 hareket simülatörünün tanıtımını yapmıştır.
- 1995- Nintendo 3B grafikleri görüntüleyebilen ilk taşınabilir konsol Virtual Boy'u piyasaya sürmüştür.
- 1995- İlk sanal kadavra ABD'de gerçekleştirilmiş ve Internet üzerinde kullanıma sunulmuştur. Ölüme mahkûm bir hükümlünün bilimsel araştırmalar için bağışladığı cesedi 2000'e yakın parçaya ayrılarak her parçanın fotoğrafları, röntgenleri ve sayısal verileri ile bir sanal kadavra oluşturulmuştur. (Kurbanoğlu, Sanal gerçeklik: Gerçek mi, değil mi?, 1996, s. 27)
- 1997- Virtual Technologies şirketi el hareketleri geri bildirimine dayalı bir cihaz olan CyberGrasp'i tanıtmıştır.
- 1999- Artırılmış gerçeklik için Washington Üniversitesi, HITLab ve ATR Media şirketleri ortaklığı tarafından tasarlanan açık kaynaklı, ücretsiz ARToolKit piyasaya sunulmuştur.
- 2000- İlk 6 yüzlü CAVE Iowa Şehir Üniversitesi tarafından kurulmuştur.
- 2007- Google Street View'in tanıtımını yapmıştır.
- 2013 – Valve şirketi VR içeriğini görüntülemenin bir yolunu bularak ve bunun nasıl yapılabileceğini diğer üreticilerle paylaşmıştır.
- 2014- Google AR gözlüğünü piyasaya sürmüştür.
- 2014- Samsung mikro-USB bağlantısı sayesinde mobil cihazlara bağlanabilen, yüksek görüş alanına sahip Samsung Gear VR gözlüğünü piyasaya sürmüştür.
- 2015- HTC Vive piyasaya sürülmüştür. Vive; yüksek çözünürlüklü stereoskopik ekrana sahip HMD, hassas konum takibi için kızılötesi ışık emisyonlarını içeren baz istasyonları ve fiziksel etkileşimler için gömülü sensörler ve aktüatörlere sahip kontrolörlerden içinde barındıran bir paketten oluşmaktadır.

2016- Oculus Rift, Kickstarter kitle fonlamasından aldığı destek ile ilk nesil HMD ürününü piyasaya sürmüştür.

2016- Sony firması PlayStation 4 ile uyumlu VR başlığını piyasaya sürmüştür.

2016- Niantic şirketi Pokemon GO uygulamasını piyasaya sürmüştür. Uygulama gerçek dünya üzerinde AR teknolojisi ile Pokemeon'un dijital modelini oluşturmaktadır.

2018- Snapdragon 845 VR geliştirme kiti piyasaya sürülmüştür.

1916 yılında HMD ile başlayan görüntü ile etkileşim süreci gelişen teknoloji sayesinde bir görüntüyü izlemekten öteye geçerek, bir simülasyon ortamı içerisine dalınan ve gözlükler dışında dokunsal geri bildirim destekleriyle kullanıcı deneyiminin gerçeklik düzeyini üst seviyeye çıkaran bir noktaya ulaşmıştır. Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik kavramları artık bir simülasyon içerisinde bir görüntü izlemekten fazlası haline gelerek, tasarlanan sanal ortamın içerisinde var olmaya doğru gelişim göstermektedir. Sanal gerçeklik tasarımcıları teknolojinin de verdiği olanaklarla artık bir ortam değil bir dünya hatta bir evren tasarlamaya başlamışlardır. İçerik tasarlayıcılar tarafından hazırlanan bu sanal evrenler grafik MUD'lar, ayna dünyalar gibi genel kabul görmemiş kavramlarla tanımlanmaya çalışılmıştır. Stephenson'un 1992 yılında yazdığı Snow Crash kitabında ilk defa kullandığı Metaverse kavramı ise günümüzde bu sanal evrenler için artık kabul görmüş bir tanımlama olmuştur (Damer, 2008, s. 97; Dionisio, Burns and Gilbert, 2013, s. 34:7). Yunanca öte anlamına gelen meta kelimesi ile universe kelimesinin birleşiminden doğan metaverse kelimesi (Dionisio, Burns and Gilbert, 2013, s. 34:6), 21. yüzyıl insanına evren ötesi bir dünya vadetmektedir. Mystakidis'in (2022) tanımına göre; "metaverse, fiziksel gerçekliği dijital sanallıkla birleştiren sürekli ve kalıcı çok kullanıcı bir ortam olan gerçeklik sonrası evrendir."

5.4. Sanal Gerçekliğin Kullanım Alanları

Bilgisayarların insan hayatının birçok alanında vazgeçilmez bir nesne haline gelmesi, kızılötesi, bluetooth gibi veri aktarımı olanaklarının gün geçtikçe daha hızlı ve stabil çalışabilir olması, grafik kartları ve CAD/CAM programlarında yaşanan gelişmeler sanal gerçeklik sistemlerinin yaygınlaşmasını ve birçok alanda kullanım olanağı bulmasını sağlamıştır. Örneğin; bir doktor adayı üretilen sanal kadavra üzerinde kendisini deneyimleyerek pratik yapma ihtiyacını giderebilmekte ya da bir pilot/sürücü sanal gerçeklik sayesinde kullanacağı araca daha kolay uyum sağlayabilmektedir. Oldukça

geniş bir kullanım alanına sahip olan sanal gerçeklik ve onu oluşturan öğelerin gelişimi birçok kamuya ya da özel sektöre ait şirket, uluslararası ve ulusal organizasyon tarafından desteklenmekte, yürütülen Ar-Ge çalışmalarına ciddi miktarlarda yatırımlar yapılmaktadır. Bu sistemlerin kullanım alanı bulduğu başlıca sektörleri; eğitim (askeri eğitim, uçuş eğitimi, uzay çalışmaları için astronotların eğitimi vb.), sağlık, eğlence (turizm, video oyunları, sinema vb.), pazarlama, mühendislik, endüstriyel tasarım, mimari, sanat ve imalat olarak sıralamak mümkündür.

5.4.1. Sanal gerçeklik ortamı

Sanal gerçeklik sistemlerine ve sanal dünya üzerinde kendi evrenini oluşturmak için Ar-Ge çalışmaları yapan şirketlerin (aynı zamanda da kullanıcının) en önemli beklentileri; ortam içerisinde oluşturulan simülasyonların gerçekçiliği, bu ortamın nasıl tasarlanıp üretileceği, bu ortamı kullanan bireylerin kullanım şekilleri ve ortam içindeki davranışlarının nasıl kontrol altında tutulacağı, oluşturulan çevrenin nasıl kontrol altında tutulup yönetileceğidir. Whyte'a (2002, s. 4-6) göre; sanal gerçeklik bir ortam olarak düşünüldüğünde üç karakteristik özelliği vardır. Bu üç özellik sanal gerçeklik ortamının; etkileşimli, uzaysal ve gerçek zamanlı olmasıdır.

Etkileşimli: Kullanıcılar günümüzde sahip olduğumuz teknolojiler sayesinde modellenen ortam ile etkileşime girebilirler.

Uzaysal: Modellenen ortam 3 boyutlu olarak tasarlanır. Tasarımın 3 boyutlu olması kullanıcının ortam içerisinde poligonal hareketini mümkün kılar.

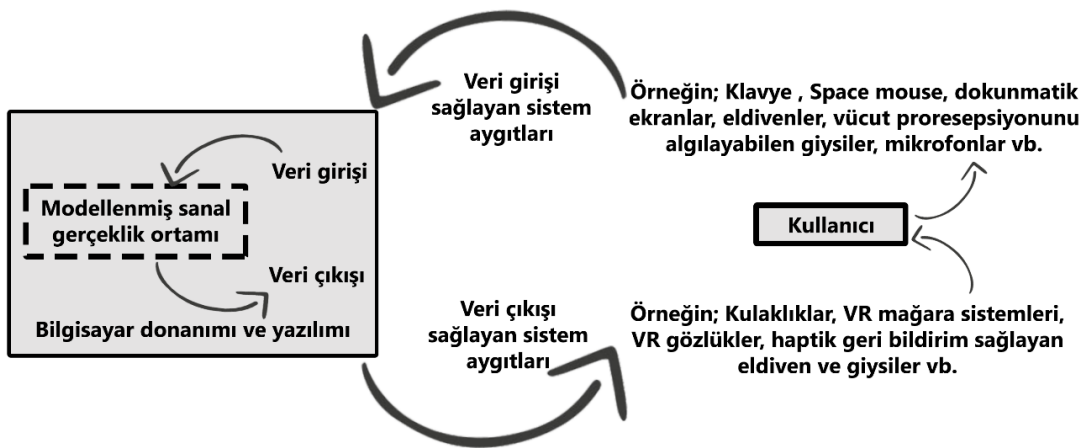
Gerçek zamanlı: Ortam içerisinde gerçekleşen durumlar gerçek dünyada, üretilen geri bildirim teknolojileri sayesinde eşzamanlı olarak algılanabilir.

Bu üç karakteristiğin dereceleri, duruma göre değişkenlik gösterebilir. Whyte'a (2002) göre; sanal gerçekliğin bir ortam olarak tanımlanabilmesi için az da olsa etkileşim içermesi gerekir. Kullanıcı oluşturulan ortam içerisinde; nesnelerin yerini değiştirebilmeli, gerekirse yeni nesneler oluşturabilmeli, ortam içerisinde gezinebilmeli ve gideceği/bakacağı yere kendisi karar verebilmelidir. Kullanıcının kendi kararlarını verebilmesi, oluşturulan sanal gerçeklik evrenini animasyon ve gezinti ortamlarından ayıran bir özelliğidir. Kullanıcı etkileşiminin olmadığı bir sanal gerçeklik ortamı olabilmesi mümkün değildir.

5.4.2. Sanal gerçeklik sistemleri

Sanal gerçeklik oluşturmak için, 3 boyutlu bir ortam tasarlanması gerekmektedir. Elde edilen bu ortamın görüntülenebilmesi için bir görüntüleme cihazına ihtiyaç duyulmaktadır. Mekânsal olarak elde edilen 3 boyutlu ortamın kullanıcı ile etkileşime geçebilmesi için yani kullanıcıdan aldığı verileri ortam içerisine, ortamdaki verileri de kullanıcıya aktarabilmesi içinde özel olarak tasarlanmış nesnelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nesneler de tasarlanan ortam gibi özel bir donanım ve yazılıma sahiptirler. Sahip oldukları donanım ve yazılım sayesinde gerçek dünya ile oluşturulan sanal gerçeklik ortamı arasında etkileşimin gerçekleşmesini sağlarlar.

Klavye, space mouse, dokunmatik ekranlar, sensörler sayesinde kullanıcının gerçek dünyadaki proresepsiyonunu algılayabilen giysiler, eldivenler, mikrofonlar vb. sayesinde elde edilen veriler bilgisayara; kablo bağlantıları, kızılötesi, RFF, bluetooth gibi veri aktarım yolları ile aktarılır. Bilgisayar elde ettiği bu verileri modellenmiş olan sanal gerçeklik ortamı üzerinde işler. Sanal gerçeklik ortamı oluşturduğu yeni verileri bilgisayar aracılığıyla kullanıcıya aktarır. Bilgisayardan yapılan veri çıkışının kullanıcıya iletilmesi için; kulaklıklar, VR gözlükler, VR mağara sistemleri, haptik geri bildirim sağlayan eldiven ve giysiler vb. cihazlardan yararlanılır Şekil 5.1’de görüldüğü gibi; kullanıcı bilgisayardan gelen verileri algılar ve yeni verilerle bir döngü oluşturarak, bilgisayarla arasında süregelen bir etkileşim süreci içerisine girer.

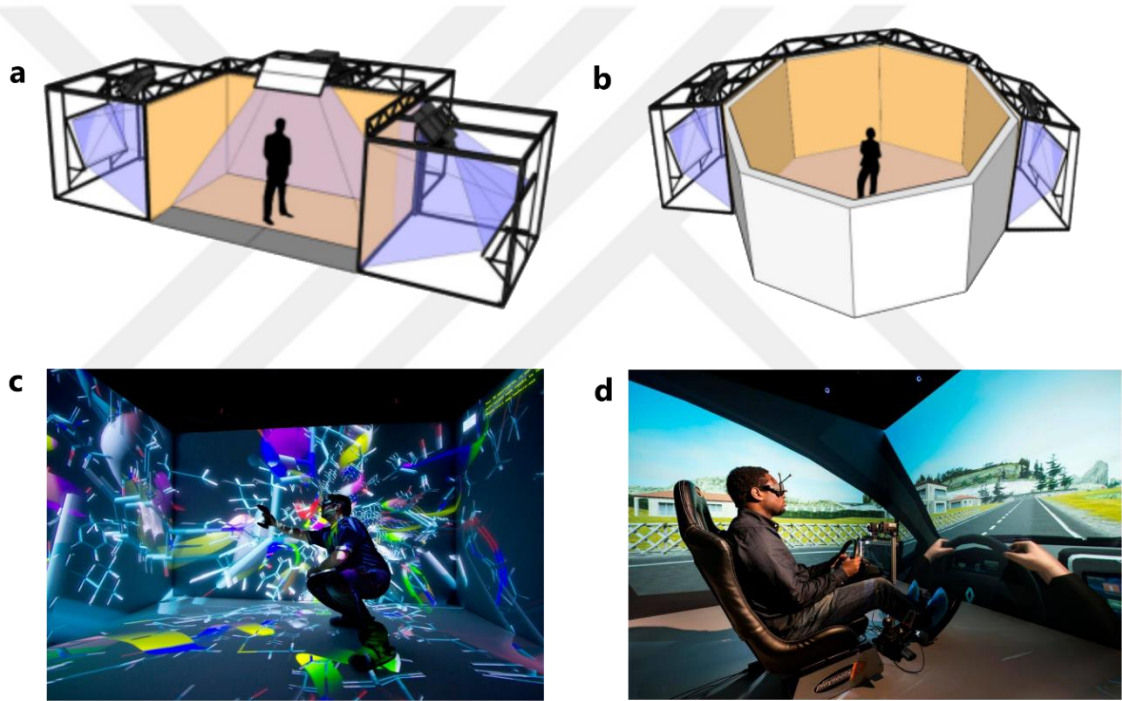


Şekil 5.1. Sanal gerçeklik Sistemleri (Whyte, 2002)

İnsan bilgisayar etkileşimini destekleyen bu nesnelerden görüntüleme cihazlarının türü ve sahip oldukları görsel kalite, ortam içerisine ne kadar dahil olunabileceğinin

sınırını oluşturmaktadır. Whyte (2002, s.4) kullanılan ekipmanlara göre bu sistemleri; sürükleyici (immersive), sürükleyici olmayan (non-immersive) ve artırılmış gerçeklik (augmented reality) olarak sınıflandırmaktadır.

Sürükleyici sistemler; gerçeklik hissi en yüksek olan ve kullanıcıyı tamamen sanal ortam içindeymiş hissiyle saran sistemlerdir. Bu sınıflandırma içerisinde en kapsamlı olan sürükleyici sistemler; tam panoramik görüntü sunabilen özel tasarlanmış odalar/VR mağaralar, VR gözlükler sayesinde kullanıcıya sanal gerçeklik ortamının içinde olma hissini vermektedir (Bkz. Görsel 5.1). IJsselsteijn vd. (2000) “orada olma” diye tanımladıkları bu hissi, Gigante vd. (1993) “gerçek sanal gerçeklik sistemleri için gerekli” bir koşul olarak tanımlar.



Görsel 5.1. Sürükleyici sanal ortamlar için VR mağara ve uygulama örnekleri. a. VR Mağara (3 duvar ve zeminden oluşan mağara modellemesi), b. Sekizgen VR mağara (8 duvar ve zeminden oluşan mağara modellemesi), c ve d. VR mağara uygulaması örnekleri

Sürükleyici olmayan sistemler; kullanıcının sanal gerçeklik ortamına tam dahil olamadığı ve reel dünya ile bağlantısını tam koparamadığı sistemlerdir. Kullanıcı bu sistemleri bir mobil cihaz ya da ekran üzerinden görüntülerken, ortam içerisinde hareket edebilmesi için ekranı hareket ettirmek zorunda kalmaktadır. Kullanıcı sahip olduğu görüş açısını tam kaplamayan bu sistemlerde sanal gerçeklik ortamına bir ekran üzerinde kısmi olarak dahil olmaktadır.

Arttırılmış gerçeklik sisteminde; sanal gerçeklik için üretilen görseller gerçek dünya görüntüleri ile üst üste bindirilerek kullanıcıya sunulur. Azuma (1997, s. 2) tamamen sentetik olan sanal gerçeklik ortamıyla tamamen gerçek olan dünya arasında oluşturulan bir “orta yol” olduğunu vurgulamaktadır. Arttırılmış gerçeklikteki amaç; fiziki gerçeklik algısıyla elde edilen bilgiye sayısal bir bilgi eklemesi yapmaktır. Böylece kullanıcının algısının kuvvetlendirilerek hedef mekân, yapı ya da obje ile alakalı daha fazla bilgiye sahip olması hedeflenmektedir (Coşkun, 2017).



6. HAPTİK KAVRAMI VE HAPTİK TEKSTİL

6.1. Haptik Kavramı

James J. Gibson’a (1904–1979) göre haptik duyu “vücudu kullanarak vücuda bitişik kişisel dünyanın farkındalığı”dır (Bingel, 2009, s. 1). Gibson’ın kişisel dünyanın farkındalığı olarak tanımladığı haptik duyu, sadece tensel temas ya da diğer deri aracılığıyla edinilen bilgileri içermez. Temasın dışında sürekliliği olan uzanma, yatma gibi ya da iç organların aktiviteleri gibi uyarınlarda dâhil olduğu bir sistemdir. İnsan uyanıkken ya da uyku halindeyken bir sürü uyarıcıya maruz kalmaktadır. İnsan, bulunulan ortamda gerçekleşen ve farkında olarak ya da olmayarak maruz kalınan bu uyarıcıları somatosensoriyel sistem sayesinde algılar. Karmaşık bir yapıya sahip olan “somatosensoriyel afferent sistem kuteneal, kas-eklem ve kastaki reseptörlerdir” (Vatansever, 2018, s. 18). Bu reseptörler ısı, ışık, ses, basınç, kimyasal ve toksinleri algılayarak biyolojik bir sinyale dönüştürür ve çevrenin algılanmasını sağlar. Vestibüler sistem ise “vücudun dış dünyaya göre bir bütün olarak uzaysal temsilini” algılamasını sağlar (Vatansever, 2018, s. 17). Algılanan veriler dikkat türüne, algılayıcı birimlere, algılandıkları anatomik bölgelere, etkinliğe, uyarıcı türlerine ve elde edilen bilgiye göre farklılık göstermektedir.

Duyular yolu ile algılanan bilgiler beyinde farklılaşarak işlenir. Beyin beden farklı bölgelerine ait bilgileri ‘Homunculus’⁶ adı verilen bir sisteme göre değerlendirmektedir. Bu sistem; motor homunculus ve duyusal homunculus olarak ikiye ayrılmaktadır (Nguyen and Duong, 2021). Her bir alt sistem beden farklı bölgelerini (el, parmaklar, kulak, yüz, kalça, dudaklar, uzuvlar gibi...) yönetir. Temel beş duyuyu yeniden ele alan ve formüle eden Gibson’ın önerdiği algı sistemi, dokunma duyusu ve uzamsal dünya arasındaki ayrılmaz ilişkiyi ortaya koymaktadır (Malnar and Vodvarka, 2003, s. 43).

Temel duyular arasındaki farklılıklar ve algılanmalarına yardımcı olan birimler, organlar, uyarıcı türleri ve elde edilen bilgiler Gibson’ın oluşturduğu ve Tablo 6.1’de verilen algısal sistemlerde gösterilmektedir.

⁶ İnsan davranışının veya deneyiminin bazı yönlerini açıklamak için operasyonlarına başvuru zihinde veya sinir sisteminde varsayılan bir süreç veya varlık (<http://27>)

Tablo 6.1. *Algı sistemleri (Gibson, 1966, s. 50)*

ALGI TÜRÜ	DİKKAT TÜRÜ	ALGILAYICI BİRİMLER	ALGILAYAN ORGAN	ORGAN AKTİVİTESİ	MEVCUT UYARAN	ELDE EDİLEN BİLGİ
Ana yönelim sistemi	Genel yönelim	Mekanik alıcılar	Vestibular organlar	Vücut dengesi	Yer çekimi ve ivme kuvvetleri	Yerçekimi yönü, itilmek
İşitsel sistem	Dinleme	Mekanik alıcılar	Ortakulak, Salyangoz kanalı; kulak kepçesi	Sesi yöneltme	Havadaki titreşimler	Doğa ve titreşim olaylarının yerleri
Haptik sistem	Dokunma	Mekanik alıcılar ve ısı alıcılar	Deri (ekler ve açıklıklar dahil) Eklem (bağlar dahil); Kaslar (tendonlar dahil)	Farklı çeşitleri inceleme	Doku deformas- yonu Eklem Hareketleri ; kas liflerinin gerilmesi	Dünya ile temas kurma; mekanik karşılaşma- lar, nesnelerin biçimleri, malzeme durumu; katılık, akışkanlık
Koku ve tat alma sistemi	Koklama	Kimyasal alıcılar	Burun boşluğu (Burun)	Koklama	Ortamin bileşimi	Gaz haline dönüşen kaynakların doğası; sindirim ve biyokimya- sal değerler
	Tatma	Kimyasal ve mekanik alıcılar	Ağız boşluğu (Ağız)	Tat alma	Yutulabilir nesnelerin bileşimi	

Tablo 6.1. (Devam) *Algı sistemleri*

Görme sistemi	Bakma	Foto alıcılar	Göze ait mekanizma (gözler, vestibular organlara bağlı iç ve dış bağlar, baş ve tüm vücut)	Uyum sağlama; gözbebeği ayarı, sabitleme yakınsama; keşfetme	Ortam ışığında yapının değişkenleri	Optik yapının değişkenleri tarafından belirlenen her şey (nesneler, hayvanlar, hareketler, olaylar ve yerler hakkında bilgi)
---------------	-------	---------------	--	--	-------------------------------------	--

Algılama süreci; duyuşal olarak bilgiyi edinme, edinilen bu bilgiyi yorumlama, yorumlama sonrası bu bilgilerden ihtiyaç duyulanı seçme ve düzenlemeden oluşur. Gerekli olan duyuşal bilgiyi seçme ihtiyacı gün içinde karşılaşılan duyuşal bilginin fazlalığından kaynaklanmaktadır. İnsan beyni bu veri karmaşası içerisinde gerekli olanları seçer ve düzenler. Algılanan ve düzenlenen veri, kişinin geçmiş deneyimlerden elde edilenler ile bir bağlantı kurularak anlamlandırılır, yorumlanır ve karar verme sürecini hızlandırır. Yaşanan herhangi bir deneyim anında algılanan fiziksel ve kimyasal değişimlerin sayısı arttıkça o deneyimin insanda bıraktığı etki de artmaktadır. Örneğin beden dilini görerek dinlenen biri sadece sesi duyulan birisinden ya da kokusunu alınan ve tadına bakılan bir yiyecek o yemeğin fotoğrafından daha fazla etki bırakmaktadır.

Beş duyuşal dokunma duyuşunu oluşturan sistem haptik sistem olarak tanımlanır. İnsan haptik sistemi, Başdoğan ve Srinivasan'ın (1997, s. 394) belirttiği gibi 4 temel bileşenlerden oluşur; mekanik, algısal, motor ve bilişsel.

Literatürde haptik ile ilgili geçen bazı ana terimlerin tanım ve açıklamalarının verilmesi gerekli görülmüştür. Brewster'ın (2005) hazırlamış olduğu haptik duyuya ait fizyolojik terimlerin açıklamaları Tablo 6.2'de gösterilmiştir.

Tablo 6.2. *Haptik Duyuya Ait Fizyolojik Terimler*

TERİM	AÇIKLAMA
HAPTİK	Dokunma duyusuna bağlıdır
PROPRİOSEPTİF (DERİN DUYULAR)	Vücudun durumu hakkındaki duyuşal bilgilere bağlıdır (Somatik duyu tipi)
VESTİBULAR	Başın pozisyonu, hızlanma ve yavaşlama algısı ile ilgilidir. (Vestibular organlar: el, kollar, bacaklar)
KİNESTETİK	Hareket hissi. Kas, tendon ve eklem merkezli duylara bağlıdır. (Somatik duyu tipi)
CUTANEOUS (BİYO, DERİYE AİT) (KUTANCUS)	Derinin kendine ait olan; duyu organı olarak deri. Basınç, ısı ve ağrı içerir.
TAKTİL (DOKUSAL)	Kutacus duyusuna aittir ancak ısı, ağrı, özellikle basınç ile ilgilidir. (Kutancus duyu tipi)
GÜÇ VE GERİBİLDİRİM (FORCE FEEDBACK)	İnsanın kinestetik sistemi tarafından hissedilen bilginin mekanik uzantısıdır.

Görüntüleme teknolojisinin başlangıcında kameralar sadece görüntü kaydeden birer cihaz ve görüntüler sessiz birer eğlence ürünüyken zamanla ses kullanılarak izlenen görüntünün izleyici üzerinde bıraktığı etki artırılmıştır. Hızla değişen görüntüleme sistemlerine ses eklenerek izleyici üzerinde bıraktığı etki artırılırken ardından siyah beyaz görüntülerden renkli görüntülere geçiş yapılarak görüntünün gerçeklik düzeyi bir üst seviyeye taşınmıştır. İzlenen görüntünün gerçeklik hissi arttıkça izleyici üzerinde bıraktığı etki artmaya başlamıştır. Görmek ve duymak bir durumu deneyimlemek için yeterli gibi gözükse bile bazı araştırmacılar bu deneyimi artırılabilmenin yollarını aramaya başlamışlardır. Bu amaçla ABD'li görüntü yönetmeni Morton Heiling, 5D sinemalarının temellerini oluşturan "Sensorama Simülatörü"nü geliştirmiştir. Sinemanın izleyici üzerinde bıraktığı etkiyi arttırabileceğini ve izlenilen görüntüyü daha akıcı bir hale getirebileceğini fark edip bunun üzerine araştırmalar yapan Heiling 1962 yılında "Sensorama Simülatörü"nün (A.B.D. Patent No. 3,050,870, 1962) patentini almıştır (bkz. Görsel 6.1). "Sensorama, stereoskopik renkli ekran, fanlar, koku yayıcılar, stereo-ses sistemi ve hareketli koltuk içeren mekanik bir cihazdır (Regrebsubla, 2015, s. 5)." Heiling Sensorama için özel olarak kısa filmler çekmiştir. İzleyicilere bu filmleri sunarken ses ve görüntünün dışında fanlar sayesinde esinti, koku yayıcılar sayesinde görsel ile uyumlu kokular, özel tasarlanmış hareketli koltuk sayesinde ise titreşimler vererek izleyici

deneyimini daha gerçekçi kılmanın yollarını denemiştir. Üretildiği dönem için başarılı sayılabilecek bu ürün tasarımı yeterli finansman desteği bulamadığı için uzun yıllar boyunca geliştirilememiştir.

Aug. 28, 1962

M. L. HEILIG

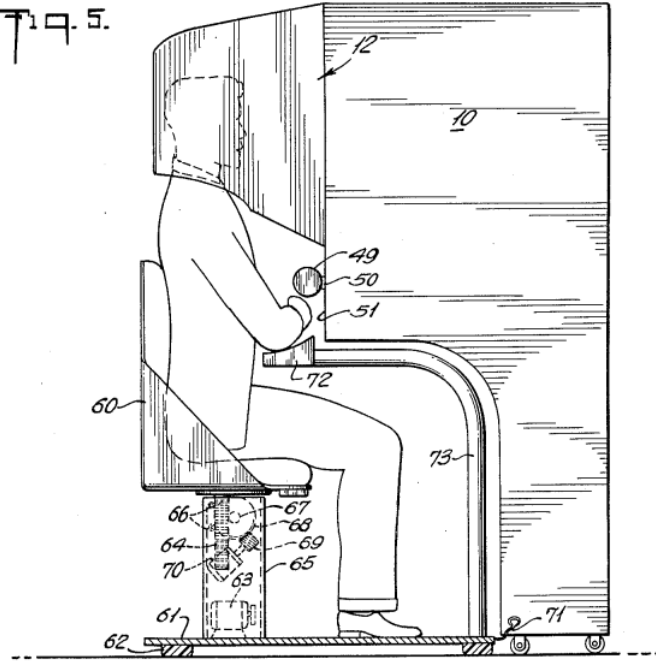
3,050,870

SENSORAMA SIMULATOR

Filed Jan. 10, 1961

8 Sheets-Sheet 3

Fig. 5.



Görsel 6.1. Morton Heiling'in Sensorama çizimi (A.B.D. Patent No. 3,050,870, 1962, s. 3)

Sensorama ile başlayan izlenen görüntünün gerçekliğini arttırma çalışmaları, yeni bulunan teknolojiler, bu teknolojilere ulaşımın kolaylaşmış olması hem de bu konu üzerine araştırma yapan insan sayısının artmasıyla 21. yüzyıla gelindiğinde hız kazanmaya başlamıştır.

Günümüzde sanal gerçeklik ve arttırılmış gerçeklik sistemleri olarak tanımladığımız sistemler, insan ve makine iletişimini gerçek zamanlı olarak en etkin şekilde gerçekleştirmek üzerine odaklanmaktadır. İnsan makine etkileşimini etkin bir hale getirmek içinse görsel ve işitsel duyular dışında dokunsal duyuları da uyarmak gerekmektedir. Yunanca'da dokunma ile ilgili anlamına gelen "Haptikos" sözcüğünden türemiş olan haptik terimi günümüzde; insanın dokunsal duyuları ve propriyosepsiyonu ile makine etkileşiminin birleştirilmesini ifade eder (Bingel, 2009, s. 2). Haptik sistemler ile üretilen giyilebilir teknoloji ürünleri tasarımlarında barındırdıkları aktüatörler sayesinde yaydıkları titreşimlerle mekanoreseptörleri uyarırlar. İnsanın dokunma hissi

deride bulunan mekanoreseptörler sayesinde gerçekleşir. Deri ve kulakta bulunan mekanoreseptörler dokunma, basınç, titreşim, sıcaklık, işitme ve denge gibi yapıda değişime yol açan uyaranları algılamamızı sağlarlar.

Birbirlerine yakın kavramları içinde barındıran haptik sistemler içerisinde belli farklar bulunmaktadır. Paterson (2007) göre, “haptik ve dokunma arasındaki fark, dokunmanın daha kapsamlı haptik algı sisteminin bir parçası olarak tensel etkileşimin yarattığı bedensel durumlar” olmasıdır. Dokunmanın da içinde bulunduğu insan haptik sistemin diğer öğeleri kinestetik haptik ve vestibüler sistemdir. Kinestetik haptik bedensel hareketleri algılamaya yarar. Vestibüler sistem ise bireyin uzay konum içerisinde bedensel alanını algılamasına yardımcı olmaktadır (Altıparmakogulları, 2019, s. 150).

6.2. Haptik Türleri

Dokunma hissini aktüatörler sayesinde simüle eden haptik bildirimlerin temelde iki türü vardır. Bunlar; dokunsal duyu haptik (tactile) ve kinestetik haptiktir.

Haptik üzerine yapılan çalışmalardan biri olan “dokunsal duyu haptik”, kutanöz (deriye ait) tarafından algılanan bilginin oluşturduğu bir alandır. Dokunsal algı bireye temas ettiği yüzeyin ısısı, basıncı, dokusu vb. verileri aktarır. Aktüatörler sayesinde daha gerçekçi bir multimedya ortamı yaratmaya çalışan araştırmacılar, sanal gerçeklik evreninde yaşananları kullanıcının birebir hissetmesini sağlayabilmek için "dokunsal duyu haptik" bildirim sunan giysiler tasarlamaktadırlar (Dahiya, Metta, Valle and Sandini, 2010). Bu giysiler sayesinde kullanıcı izlediği/oynadığı görselde maruz kalınan çevresel koşulları fiziksel olarak algılayabilmektedir.

Haptik sistemler dokunsal duyular aracılığı ile kullanıcıyı uyarıp daha gerçekçi bir deneyim elde etmesini sağlamaya çalışırken bir yandan da kullanıcının eklem ve kas eforunu algıladığı sensörlerle de kaplıdırlar. Bu sensörler sayesinde kullanıcının propriyosepsiyonu algılanabilmektedirler. Boyut, ağırlık, konum gibi veriler üzerine çalışılan bu haptik alanı ise “Kinestetik haptik” olarak adlandırılmaktadır. Kinestetik haptik üzerine yoğunlaşan giysiler aynı zamanda kullanıcının fiziksel hareketlerini avatar üzerinde kopyalayabildiği için bu giysiler ile insansı robotları kontrol edebilmekte mümkündür. Bu sayede bir doktor haptik bir eldiven yardımıyla yeterli teknolojiye sahip bir ameliyathanede fiziksel olarak bulunmadan bir ameliyatı gerçekleştirebilme şansına sahip olabilmektedir. İnsansı robotların uzaktan bir giysi aracılığı ile kontrol edilebilir

olması kurtarma operasyonları gibi insanoğlu için tehlikeli olabilecek birçok alanda robotların kullanılmasına olanak sağlayacaktır.

Dokunsal duyu bildirim sağlayan giyilebilir teknoloji ürünleri kullanılan aktüatörlere göre farklı kategorilere ayrılır.

Titreşimli geri bildirim (vibrotactile): Katı ya da elastik bir cismin periyodik hareketleri sayesinde salınımı ile elde edilir. Titreşimli geri bildirim “Eksantrik dönen kütle (ERM)” adı verilen aktüatörler aracılığıyla elde edilir. Basit ve ucuz olması, kolay çalışıp kontrol edilebilmesi yaygın olarak kullanımını sağlamaktadır. Ekranına dokunulduğunda titreyen tablet, telefonlar bu kategorinin en yaygın örnekleridir. Oyun konsolları ve direksiyonlarında, akıllı saatlerde de sıklıkla kullanılmaktadırlar ([http-28](http://28)).

Kuvvet Geri bildirim (force feedback): Genellikle araba oyunlarında kullanılan kuvvet geri bildirim, servo motorlar aracılığıyla direksiyonu manipüle ederek sürüş deneyimini gerçeğe daha yakın hale getirmektedir (Bayousuf, Al-Khalifa and Al-Salman, 2019).

Elektro dokunsal geri bildirim: Elektrotlar sayesinde reseptörler ve sinirlere değişen frekans ve amperlerde elektrik gönderilmesi ile elde edilen geri bildirimlerdir. Transkütanöz Elektirksel Sinir Stimülasyonu (TENS) ve Elektirksel Kas Stimülasyonu (EMS) olmak üzere iki farklı türü vardır.

Ultrasonik dokunsal geri bildirim: aksesuar takılmasına ihtiyaç duymadan hava yoluyla gelen ultrason dalgaları sayesinde oluşturulan bu geri bildirim teknolojisi titreşimli ve elektro dokunsal geri bildirim teknolojilerine oranla oldukça pahalıdır (Culbertson, Schorr and Okamura, 2018).

Termal geri besleme: deride bulunan termoresöptörler sayesinde algılanan termal değişimleri etkileyen dokunsal geri bildirim türüdür.

Dokunsal geri bildirim sağlamak için kullanılan aktüatör türleri; Eksantrik Döner Kütle (ERM), Lineer Rezonans aktüatörler (LRA), Piezo Haptik aktüatör Termal dokunsal aktüatör, solenoid aktüatör, Ultrasonik dönüştürücü aktüatör.

6.3. Haptik Tekstil Örnekleri

Aura firmasının 1994 yılında piyasaya sürdüğü İnteraktör yelek ile başlayan haptik geri bildirimli giysi tasarımı süreci günümüzde HugShirt, Teslasuit, Nullspace VR,

Haptika, Axon VR, RaptureVest, SynesthesiaSuit, HoloSuit, FoxSportAlertShirt gibi tasarımlarla kullanıcıyı etkileşimde olduğu etkinliğin içine daha fazla dahil eden bir sürece geçmiştir.

Aura Interactor (1994)

Nintendo, Sega gibi oyun konsolların popülerlik kazanması ve sahip oldukları piyasa hacmini göz önünde bulunduran Aura Systems firması 1994 yılında "Aura Interactor" isimli ürününü piyasaya sürmüştür. Sensurround'un 70'li yıllarda film sektörü için geliştirmiş olduğu ses teknolojiden esinlenen Larry Shultz, video oyun sistemlerinde çığır açan bir fikir olarak Aura interactor'ü geliştirdi. Shultz ve ekibi tarafından tasarlanan ürünün amacı kullanıcının oyunda yaşanan patlamaları ve yumrukları hissetmesini sağlamaktı. Ürün Aura firmasının patentli elektromanyetik aktüatörleri kullanarak oyundaki seslerinden frekans aralıkları sayesinde dokunsal geri bildirim vermekteydi. Tasarlanan teknoloji oyunda bulunan bas ses dalgalarını oluşturan silah sesi, yumruk, tekme, patlama vb. aksiyonları titreşime çevirerek kullanıcı deneyimini arttırdı. Kurulumu kolay olan bu ürün TV, bilgisayar, oyun konsolu gibi sistemlerinin ses çıkışına takılarak kullanıma hazır hale gelmektedir. Ürün ayrıca kullanıcıya titreşim yoğunluğunu ayarlayabilmesi için seçenek sunarken bir yandan da belli frekans aralığında kalan seslerin filtrelenmesine de olanak sağlamaktadır. (http-29; http-30)

TheHugShirt (2002)

"TheHugShirt" 2002 yılında Cute Circuit tarafından tasarlanan ürün Time Magazine tarafından 2006 yılının en iyi buluşu seçilen ilk haptik telekomünikasyon sistemidir. Dünyanın ilk haptik (dokunma duyusu) geri bildirimli giyilebilir teknolojisi olma niteliğinde olan giysi; içine yerleştirilen sensörler ve 12 adet mikro aktüatörü aracılığıyla birbirinden uzakta olan kişilere birbirlerini kucaklama, sarılma hissi uyandıran bir teknoloji sunmaktadır. Bluetooth ile cep telefonuna bağlanan giysi, uygulama üzerinden aldığı veriler ile haptik geri bildirim sağlamaktadır. Ürünün kullanıcısı olmayan biri bile Hud Shirt uygulaması üzerinden, ürünü kullanan birisine gerçek zamanlı olarak kucaklama, sarılma hissini gönderebilir (http-31).

Fox Sport Alert Shirt (2014)

Yenilikçi bir tasarımcı, moda eğitmeni, stilist ve yaratıcı yönetmen olarak kendini tanımlayan Whitehouse ile teknoloji tutkunu Ben Moir'un ortaklaşa

geliştirdikleri Fox Sport Alert Shirt spor izleyicileri için tasarlanmış bir üründür. Sporcular ve taraftarlar tarafından giyildiğinde, sporcunun oyun sırasında hissettiklerini (aldığı darbeleri, adrenalin düzeyi vb.) eş zamanlı olarak taraftarın giydiği tişörtlük aktararak, taraftarların sporcunun sahada ne yaşadığını ya da ne hissettiğini algılamalarını sağlamaktadır.

Taraftarın oyuncuyla kurduğu duygusal bağı fiziksel seviyeye taşımak ve kendini oyunun içindeymiş hissini yaşayabilmesi için tasarlanmış olan bu ürün 2014 yılında ikiliye CLIO Spor Ödülünü kazandırmıştır.

Whitehouse ve Moir ikilisinin kurduğu Wearable X firması; Jersey X, Football Fan Shirt (Avrupa futbol ligi taraftarları için) isimlerini verdikleri iki ürün daha tasarlamışlar ve Fox Spot Alert Shirt'te kullanılan teknolojiyi geliştirmeye devam etmişlerdir ([http-32](http://32)).

Haptika (2015)

Pakistanlı iki kardeş olan Muhammad Nabeel ve Muhammad Huzaifa tarafından 2015 yılında kurulan Haptika şirketi, robotik kodlama üzerine bir girişimdir. Şirket, hareket yakalama ve sıcaklık hissi özellikleri ile tam vücut giyilebilir dokunsal geri bildirim aygıtları geliştirmeye odaklanmıştır. Bir kitlesel fonlama desteği almak için 7 kişilik ekip ile yola çıkan şirket kuvvet geri bildirimli bir yelek tasarlamış fakat ürünü piyasaya sürmeyi başaramamışlardır ([http-33](http://33); [http-34](http://34)).

Rapture (2016)

2016 yılında Vancouver'da düzenlenen TED konferansında tanıtılan dokunsal geri bildirim yeleği The Void için özel tasarlanmıştır. Time dergisinin "Sanal gerçekliğin geleceği" diye tanımladığı The Void ilk olarak Pleasant Grove'da kurulan karma gerçeklik eğlence mekanıdır. Şirket eğlence parkı deneyimini üst seviyeye çıkarabilmek için özel kulaklık ve Rapture Vest adını verdikleri iki ürün tasarlamıştır. Yelek katılımcıya yüksek hızlı bir performans ve akışkan bir oyun sunmaktadır. Hafif ve ayarlanabilir tasarım, oyuncuların sanal deneyimlerden rahatça yararlanmalarını sağlar. Dört tip haptik geri besleme kullanan yelek sayesinde çevresel etkiler giysinin farklı noktalardan hissedilebilmektedir. The Void içinde karşılaşılan her lazer, mermi ve yaratık etkileşimi gibi etkiler yeleğin kendine has konumlandırılmış isabet yerleri sayesinde dokunsal geri bildirim vererek kullanıcının sanal dünyayı hissetmesine olanak

tanımlanmaktadır. Firmanın iddiasına göre RaptureVest, VR'de bulabileceğiniz her sanal nesneye hayat vermektedir. Yaşanan Covid-19 salgını sırasında Disney'in The Void ile olan lisans ve kiralama sözleşmelerini feshetmesi sonucu şirket Amerika, Avrupa ve Asya'da açmış olduğu bütün faaliyet alanlarını kalıcı olarak kapatmak zorunda kalmıştır ([http-35](#); [http-36](#); [http-37](#)).

NullSpace VR (Hardlight VR Suit) (2016)

Nullspace VR firması tarafından tasarlanan Hardlight VR Suit, sanal gerçeklik uygulamaları için tasarlanmış bir üst vücut haptik geri bildirim sistemidir. Bu haptik geri bildirim kıyafeti, içerisinde yer alan titreşim aktüatörleri sayesinde ellerde kollarda ve göğüs bölgesinde sanal gerçeklik deneyimini yaşatabilmektedir. Nullspace geliştiricilerine göre, VR kıyafeti, oldukça hafif, kişiye göre ayarlanabilir fonksiyona sahip, göğüs, karın, omuz, kol ve ellerde 32 bağımsız olarak harekete geçen titreşim yastıklarına, kendi kütüphanesinde 117 haptik efekt bulunmasının dışında kullanıcılara kendi "haptik animasyonlarını" yapmalarını sağlayan araçlara aynı zamanda geliştirici software API kod aktivistasyonuna sahiptir. Tüm PC tabanlı VR kulaklıklarla tam uyum göstermektedir.

Kickstarter projesi olarak 2017 yılında destek toplamaya başlayan firma eylül 2018'de Lucian Copeland'ın yaptığı açıklamayla projeyi sonlandırdığını duyurdu. Sonlandırma nedeni olarak maliyetlerin üstesinden gelememeleri ve VR endüstrisinin gelişimin beklentilerinden altında olmasından dolayı ön sipariş alamamalarını gösterdi. Firma ürünün resmi sitesinde tasarımda kullandıkları yazılım ve donanım ile ilgili bütün deneyimlerini açık kaynağa çevirerek gelecekte bu iş ile ilgilenecek olan kişilere yol göstermeye devam etmektedir ([http-38](#); [http-39](#); [http-40](#))

HaptX (Axon VR) (2016)

Axon VR, VR uygulamalarında veya video oyunlarında gerçekçi duyumlara izin veren dokunsal teknoloji geliştirmektedir. HaptX firmasının gerçeğe yakın bir dokunuşu simüle eden, kullanıcılara, sıcaklık, titreşim, hareket, şekil ve sanal nesnelerin dokusunu hissetmelerini sağlayan, haptik eldiven üretmektedir. 2016 yılında başladıkları tam vücut dış iskelet tasarımı, insanların bedenlerine fiziksel kuvvetler uygulayarak kullanıcının sanal gerçeklik ortamının içine daha fazla dahil olmasını sağlamayı hedeflemektedir.

Firma 2016 yılından beri üzerinde çalıştığı dış iskelet giysisini günümüzde hala piyasaya sürememiştir ([http-14](#); [http-42](#); [http-43](#)).

Synesthesia Suit (2016)

Synesthesia Suit 26 aktüatör barındıran tam vücut dokunsal geri bildirim kıyafetidir. VR video oyunu “RezInfinite” için geliştirilmiştir. Aktüatörler müzikle birlikte titreşim geri bildirimi sağlarken aynı zamanda renkli LED ışıkları ile sayesinde müziğin dokunma ve görme duyuları ile deneyimlenmesine olanak sağlamaktadır ([http-44](#); [http-45](#)).

HoloSuit (2016)

Kickstarter projesi olan HoloSuit, sanal gerçeklik cihazlarıyla kullanabilen haptik geri bildirim sağlayan bir kıyafettir. Tüm vücut hareketini algılayıp bunu sanal ortama yansıtabilen bu kıyafetin üzerinde tercihe göre en az 26, en fazla da 36 yerleşik sensör ve 9 adet haptik geri bildirim ağlayan aktüatör yer almaktadır. Sensörlerden aldığı verilerle kullanıcının hareketlerini avatara yansıtan ürün, avatarın maruz kaldığı etkileri de aktüatörler aracılığıyla yansıtarak kullanıcıların hissetmesini sağlamaktadır. Özel eldivenleri sayesinde el hareketlerini algılayıp detaylı olarak yansıtan ürün, gelişmiş bir dalınan sistem sağlamaktadır (Kahraman, 2018).

HoloSuit pantolon, ceket ve eldiven olarak üç parçadan oluşmaktadır. Tam vücut giysi tasarımının özellikleri taşıyan bu kıyafet yalnızca sanal dünyada değil, insansı robotların kullanıcı hareketlerini taklit etmelerine de olanak sağlamaktadır (Kahraman, 2018; [http-46](#)).

Teslasuit (2018)

Londra merkezli bir girişim olan Teslasuit, sanal gerçeklik için deneyimi için üretilmiş bir tam vücut giyilebilir dokunsal geri bildirim ürünüdür. Dimitri Mikhalechuk ve Sergey Kurs tarafından kurulan Teslasuit, 2013 yılında ilk prototipini ürettiği ürünü 2018 yılında piyasaya sürmüştür.

Teslasuit üst ve alt bedeni tamamen saran ve kullanıcının sanal ortamla daha önce mümkün olmayan bir şekilde etkileşime geçmesini sağlayan giyilebilir interaktif teknoloji ürünüdür. Teslasuit sahip olduğu elektro-dokunsal geri bildirim sistemi

sayesinde sanal dünyada bulunan herhangi bir nesneye dokunma ve hissetme deneyimini sağlamaktadır.

Teslasuit, ortopedik ve nörolojik rehabilitasyonda ve atletik antrenmanda yaygın olarak kullanılan nöromüsküler elektriksel uyarım (NMES) tedavi yönteminde olduğu gibi düşük voltajlı elektrik akımı ile nöromüsküler sistemi uyararak dokunsal geri bildirim sağlamaktadır. Üründe bulunan 80 adet aktüatör, eğitim amaçlı kullanımlarda haptik geri bildirimler sayesinde kullanıcının kas hafızasının gelişimini sağlamaktadır. Sporcular ve kinestetik öğrenme alanları şirketin hedef pazarıdır.

Geri bildirim dışında ürün üzerine yerleştirilen sensörler (galvanik deri tepkisi (GSR), hareket yakalama ve elektrokardiyogram (EKG) sensörü vb) sayesinde kullanıcının stres durumunu, duygusal durumunu, temel sağlık parametrelerini algılayarak gerçek zamanlı veriler halinde işler. Bireyin sağlık değerlerinde oluşan ilerleme ya da gerileme konusunda gözlem yapılmasına olanak sağlar. Hareket yakalama özelliğine de sahip 10 adet sensör bulunmaktadır. Kullanıcının hareketlerinin eğitiminin gerekliliğine uyumluluğu bu özellikle gözlemlenebilmektedir. Yapılan hareketlerin eğitim programı kaydı ile uyuşmaması durumunda haptik geri bildirim sağlayarak kullanıcıyı hareketini düzeltmeye yönlendirir. Kayıt altına alınan eğitim süreci sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek hatalar tespit edilebilmektedir. Tespit edilen hataların ilerideki eğitim sürecinde tekrarlanmaması için önlem alınabilmekte kişilerin eksiksiz bir eğitim sürecinden geçmeleri sağlanabilmektedir.

Windows, iOS ve Android sistemleri ile uyumlu olan Teslasuit, cihaz bağlantısını bluetooth ya da Wi-Fi teknolojisini kullanarak gerçekleştirmektedir.

Spor, kamu güvenliği ve kurumsal olarak kullanılacak eğitimlerde firmanın hazırladığı programlardan yararlanılabildiği gibi kişiye özel eğitim programları da oluşturabilmek mümkündür. Programların özelleştirilebilme seçeneği Teslasuit'in kullanılabileceği eğitim alanlarını genişleten önemli bir özelliktir.

Rehabilitasyon sürecinde kullanılabilmesi için klinik denemelere yönelen firma, eğitim dışında insan sağlığının iyileştirilmesi için Teslasuit'i geliştirmeye devam etmektedir. Teslasuit, elektriksel kas uyarımı (EMS) ile tüm kas liflerini aktive ederek, transkütanöz elektriksel sinir uyarımı (TENS) ile verilen elektrik akımı ile ağrı kesici etki

sağlayarak rehabilitasyon ve fizyoterapide kullanılan teknolojileri geliştirmeye yönelmiştir (http-47).

BillieWhitehouse ve Ben Moir/ Wearablex

WearableX, yenilikçi bir tasarımcı, moda eğitmeni, stilist ve yaratıcı yönetmen olarak kendini tanımlayan Whitehouse ile teknoloji tutkunu Ben Moir'un kurdukları giyilebilir teknoloji ürünleri üreten bir firmadır. Firma Fundawear, Navigate, FoxSportAlertShirt ve Nadi X Yoga Pants ürünleri ile adından söz ettirmeyi başarmıştır. Yakaladıkları başarılar, vizyonları ve ürünlerinden dolayı Forbes dergisi Whitehouse ve ortağı Moir'u Steve Jobs ve Jerry Seinfeld ile karşılaştırmıştır (http-48; http-49).

▪ Fundawear

İkilinin ilk ortak projesi olan Fundawear Durex sponsorluğunda gerçekleştirilmiş ve 2013 yılında Cannes Gümüş Aslan ödülünü kazanmıştır (http-50).

Aralarında uzak mesafeler bulunan çiftler için tasarlanan ürün yüksek kaliteli bambu kumaşlardan üretilmiş iç çamaşırlarından oluşmaktadır. İç çamaşırlarına yerleştirilmiş olan titreşim aktüatörleri sayesinde Fundawear akıllı cihaz üzerinden ürüne bağlanan bireyin cihaz üzerinde yaptığı dokunma eylemini ürüne aktarıp kullanan kişinin dokunma hissini algılamasını sağlamaktadır.

▪ FoxSport Uyarı Tişörtü (FoxSportAlertShirt)

Taraftarın oyuncuya kendisini biraz daha yakın hissetmesi ve kendini oyunun içindeymiş hissini yaşayabilmesi için tasarlanmış olan bu ürün 2014 yılında ikiliye CLIO Spor Ödülünü kazandırmıştır.

▪ Navigate

İkilinin tasarladığı üçüncü ürün Navigate ise cep telefonu ekranına bakmadan yol bulabilmesini sağlayabilecek bir blazer ceket tasarımıdır. Yolda yürürken ekrana bakmanın vermiş olduğu rahatsızlıktan şikâyet eden Whitehouse, bu ürün sayesinde ekrana bakmak zorunda kalmadan navigasyon cihazlarından yararlanılabildiğini hedeflemektedir. Ceket hangi yöne gidilmesi gerektiğini, omza gönderdiği titreşimlerle

kullanıcıya bildirmektedir. Her iki omuza da peş peşe gönderilen iki titreşim sayesinde ise kullanıcı varış noktasına geldiğini anlayabilmektedir.

- **Nadi X Yoga Pantolonu/Taytı (Nadi X Yoga Pants)**

Firmanın 2018 yılında ürettiği Nadi X, yoga yapanların işini kolaylaştırmak için tasarlanmış bir tayttır. Kalça, diz ve ayak bilekleri etrafına yerleştirilmiş sensörler ve aktüatörler sayesinde yapılan hareketin doğruluğunu uygulama üzerinden denetleyebilmekte ve vücuda gönderdiği hafif titreşimlerle kullanıcıyı doğru pozisyona yönlendirmektedir. Bluetooth sayesinde akıllı cihaza bağlanan Nadi X, ürün için tasarlanmış uygulama üzerinden seçilen seviyede yoga eğitimi yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Yukarıda bahsedilen ürünler dışında ön plana çıkan diğer tasarımlarda; 3RD Space Vest (2007), Tactile Gaming Vest (2010), Araig (2013), Kor-FX (2014), SoundShirt (2016), bHapticsTactSuit (2017), Woojer (2017) olarak sayılabilir.

Piyasaya sürülen ya da kitle fonlaması aracılığıyla ismini duyurmayı başarmış olan tasarımların dokunsal geri bildirim sağlamak için; titreşimli geri bildirim (vibrotactile), kuvvet geri bildirimi (force feedback), elektro dokunsal geri bildirim, ultrasonik dokunsal geri bildirim üzerine yoğunlaştıkları görülmektedir. Üretim maliyetinin düşük olmasından dolayı titreşimli geri bildirim ve kuvvet geri bildirim cihazlarının üretimi en çok tercih edilen haptik geri bildirim ürünleridir. Fakat yaygın olarak üretilen bu iki sistemin temel sorunu, yapılarından dolayı mekanik bir his oluşturmaması ve sanal nesne ya da eylemin poligonal değişimi ya da dokusu hakkında gerçekçi bir his verememeleridir (http-51).

6.3.1. Pnömatik haptik geri bildirim örnekleri

Sanal medyaların içine daha gerçekçi bir his ile dalınabilmesi, titreşime oranla pnömatik sistemler ile daha mümkün olabilmektedir. Talhan ve Jeon (2017) çalışmasında pnömatik sistem ile oluşturulmuş tahrikli silikondan üretilmiş bir mesanenin daha gerçekçi ve yüksek doğrulukta bir doku hissini aktarabildiği kanıtlanmıştır. Bu nedenle pnömatik sistemler ile üretilen haptik geri bildirim sistemleri üzerine yapılan çalışma sayısının arttığı görülmektedir.

PneuHaptic (He, Xu, Xu and Brill, 2015): Pnömatik olarak çalışan ve kola takılan bir dokunsal geri bildirim sistemidir. Silikondan yapılmış hava keseciklerine iletilen

basıncılı hava aracılığıyla kolda bir dizi dokunma hissi oluşturmaya hedeflemektedir. Sistem 5 adet hava keseciğinin bulunduğu bir kol bandıyla selenoid valf, 2 adet hava motoru ve vakum motorunun bulunduğu bir kol bandından oluşmaktadır. Kol bandı üzerinde yer alan keseciklerden biri şişirildiğinde dokunma, hepsi şişirildiğinde tutma hissi simüle edilmeye çalışılmıştır. Keseciklerin sıralı şişirilmesinde ise cilt boyunca takip edilen bir parmak hareketi hissi oluşturulmaya çalışılmıştır.

Frozen Suit (Maimani and Roudaut, 2017): Bu çalışmada pnömatik sistem aracılığıyla şişirilen yamaların eklem yerlerine yerleştirilerek sağlanan kuvvet geri bildirimiyle kullanıcının hareketinin kısıtlanması hedeflenmiştir. Plastik malzemeden yapılan hava kesecikleri içerisine granül kahve yerleştirildiğinde kullanıcının hareketini kısıtlama anında en etkili, kısıtlama olmadığı anda da en esnek hava keseciği elde edildiği gözlemlenmiştir. Çalışmada, kullanıcı hareketini eylem anında kısıtlamanın tehlikeli olabileceği belirtilmiştir. Hareket anında eklem yerlerinde yaşanacak bir kısıtlama kullanıcının dengesini kaybetmesine neden olabilir.

Force Jacket (Delazio, vd. 2018): Sistemde üç Teensy 3.6 mikrodenetleyici tarafından kontrol edilen valfler, kompresör, vakum cihazı 26 hava keseciği bulunmaktadır. Hava kesecikleri 0,0381 cm kalınlığında poliüreten filminden yapılmıştır. Şişirme hızı farklılıkları sayesinde kuvvet geri bildirimi sağlarken bir yandan da titreşim verebilmektedir. Yapılan çalışma sonunda motosiklet titreşimi, vücutta yılan gezinmesi, kalp atışını simüle etmekte ürünün daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Yumruk, vuruş ve kartopu efektleri için beklentilerin karşılanmadığı belirtilmiştir.

FlyJacket (Rognon, Koehler, Duriez, Floreano and Okamura, 2019): Üst gövde hareketi aracılığıyla kontrol edilen bir drone'un uçuş sırasında maruz kaldığı hava akımını pnömatik dokunsal geri bildirim sayesinde kullanıcıya aktarmak için üretilmiş bir yelettir. Polietilenden yapılan dört hava keseciğinin ikisi göğse ikisi ise sırtta yerleştirilmiştir. Hava kesecikleri şişirildiğinde akrilikten yapılmış bir plakayı iterek sıkışma hissi verir. Çalışmada pnömatik geri bildirim dışında navigasyon görevleri için vibrotactile ve şekil hafızalı aktüatörler ile uzuvlarda titreşim aktüatörleri kullanılmıştır.

Muscleblazer (Kishishita, ve diğerleri, 2019): Üst ekstremiteler için tasarlanan Muscleblazer pnömatik jel kas (PGM) aktüatörleri sayesinde kuvvet geri bildirimi sağlamaktadır. Beş adet PGM 5 adet selenoid valf, mikrodenetleyici olarak ESP

WROOM 32 kullanılan tasarım hava akışını hava tüpleri ile sağlamaktadır. PGM'ler hava akımı geldiğinde küçülürler ve bu küçülme kuvvet geri bildirim sağlar.

Pneumact (Günther, ve diğerleri, 2019): Sistemde ESP32-ST mikrodenetleyici ve Einhell TH-AC 200/24 OF kompresörü kullanılmıştır. Çalışmada iki tip aktüatör bulunmaktadır: büzülme (contraction) ve uzatma (extension) aktüatörü. Omuzdan bileğe kadar uzanan ve 50 cm olan büzülme aktüatörleri yerleştirildikleri eklemler üzerinde açığı azaltarak kolun düz şekilde açılmasını zorlaştırır. Dirseğin iç kısmına, kıvrımına yerleştirilen uzatma aktüatörleri ise eklemler üzerinde açığı artırarak kullanıcının kolunu bükmesini zorlaştırmaktadır. 32 ve 24 katılımcının katıldığı iki ayrı test sürecinde 3 farklı oyun üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Katılımcılara yapılan anketler sonucunda; ikinci oyun olan ağırlık kaldırma egzersizinde, aktüatörler eklemlere karşı kuvvet uygulayarak oyunu daha gerçekçi kılmayı başarmıştır.

PneumoVolley (Günther, Schön, Müller, Mühlhäuser and Schmitz, 2020): Tasarımda başın ön, arka ve yanlarında bulunan 12,5x6,5 cm'lik dört adet hava keseciği ve başın üstünde bulunan 9x9 cm'lik bir hava keseciği mevcuttur. Kafa ile oynanan bir voleybol oyununda kullanıcının topa vurduğu anda aldığı darbeleri simüle etmek amaçlanmıştır. ESP-32 mikrodenetleyicisi ve 12V selenoid valf kullanılmıştır. 9 katılımcı üzerinde yapılan denemeler sonucunda elde edilen anket verilerine göre; ürünün kullanıldığı testlerde kullanıcıların sanal ortama daha fazla dahil oldukları ve gerçek dünya deneyimleriyle tutarlı bir oyun deneyimi yaşadıkları sonucuna varılmıştır.

Pneusleeve (Zhu, ve diğerleri, 2020): Altı adet tek kanallı Fluidic Fabric Muscle Sheets (FFMS)⁷ aktüatörü ve iki kapasitans sensörü kullanılmıştır. Aktüatörlerden ikisi önkol üzerinde proksimal ve distal kaslara radyal kompresyon sağlamaktadır. Önkolun ulnar, radyal, ventral ve dorsal taraflarında yer alan diğer dört aktüatör ise lineer esneme sağlamaktadır. Düz dikişli elastik bir örgü bir kumaş ve cırt bantlar ile oluşturulan manşonun içerisinde konumlandırılan aktüatörlere hava akımını lateks borular aktarmaktadır. Festo VEAB, basınç regülatörü, üç yollu valf, NI cDAQ-9174 ve NI9264 modülü pnömatik sistemi oluşturan elemanlardır.

⁷ FFMS aktüatörleri, yüksek akışkan basıncında en hacme sahip ters pnömatik yapay kaslar olarak çalışır. Basınç azaldığında aktüatör büzülür ve blokaj elemanına baskı uygular (Zhu, ve diğerleri, 2020).

ForceArm (Das and Kurita, 2020): Basınç tüpünden gelen havanın, PWM⁸ valfleri ile PGM'lere aktarıldığı pnömatik sistemdir. Valflerin kontrolü arduino nano sayesinde sağlanan tasarımda toplam 14 adet PGM bulunmaktadır. Dirsek, omuz ve bilek fleksiyonları ve önkol pronasyonu ve supinasyon hareketleri için konumlandırılmış PGM'lerin 8 adedi 20 cm 6 adedi 30 cm'dir. PGM kasların şişirildiğinde kısılmasından yararlanılarak sağlanan kuvvet geri bildirimiyle motor becerilerinde gerileme görülen hastaların motor becerilerini yeniden kazanmaları sağlanmaya çalışılmaktadır.

Pneumod (Zhang and Sra, Aralık 2021): Vücudun belli bölgelerinde bağımsız ya da aynı anda dokunsal duyum (tactile), basınç ve termal olmak üzere 3 farklı dokunsal geri bildirim sağlayan modüler ürün, sosyal etkileşim ve oyun içi etkileşimi sağlamak için tasarlanmıştır. Dokunsal ve termal geri bildirimler kullanıcının farklı şekil, desen, konum ve hareket hissini algılayabilmesi için kombinasyonlar oluşturmaktadır. Tasarım ön kol, baldır ve başa takılan bantlar üzerine yerleştirilmiş aktüatörler sayesinde etkileşim sağlamaktadır. Çalışma basınç, sıcaklık geribildirimleri ile konum, şekil, desen ve hareket hakkında kullanıcıya ipuçları sunan ilk çalışmadır.

Pneu-Skin (Wang and Godoy, 2021): Sosyal etkileşimde dokunsal, koku ve görsel geri bildirimler ile tepki vererek, kamusal alandan kişisel alana geçişte yumuşak bir sınır oluşturmak hedeflenmiştir. Pnueudino kartı, ultrasonik mesafe sensörü (HC-SR04), dokunma sensörü (TTP223B) LED (WA2812B) kullanılarak tasarlanan bu giysi; Edward Hall'un Proxemics teorisi ele alınarak kişisel alan ihlallerinde ışık, koku ve pnömatik sistem ile şişen hava kesecikleri barındırır.

Talhan ve Jeon'ın (2017) çalışmasının ardından pnömatik sistem kullanılarak üretilen haptik geri bildirim ürünleri üzerine akademik çalışmaların artış göstermesine rağmen bu sistemler hala teknolojik kısıtlamalarla karşılaşmaktadır. Pnömatik sistem için gerekli olan hava akımını sağlayacak kaynağın kapladığı alan ve gürültü problemi, sistemin hava kaynağına olan bağımlılığı yüzünden kullanıcı hareketinin kısıtlanması pnömatik sistemler için aşılması gereken başlıca sorunlardır.

⁸ PWM (Pulse Width Modulation-Darbe Genişlik Modülasyonu) valfler sabit frekanslı dalga boyunun oransal ve süreli bir sinyalizasyon sistemiyle doğrultulmasını sağlar (Bayrak, 2009).

7. MAKER KAVRAMI

Tarihsel olarak, yapmak eylemi ilk olarak hobilerin yaygın araçlar kullanılarak ev eşyalarının inşası ve onarımı yoluyla refah ve kendi kendini üretmeye odaklanan sosyal bir uygulama olarak yayılmasıyla ilişkilendirildi (Gelber, 1999). İnsan, doğası gereği var olduğu ilk günden beri bulunduğu ortama ayak uydurmaya çalışırken, bir yandan da çevresini ve çevresinde keşfettiği nesneleri kendi ihtiyaçları doğrultusunda şekillendirmeye çalışan bir varlıktır. Tarih öncesi çağlardan günümüze kadar yapılan bu çabaların tümü insanoğlunun oluşturduğu kümülatif bir bilgi oluşturmuştur. Sahip olunan bilgi birikimi sanayileşmenin üretim kapasitesinin artması ve ardından modernizm ile beraber yeni şeylerin iyi olduğu algısını kitlelere benimseterek tüketim çılgınlığına doğru evrilen bir sürecin içerisine girilmesine neden olmuştur. Maker hareketi ortaya çıkan yeni dünya düzeni içerisinde, genlerimizde olan bir şey inşa etme ve nesneleri kendi ihtiyacımız doğrultusunda şekillendirme çabasının 20. yüzyılda karşılık bulmuş halidir. Maker hareketinin kurucularından Dale Dougherty'e (2012) göre; "hepimiz üreticiyiz". Yapılan eylem her ne olursa olsun (yemek, bahçivanlık vb.) yapıcı herkesin içinde var olan bir kavram. Dougherty 20. yüzyıla vurgu yaparak Amerikalıların çoğunun bir zamanlar kendini tamirci olarak gördüğünü söyler.

20. yüzyılın başında yayımlanmaya başlayan Popüler Mechanics gibi dergiler insanların zanaatkârlık becerilerini geliştirmeye odaklanmıştır. Bu yayınlarda yer alan talimatlar ve yönergeler meraklı amatörlerin kendi araç gereçlerini onarmalarına yardımcı olurken, bir yandan da yaşadıkları mekânı nasıl geliştirebileceklerini, yeni şeyleri nasıl inşa edebileceklerini okuyucuya aktarmıştır. Yaşanan Dünya savaşlarının etkisiyle ürün kıtlığının yaşanması, profesyonel ve zanaatkâr kesimin oranının nüfus içerisinde azalması Kendin Yap (DIY) akımı olarak başlayan bu sürecin hızlanmasına ve toplum içerisinde daha fazla yer bulmasına neden olmuştur (Boeva and Troxler, 2020, s. 227-228).

20 yüzyılın başlarında bu akımın yayılımı Amerika ile sınırlı kalmadı. Atatürk'ün özel daveti ile Türkiye'ye gelen John Dewey⁹ 1925 yılında "Türkiye Maarifi Hakkında Rapor"u yayınlanmıştır (Dewey, 1939). 1939 yılında yayınlanan bu raporun doğrultusunda Köy Enstitüleri kurulmuştur. Sanattan ziraate, inşaattan temel el becerilerine kadar birçok bilginin öğretildiği bir eğitim kurumu olarak, öğrencilerine ve

⁹ Amerikalı filozof, psikolog ve eğitim reformcusu

onlar aracılığı ile köylülere neyin nasıl yapılması gerektiğini gösteren bir yapı olarak dünya eğitim sistemi içerisinde önemli bir yere sahip olmuştur.

Çekoslovakya’da Svazarm, Doğu Almanya’da Genç Doğa Bilimcileri ve Teknisyenleri (Station Junger Naturforscher und Techniker), 1980’lerde İngiltere’de Londra konseyi tarafından kurulan “Teknoloji ağları” yaprak öğrenmeyi teşvik eden yapılanmalardı (Boeva and Troxler, 2020, s. 229). Bu yapılanmalar eğitim kuramcısı Samuel Papert’in yaparak öğrenmeyi teşvik eden öğrenim kuramına birer örnek olarak gösterilebilir. Martinez ve Stager (2013, s.13) Seymour Papert’i oluşturduğu eğitim felsefesinden yola çıkarak “Maker hareketinin babası” olarak tanımlamaktadırlar.

El becerileri üzerine gelişen Kendin yap akımı internetin yaygınlaşması ve teknolojik ürünlerin kullanım alanının genişlemesiyle beraber Maker hareketi ortaya çıktı. Maker kültürü sadece bilgi birikimi ile ilgilenen değil aynı zamanda o bilgiyi işleyerek, deneyimleyerek, üretip yeni şeyler yaratan insan topluluklarıyla ilgilidir. Yaratarak öğrenen Maker toplulukları “teknolojik yeniliklerin yalnızca ve münhasıran büyük üreticiler ve çok uluslu şirketler tarafından yaratılmadığını ima ettiğinden, toplumun teknoloji ile ilişkisini yeniden tanımlar (http-52)”. Teknolojide gelinen nokta ve teknolojiye ulaşımın kolaylaşmış olması Maker kültürü diye tanımlanan bir felsefenin ortaya çıkmasına yardımcı olmuştur. Maker kültürünün ortaya çıkışında tek bir etmenden bahsedebilmek bilmemiz pek mümkün görünmemektedir.

İnternetin yaygınlaşması yazılım üzerine meraklı olan bir insan topluluğunun ortaya çıkmasına neden oldu. Yazılımla yakından ilgilenen bu topluluklar (Hacker) 21. Yüzyılın başında donanım alanında yaşanan gelişmelerle sahip oldukları bilgi ve merakı başka bir yöne yönlendirmeye başladılar. 3 boyutlu yazıcılar, Arduino, Raspberry Pi gibi kolay erişilebilir dijital donanımlar Maker hareketinin başlamasına büyük katkıda bulundular (Boeva and Troxler, 2020, s. 330). 2005 yılında Dougherty’nin Make dergisini kurması insanların yeni hobiler edinirken yeni beceriler kazanmasına yardımcı oldu (Dougherty, 2012). Kendin Yap hareketinden farklı olarak Maker hareketi el becerileri ile donanım ve yazılımı birleştirerek yeni ürün prototiplerinin ortaya çıkmasına ön ayak olurken, bir yandan da büyük teknoloji firmaların ürettiği pahalı ürünlerin daha uygun maliyetlerle nasıl yapılabileceğini çözmeye başladı.

Competitive Enterprise Institute'den Iain Murray maker hareketini tanımlarken; “Dünya, “sanayi devriminin 19. yüzyılda yaptığı kadar göreceli faydalar sağlayabilecek, tüketici odaklı bir girişimci devrimin eşiğinde” diyor (http-53).

Gelber (1999) ise Maker hareketi; DIY hareketinin ev kullanımı için üretilmiş olan teknik aletler aracılığıyla ev eşyalarının onarımı ya da yeniden üretimi yoluyla, bireyin kendi kendine üretmeye odaklandığı sosyal bir uygulama olarak yayılmasıyla ilişkilendirdi.

Burke (2014, s.497) ise; makerların “insanlar(ın) eşya ürettiği” ilk zamanlardan beri var olduğuna gönderme yaparak, makerspacelerin “alet ve ekipmanla çalışmak için yerlere ihtiyaç duyduğu sürece çeşitli biçimlerde var” olduğunu söylemektedir.

Üretim genel olarak bakıldığında kolektif bir eylemdir. Üretilen her ne olursa olsun büyük bir oranda üretici başka bir bireyin üretmiş olduğu bir nesneden ya da bilgidен faydalanmak zorundadır. Üretimin daha verimli olması için işbirlikçi modeller benimsemek gerekmektedir. Make dergisinin kurulumunun ardından Dougherty 2006 yılında Maker Faire adını verdiği etkinlikleri düzenlemeye başladı. Faire etkinlikleri her yaştan insanın dahil olabildiği atölye çalışmaları ve yarışmalar düzenleyerek topluluğu bir araya getirmeyi, söyleşiler ve topluluğun etkinliklerde birbirleriyle sohbet edebilme olanakları ile sürekli gelişen ve ilerleyen bir yapıya dönüştü (Dougherty, 2012). Teknolojik olarak donanımsal ürünlerin çeşitlenmesi ve ucuzlaması Maker hareketinin gelişimini olumlu yönde etkilerken, Maker hareketinin katılımcılarının CNC tezgahları, lazer kesiciler gibi ekipmanlara ulaşabilmesi ve projeleri için bu ürünlerden yararlanabilmeleri amacıyla belli alanlara ihtiyacı vardır. Bu alanlarda Fablab, Makerspace vb. isimlerle adlandırılan kimi kamusal kimi özel alanlar olarak karşımıza çıkmakta ve hareketin gelişimine olanak sağlamaktadır. Maker hareketinin gelişimine katkıda bulunan bir diğer etmende, 2006 yılında Jim Newton ve Ridge Mchee'nin açtığı TechShop'tur (Boeva and Troxler, 2020, s. 331). TechShop vb. mağazaların dünya çapında yayılması Maker projeleri için gerek duyulan elektronik komponentler, mikrodenetleyiciler, bluetooth modülleri vb. ürünlere ulaşımı kolaylaştırdı. 2006'dan beri düzenlenen Maker Faire etkinliklerinin dünya çapına yayılması, Fablab vb atölye çalışmalarının yaygınlaşması, TechShop vb. mağazaların artması Maker hareketinin gelişimi etkileyen ve popüleritesini arttıran en önemli unsurlardır.

Bir ürün tasarlamak ve üretebilmek için malzeme kadar bilgiye de ihtiyaç vardır. Özellikle birçok kullanıcının yeni karşılaştığı Arduino, Raspberry gibi donanımsal ürünlerin kodlanması, elektronik komponentlerin doğru şekilde bağlantısının yapılabilmesi için teknik bilgi gerekmektedir. Gerekli olan bu teknik bilgilere ulaşabilmek ise internet sayesinde oldukça kolay hale gelmiştir. İş birliği yapmaktan, bilmediğini sorgulamaktan ve her şeyi bilmenin imkânsız olduğunun farkında olan Maker hareketi katılımcıları, sahip oldukları bilgileri internet üzerinden paylaşıırken, aradıkları bilgilere de kendilerinden deneyimli olan katılımcıların paylaşımları sayesinde ulaşabilmektedir. Çevrimiçi topluluklar arasında en ilgi çekici olanlarından birisi “Instructables.com”dur ve her ay 30 milyondan” (Ferretti and Lente, 2022) fazla kullanıcıyı açık bilgi paylaşımı ile buluşturmaktadır. Sitede eğitime yönelik paylaşılan içerikler ve paylaşılan projeler sayesinde üretilebilecek ürün sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Instructables dışında YouTube, Thingiverse, MakeFaire vb onlarca site kod yazımı başta olmak üzere yapılan proje için gerekli olan her şeyin listelendiği birer açık Maker kütüphanesine dönüşmüş durumdadır.

Fikri olan herkes ulaşabildiği bilgiler doğrultusunda bir dizüstü bilgisayarda fikrini kavramsallaştırabilir ve Kendin Yap mantığıyla bir FabLab'ın makine ve araçlarından destek alarak kavramsallaştırdığı fikrini üretime geçirebilir (http-54). Topluluk üyeleri tarafından üretilen ürünler küçük ölçekli ürünler gibi gözükseler bile, doğru fikirler kitle fonlama araçları sayesinde küresel çapta ürünlere dönüşebilme potansiyeline de sahiptir. Büyük çaplı şirketlerin Maker topluluklarının ürettikleri fikirleri değerlendirmesi gerektiğine vurgu yapan Dougherty (2012, s. 13), Maker Faire etkinliğinde başından geçeni şöyle anlatır; “Büyük yarı iletken araştırma ve geliştirmede çalışan bir kişiyle konuştum. ... 14 yaşındaki bir çocuğun geliştirmek için 10 milyon dolar harcadıkları ev otomasyon sistemine oldukça benzer bir şey sergilediğini söyledi”. Dougherty’nin bu aktarımı bile topluluk içinde üretilen projelerin içerisinde değerinin görünenden fazla olduğu fikirlerde barındırdığının bir göstergesidir.

Dünya çapında benimsenen bir hareket olan Maker kültürünün ilgi duyduğu ve ürettiği ürünlerin listelenmesi veya sınıflandırılması oldukça zordur. Fakat bazı belli başlı uygulamalardan söz edecek olursak; (Mohomed and Dutta, 2015, s. 43)

- Genel olarak çocukları ve acemileri eğitmeye yönelik projeler,
- Robotlar ve uçan insansız hava araçları,

- E- tekstil; iletken iplikler gibi birleşenler yardımıyla üretilen ve giysiye dikilebilen Arduino LillyPad, sensörler ve aktüatörler,

maker topluluklarının yoğunlaştığı belli başlı üretim alanlarıdır.

Kafai, Fields ve Searle (2104), Maker hareketi sayesinde “geleneksel olarak teknik alanlardan dışlanan” tasarım öğrencilerinin yeni bir olanak olarak E-tekstile yöneldiklerini belirtir. Quinn’in belirttiği gibi; modanın kendisi teknoloji tarihi olarak kabul edilir (Quinn, Introduction, 2002). Tarih boyunca yaşanan her teknolojik gelişme kültürü şekillendirirken bir yandan da modanın şekillenmesine neden olmaktadır. Morozov'un belirttiği gibi, “[günümüzde] bilgisayar korsanları sistemi çökertmiyor; daha fazla iş yapabilmek için onunla oynuyorlar” (Ferretti and Lente, 2022). Maker hareketine dahil olan tasarımcılar da ellerinde olan teknoloji sayesinde klasik moda algısının ötesinde bir şeyler ortaya koyabilmek için tasarım ve teknolojiyle oynuyorlar.

8. TASARIM VE TASARIMCININ DEĞİŞEN ROLÜ

20. yüzyıla baktığımızda insanların bir alan üzerine kariyerlerini odakladıklarını ve bunun üzerine çalışmalar yaptıklarını görmekteyiz. Üzerine odaklandıkları bu konularda uzmanlaşan ve bu doğrultuda çalışmalar yapan insanlar, geçtiğimiz yüzyıl için başarılı ürünler ortaya koymuş olsalar bile, içinde bulunduğumuz bu yüzyılda disiplinler arası, multidisipliner çalışma sistemlerine ayak uyduramazlarsa ya da kendilerini başka konularda da geliştiremezlerse başarılı ürünler üretme konusunda geride kalacaklardır

Tasarımcı da diğer mesleklerde olduğu gibi yeni gelişen teknolojilere ayak uydurmak zorundadır. Tasarımcılar artık kâğıda çizim yapmak yerine CAD programlarını öğrenmek, alanları üzerine yapılan araştırmalardaki yeni gelişmelerden haberdar olmak, üretim sürecinde karbon ayak izini, sürdürülebilirliği ve bunlar gibi birçok şeyi göz önünde bulundurmak ve önemsemek zorundadır.

Bradley Quinn'e (2002) göre; "21. yüzyıl modası, geleneksel yöntemlerden çarpıcı bir şekilde ayrılır; Tasarımcılar ilham almak için geçmişe bakmak yerine artık yüksek teknolojiye geleceğe bakıyor." Hilary Peterson'a göre; "Teknoloji, bir sorunu çözmek için bilimsel bilgiyi kullanmakla ilgilidir; modada teknoloji, kullanılabilecek akla gelebilecek her aracı kapsar: malzemeleri geliştirmek için nanoteknoloji, çevrimiçi alışverişi geliştirmek için algoritmalar veya müşterilere reklam vermek ve rehberlik etmek için artırılmış gerçeklik (http-55)." Üretimden pazarlamaya birçok alanda modayı etkisi altına alan teknolojinin, tasarım sürecinde kullanımı: "Geleneksel moda tasarımcısının beceri setine teknolojik uzmanlık, dinamik iş birliğine dayalı birlikte çalışabilirlik ekleyerek, tasarımcının sanatsal bağımsızlığa sahip dijital bir zanaatkar haline geldiği dijital bir kültür ve zanaat olarak moda tasarımının boş yargı alanını doldururlar (Särmäkari, 2021, s. 23)." Dijital ortamda tasarlanan ürünlerden, dijital ortamların gerçekliğini daha etkin kılmak için üretilen ürünlere kadar birçok ürün; moda tasarımcısının teknoloji ile yüzleşmesine ve farklı disiplinlerden bireylerle ortaklaşa çalışmasına neden olmaktadır.

Moda tasarımcısı açısından duruma baktığımız zaman modanın üretim sürecinin tüketim sürecine ve kullanıcı beklentilerinden pazarlama stratejilerine kadar yaşanan değişime ayak uydurmak zorunda olduğunu söyleyebiliriz. Moda pazarı sektöründe giyilebilir teknoloji ürünleri pazarının ve bu ürünlere olan talebin gün geçtikçe artması moda tasarımcısının klasik bir tekstil ürünü tasarımından daha farklı bir yaklaşım benimsemesi gerekliliğini doğurmaktadır. Günümüze kadar üretilen giyilebilir teknoloji

ürünleri genellikle mühendisler tarafından üretilmişlerdir. Mühendisler her ne kadar kendi alanlarında iyi olsalar ve işlevsellik olarak başarılı ürünler ortaya çıkarmış olsalarda bu ürünlerin ergonomi ve estetik açısından eksik kaldıkları söylenebilir. Nasıl bir endüstriyel tasarımcı; bir yazılımcı ve kodlayıcı gibi farklı disiplinlerden bireyler ile çalışmayı başarabiliyorsa, moda tasarımcısı da farklı disiplinlerden insanlar ile üretim süreci içinde etkileşim halinde olmak zorundadır.

Bu zorundalık insanların beklentileri ile de alakalıdır. Geçtiğimiz yüzyıllarda insanlar bir kıyafet satın alırken ürünün rengi, tasarımı ve dayanıklılığı üzerine odaklanmaktaydılar. Günümüz insanı ise artan toplumsal bilinç sayesinde ürünün üretim şekli ve doğaya karışabilirliğine, teknolojik gelişmelerin varmış olduğu noktadan dolayı ürünün başka ürünler ile etkileşim haline girip girmediğine ve işlevselliğine de bakmaktadırlar. Bir saatin ya da bilekliğin aksesuar olmaktan daha fazla şey ifade ettiği bir süreci yaşadığımız son 15 yılın ardından; bir tişörtün ya da pantolonun giysi olmaktan çok daha fazla şey ifade ettiği bir döneme girilmektedir.

B. Moggridge'in (2007) da belirttiği gibi tasarımcılar artık daha güzel ya da faydacı bir nesne tasarlamakla değil, tasarlanan nesne ile insan etkileşiminin nasıl gerçekleşeceği üzerine yoğunlaşmaktadır. Bir endüstriyel nesne ile insanın etkileşimi farklı düzeylerde ve seviyelerde olabileceği gibi farklı yöntemlerle de gerçekleştirilebilir. Moda tasarımcısı da etkileşim kurmasını sağlayacak yöntemlerden haberdar olmak zorundadır. Ayrıca moda tasarımcısı ürettiği tasarım fikrinin uygulanabilirliği konusunda bir öngörüye sahip olabilmek adına yeterli düzeyde kod bilmesini, aktüatörler ve sensörler hakkında fikir sahibi olabilmeli, malzeme bilgisi dağarcığını genişletmelidir.

8.1. Geleneksel Tasarım Süreci

Tasarımcıları diğer insanlardan ayıran en önemli özellikleri yeni fikirler üretebilmeleri ve denenmemiş olanları keşfedip peşine düşmeleridir. Tasarımcının hayal gücü alışlagelmişin dışındaki fikir sürecini beslerken, sahip olduğu donanım ise; bu fikrin doğru materyal ve yöntemleri belirlemesini sağlamaktadır.

Tasarımı yapılan ürün her ne olursa olsun tasarım süreci öncelikle bir fikir ile başlar.

Fikir ile başlayan tasarım sürecinin ikinci evresi araştırma evresidir. Tasarımcı bu süreçte fikrin fiziksel olarak ortaya konulup konulamayacağını ve toplumun bu tasarıma nasıl yaklaşacağını araştırır. Bir fikir ne kadar başarılı olursa olsun, toplumun beklentileri,

etik ve estetik değerleri ile örtüşmezse başarılı olma olasılığı yoktur. Bu nedenle tasarımcı tüketicinin beklentilerini, dönemin trendlerini takip eden bir birey olmalıdır. Fikrin uygulanabilirliği ergonomik ve malzeme vb. açılardan uygun görünse bile; bazı tasarımların piyasaya sunulması için toplumun hazır olması beklenmek zorundadır.

Tasarımcı fikri bulduktan sonra, olabilirliğini araştırma ve fikri geliştirme sürecine başlar. Bu süreç içerisinde izlenen filmler, okunan yazılar, gidilen müzeler; kısaca edinilen bütün deneyim ve bilgiler, tasarımcının kafasındaki hikâyeyi netleştirerek içindeki parçaların dokümanlarını hikaye panosuna yansıtır. Bu pano içerisinde renkler, eskizler, tasarım detayları, kullanılacak materyallerin örnekleri...

Ürünün tasarımı tasarımcının zihninde nihai halini aldıktan sonra; teknik çizimlerin yapılması ve kalıp hazırlama evresi ile devam eder. Kalıbı hazırlanan ürünler kesimhaneye ve daha sonra dikiş bölümüne gider. Geleneksel tasarım ve üretim sürecinde moda tasarımcısı kumaş, renk ve trendleri takip ederek başarılı bir moda ürünü ortaya koyabilmektedir.

8.2. Çağdaş Tasarım Süreci

Çağdaş tasarım sürecinde ise kumaşın rengi, ergonomisi, dokusu gibi konular dışında; nanoteknoloji ile üretilen kumaşların sağladığı avantajlardan haberdar olmak zorundadır. Bunun dışında giyilebilir teknoloji ürünü tasarımı sürecine girilecekse veri girişi ve çıkışını nasıl sağlaması gerektiği hakkında da fikir sahibi olmalıdır. Veri iletkenliğinin nasıl sağlanacağı, verilerin nasıl toplanıp analiz edileceği, kullanıcıdan hangi verilerin toplanacağı ya da hangi verilerin nasıl ve hangi yollarla kullanıcıya aktarılacağı gibi birçok problem ile yüzleşmek zorundadır. Moda tasarımcıları; giyilebilir teknoloji ürünü tasarımlarını yaparken dönemin teknolojik gelişmelerini kendi alanlarıyla sentezleyip kullanıcı ihtiyaçlarına cevap verebilmelidirler. Alanları dışındaki kod yazımı, mikro denetleyici, mikro işlemci, sensörler vb. konularda fikir sahibi olmalıdır. Bunlar kullanıcı beklentisinin doğurduğu günümüz gereklilikleridir.

Michal Levin "Fashion with Function: Designing for Wearables" (2014) da giyilebilir bir teknoloji ürünü tasarımında tasarımcının göz önünde bulundurması gereken 4 faktörden bahseder. Bu dört ana faktör; görünürlük, rol, cihazda görüntüleme ve etkileşim modelidir.

Görünürlük

Levin tasarlanan ürünleri diğer insanlar tarafından görünür olup olmamalarına göre iki ayrı sınıfa ayırır. Sağlık sektöründe, spor ya da fitness etkinliklerinde kullanılan sağlık değerlerini takip etmek üzere tasarlanmış ürünlerin bir kısmı gündelik hayatta kullanılan kıyafetlerin altında kalarak başkaları tarafından görünürlüğünü kaybetmektedir. Bu ürünlerin asıl amacı belli sağlık verilerini ölçmektir. Başkaları tarafından görünür olmadıkları için diğer ürünlere oranla estetik kaygı taşıma olasılıkları düşüktür. Ancak diğer insanlar tarafından görülebilen ürünler; örneğin FoxAlertshirt, TeslaSuit vb. tasarım sürecinde işlevsellikleri kadar moda ile aralarında oluşacak bağı da dengelemelidir. Ürünlerin sahip olacakları estetik düzey kullanıcı tarafından kabul görmesinde ve kitlelerin benimsemesinde önemli düzeyde rol oynamaktadır.

Rol

Levin tanımladığı bir diğer ana faktörde ürünleri işlevselliklerine göre; Tracker, Messenger, Facilitator, Enhancer olmak üzere 4 ayrı başlığa ayırmaktadır. *Tracker* yani izleyici/takip amaçlı kullanılan ürünler kullanıcının aktiviteleri ve fizyolojik durumu ile ilgili verileri toplayan cihazlardır. Genellikle sağlık ve spor sektörlerinde kullanılmaktadırlar. *Messenger*; akıllı telefonlar ile bağlantı halinde olan ve gelen mesajlarla aramaları kullanıcıya aktaran cihazlardır. Bu kategorinin çoğunluğunu ise akıllı bileklikler ve akıllı saatler oluşturmaktadır. *Facilitator* yani kolaylaştırıcı diye Türkçeye çevirebileceğimiz bu cihazlar birkaç eylem sonucu elde edilebilecek sonucu daha kısa yolla halletmemizi sağlayan cihazlardır. Bu durumu Levin; Google Glass'ın fotoğraf çekme eylemini, akıllı telefonla fotoğraf çekme eylemiyle kıyaslayarak açıklar. *Enhancer (geliştirici/arttırıcı)*, gerçek dünyada çevreye ve nesnelere yerleştirilmiş olan bilgileri, arttırılmış gerçeklik sayesinde aktaran cihazlardır. Etkileşime girdiği çevre ya da nesne ile kurduğu veri alışverişi sayesinde gerçek dünya ile kurmakta olunan deneyimi geliştirir ve arttırmaktadırlar.

Cihazda Görüntüleme

Levin cihazda görüntüleme ile kullanıcıya aktarılacak verinin cihaz üzerinde görüntülenmesini kastetmektedir. Cihazda bir verinin görüntülenip görüntülenmemesi ürünün tasarım amacıyla doğrudan ilişkilidir. Tasarım amacına göre kullanıcı ile hangi düzeyde bir etkileşim gerektiği, bir şeyler hakkında kullanıcıyı bilgilendirmemiz gerekip

gerekeceği, bilgilendirme için görüntülemeye ihtiyaç duyulup duyulmaması verilerin cihazda görünür olup olmamasını etkileyen faktörlerdir. Tasarımın amacına göre eklenebilecek görüntüleme seçenekleri kullanıcı deneyimi açısından önem teşkil etmektedir. Örneğin; akıllı telefonla etkileşim halinde olan bir akıllı bileklik ya da saat, telefona gelen bildirimleri OLED tabanlı bir ekran yerine sadece yanan sönen led ışıkları ile kullanıcı tarafından kabul görme olasılığı daha düşüktür. Aynı şekilde etkileşimsiz bir ekrana sahip ürün de etkileşimli bir ekrana sahip ürüne göre daha düşük bir kabul oranına sahip olacaktır.

Yine de ürünün tasarım amacına göre görüntülemeye ihtiyaç olup olmadığına karar vermek tasarımcı için önemli bir ayrıntıdır. Örneğin; eğlence amaçlı üretilen bir haptik geri bildirim giysisinde asıl amaç sanal dünya deneyimini arttırmak olduğu için, bu ürünlerde veriyi görüntülemek mantıksızdır.

Etkileşim Modeli

Levin giyilebilir cihazlarla etkileşim sürecini *manuel, yarı otomatik ve otomatik* olarak üçe ayırır Manuel olan cihazlarda bir veri elde edebilmek için kullanıcı cihaza müdahale etmek zorundadır. Yarı otomatik cihazlarda ürün kullanıcıyı bir işlem yapması gerektiği konusunda uyarır. Tam otomatik etkileşime sahip cihazlar ise topladıkları verileri sisteme kullanıcıya ihtiyaç duymadan aktarabilen ürünlerdir. Levin ürünlerin üretim şekli ve amacına göre bu üç etkileşim modunun da aynı üründe bir arada kullanılabileceğini belirtmektedir.

Ürünün kullanıcı ile etkileşime geçme süreçleri ise farklı yöntemler ile gerçekleştirilebilir. Ürün elde ettiği verileri bir ekran üzerinden (bu ekran ürün üzerinde bulunabildiği gibi verilerin aktarıldığı bir monitörde olabilir) grafiksel ya da sayısal değerler olarak aktarabileceği gibi ses, led ışıklar ya da titreşim gibi uyarı yöntemleri ile de kullanıcıya aktarabilir. Etkileşim yöntemi seçimi de yine ürünün tasarım amacıyla uyumlu olmalıdır. Örneğin; sportif bir eylem yapan bir kullanıcının ekrana bakma, sesi işitme olasılığındansa titreşimi hissetme olasılığının daha yüksek olması, bu tür tasarıma yönelik ürünlerde haptik geri bildirim kullanımını daha mantıklı hale getirmektedir.

Giyilebilir teknoloji ürünlerinin tasarım ve üretim sürecinin klasik moda eğitimi dışında beceriler gerektirdiği görülmektedir. Moda tasarımcısı eğer bir giyilebilir teknoloji ürünü üretmek istiyorsa ürün tasarımcısı ile üretim süreci boyunca diyalog

halinde olmalı ve birbirlerinden öğrenerek tasarım sürecini ilerletmelidir. Multidisipliner bir üretim süreci sürdürebilmek ürün başarısı için kritik bir öneme sahiptir. Tasarım sürecinde tasarıma dahil olan “her disiplinin getireceği çok fazla bilgi vardır ve herhangi bir sorunun son kullanıcıya ulaşmadan erken tespit edilip çözülmesine olanak tanır (http-56)”.



9. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmanın ana amacı maker yaklaşımından yola çıkarak, herkesin kolaylıkla erişebildiği ve gündelik hayatta sıklıkla kullanılan malzemeler yardımıyla, haptik geri bildirim sağlayan bir giyilebilir teknoloji ürünü tasarlamak, oluşturmak, deneyimlemek ve test etmektir. Çalışma kapsamında tasarımı yapılan prototip sayesinde izlenilen görüntü ya da oynanan video oyununda karakterin karşılaştığı fiziksel tepkileri (sarılma, yumruk, tekme, çarpma vb.) ürünün kullanıcılarına pnömatik sistemle oluşturulan haptik geri bildirimler sayesinde ileterek, sanal dünya deneyiminin etkinliğini arttırmak hedeflenmektedir.

Çalışma kapsamında yapılan araştırmalarla pnömatik sistemlerde kullanılan hava keseciklerinin sahip olması gereken boyutlar ve vücut üzerinde bulunmaları gereken konumlar deneyimlenerek test edilecek ve bu konu üzerinde gelecekte yapılacak çalışmalara yol göstermesi hedeflenmektedir. Ayrıca sanal dünya ile gerçek dünya arasında fiziksel etkileşim oluşturmak ve sanal gerçeklik deneyimini geliştirmek amacıyla gündelik hayatta sıklıkla kullanılan ve kolaylıkla temin edilebilen malzemeler ve açık kaynaklı kodlar kullanarak maker yaklaşımıyla oluşturulacak pnömatik sistem ile haptik giyilebilir bir ürün prototipi oluşturulacaktır.

Bu kapsamda araştırmanın temel soruları şunlardır:

Haptik geri bildirim sistemlerinden biri olan pnömatik sistemlerin, gündelik hayatta sıklıkla kullanılan, kolay erişilebilir malzemeler ile açık kaynaklı kodlar kullanarak oluşturulması mümkün müdür?

Pnömatik giysi üretimi için hangi malzemeler kullanılabilir?

Haptik geri bildirimlerin kontrollü bir şekilde yapılması mümkün müdür?

Pnömatik giysinin vücut üzerine uygulamış olduğu basınç noktalarını ve bu noktalara uygulanan basınç değerlerini 3 boyutlu simülasyon yazılımlarını kullanarak modellemek mümkün müdür?

Bu araştırma sorularından yola çıkılarak elde edilen giyilebilir teknoloji prototipinin oluşması sürecinde; prototipin tasarımı, 3 boyutlu tasarım programında simülasyonunun oluşturulması, haptik sistemin kurulması, elektronik komponentlerin entegre edilmesi, kod yazımı, prototipin dikimi ve oluşturulan sistemin prototipe

yerleştirilmesi işlem basamaklarını oluşturmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise; 3 boyutlu giysi tasarım programı olan Clo 3D’de bir avatar oluşturulmuştur. Oluşturulan avatar üzerinde; kumaş kiti ile ölçülüp analizi yapılan denim kumaşından elde edilen veriler ve kalıp ölçüleri aktararak, avatarın farklı noktalarına yapılan basınç değerleri ölçümlenmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen verilerle; kavramsal tasarım örneği olarak modüler bir duyuşal geri bildirim ürünü “PuzzleSuit” önerisi yapılmıştır.

Tez çalışmasında kullanılan malzemeler, programlar ve uygulanan yöntemin aşamaları aşağıda açıklanmıştır.

9.1. Materyal

Prototipte geliştirilen ürünün yapısı gereği tekstil ürünlerinin yanında, farklı yapıda malzemeler de kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler gruplandırılarak aşağıda listelenmiştir.

9.1.1. Giysi tasarımı ve dikimi

Ham denim indigo: Dokuma tekniğiyle üretilmiş, yıkanmamış %100 pamuk kumaş.

Kuş gözü: Prototip içerisinde yer alan hortum ve kabloların geçişini sağlamak amacıyla ürüne 7mm çapında 7 adet kuş gözü açılmıştır.

Şeffaf iplik: Cepler ve köprülere atılacak dikişlerin dışarıdan görülerek prototipin estetik görüntüsünü bozmaması için 15 mikron kalınlığında 0.25mm ene sahip, %100 polyesterden üretilmiş monofilament şeffaf iplik tercih edilmiştir.

Astar: Kapüşon için üzerine dijital baskı yapılmış %100 pamuk dokuma kumaş kullanılmıştır.

Kordon: Kapüşon için asetat uçlama iğneli kordon kullanılmıştır.

Giysi tasarımında yukarıdaki ürünler dışında fermuar ve cırt bant da kullanılmıştır.

9.1.2. Pnömatik sistem

Kompresör: Gazların hacmini azaltarak basıncını arttırmak amacıyla Zhejiang Jönway Technology Co. Ltd ürettiği ZA65-50L kayış tahrikli hava kompresörü kullanılmıştır.

Serum poşeti: İlaç ve solüsyonları, steril bir şekilde saklamak için PVC'den üretilen, 250 ml'lik 4 adet ve 150 ml'lik 2 adet olmak üzere toplam 6 adet serum poşeti kullanılmıştır.

Hortum: Hava akımının aktarımı için 6 mm çapında, poliüretandan üretilmiş pnömatik hortum kullanılmıştır.

Solenoid valf: Elektrik akımı sayesinde açılıp kapanan ve sıvılarla gazların akışını düzenleyen vana. Tasarımda; Otogaz'ın üretmiş olduğu, NLP marka benzin kesici valf kullanılmıştır.

Dağıtıcı: Akışkanların yönünü değiştirmek, çıkış sayısını arttırmak için akvaryumlarda kullanılan 5li hava dağıtıcı kullanılmıştır.

9.1.3. Elektronik komponentler

Arduino mega: Açık kaynaklı, tek kartlı mikrodeneleyici Arduino mega 2560 R3 modeli kullanılmıştır.

Bluetooth Modülü: Hc 05 Bluetooth Modülü kullanılmıştır. Kullanılan modelin Hc 06 modeline tercih edilmesinin nedeni hem master hem de slave olarak çalışabilmesidir. Slave olarak çalışan materyaller; güncellemeleri alıp ana hedefe bildirebilir fakat güncellemeleri durduramazlar. Master olarak çalışabilen materyaller ise; tüm güncellemeleri kaydederek ve bunları slave olan veri tabanlarına gönderebilmektedirler. Master olarak görevlendirilen materyaller veri tabanlarını yönlendirebilirken, Slave olanlar veri tabanları üzerinde kontrol sahibi olamamaktadır.

Röle: Önceden belirlenmiş akım düzeylerinde çalışan anahtardır. Sisteme uyumlu olabilmesi için 5V'luk röle kullanılmıştır.

Adaptör: 5V ve 12V iki adaptör kullanılmıştır.

Baskılı Devre Kartı (PCB): Bluetooth modülü ve rölelerle Arduino megaya gidecek kabloların bağlantısını sağlamak amacıyla devre kartı kullanılmıştır.

Sigorta Kutusu: 21cm x 16 cm ölçülerinde plastik kutu.

Devrenin elektriksel aktivitesini sağlayabilmek için; ayrıca pil, direnç, kablo gibi yardımcı elemanlar kullanılmıştır.

9.2. Metot

Çalışma pnömatik; sistemle çalışan bir haptik geri bildirim prototipinin tasarım ve üretim süreciyle, prototipin 3 boyutlu simülasyon modelleri doğrultusunda bilgisayar ortamında elde edilen basınç değerleri üzerine yapılandırılmıştır.

Çalışmada haptik geri bildirim sistemi üzerine yapılan literatür araştırmasının ardından eskiz çalışmaları yapılmış ve malzeme belirleme sürecine girilmiştir.

Eskiz çalışması sürecinde Gemperle vd. (1998), Zeagler (2017) giyilebilir teknoloji ürünlerinin vücut üzerinde nasıl konumlandırılması gerektiği üzerine yaptıkları araştırmalar ve Navaraj vd. (2017) mekanoreseptörlerin insan vücudunda dağılımını gösteren çizimleri göz önünde bulundurularak, pnömatik sistemi oluşturacak hava keseciklerinin ve elektronik komponentlerin yerleşim yerleri belirlenmiştir.

Malzeme belirleme sürecinde maker yaklaşımı temel alınarak hazırlanan prototip için kolay erişilebilecek malzemeler üzerine denemeler yapılmıştır. Malzeme seçimi yapılırken kolay erişilebilirliğin yanında göz önünde bulundurulacak bir diğer hususta pnömatik sistemden alınacak haptik geri bildirimin istenilen düzeyde olup olmamasıdır. Morrison vd. (2018, s. 7) yaptıkları araştırmada, titreşimli duyuşal geri bildirim süresi-örtüşme arasında elde ettikleri sonuçlara göre; oran sakinleştirici/iyi hissetme (0,5), diğeri etkinleştirme ($>0,5$), diğeri yine can sıkıcı ($<0,5$) olarak algılanmıştır. Bu çalışma; hedeflenen duyuşal geri bildirim için sürenin önemini vurgulamaktadır. Bu çalışmayı referans olarak seçimi yapılacak hava keseciğinin 0,5 saniyede şişmesini sağlamak ve bu hızda şişirilirken şişirme hızına dayanıklı olması malzeme seçimini etkileyen önemli bir aksiyom olarak kabul edilmiştir.

Prototipte kullanılacak malzemenin ardından prototip tasarımının 3 boyutlu tasarım programları Clo 3D (6.2 sürümü) ve ANSYS'de simülasyonu yapılmıştır. Clo 3D programına tercih edilen ham denim kumaşın veri değerlerini aktarabilmek için, kumaşın Clo Fabric Kit 2.0 ile testi gerçekleştirilmiş ve kumaşın ağırlık, kalınlık, bükülme direnci ve çekme değerleri ölçümlenmiştir. Clo 3D programında yapılan simülasyonda prototipin avatara yaptığı basınç değerleri, ANSYS yazılımında da hava keseciklerinin modellenmesi yapılarak mekanik analizleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak Visi 2020.2: Yazılımda elektronik komponentlerin 3 boyutlu simülasyonu yapılmıştır.

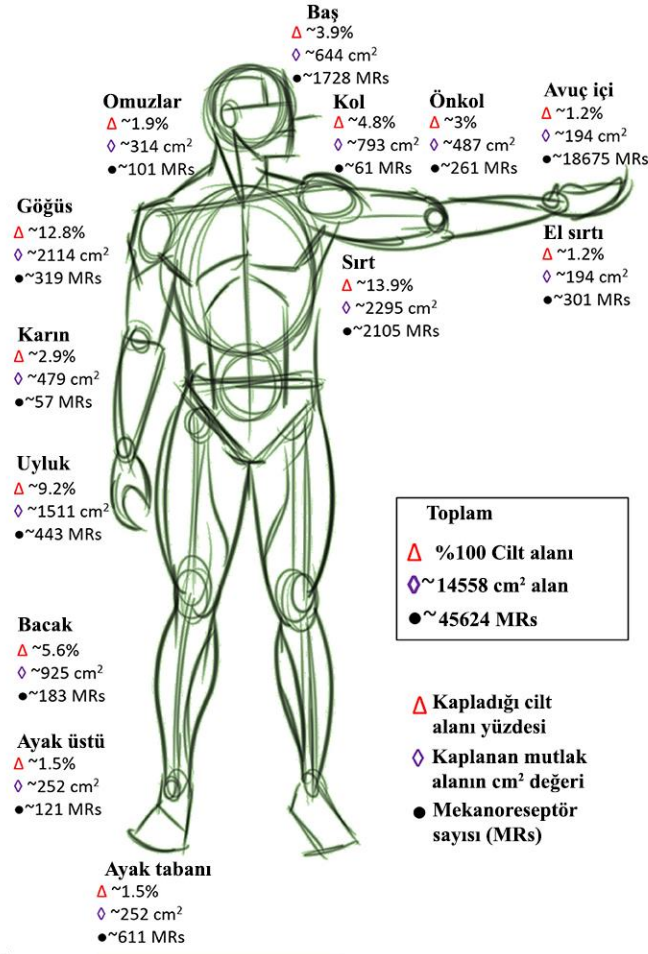
Simülasyon çalışmalarının ardından haptik sistem oluşturulmuş ve elektronik komponentler entegre edilmiştir. Haptik sistemin istenildiği şekilde programlanabilmesi için Arduino Mega 2560 R3 mikrodenetleyici sisteme entegre edilmiş, gerekli olan kodlar Arduino IDE 1.8.18. sürümü yazılımında yazılarak Arduino megaya aktarılmıştır.

Clo 3D programından elde edilen veriler doğrultusunda prototipin dikim süreci gerçekleştirilmiş ve hazırlanan pnömatik sistem prototipe yerleştirilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda kavramsal bir modüler pnömatik bir sistem tasarımı önerisinde bulunulmuştur.



oldukları Şekil 10.2’de gösterilen mekanoreseptörlerin vücudun çeşitli yerlerindeki dağılımı referans alınmıştır (Navaraj, ve diğerleri, 2017).

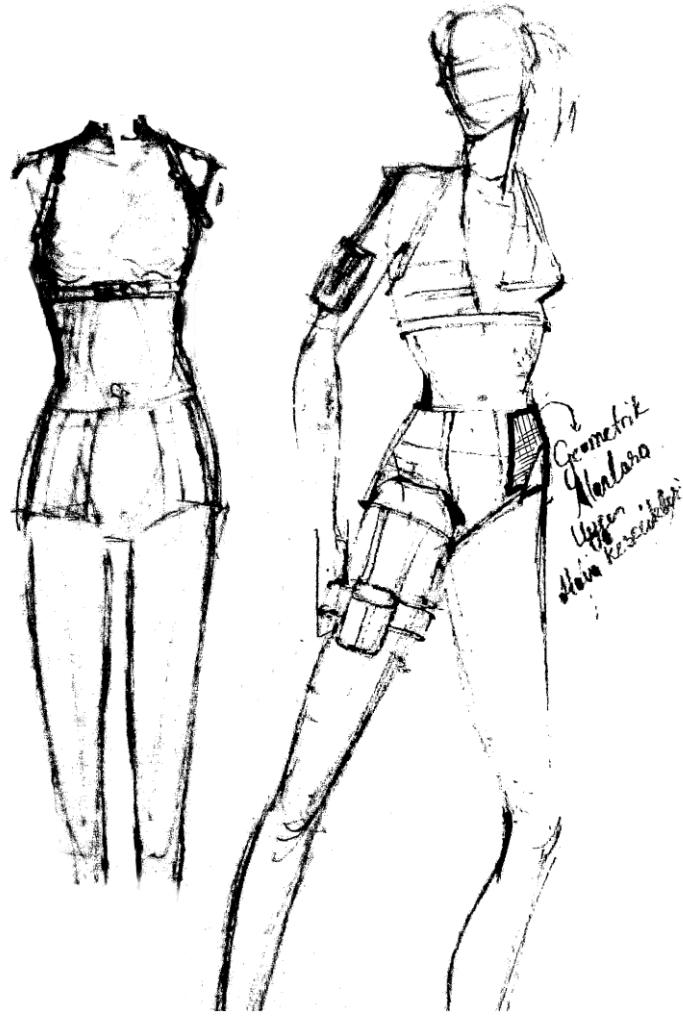


Şekil 10.2. Mekanoreseptörlerin vücut yüzeyinde dağılımları

Prototipin görünümü ve hava keseciklerinin hangi bölgelere yerleştirilebileceğine dair kara kalem eskizleri Görsel 10.1-10.3’te gösterilmiştir.



Görsel 10.1. *Hava kesecikleri yerleşim yerleri eskizi*



Görsel 10.2. Hava kesecikleri yerleşim yerleri eskizi 2



Görsel 10.3. *Eskiz çalışması*

Pnömatik sistem, hava keseciklerinin yerleşim yerleri ve prototipin eskiz çizimlerinden sonra Görsel 10.4-10.5'te gösterildiği gibi bilgisayar programında taslak çizimleri yapılmıştır.



Görsel 10.4. *Tulum denemesi*



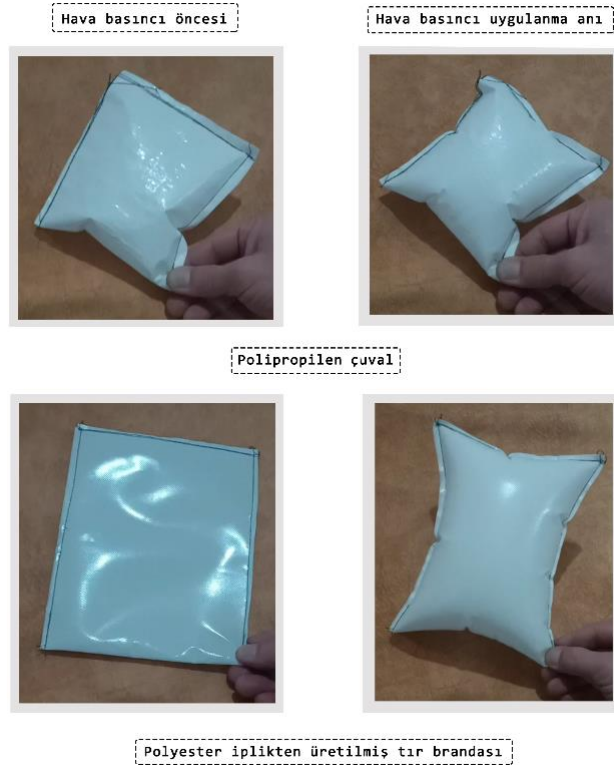
Görsel 10.5. *Modüler çizim denemeleri*

Eskiz çalışmaları ve literatür taramasının ardından elde edilen veriler doğrultusunda Pnömatik sistemde kullanılacak hava kesecikleri için uygun olan malzemeyi belirlemek amacıyla farklı denemeler yapılmıştır. Ecoflex, silikon, pvc ve polietilenden elde edilebilecek hava keseciklerinin üretim aşamaları her tüketicinin üstesinden gelebileceği

bir basitlikten uzaktır. Üretim aşaması için öncelikle istenilen boyutlarda kalıpların hazırlanması ve bu maddelerin akışkan hallerindeyken bu kalıplara dökülüp kürlenmeye bırakılması gerekmektedir. Kalıpta ya da kalıba döküm aşamasında oluşabilecek hava kabarcıkları ile kürlenme sürecinin dikkatli yapılmaması durumunda istenilen sonucu elde etmek mümkün değildir. Özel teknikler ve bilgi gerektiren bu malzemeler karmaşık ve zor bir üretim sürecine sahiptirler. Bu nedenle bu malzemeler denemelerin dışında bırakılmıştır.

Ripstop dokuma tekniği ile üretilen kumaşlar da hava kesecikleri üretimi için uygundur. Fakat bu malzemeden üretilebilecek hava keseciklerinin kenarlarını, PVC ve polietilen dudak ile güçlendirmek gerekmektedir. Bu malzemeler de üretim sürecinde özel teknikler ve kenarları kapatmak için özel ısı kaynağı sağlayan makineler gerektirdiğinden dolayı deneme dışında kalan malzemelerdendir.

Hava kesecikleri konusunda ilk denemeler kumaşlarla yapılmıştır. Kumaşlar arasından hava geçirgenliği daha az olan; PVC kaplamalı çadır kumaşı, polipropilen çuval ve polyester ipliklerden üretilen tır brandası üzerinde denemeler yapılmıştır. Bu kumaşlardan istenilen boyutlarda kesilen parçalar dikilerek hava kesecikleri oluşturulmuş, oluşturulan hava keseciklerine kompresörle basılan hava sonucunda yeterli performans elde edilememiştir. Tır brandasının şişme performansı iyi olsa bile dikişlerin arasından sızan hava kullanıcıya istenilen etki dışında bir etki yarattığı için tercih edilmemiştir (Bkz. Görsel 10.6).



Görsel 10.6. Polipropilen çuval ve polyester tır brandası

Kumaşlarla yapılan denemelerden istenilen sonuç elde edilemeyince, plastik ürünler üzerinde denemeler yapılmıştır. Dış macunu tüpü, su torbası (Bkz. Görsel 10.7), ambalaj ürünlerinde kullanılan paketlenme poşetlerinin şişirilmeye karşı gösterdikleri tepkiler gözlemlenmiştir. İstenilen boyutlarda oluşturulan ve ambalaj paketlenmede kullanılan poşetlere, poşet ağzı kapama ve yapıştırma makinası ile çift sıra ısıtma işlemi uygulanarak hava geçirgenliği engellenmiştir. Isıtma işlemi ile preslenen poşetlerden elde edilen hava keseciklerine, hava girişini sağlamak amacıyla şırıngaların ucunda bulunan plastiğin ucu kesildikten sonra yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Ambalaj paketi poşetleri ile elde edilen hava keseciklerinden, buzdolabı kompresörü ile yapılan testlerde başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Bkz. Görsel 10.8). Fakat normal bir kompresör ile daha hızlı sürede şişirildiklerinde, zamanla bu malzemelerde deformasyon olduğu ya da keseciklerin patladığı gözlemlenmiş ve bu malzeme de kullanılabilecek ürünler listesinden çıkarılmıştır. Su torbası ve dış macunu tüpleri dayanıklı malzemeler olmasına rağmen istenilen boyutlarda üretiminin maliyeti bu ürünlerinin de kullanılabilecek malzeme listesinden çıkarılmasına neden olmuştur.



Görsel 10.7. *Diş macunu ve su poşeti*



Isıl işlemle çift preslenmiş
ambalaj poşeti



Ambalaj poşetine sibop
uygulanması



Ambalaj poşetine hava basıncının
uygulanma anı

Görsel 10.8. *Ambalaj poşeti ile yapılan denemeler*

Tansiyon aletlerinde kullanılan ve kauçuktan elde edilen iç lastikler ile denemeler yapılmıştır. Özelliği gereği hava basıncına dayanıklı olan bu malzemeden, istenilen

performans elde edilebilmesine rağmen, piyasada bulunan boyutlarının sınırlı sayıda olması ve istenilen boyutta üretiminin gerçekleştirilmesinin zorluğu bu malzemenin tercih edilmemesine neden olmuştur.

Bir sonraki aşamada serum poşetleri ile denemeler yapılmıştır. Serum poşetleri yapıları gereği akışkanları içerisinde muhafaza etme yeteneğine sahip malzemelerden üretilmektedir. Genellikle sıvı ya da plazma gibi malzemeleri içlerine hapsetmek amacıyla kullanılmaktadır. İçlerinde olan sıvıyı boşaltarak hava basıncına karşı olan dirençleri test edilmiştir. Testler sonucu hava basıncına dayanıklılıklarının yüksek düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Bir giriş bir de çıkış için iki ayrı açıklığı bulunan serum poşetleri, içlerine hava akışının sağlanması ve biriken havanın tahliyesi içinde yeterli fiziksel gereksinimleri karşılamaktadır. Piyasada bulunan örnekleri incelendiğinde form ve boyut açısından göstermiş oldukları farklılık düzeylerinin, vücudun farklı bölgelerinde ihtiyaç duyulan farklı boyutlarda hava kesecikleri oluşturma amacına da uygun olduğu görülmüştür. Yapılan test ve denemeler sonucunda serum poşetinin prototipin hava kesecikleri için yeterli performansı gösterdiği görülmüş ve serum poşetleri hava keseciklerini oluşturan malzeme olarak tercih edilmiştir. Serum poşetlerinin tercih edilmesinin nedenlerinden birisi de sahip olduğu giriş sayısının iki adet olmasıdır. Serumun aktarımı için kullanılmakta olan girişten hava girişi sağlanırken, serum içine iğne enjekte etmek için kullanılan giriş genişletilerek, içine doldurulan havanın çıkışı sağlanmıştır. Poşetin kendi kendini boşaltabilmesi, sisteme ekstradan bir vakum cihazı ekleme ihtiyacının devre dışı bırakılmasına yardımcı olmuştur.

10.2. Kumaş Kiti ile Kullanılan Kumaşın Ölçümlenmesi

Prototip fiilen oluşturulmadan önce, üretim sürecinde karşımıza çıkabilecek sorunları görebilmek amacıyla Clo 3D (6.2 sürümü) tasarım programında ürünün simülasyonu yapılmıştır. Program sayesinde, kalıbın fit değerleri, ceplerde oluşacak basınç değerlerinin kullanıcıyı rahatsız edip etmeyeceği ve yeterli basınç hissiyatı verip vermeyeceğine ilişkin verilere ulaşılmıştır.

Tasarım programlarında oluşturulan simülasyonların doğru sonucu verebilmesi için kumaşın fiziksel ve mekanik özelliklerinin kesinlikle ölçümlenmesi ve bu ölçümler sonucu elde edilen verilerin simülasyon programına girilmesi gerekmektedir. Kumaşın yapısını belirleyen ana odak noktaları; eğilme, bükülme direnci, çekme ve sürtünme özellikleridir. Bu verileri elde etmek için; Kawabata Değerlendirme Sistemi (KES), Basit

Testle Kumaş Güvencesi (FAST), Kumaş Dokunma Test Cihazı (FTT), Browzwear'ın Kumaş Analizörü (FAB), Optitex İşareti 10, CLO Kumaş Kiti 2.0 gibi kumaş ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır.

Simülasyon için gerekli olan bu veriler Clo Kumaş Kiti 2.0 kullanarak elde edilmiştir. Clo Kumaş Kiti ölçüm seti; dijital terazi, dijital kumpas, bükülme direnci testi cihazı, çekme testi için kısa ve uzun olmak üzere iki adet kumaş beslemesi, dijital bir kuvvet ölçerden oluşmaktadır (http- 57). Test sonucu kumaşın; ağırlık, kalınlık, bükülme ve çekme özelliklerine ait veriler elde edilip, Clo 3D programı emülatörüne eklenerek simülasyonun daha doğru sonuçlar vermesi sağlanmaktadır.

Testin ilk aşaması olarak denim kumaşın her biri 22 cm x 3cm olan çözgü, atkı ve verevine keserek, Clo Kumaş Kitine uygun kumaş numuneleri elde edilmiştir. Elde edilen üç numune beraber katlanarak dijital terazide tartılmıştır. Kumaşın ağırlığı 198 cm² de 9.05 gram olarak ölçümlenmiştir. Ardından dijital kumpas ile kumaşın kalınlığı ölçülmüş ve 0.87 mm sonucu elde edilmiştir. Elde edilen veriler önceden hazırlanmış olan kumaş kiti test formuna elle işlenmiştir.

Çözgü, atkı ve verevine kesilmiş parçalar sırasıyla bükülme direnci testi cihazına yerleştirilmiştir. Bükülme direnci test cihazında, kumaş cihaza beslenir ve tekerlek ile cihazın ortasında yer alan boşluğa itilir. Kumaşın salındığı orta boşluğun alt kısımda yer alan cetvele temas ettiği nokta temas uzunluğu (contact distance) olarak alınır ve açık bükülme direnci testi sonucu olarak forma işlenir. Kumaş elle kaldırıp cihazın diğer ucunda yer alan kayan cetvel hareket ettirilerek orta boşluk kapatılır. Salınan kumaş cetvelin üzerine yerleştirilerek bükülme direnci uzunluğu bulunur (contact length). Bu sonuçta kapalı bükülme direnci testi sonucu olarak forma işlenir. Bükülme direnci uzunluğu ve temas uzunluğu test sonuçları Tablo 10.1’de verilmiştir.

Tablo 10.1. Temas uzunluğu ve bükülme direnci uzunluğu test sonuçları

	TEMAS UZUNLUĞU (MM)	BÜKÜLME DİRENCİ UZUNLUĞU (MM)
Çözgü	43	50
Atkı	75	80
Verev	58	63

Çekme testi için dijital bir kuvvet ölçer kullanılmaktadır. Kitin içerisinde yer alan mekanizmanın solunda kuvvet ölçer, sağında ise kumaşı hareket ettiren bir topuz

bulunmaktadır. 3 kumaş parçası da sırayla mekanizmanın merkezinde yer alan kulpların yardımıyla merkeze yerleştirilir. Topuz çevrildikçe hareket eder ve hareket ettiği mesafeyi gösteren bir cetvel bulunmaktadır. Topuzun her çevrilişinde dijital kuvvet ölçer ile arasında olan mesafe artmakta ve buna bağlı olarak kumaş gerilmektedir. Denim kumaş kullanıldığı için her seferinde 1mm uzunluk artışıyla topuz döndürülmüş ve çekme testi gerçekleştirilmiştir. Çekme testi sonucunda her 3 numune için elde edilen veriler aşağıda Tablo 10.2’de verilmiştir.

Tablo 10.2. Denim kumaş ölçüm değerleri (A: temas uzunluğu, K: bükülme direnci uzunluğu)

KUMAŞ KİTİ (FABRIC KIT)					
Kumaş Adı (Fabric Name)		Ağırlık (Weight)(g)		Kalınlık (Thickness)(mm)	
Denim		9.05		0.87	
BÜKÜLME DİRENCİ TESTİ (BENDING TEST)(mm)					
En (Weft)		Boy (Warp)		Verev (Bias)	
A.43	K.50	A. 75	K. 80	A.58	K. 63
ÇEKME TESTİ (STRETCH TEST) (LENGTH=FORCE) (mm/kgf)					
Atkı (Weft) (L=F)		Çözüğü (Warp) (L=F)		Verev (Bias) (L=F)	
1	0.173	0.204		0.075	
2	0.302	0.324		0.120	
3	0.420	0.418		0.173	
4	0.561	0.514		0.214	
5	0.675	0.613		0.260	
6	0.790	0.695		0.304	
7	0.953	0.792		0.355	
8	1.121	0.882		0.405	
9	1.222	0.970		0.453	
10	1.423	1.053		0.496	
11	1.613	1.113		0.563	
12	1.818	1.183		0.574	
13	1.963	1.263			
14	2.123	1.292			

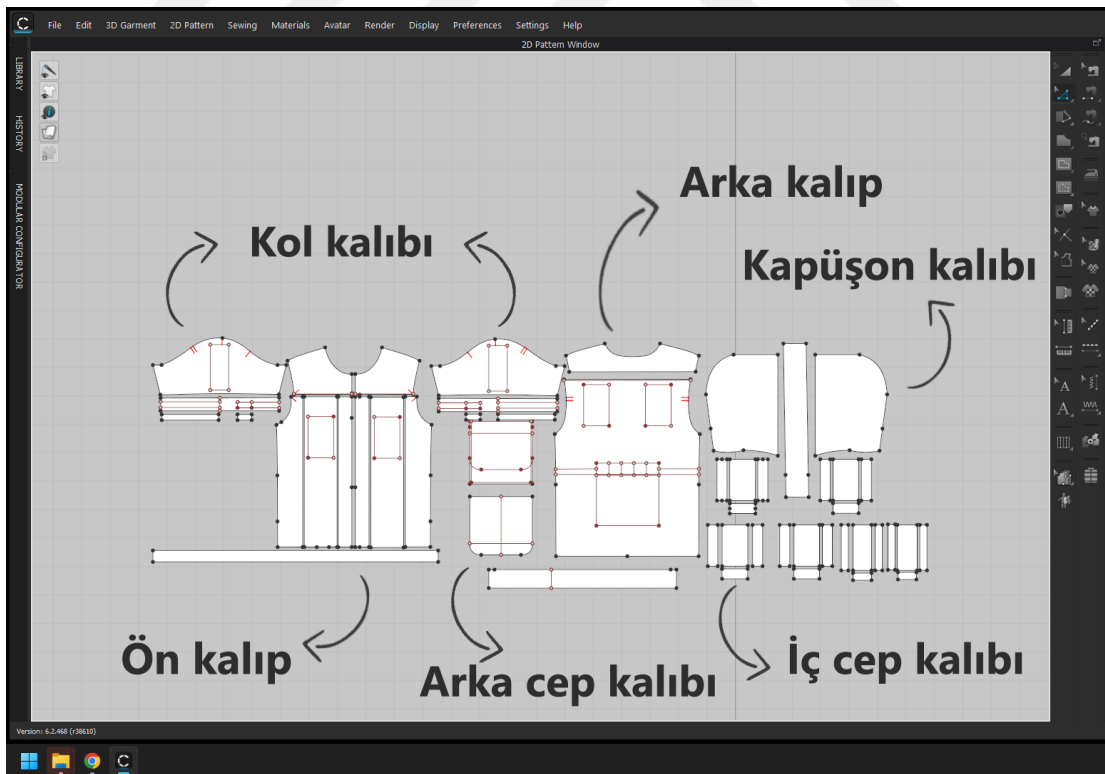
Verevine kesilen numune 12 mm’den, atkı ve çözgü yönlerine göre kesilen numuneler ise 14 mm’den sonra yapılan çekme testine yanıt vermemiştir. Testler sonucunda kumaşın çeke mukavemetinin 15mm’de deformasyona uğradığı, kopma ve yırtılmaların gerçekleştiği görülmüştür.

10.3. Prototipin ve Serum Poşetlerinin 3 Boyutlu Tasarım Programlarında Simülasyonunun Oluşturulması

Prototipin 3 boyutlu simülasyon programı olan Clo 3D'de (6.2 sürümü) modellemesi yapılmıştır. Yapılan modelleme sonucu serum poşetlerinin avatara yaptığı basınç değerleri ölçümlenmiştir. İkinci aşamada ise ANSYS yazılımı kullanarak serum poşetlerinin modellemesi yapılmış ve mekanik analizleri gerçekleştirilmiştir. Visi CAD 2.0 programı kullanılarak elektronik komponentlerin ve haptik sistemin modellemesi yapılarak bölüm sonuna eklenmiştir.

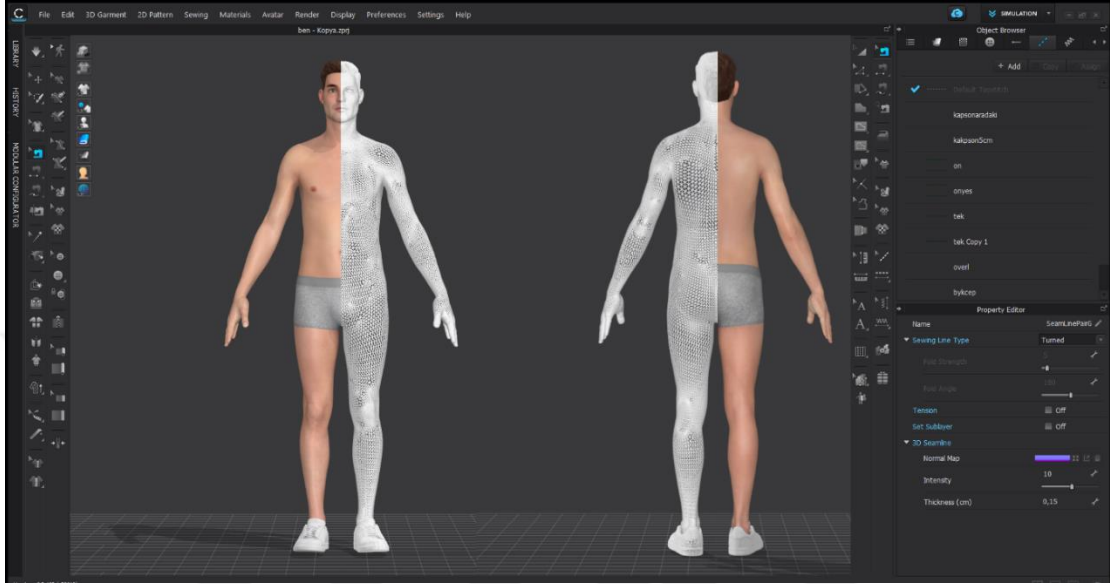
10.3.1. Prototipin 3 boyutlu tasarım programında simülasyonunun oluşturulması

Eskizleri yapılan prototipin teknik çizimleri yapıldıktan sonra Clo 3D programı üzerinde 2 boyutlu (2B) alanda kalıp çalışması yapılmıştır (Bkz. Görsel 10.9). Alınan ölçüler programa sayısal veri olarak girilerek prototipin temel kalıbı oluşturulmuştur. Temel kalıp üzerinden dikiş payları verilip çit yerleri belirlenerek temel kalıbın detay işlemleri tamamlanmıştır. Prototip tasarımı göğüste ve sırtta içeriye dikilecek körüklü ikişer cep, kollarında birer iç cep ve bel kısmında dışa dikilecek bir dış cepten oluşmaktadır.



Görsel 10.9. Clo 3D'de 2 boyutlu alanda kalıp çalışması

2 boyutlu kalıp tasarımının 3 boyutlu alanda görünümünü elde edebilmek için bir erkek avatar hazırlanmıştır (Bkz. Görsel 10.10). İlk olarak avatarın boy, göğüs ölçüsü, omuz ölçüsü, bel çevresi değerleri girilmiştir. Hazırlanan avatarın ölçüleri Tablo 10.3'te verilmiştir.

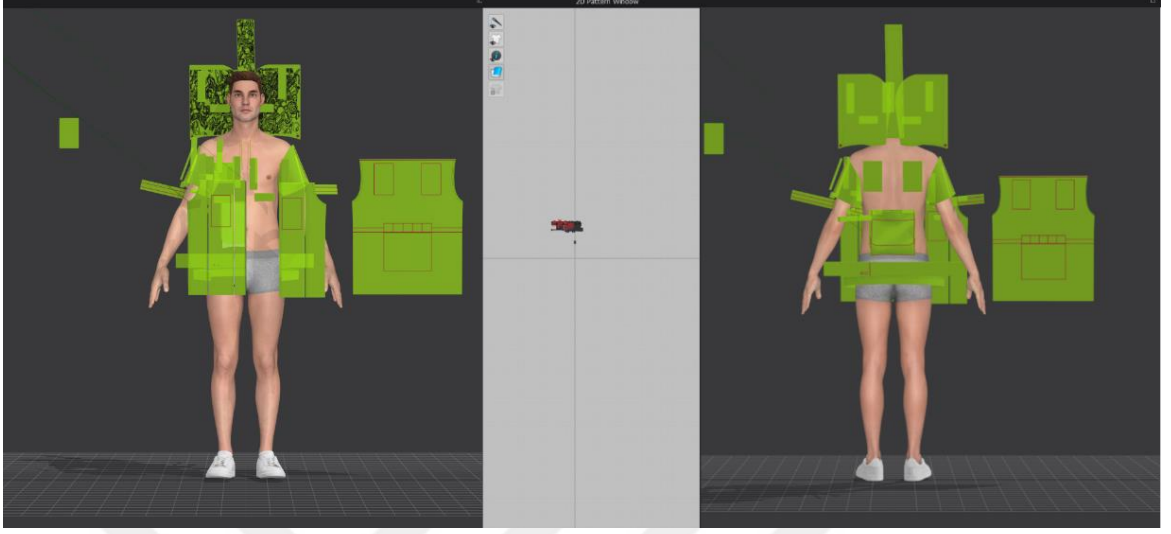


Görsel 10.10. Clo 3D'de avatar oluşturma

Tablo 10.3. Clo 3D 6.2 sürümünde kullanılan avatar ölçüleri

Avatar Ölçüleri (mm)	
Boy	1897,6
Ön Uzunluk	432,7
Arka Uzunluk	485,8
Kafa Ölçüsü	530,7
Boyun Çevresi	409,6
Omuz Genişliği	436,1
Göğüs Çevresi	965,2
Bel Çevresi	825,5
Basen Hattı	882,6
Kalça Hattı	952,5
Kalça Uzunluğu	746,1
İç Bacak	858,9
Üst Bacak Kalınlığı	558,8
Kol Boyu	655
Pozu Genişliği	323,9

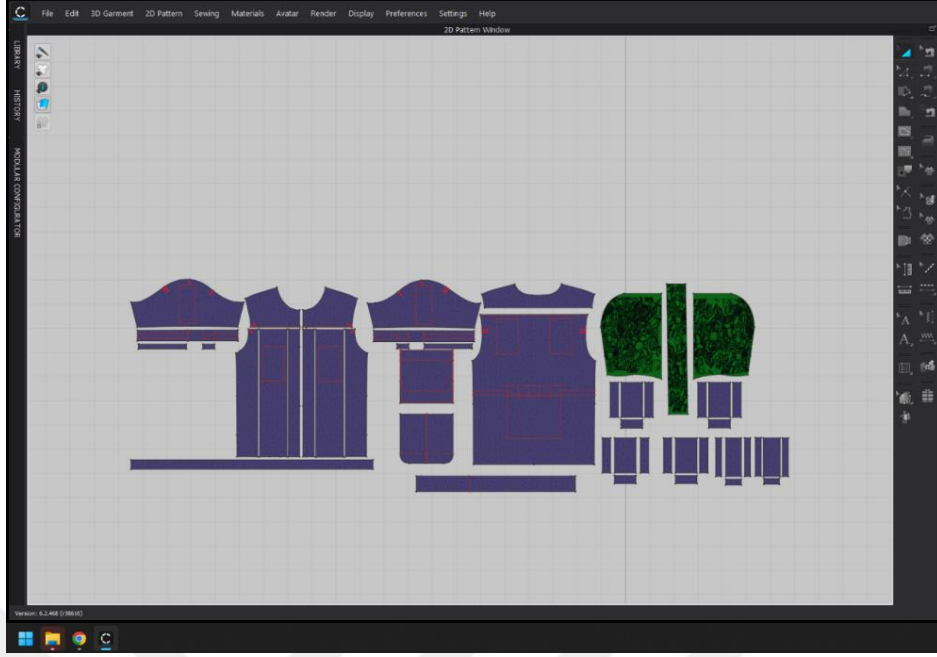
Avatar oluşturulduktan sonra, 2B alanda hazırlanan prototip kalıbının, 3B alanda avatar üzerine dikimi gerçekleştirilmiştir (Bkz. Görsel 10.11).



Görsel 10.11. *Clo 3D’de avatar giydirme*

Kumaş kiti testi sonucunda elde edilen veriler, Clo 3D programı emülatörüne girilmiş ve kumaşın özelliklerine birebir uygun bir kumaş simülasyonu elde edilmiştir.

Simülasyonu yapılan prototipin görseli ve elde edilecek basınc değerlerinin gerçeğe olabildiğince yakın olabilmesi için, test sonucu elde edilen denim kumaş kalıba atanmıştır (Bkz. Görsel 10.12). Denim kumaş verileri ile beraber kapüşon için yapılan desen tasarımı da kalıba eklenmiştir.



Görsel 10.12. *Kalıplara denim kumaşın atanması*

Kumaş verilerinin ve desen çalışmasının kalıp üzerine atanmasının ardından (Bkz. Görsel 10.13) render alınmış ve render sonucunda elde bulunan kumaş ile birebir uyumlu prototip simülasyonu oluşturulmuştur (Bkz. Görsel 10.14).

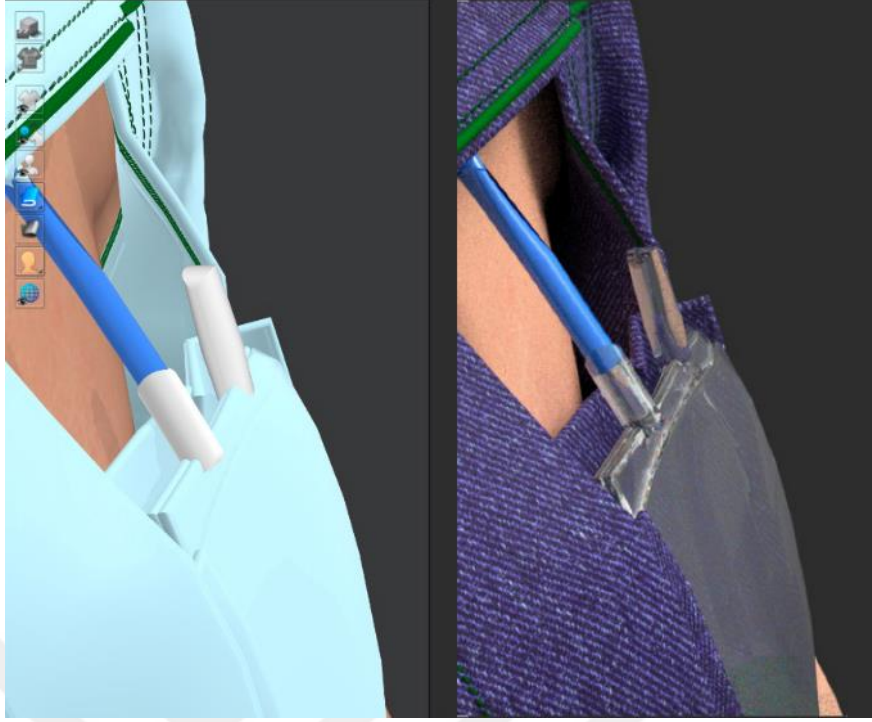


Görsel 10.13. *Kumaş ataması sonrası prototipin 3 boyutlu alanda simülasyonu*



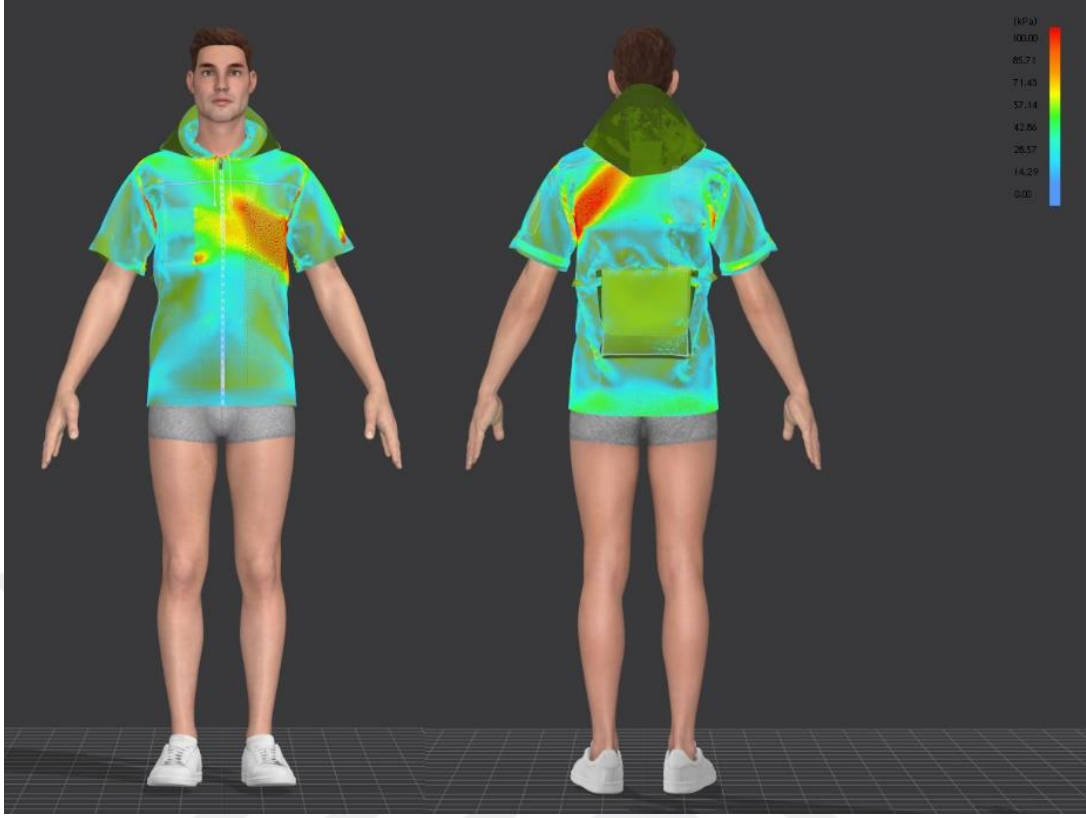
Görsel 10.14. Prototip simülasyonunun ön (a), arka (b) ve yan (c) görünümü

Prototip tasarımında kumaş dışında farklı malzemelerden de yararlanılmıştır. Pnömatik sistemi oluşturan hortum, kablo ve serum poşetlerinin modellemeleri yapılarak dikilen kumaş simülasyonuna eklenmiştir (Bkz. Görsel 10.15).



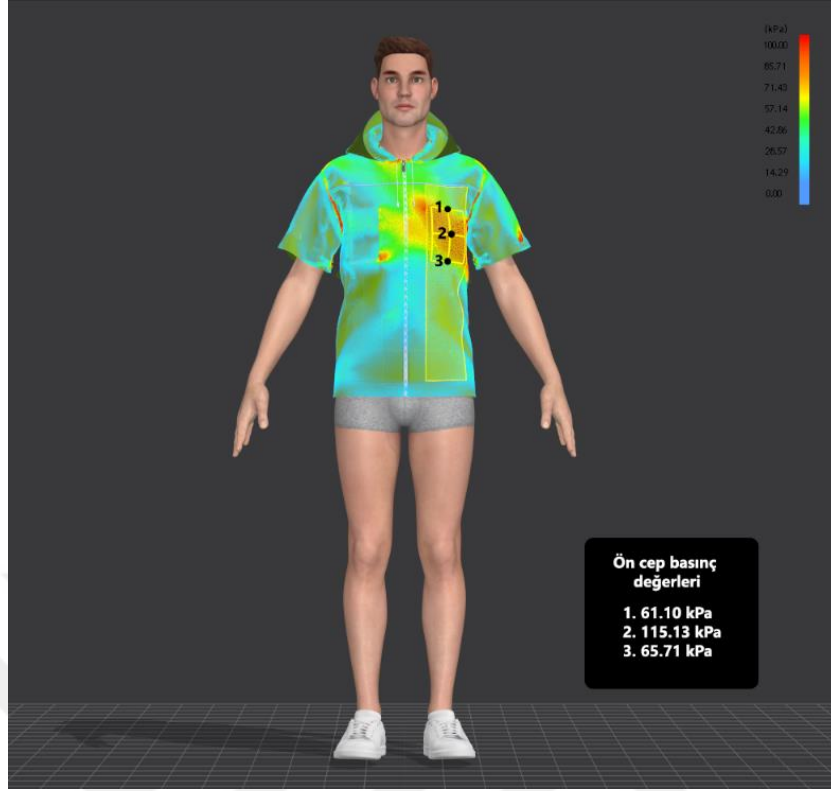
Görsel 10.15. Serum poşeti ve hortum modellemesi

Avatar üzerine dikimi yapılan ve pnömatik sistemle hortumları eklenen simülasyonun fit kontrolü yapılmıştır. Giysi ile avatar arasındaki uyumluluk ve kalıpta oluşan problemler stress map ile kontrol edilmiştir. Stress map avatar ile giysi arasında oluşan basınç değerlerinin kPa cinsinden görülebilmesini sağlamaktadır. Mavi renk sıfır basınç değeri gösterirken kırmızı ise yüz ve üzeri basınç değerlerini göstermektedir (Bkz. Görsel 10.16).



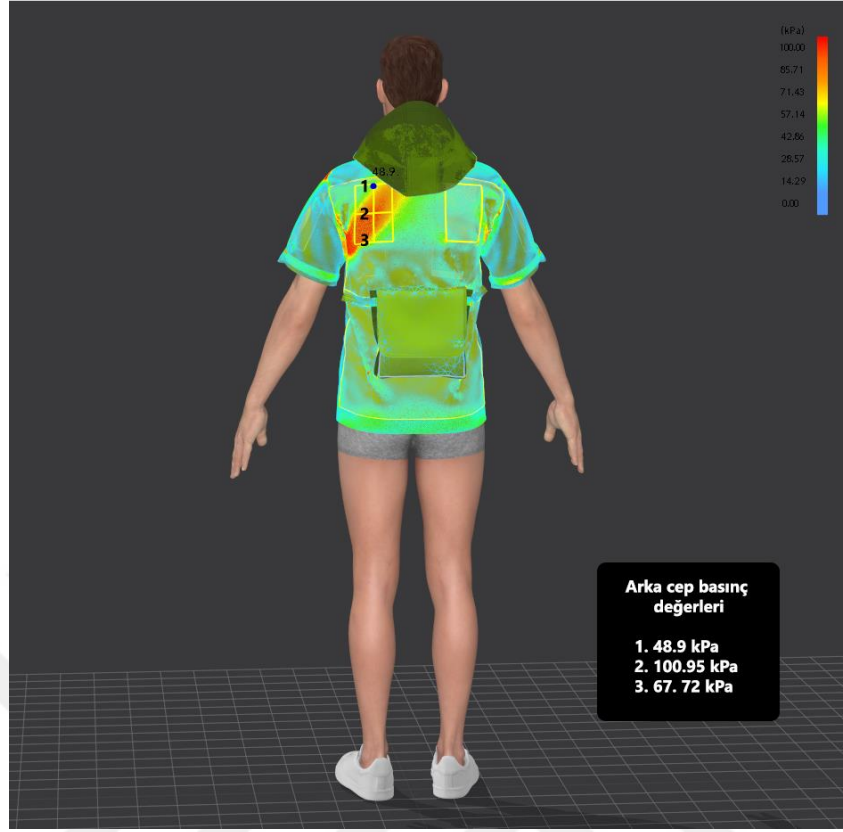
Görsel 10.16. *Clo 3D’de stress map basınç değerleri*

Clint Zeagler’in (2017) basınç haritası referans alınarak, program üzerinde serum poşetlerinden yeterli basıncın doğru bölgede elde edilip edilmediği, avatar üzerindeki basınç değerleriyle gözlemlenmiştir. Haritalardan elde edilen veriler doğrultusunda göğüste yer alan serum poşetleri daha doğru performans gösterdiği tespit edilen alana göre revize edilmiştir. Ön ceplerden elde edilen basınç değerleri Görsel 10.17’de gösterilmiştir.



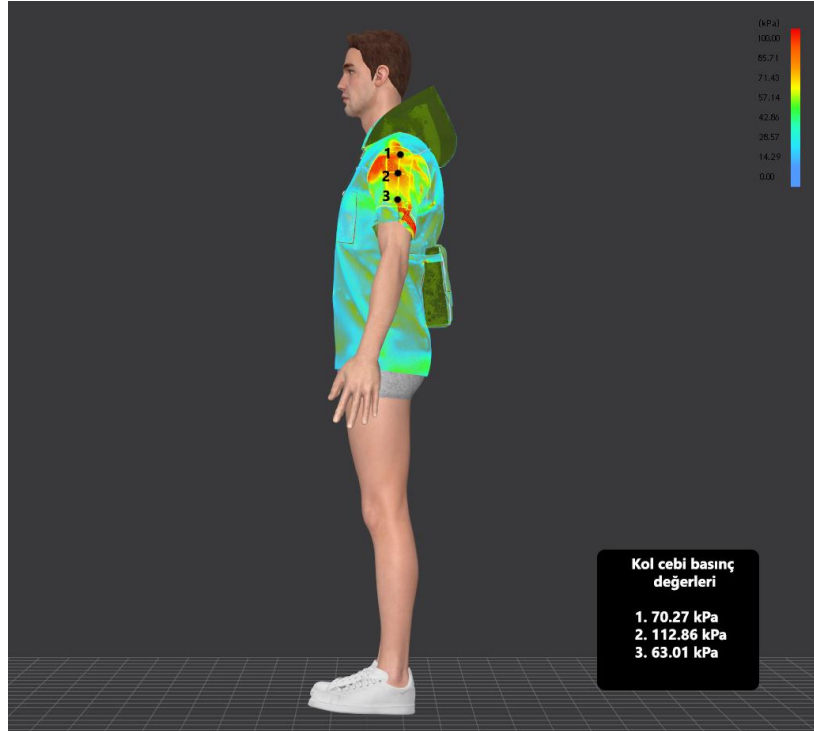
Görsel 10.17. *Stress map'te elde edilen ön cep kPa değerleri*

Sırta yerleştirilen serum poşetlerinin avatara yapmış olduğu basınç değerleri Görsel 10. 18'de gösterilmiştir.



Görsel 10.18. Stress map'te elde edilen arka cep kPa değerleri

Kola yerleştirilen serum poşetlerinin basınç değerleri Görsel 10.19'de verilmiştir.



Görsel 10.19. Stress map'te elde edilen kol cebi kPa değeri

Stress map kullanılarak elde edilen, prototip üzerine yerleştirilmiş olan serum poşetlerinin avatara uyguladıkları basınç değerleri Tablo 10.4'te verilmiştir. İkinci bölgeler yani serum poşetlerinin orta noktaları basınç değerinin en yüksek olduğu noktalar olarak tespit edilmiştir.

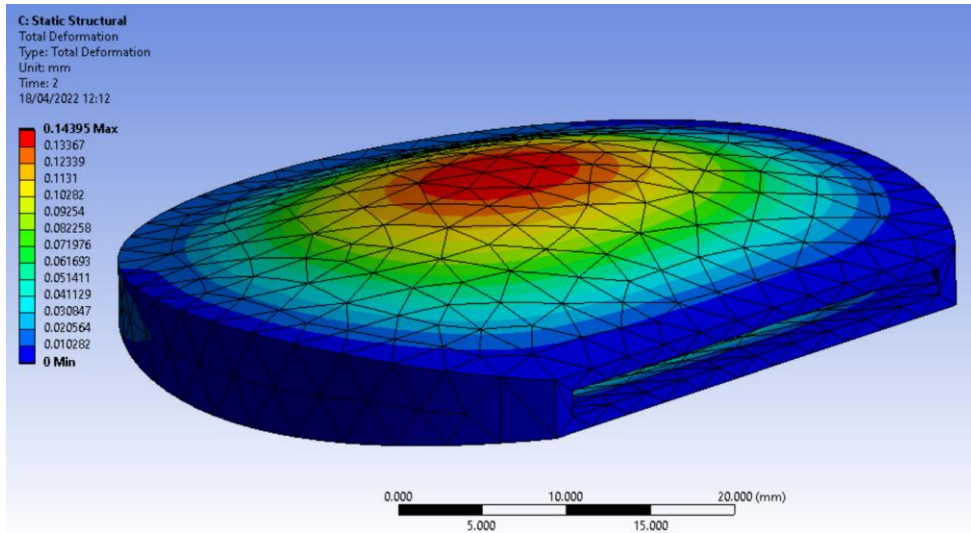
Tablo 10.4. İç ceplerin basınç noktaları ve kPa değerleri

	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge
Ön cep	61.10 kPa	115.13 kPa	65.71 kPa
Arka cep	48.9 kPa	100.95 kPa	67.72 kPa
Kol	70.27 kPa	112.86 kPa	63.01 kPa

Stress map incelendiğinde, kollarda yer alan serum poşetlerinin şişme anında daha iyi performans göstermesi için kol açıklığının daraltılması gerektiği gözlemlenmiştir.

10.3.2. Serum poşetlerinin 3 boyutlu simülasyonda mekanik analizi

Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) kullanılarak yapılan çalışmanın ilk aşamasında ANSYS™ (Ansys, Inc., Canonsburg, Pennsylvania) yazılımı kullanılarak Statik Yapısal modülü üzerinde serum poşetlerinin mekanik analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz için oluşturulan model Şekil 10.3'te verilmiştir.



Şekil 10.3. Statik yapısal analizi yapılmış olan model

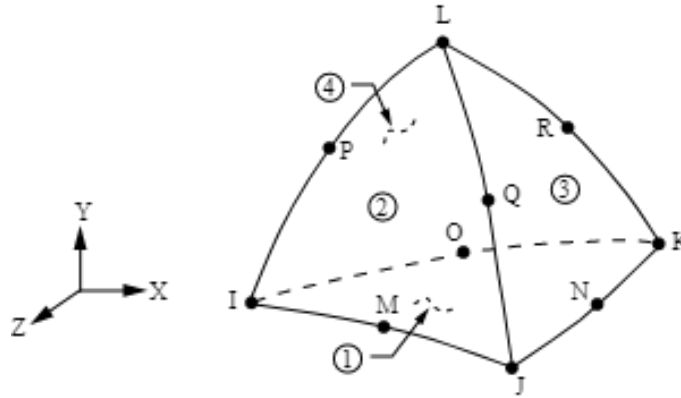
Oluşturulan model, içi boş bir hacim olarak tasarlanmıştır. İşlemleri kolaylaştırmak ve zaman ekonomisi sağlamak amacıyla, basınç uygulanan ağız kısmı basit bir geometri olarak ele alınmıştır. Uygulanan basıncın (10 Pa) etkisi altında malzemedeki deformasyon incelenmiştir. Küçük bir basınç ile çalışılmasının amacı nonlineer etkilerin

oluşmasına meydan vermemektir. Yapılan analiz nispi bir öngörü sağlamak ve geometrinin genişleme hareketini analiz etmek amacını gütmektedir. Modelde kullanılan hiperelastik malzemenin mekanik özellikleri için Mooney-Rivlin Modeli esas alınmış ve modelde 5 parametrelili Mooney-Rivlin kriteri (Bkz. Tablo 10.5) kullanılmıştır.

Tablo 10.5. Modelde kullanılan hiperelastik malzeme parametreleri

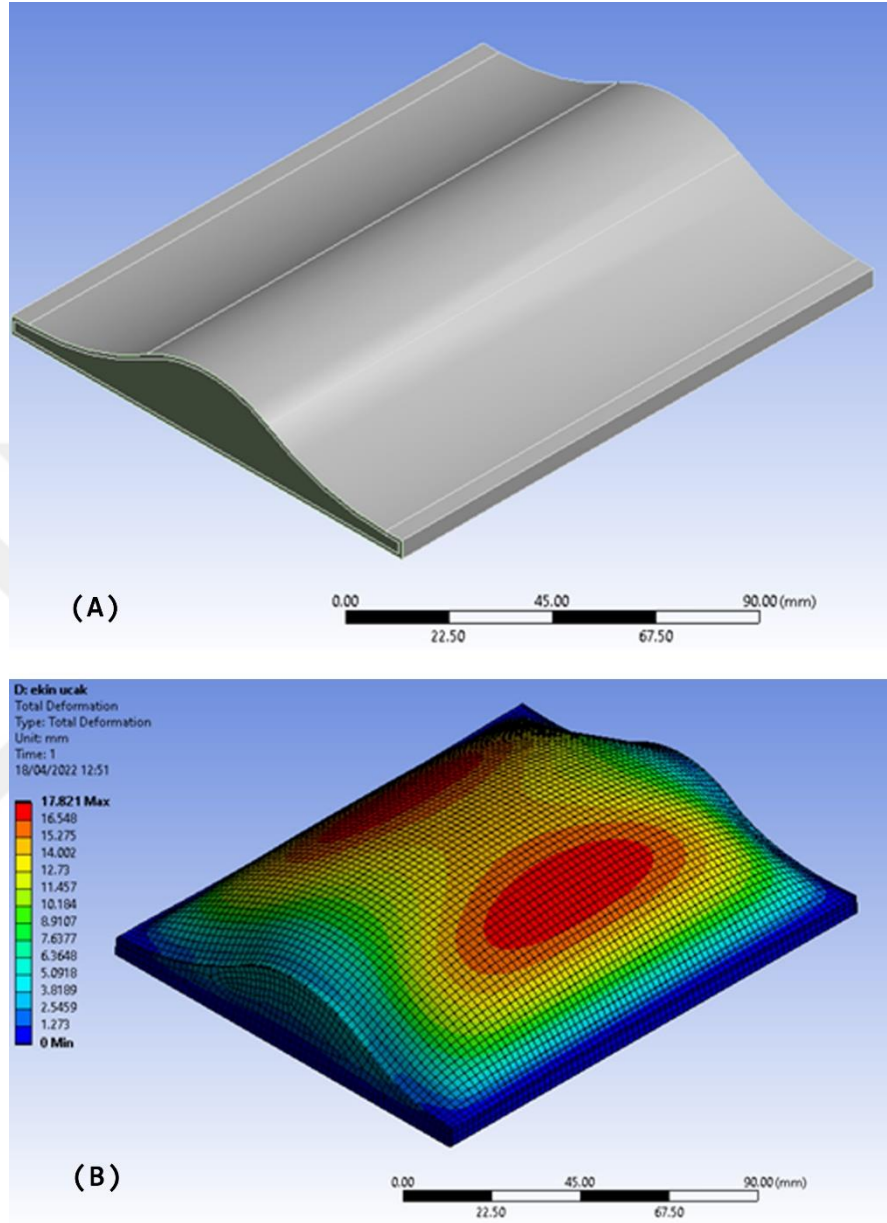
Mooney-Rivlin 5 Parameter		
Material Constant C10	-3196.4	Pa
Material Constant C01	4242.3	Pa
Material Constant C20	624.13	Pa
Material Constant C11	-2632.5	Pa
Material Constant C02	4367.8	Pa
Incompressibility Parameter D1	0	Pa ⁻¹

Simülasyonda kullanılan sonlu eleman (SOLID187 ögesi), 10 düğüm noktasına sahip, kuadratik (ikinci dereceden) ve yüksek dereceli bir 3-D ögedir (Şekil 10.4). SOLID187 ögesi ikinci dereceden bir deplasman davranışına haizdir ve bu simülasyondaki gibi düzensiz ağırları modellemek için çok uygundur. Bu tetrahedral (dört yüzlü) öge, her düğümde üç serbestlik derecesine sahip 10 düğümle tanımlanır. Bu serbestlik dereceleri x, y ve z doğrultularındaki ötelemelerdir. SOLID187 elemanı plastisite, hiperelastisite, sürünme, gerilme sertleşmesi ve büyük gerinim değerlerine yanıt verme yetenekleri vardır. Aynı zamanda, neredeyse sıkıştırılamaz elastoplastik malzemelerin ve tamamen sıkıştırılamaz hiperelastik malzemelerin deformasyonlarını simüle etmek için karma formülasyon yeteneğine sahiptir (http-58).



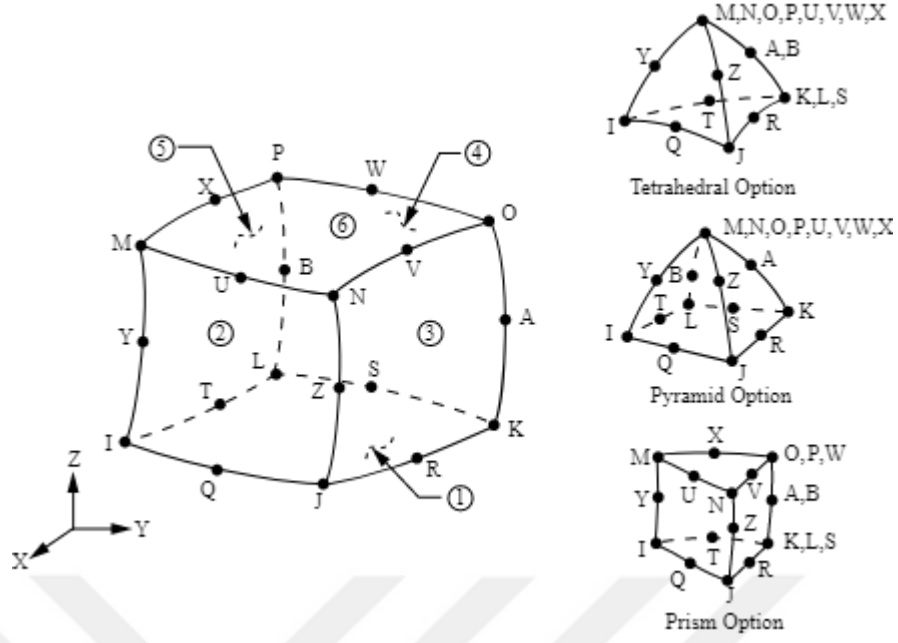
Şekil 10.4. SOLID187 ögesi (http-58)

Bir başka simülasyon çalışması da benzer bir model (Bkz. Şekil 10.5a) oluşturularak ve farklı bir sonlu eleman kullanılarak (Bkz. Şekil 10.5b) yapılmıştır.



Şekil 10.5. *Hekzahedral elemanlarla gerçekleştirilen, ikinci simülasyon için kullanılan model ve hesaplamalar sonucunda elde edilen deformasyon değerleri*

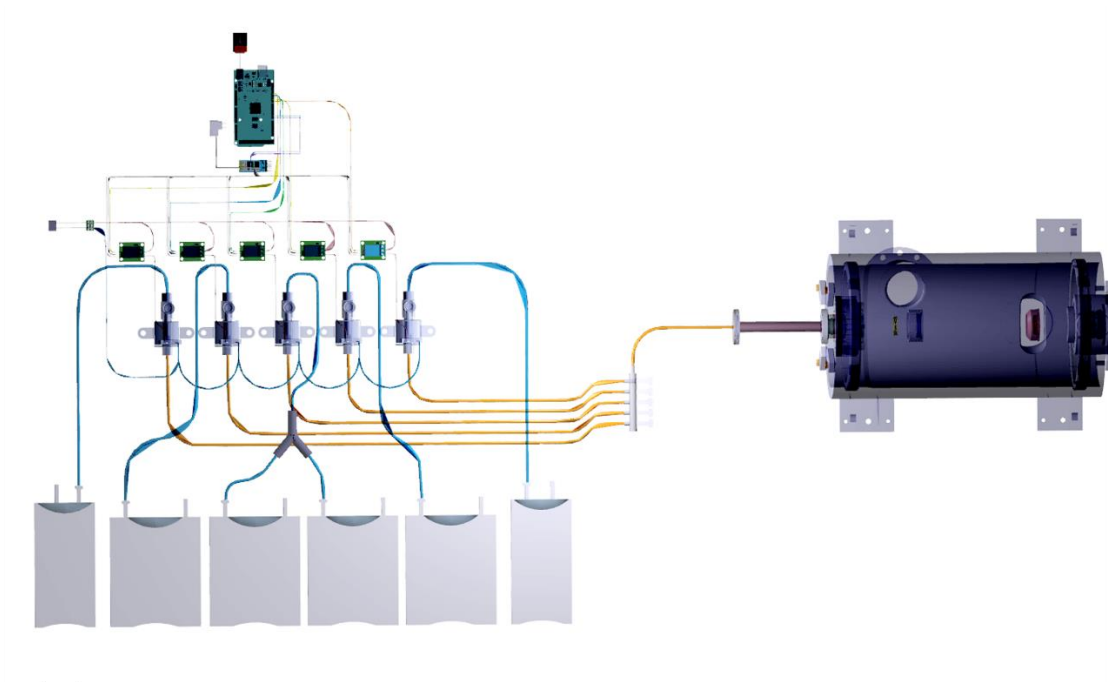
Bu ikinci simülasyonda kullanılan SOLID186 ögesi, SOLID187 ile benzer serbestlik derecelerine sahip olması ve benzer modeller için kullanılabilmesinin yanı sıra, 20 düğüme sahip hekzahedral öge opsiyonu ile SOLID 187'den ayrılmaktadır (Bkz. Şekil 10.6).



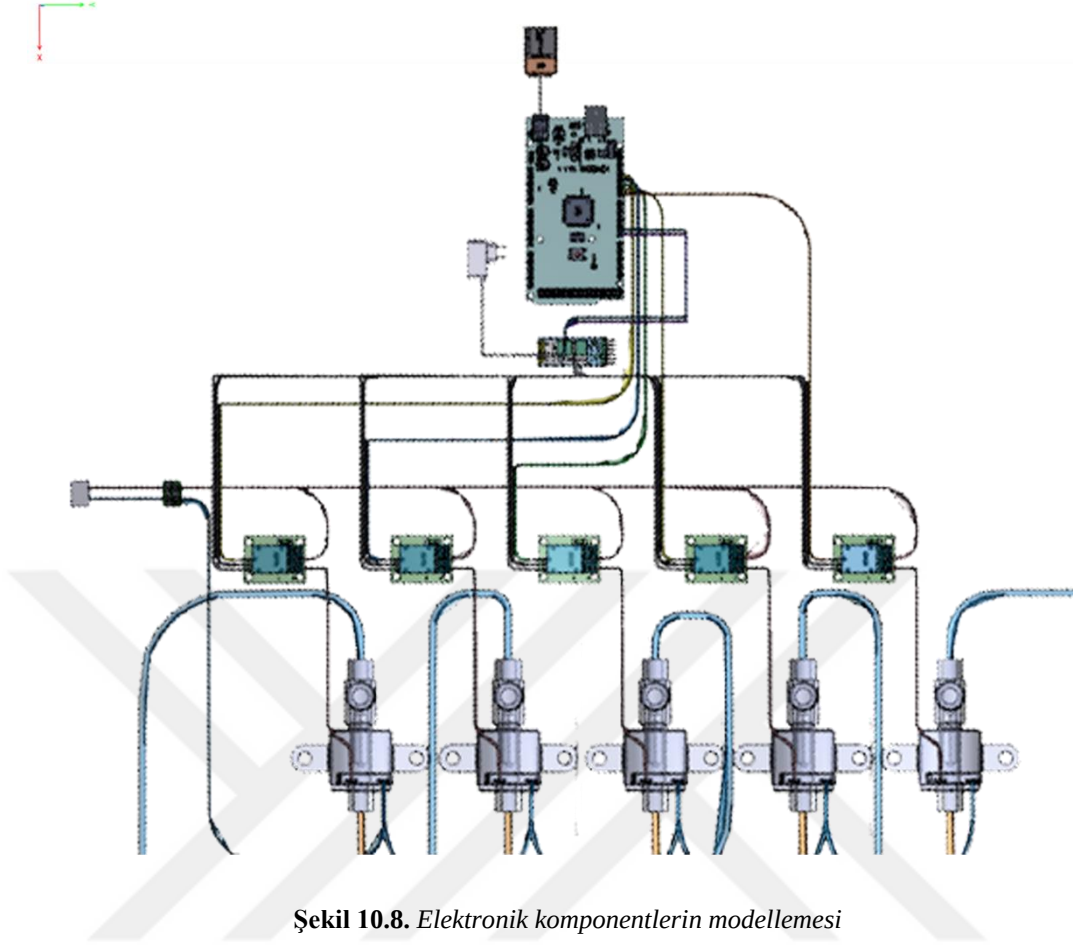
Şekil 10.6. SOLID186 ögesi ve farklı opsiyonları

10.3.3. Elektronik komponentler ve haptik sistemin 3 boyutlu modellemesi

Haptik sistemi oluşturan elemanlar (Bkz. Şekil 10.7) ve elektronik sistemi oluşturan komponentlerin (Bkz. Şekil 10.8) Visi CAD 2.0 programında 3 boyutlu modellemesi yapılmıştır.



Şekil 10.7. Haptik sistemin 3 boyutlu modellemesi



Şekil 10.8. Elektronik komponentlerin modellemesi

Prototipin ve serum poşetlerinin 3 boyutlu modellemesi ile ilgili görsel, video ve ayrıntılı açıklamalara ulaşılabilmesi için Şekil 10.9’da QR kod sunulmuştur.



Şekil 10.9. Prototipin ve serum poşetlerinin 3 boyutlu modellemesi ile ilgili görseller ve videolar için QR kod

10.4. Haptik Sistemin Kurulması

Çalışmada haptik geri bildirim için; pnömatik sistem kullanılmıştır. Pnömatik sistemler, kontrollü hava basıncı aracılığıyla dokunsal geri bildirim sağlar. Genel olarak kompresör veya basınç tüpünden elde edilen hava basıncının, hortum ve valfler aracılığıyla aktüatörlere iletilmesi pnömatik sistemin temelidir.

Çalışmada pnömatik sistem; kompresör, solenoid valf, elektronik komponentler, pnömatik hortum ve serum poşeti ile oluşturulmaktadır. Kayış tahrikli hava kompresöründen gelen hava, 10 bar basınca kadar dayanıklı hortumlar dağıtıcıya, dağıtıcıdan aynı hortumlarla solenoid valflere bağlanmış ve valflerden serum poşetlerine hava aktarımını sağlamak için yine aynı hortumdan yararlanılmıştır.

Pnömatik sistemde hava basıncını sağlamak için kullanılacak hava kaynağı olarak ilk önce elektronik tansiyon aletlerinde kullanılan 12V mini dilsiz hava pompası motoru sökülerek bir adaptöre bağlanmış ve bu hava motorunun sahip olduğu şişirme kapasitesi test edilmiştir (Bkz. Görsel 10.20). Tansiyon iç lastiği şişirme konusunda yeterli olan bu motorların sağladığı hava basınç hızı çalışma kapsamında tasarımı yapılan prototip için yeterli olmamıştır. Araba lastiklerini şişirmek için kullanılan şarjlı dijital mini kompakt kompresörlerle denemeler yapılmış ancak bu tip ürünlerin hava çıkış hızının hedeflenen hızın altında kaldığı gözlemlenmiştir.



Görsel 10.20. 12V dilsiz hava pompası

Bir sonraki deneme bir yandan hava pompalarken bir yandan da vakum yapabilme özelliğine sahip olduğu için buzdolabı kompresörü ile yapılmıştır (Bkz. Görsel 10.21). Buzdolabı kompresörünün de şişirme hızının yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Buzdolabı kompresörü, şarjlı dijital mini kompakt kompresör ve 12V dilsiz hava pompası motorunun şişirme sürelerinin uzun olmasının, istenilen haptik etkinin elde edilmesi için yeterli olmadığı görülmüştür.



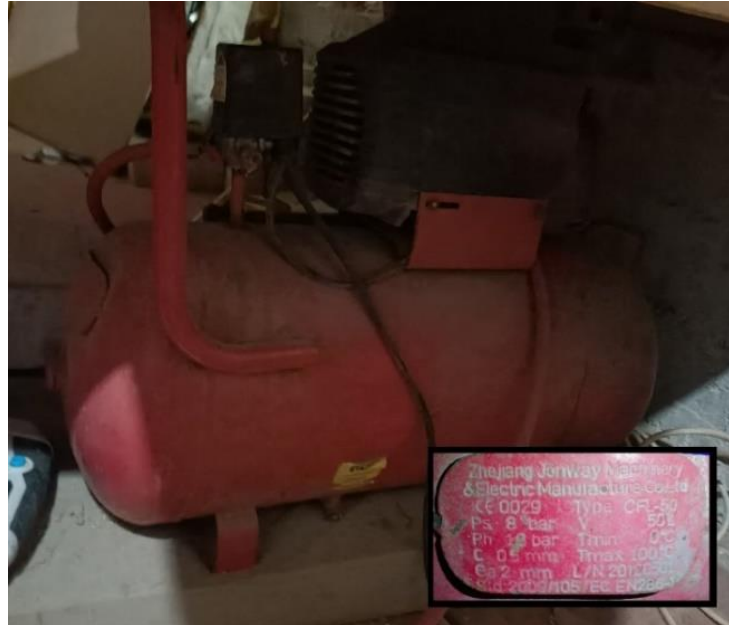
Görsel 10.21. Buzdolabı kompresörü

Şişirme hızının artırılması için daha güçlü bir hava basıncına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da basınç tüpleri ya da kompresörlerle mümkün olabilmektedir. Kompresör sayesinde 18 bar hava basıncı ile doldurulmuş basınç tüpleri ile yapılan denemeler sonucu istenilen sonuç elde edilmiştir (Bkz. Görsel 10.22). Basınç tüpü sayesinde istenilen süre ve miktarda havanın serum poşetlerine aktarılabilirdiği gözlemlenmiştir. Fakat basınç tüplerinin, serum poşetlerini şişirebilme sayısı; içlerinde barındırdıkları hava miktarı ile doğru orantılıdır. Bu nedenle belirli bir kullanım süresi sonrası basınç tüplerinin yeniden doldurulması gerekmektedir. Bu durum kullanım kolaylığı açısından sorun yaratabilmektedir. Tüp içinde yer alan havanın bitmesi, sistemin çalışmasını engellemektedir. İzlenen video ya da oynanan oyun sırasında basınç tüpü içerisinde olan havanın tükenmesinin sistemi işlevsiz hale getirdiği gözlemlenmiştir. Basınç tüpleri kapladıkları alan ve boyutları açısından kompresöre göre avantaj sağlasa bile, yeniden doluma ihtiyaç duyulmasının oluşturduğu dezavantaj açısından çalışmada basınç tüpü kullanımı uygun görülmemiştir.



Görsel 10.22. *Basınç tüpü*

Prototip için istenilen basınç düzeyini sağlayabilmesi ve basınç tüpleri gibi tekrar doldurulma ihtiyacı olmadığı için normal bir kompresör ile denemelere devam edilmiştir. Denemelerde Zhejiang Jönway Technology Co. Ltd ürettiği ZA65-50L kayış tahrikli hava kompresörü kullanılmıştır (Bkz. Görsel 10.23).



Görsel 10.23. *Kayış tahrikli hava kompresörü*

Kompresörden gelen havanın serum poşetlerine ulaştırılması için öncelikle 6mm çapında akvaryum hortumları denenmiştir. Bu hortumlar kayış tahrikli hava

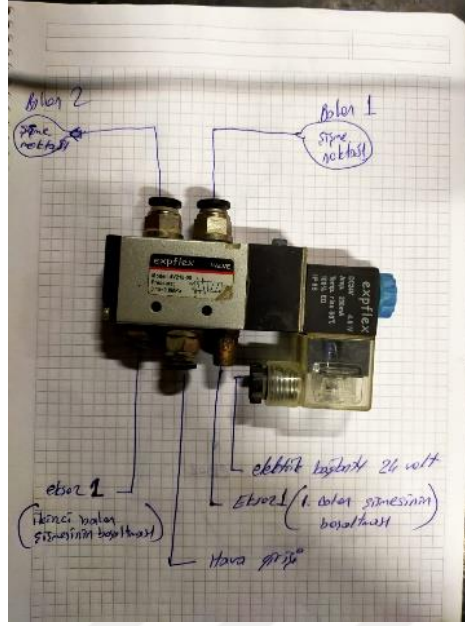
kompresörünün basıncına karşı dayanabilme gücüne sahiptir. Prototip içinde bu hortumların uzun süreli kullanımda uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Kolay kıvrılması ve katlanmasının hava akışını engellediği görülmüştür. Hortumlar üzerine yapılan ikinci denemede yine 6 mm çapına sahip pnömatik hortum kullanımı tercih edilmiştir. Poliüretan ham maddesinden üretilen pnömatik hortumların, prototip içerisinde katlanma, kıvrılma, ezilme gibi sorunlar oluşturmadığı görülmüş ve dayanıklı oldukları için çalışmada poliüretan pnömatik hortum kullanımına karar verilmiştir.

Kompresörden gelen havanın birden çok valfe dağıtımı sağlamak için akvaryumlarda kullanılan beşli hava dağıtıcı ekipmanlardan yararlanılmıştır. (Görsel 10.24). Dağıtıcı ile beşe ayrılan hava akışı önce valflere sonrasında serum poşetlerine gelmektedir.



Görsel 10.24. Dağıtıcı denemesi

Valfler prototip içerisinde elektronik komponentlerden aldığı akım sayesinde anahtar görevi görmektedir. Havanın istenilen zamanda serum poşetlerine ulaşımı valflerin aktif edilmesi sayesinde sağlanmaktadır. Valf üzerine yapılan ilk denemelerde 5/2 solenoid valf kullanılmıştır. 5/2 valf denemeleri başarısız olmuştur (Bkz. Görsel 10.25).



Görsel 10.25. 5/2 solenoid valf

Bir sonraki aşamada, otomobillerde benzin kesici olarak kullanılan solenoid valfler denenmiştir. Benzin ve LPG gibi akışkanların kontrollü yönetimi için tasarlanmış olan bu valflerin, hava akışı kontrolünde de başarılı sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Elde edilen başarılı sonuçtan dolayı pnömomatik sistemde, valf olarak benzin kesici solenoid valf kullanılmıştır (Bkz. Görsel 10.26).



Görsel 10.26. Benzin kesici solenoid valf

Haptik sistemin kurulması ile ilgili görsel, video ve ayrıntılı açıklamalara ulaşılabilmesi için Şekil 10.10’da QR kod sunulmuştur.



Şekil 10.10. Haptik sistemin kurulması ile ilgili görseller ve videolar için QR kod

10.5. Elektronik Komponentlerin Entegre Edilmesi

Hava basıncının kontrollü bir şekilde sistem içerisinde dolaşabilmesini sağlamak amacıyla elektronik düzenleyicilerden yararlanılmaktadır. Çalışmada hava basıncının kontrolünü sağlamak için Arduino Mega kullanılmıştır. Arduino Mega, bluetooth modülü sayesinde aktive edilmektedir. Birden fazla işlemin gerçekleştirilmesi gerektiği için elektronik düzenleyici seçimin de Arduino Mega tercih edilmiştir. Arduino mega'nın ihtiyaç duyduğu enerji, şehir şebekesinden gelen elektrik akımının dalgalanması durumunda zarar görmemesi için, 9 voltluk bir pil ile sağlanmıştır.

Sistemin kurulumuna ilk önce Arduino Uno ile tek bir serum poşetinin şişirilmesi üzerine denemeler yaparak başlanmıştır (Bkz. Görsel 10.27).



Serum poşetinin hava basıncı
öncesindeki hali



Serum poşetinin hava basıncı
anındaki hali

Görsel 10.27. Sistemin tekli denemesi

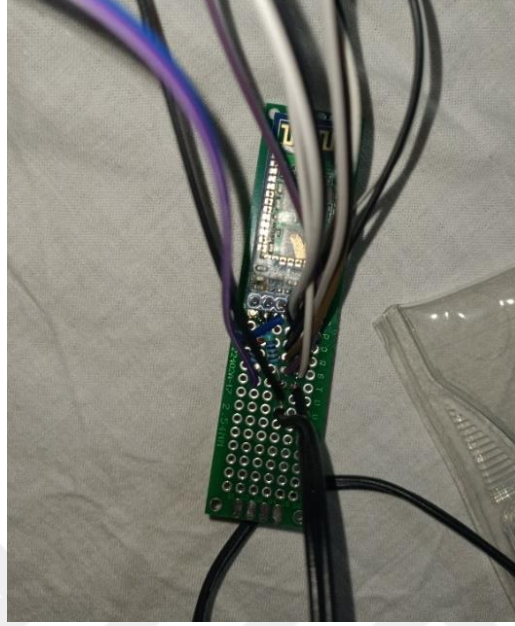
Haptik sistemi oluştururken kullanılan benzin kesici valfler için gerekli olan 12 voltluk enerji, harici bir adaptör ile gelen elektrik akımından sağlanmıştır. Adaptörden valflere gelen elektrik akımını yönetebilmek için 5 voltluk röleler tercih edilmiştir. 5 voltluk röle arduinodan gelen elektrik akımı ile beslenmiştir. Arduino üzerine yüklenmiş kodlama ile röle aktif edilmekte ve açılıp kapanan valfler sayesinde kompresörden gelen hava serum poşetine aktarılmıştır. Hazırlanan yazılım ve hazırlanan elektronik sistem sayesinde hava akışı kontrollü bir şekilde sağlanmıştır.

Tekli sistem denemesinde başarılı olunduktan sonra Breadboard yardımı ile bağlantıları yapılan elektronik sistemde röle sayısı beşe çıkartılarak yeni denemeler yapılmıştır. Arduino megadan elektrik alarak beslenen röle sayısı beşe çıkartıldığı zaman, rölelerin ihtiyaç duyduğu elektrik akımını Arduino üzerinden karşılamının mümkün olmadığı görülmüştür. Rölelerin ledlerini yakmasına rağmen, yeterli amper gücüne sahip olmayan Arduino komutlar geldiğinde röleleri açıp kapatamamıştır. Bunun sonucunda röleleri beslemek amacı ile harici bir adaptör kullanmak zorunda kalınmıştır.

İlk yazılan kodda röleler bir buton sayesinde aktive edilmiştir. Buton ile röleleri aktive etmenin, ürünün kullanımı açısından pratik olmayacağı görülmüş ve Hc05 Arduinio Bluetooth modülü kullanımına karar verilmiştir. Breadboard üzerine Bluetooth modülü bağlantıları yapılmıştır. Bluetooth modülü 5V ve 3.3V olmak üzere iki ayrı elektrik akımına ihtiyaç duymaktadır. Arduino mega'nın 5V'luk elektrik çıkışından modülün VCC girişine ihtiyaç duyduğu akımı sağlamak için gerekli olan bağlantılar yapılmıştır. RXD girişi için ise gerekli olan 3.3V akımı elde edebilmek için ise; 2.7 ohm ve 4.4 ohm değerlerine sahip iki direnç ekleyerek Arduino mega'nın 5V olan elektrik akımı, modüle uygun hale getirilmiştir. Modülün GND girişi Arduino üzerinde bulunan GND çıkış pinine bağlanarak topraklama için gerekli olan işlem gerçekleştirilmiştir. Bluetooth modülüyle Arduino mega'nın iletişim kurabilmesi için RXD ve TXD bağlantılarına ihtiyaç vardır. RXD çıkış pinleri verileri almak, TXD çıkış pinleri ise verileri iletmek için tasarlanmıştır. Bluetooth modülünden gönderilecek komutun, Arduino mega tarafından algılanmasını sağlamak için modülün TXD çıkış pinine Arduino mega üzerinde bulunan RXD pinine bağlanmıştır. Bluetooth modülünün veri alabilmesi için de RXD pini Arduino mega üzerindeki TXD pinine bağlanmıştır.

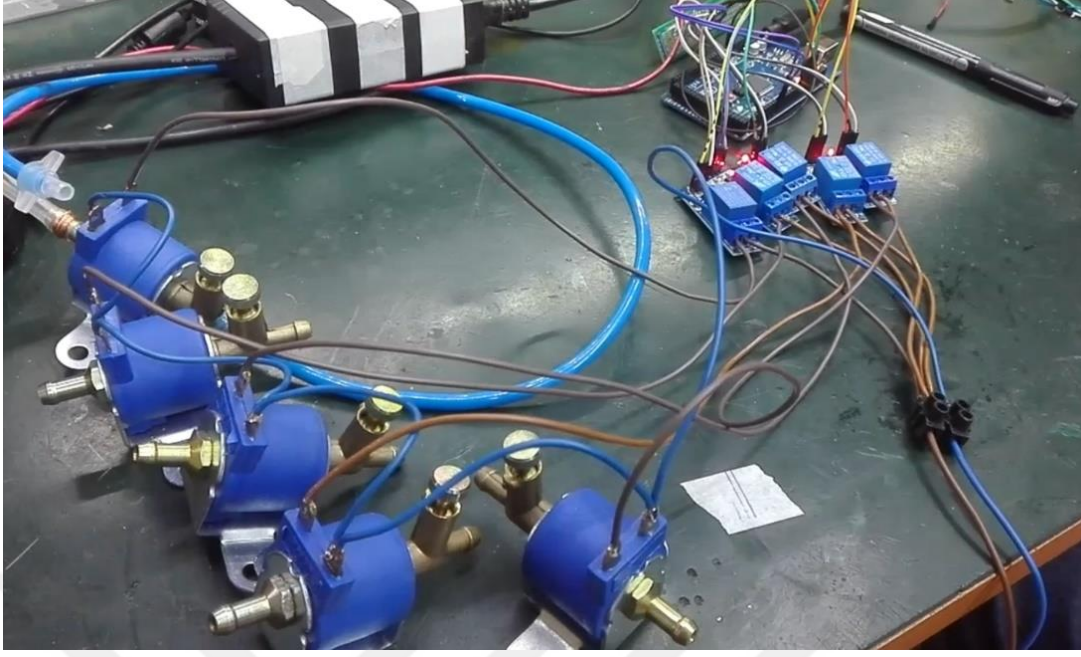
Breadboard üzerinde sistemin sorunsuz çalıştığı ve bağlantı yerlerinin doğruluğu test edilmiştir. Sistemde olan bazı aksaklıklar giderilmiş ve sorunsuz çalışması

sağlanmıştır. Sistemin sorunsuz çalışmasının ardından baskılı devre kartı (Pcb) üzerine bağlantılar lehimlenerek sabit hale getirilmiştir (Bkz. Görsel 10.28).



Görsel 10.28. Baskılı devre kartı bağlantıları

Röle ve diğer bağlantılar sabitledikten sonra, rölelerden valflere bağlantı kurarak valflerin aktif hale gelmesi sağlanmıştır. Rölelerin kodlar aracılığı ile açılıp kapanması, 12V adaptör ile valflere gelen elektrik akımının doğru şekilde kontrol edilebilmesine olanak sağlamıştır. Valflerin kontrollü bir şekilde açılıp kapatılabilmesiyle hava akışının istenilen zamanda sistem içerisinde dolaşımı mümkün hale getirilmiştir (Bkz. Görsel 10.29).



Görsel 10.29. *Elektronik komponentlerin bağlantısı*

Elektronik komponentlerin entegre edilmesi süreci ile ilgili görsel, video ve ayrıntılı açıklamalarla ilgili bilgilere ulaşılabilmesi için Şekil 10.11’de QR kod sunulmuştur.



Şekil 10.11. *Elektronik komponentlerin entegre edilme süreci ile ilgili QR kod*

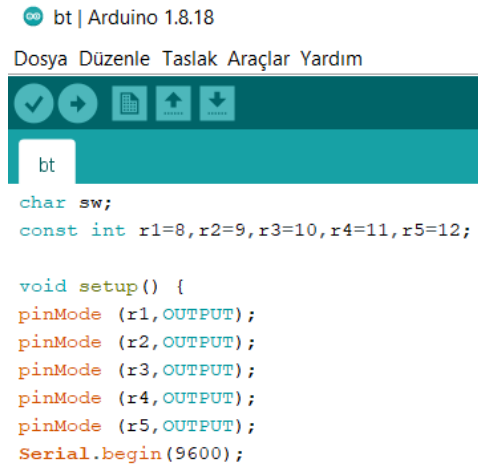
10.6. Kod Yazımı

Kod yazımı için Arduino IDE 1.8.18 yazılımından yararlanılmıştır. Arduino IDE açık kaynaklı bir yazılımdır. Açık kaynaklı yazılımlar herkesin kodları görebildiği ve ihtiyacı doğrultusunda değiştirebildiği kaynaklardır. Tek bir yazar ya da şirkete bağımlı olmadan, topluluklar tarafından iş birliği yapılarak geliştirilirler.

Arduino IDE farklı arduino kartlarına kod yazma ve yükleme yapma imkânı sağlamaktadır. Windows, Mac Os ve Linux işletim sistemleri ile uyumlu şekilde

çalışabilmesi de Arduino IDE'nin tercih edilme nedenlerinden birisidir. Arduino programlamasında asıl yapılan kart üzerinde bulunan mikrodnetleyicinin programlanmasıdır. Çalışmamızda mikrodnetleyiciye Arduino IDE yazılımında C++ dilinde yazdığımız kodlar yüklenmiştir.

Kod yazımında ilk olarak tek bir valf üzerinde denemeler yapılmıştır. Arduino IDE yazılımında yazılan kod ile röle başarılı bir şekilde aktive edilmiştir. Elde edilen başarılı sonucun ardından kod içinde yeni düzenlemeler yaparak Arduino çıkış pinine karşılık gelen değerler göz önünde bulundurularak “const int” değerleri 1’den 5’e kadar yeniden tanımlanmıştır. Const int değerleri C++ programlama dilinde, program boyunca sabit tutulmak istenilen ifadeleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Program boyunca sabitliği sağlayabilmek için röleler sırasıyla; 1 nolu röle 8, 2 nolu röle 9, 3 nolu 10, 4 nolu röle 11 ve 5 nolu röle 12 olacak şekilde tanımlanmıştır. Tanımlamada kullanılan 1-5 değerleri röleleri tanımlarken, 8-12 değerleri Arduino meganın çıkış pinlerini tanımlamaktadır. Rölelere gelecek komutun sorunsuz çalışabilmesi için void setup kurulumunda pinMode komutu “OUTPUT” olarak yazılarak röle değerinin karşılığı olan arduino çıkış pini veri aktarmak için programlanmıştır (Bkz. Görsel 10.30). Programlamada “r” röle olarak tanımlanmıştır.



```
bt | Arduino 1.8.18
Dosya Düzenle Taslak Araçlar Yardım
bt
char sw;
const int r1=8,r2=9,r3=10,r4=11,r5=12;

void setup() {
  pinMode (r1,OUTPUT);
  pinMode (r2,OUTPUT);
  pinMode (r3,OUTPUT);
  pinMode (r4,OUTPUT);
  pinMode (r5,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}
```

Görsel 10.30. Arduino IDE'de yazılan const int ve pinMode kodları

pinMode'ları çıkış olarak tanımlandığında röleye göre “digitalWrite” komutu değişiklik göstermektedir. Negatif röle veya pozitif röle kullanımına göre iletilecek verinin “0” ya da “1” olarak ayarlanması gerekmektedir. 1-4 nolu röleler negatif, 5 nolu röle pozitif röle olduğundan yazılan kodlar farklılık göstermek zorundadır. Kod “0” ya da “LOW” olarak yazıldığında pinden dışa veri akışı olmaz. 5 nolu röle pozitif olduğundan

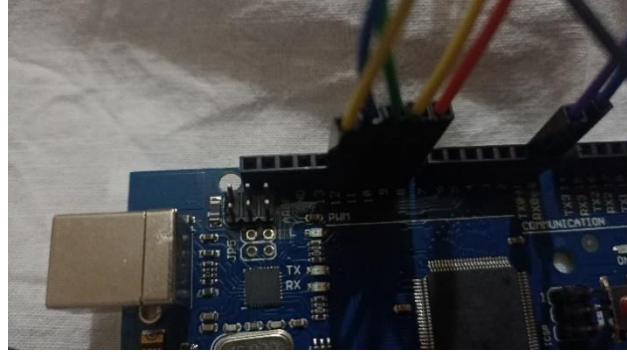
“LOW” kodu ile normal konumunda kapalı kalması sağlanmıştır, “HIGH” komutu ile de akım verilerek açılması ve valfi aktif etmesi sağlanmıştır. Diğer röleler negatif röle (yani açık pozisyonda) olduklarından “HIGH” komutu verilerek kapalı kalması sağlanmış ve aktif edilmek istenildiğinde “LOW” komutu ile röleye gelen akım kesilerek valflerin aktif edilmesi sağlanmıştır (Bkz. Görsel 10.31). digitalWrite komutları sisteme gelen değer eğer “0” ise yukarıda bahsedilen işlemleri gerçekleştirecektir.

```
void loop() {  
  while(Serial.available()>0) {  
    sw=Serial.read();  
  
    digitalWrite(r1,HIGH);  
    digitalWrite(r2,HIGH);  
    digitalWrite(r3,HIGH);  
    digitalWrite(r4,HIGH);  
    digitalWrite(r5,LOW);  
  }  
}
```

Görsel 10.31. *Arduino IDE'de yazılan digitalWrite kodları*

Sistem gereği her bir röle ayrı komutlar sayesinde eş zamanlı ya da birbirinden bağımsız şekilde çalışabilmektedir. Gelen kodlar sayesinde “HIGH” konumundan “LOW” konumuna getirilen röleler, valfleri aktive ederek hava akışının istenildiği gibi sistem içinde geçişini mümkün kılmıştır.

Açık kaynaklı kodlardan yararlanarak Arduino IDE yazılımı ile Bluetooth modülü sisteme uygun şekilde kodlanmıştır. Kodun yüklenebilmesi için Arduino üzerinde yer alan RXD ve TXD bağlantılarını sökülerek, Arduino üzerine boş bir kod yüklemek gerekmektedir. Ardından bağlantılar yeniden yerine yerleştirilerek Bluetooth modülünün aktive olup olmadığı test edilmiştir. Modül aktive olup diğer cihazlar tarafından görünür olduktan sonra, bağlantılar bir kez daha sökülüp gerekli olan kodlar yazılarak Arduino üzerine yeniden aktarılmış ve bağlantılar tekrar yapılmıştır (Bkz. Görsel 10.32).



Görsel 10.32. *Arduino pin çıkışlarının bağlantıları*

Bluetooth modülünün kontrolü için Arduino Bluetooth Controller uygulamasından yararlanılmıştır. Bu uygulama android cep telefonu, tablet ya da masa üstü bilgisayarlar sayesinde kullanılabilmekte ve Bluetooth modülü kontrol edilebilmektedir. Arduino Bluetooth Controller uygulaması telefon üzerinden terminal aracılığı ile Bluetooth modülüne kod ekleme olanağı sağlamaktadır. Uygulamanın “Switch” modunda “on” ve “of” modlarına “0” ve “1” kodları tanımlanarak, Bluetooth modülünün Arduino üzerinde işlemi başlatıp sonlandırabilmesi sağlanmıştır. Bu işlemin gerçekleşebilmesi için void setup kodlarından sonra “if(sw=='1')” kodu yazılmış ve sisteme gelen kod değeri “1” olduğunda sistem çalışmaya başlamıştır.

Kod yazım süreci ile ilgili görsel, video ve ayrıntılı açıklamalarla ilgili bilgilere ulaşılabilmesi için Şekil 10.12’de QR kod sunulmuştur.



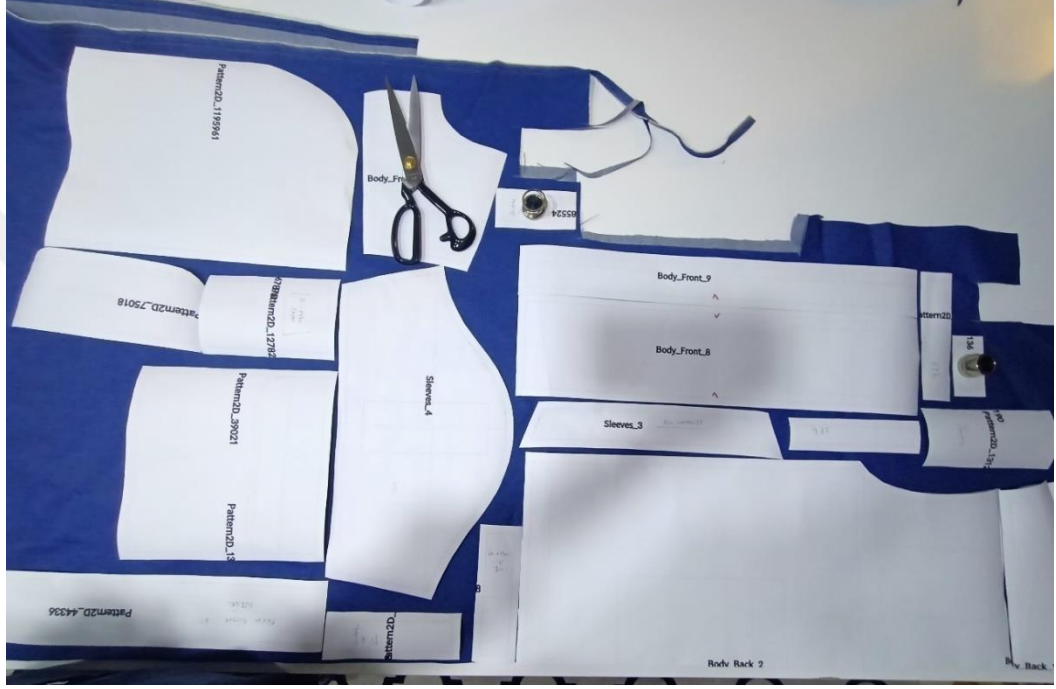
Şekil 10.12. *Kod yazım süreci ile ilgili QR kod*

10.7. Prototipin Dikimi

Pnömatik sistemde uygulanacak olan basıncın insan vücudunda daha iyi hissedilebilmesi için elastik özelliğinin düşük olduğu bir kumaş olan ham denim kumaşı

tercih edilmiştir. Kullanılan ham denim kumaş %100 pamuktur. Yıkanmamış ham denim kumaş yapısı gereği serttir ve esneklik özelliği azdır. Sahip olduğu bu özelliklerin yanı sıra ulaşılabilmesi kolay ve maliyeti uygun bir kumaş türüdür.

Eskizinin ve teknik çizimlerinin yapıldığı prototipin Clo 3D’de ilk önce 2B olarak kalıp çalışması yapılmıştır. Elde edilen 2B kalıp verilerinin çıktısı alınmıştır. Alınan çıktılar kumaş üzerine yerleştirilip kesimi yapılmıştır (Bkz. Görsel 10.33).



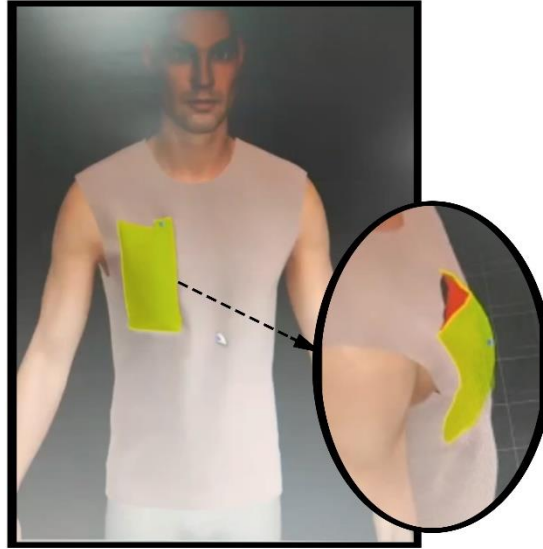
Görsel 10.33. Kalıpların kumaşa yerleştirilmesi

Kesim yapıldıktan sonra kumaşın ilk dikim işlemi gerçekleştirilmiştir. İlk dikim sonrasında elde edilen numune fit kontrolüne hazır hale getirilmiştir. Numunenin canlı manken üzerinde kontrolleri yapılmıştır. Kontroller sonucu elde edilen veriler sonucunda kalıpta değişiklikler meydana gelmesi gerekliliği görülmüştür. Göğüs kısmında yer alan serum poşetlerini barındıran ceplerin, 4 cm aşağıya yerleştirilmesinin daha gerçekçi bir his sağladığı tespit edilmiş ve bu cepler 4 cm aşağıya taşınmıştır. Kollarda basınç hissi istenildiği sonucu vermediğinden, basıncı arttırmak amacıyla ürünün kollarına cırt bant eklenerek basınç seviyesi arttırılmıştır (Bkz. Görsel 10.34).



Görsel 10.34. *Kol cırt bant detayı*

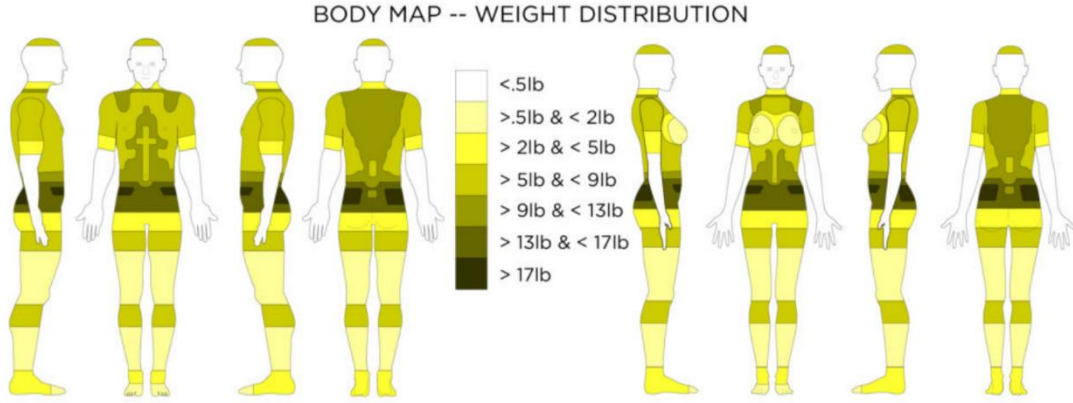
Kullanılan kumaşın sert yapısından dolayı serum poşetlerinden daha iyi performans elde edebilmek içine yerleştirildikleri cepler körüklü olarak tasarlanmıştır. Dışa yerleştirilen ceplerin şişme anında his kaybı oluşturduğu görülmüş (Bkz. Görsel 10.35) ve cep yerleri revize edilerek, basınç hissinin daha iyi aktarılabilmesi amacıyla prototipin iç kısmına monte edilmiştir.



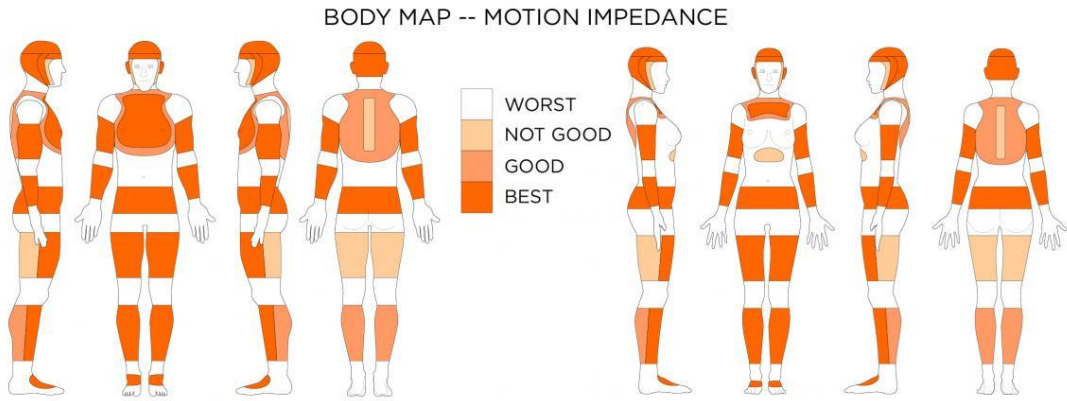
Görsel 10.35. *Dış cep denemesi*

Serum poşetlerini barındıran cepler prototipin iç kısmına monte edilirken, valflerle elektronik komponentleri barındıran cep ise kullanıcı konforu ve estetik kaygı göz önünde bulundurularak dış yüzeyine monte edilmiştir. Serum poşetlerine oranla ciddi bir ağırlığa sahip olan, valfler ve elektronik komponentleri barındıran dış cebin konumu, insan

anatomi gereği bel kısmı olarak belirlenmiştir. Bu karar verilirken Gemperle vd., (1998) ve Zeagler'in (2017) hazırlamış oldukları ağırlık (Bkz. Görsel 10.36) ve hareket empedansı haritalarından (Bkz. Görsel 10.37) yararlanılmıştır. Ağırlık haritası göz önünde bulundurulduğunda anatomik olarak insanı en az rahatsız eden bölgenin bel olması ve hareket empedansı haritasıyla karşılaştırıldığında da hareket kabiliyetini en az kısıtlayan bölge olması nedeniyle bel bölgesi tercih edilmiştir.



Görsel 10.36. Ağırlık haritası (Zeagler, 2017)



Görsel 10.37. Hareket empedansı haritası (Zeagler, 2017)

Valflerden serum poşetlerine giden hortumların dışa monte edilen cepten tasarımın iç kısmına geçişini sağlamak için valf sayısına eş değer olan 5 adet kuş gözü açılmıştır. Belde yer alan cebin içinde açılan kuş gözleri sayesinde hortumların prototipin iç kısmına geçişi sağlanmıştır. Prototipin, içine geçişi sağlanan hortumların, sabit bir şekilde ceplere ulaşabilmesi amacıyla köprüler oluşturulmuştur. Bu köprüler sayesinde tasarım içinde bulunan hortumların birbirleriyle karışması ya da tasarımın giyimi anında sorun çıkarması engellenmiştir (Bkz. Görsel 10.38). Göğüs ve kol kısmında bulunan ceplere, hortumların cebin üst kısımdan girişi sağlanmıştır. Sırt kısmında yer alan ceplerde ise alt kısımlarına

ilik açılarak hortumların bu alandan girişinin sağlanmasının daha uygun olduğu ilk fit kontrolleri sonucunda kararlaştırılmıştır.



Görsel 10.38. Hortumları sabitlemek için dikilen köprülerin görünümü

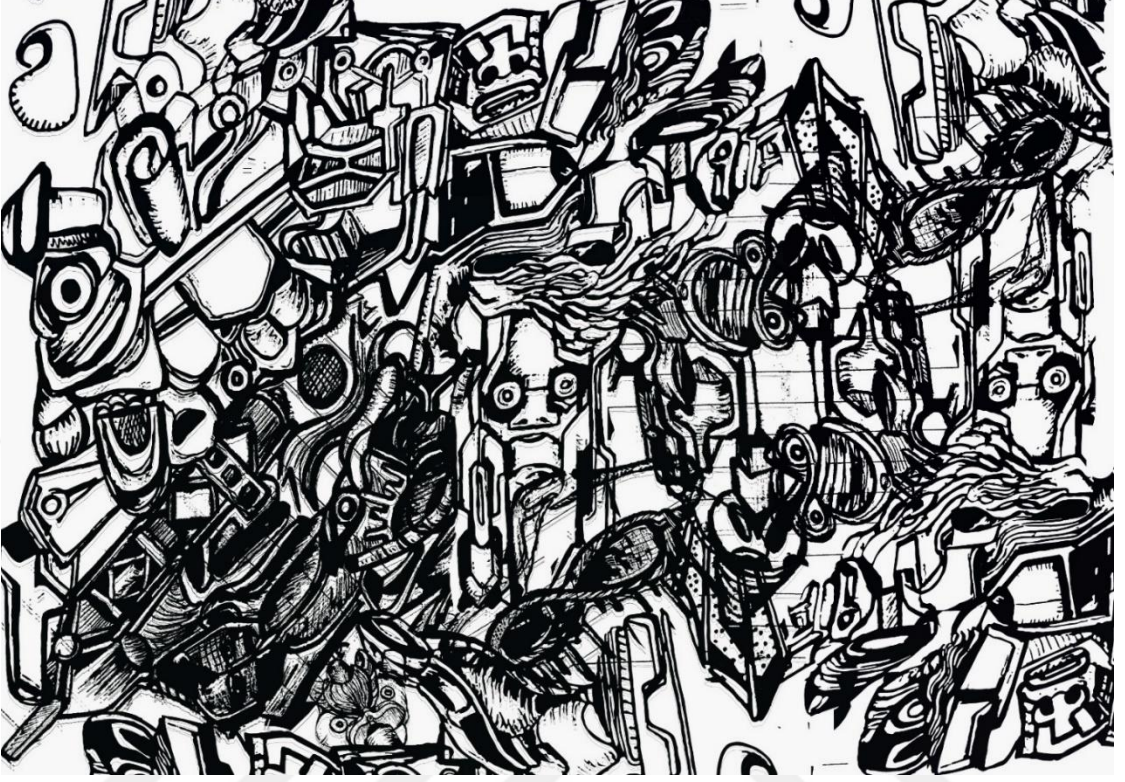
İlk fit kontrolleri sonrasında sırtta yer alan ceplere açılan ilikler, kollara eklenen cırt bant desteği ve göğüs bölgesinde olan ceplerin 4 cm aşağıya taşınması sonucu ikinci fit kontrolü yapılmış ve istenilen sonucun elde edildiği görülerek ve prototipin dikimi tamamlanmıştır (Bkz. Görsel 10.39).



Görsel 10.39. Prototip ön ve arka görünüm

Estetik amaçlı olarak tasarımın ön kısmına biye ve çift sıra kot dikişi geçilmiştir. Yine estetik amaçlı tasarıma kapüşon eklenmiştir. Kapüşon astarı için hazırlanan desen

transfer baskı yöntemi ile astar kumaşına basılmış ve kapüşonun iç kısmına astar dikilmiştir (Bkz. Görsel 10.40).



Görsel 10.40. *Kapüşon için hazırlanan desen çalışması*

Prototipin dikim süreci ile ilgili görsel ve ayrıntılı açıklamalarla ilgili bilgilere ulaşılabilmesi için Şekil 10.13'te QR kod sunulmuştur.



Şekil 10.13. *Prototipin dikim süreci ile ilgili QR kod*

10.8. Sistemin Prototipe Yerleştirilmesi

Göğüste iki adet, sırtta iki adet ve üst kollarda birer adet olmak üzere toplam altı adet serum poşeti, hazırlanmış ceplere yerleştirilmiştir. Serum poşetleri basınçlı bir hava ile şiştikleri için vücuda bir basınç uygulamakta ve kullanıcıya dokunsal bir geri bildirim sağlamaktadır. Serum poşetleri ve prototipin katmanlarının ön (Bkz Görsel 10.41), arka (Bkz Görsel 10.42) ve yandan (Bkz Görsel 10.43) görünümünün Clo 3D programında elde edilmiş kesitleri aşağıda gösterilmiştir.



Görsel 10.41. Prototipin katmanları (ön)

İç katman

Pnömatik katman

Dış katman



Görsel 10.42. Prototipin katmanları (arka)

İç katman

Pnömatik katman

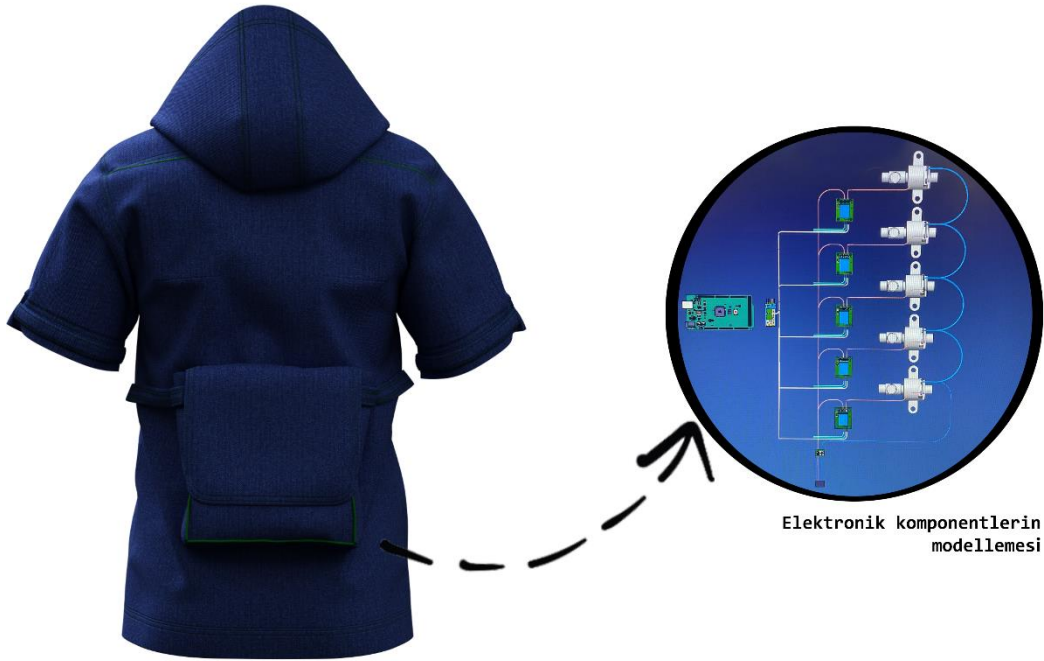
Dış katman



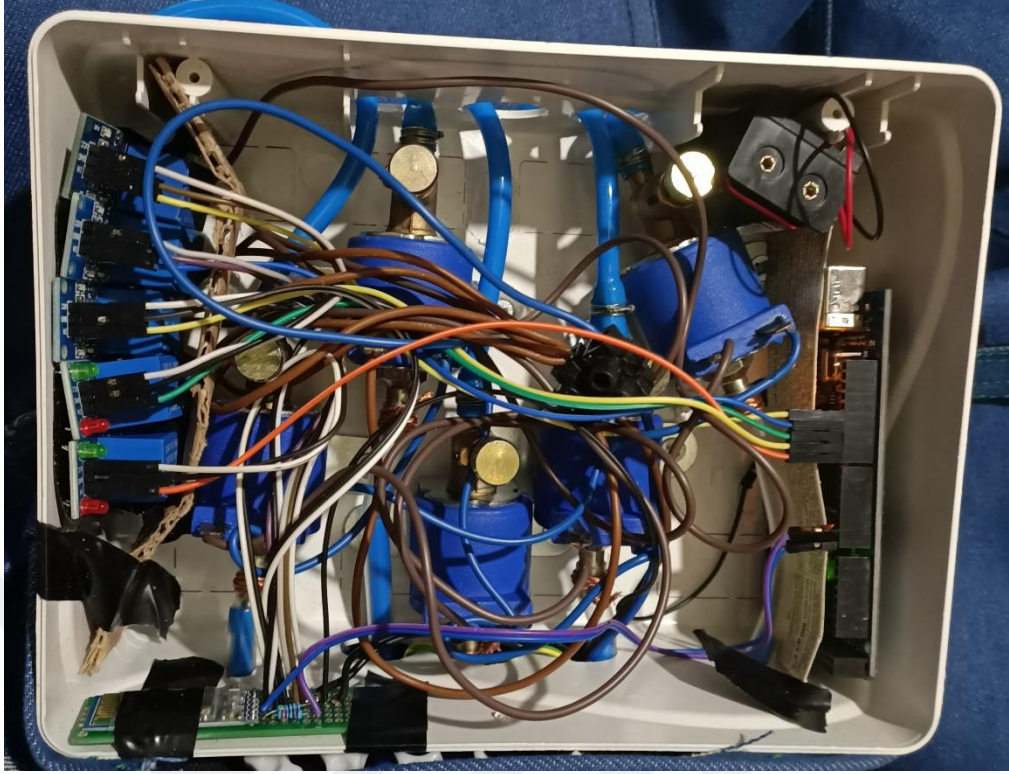
Görsel 10.43. Prototipin katmanları (kol)

İnsan vücudunun her bölgesinin basınca karşı dayanıklılık düzeyi farklılık göstermektedir. Watkins (1995) farklı bireylerin aynı bölgelerde dahi dayanıklılık düzeylerinin yaş, cinsiyet ve tıbbi koşullara göre farklılık gösterebileceğini belirtiyor olsa bile, Gemperle (1998) ve Zeagler'in (2017) hazırlamış oldukları çalışmalarda genelleştirilebilecek ortak dayanıklılık noktaları olduğu görülmektedir. Bu nedenle serum poşetlerini kıyafete yerleştirirken Zeagler'in (2017) ağırlık dağılımı haritasından yararlanılmıştır. Bu vücut haritası insan vücudunun hangi bölgesinin ne miktarda ağırlık ya da basınç miktarına maruz kalabileceğini göstermektedir.

Zeagler'in haritalarına da baktığımızda bel noktası ağırlığı taşımak için insan gövdesinin en uygun bölgesidir. Valfler ve elektronik komponentlerin oluşturacağı ağırlık göz önünde bulundurularak prototipin bel kısmına bir cep yapılmıştır (Bkz. Görsel 10.44). Arduino mega, bluetooth modüllerinin ve baskılı devre kartının valflerin metal kısımları ile temas halinde bulunup hasar görmemeleri için sigorta kutusunun içine uygun bir şekilde yerleşimi yapılmıştır (Bkz.Görsel 10.45). Sigorta kutusunun daha fazla hacim kaplamaması için kapağı sökülerek cebin içine yerleştirilmiştir.



Görsel 10.44. Arka cep ve iç detay modellemesi



Görsel 10.45. *Elektronik komponentlerin sigorta kutusuna yerleşimi*

Adaptörlere gidecek olan elektrik kabloları, kompresöre gidecek olan hortumlar cebin dışına önceden açılmış kuş ceplerinden geçirilmiş ve sigorta kutusu içerisinde gerekli olan yerlerine bağlantıları yapılmıştır. Valflerden serum poşetlerine gidecek olan hortumlar için sigorta kutusunun üst kısmına delik açılmış ve hortum oradan geçirildikten sonra prototipin iç kısmına açılmış olan kuş gözlerinden prototipin içine yönlendirilmiştir. Hortumların ceplere düzenli bir şekilde gidebilmeleri ve kullanıcıyı prototipi giyerken rahatsız etmemesi için köprüler ile desteklenmiştir. Köprüler aynı zamanda kullanılmadığı zamanlarda prototip içerisinde hortumların birbirleriyle karışmasına da engel olmaktadır.

Göğüs ve sırt bölgesinde bulunan 4 adet serum poşeti 250 ml'lik olarak tercih edilmiştir. Kapladıkları alanın geniş olması yerleştirildikleri bölgede alınacak duyuşsal geri bildirim için daha uygun bulunmuştur. Kollarda ise 250 ml'lik serum poşetleri konforsuz bulunduğu için kol formuna daha uygun olan 150 ml'lik serum poşeti kullanımı daha doğru bulunmuştur.

Sırt kısmında bulunan serum poşetlerine hava akışı 3 numaralı valften gelen hortumla sağlanmaktadır. Sırt kısmında bulunan serum poşetleri aynı anda geri bildirim

verecek şekilde tasarlandığından tek bir valften hava akımının sağlanması yeterli görülmüştür. 3 numaralı valften gelen pnömatik hortum prototipin iç kısmında bir “y” çatalı ile ikiye ayrılmış ve sırt ceplerinin altından açılan iliklerden serum poşetlerine bağlantısı yapılmıştır (Bkz Görsel 10.46).



Görsel 10.46. "Y" çatalı

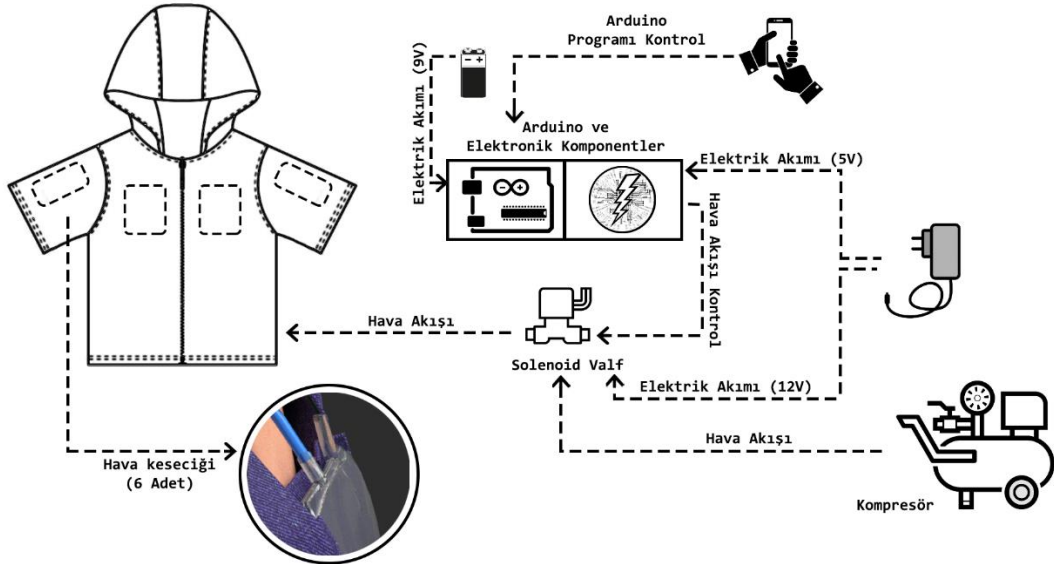
1 ve 5 numaralı valflerden gelen hortumlar sırasıyla sol ve sağ kola hava akışı sağlamaktadır. Kollarda iki farklı valf kullanımının tercih edilmesi, iki koldan da farklı zamanlarda duyusal geri bildirim alınabilmesine olanak sağlamaktadır. Hortumlar omuz bölgesinden kollara geldiği için ceplerin üst açıklığından serum poşetlerine bağlanmış ve hava girişi üst kısımdan sağlanmıştır.

2 ve 4 numaralı valfler ise göğüsün sol ve sağ kısımlarında bulunan serum poşetlerine bağlanmıştır. Kollarda olduğu gibi farklı zamanlarda duyusal geri bildirim alma olanağı sağlamaktadır. Göğüs kısmında bulunan serum poşetleri de ters yerleştirilerek hava girişinin üst kısımdan sağlanması, göğse gelen hortumlarında omuzdan gelmesinden dolayı uygun görülmüştür (Bkz. Görsel 10.47).



Görsel 10.47. Pnömatik hortumların prototip içinde yerleşimi

Pnömatik sistemin eklenmesiyle prototip tamamlanmıştır. Şekil 10.14'te prototipin diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 10.14. Prototipin diyagramı

Sistemin prototipe yerleştirilme süreci ile ilgili görsel, video ve ayrıntılı açıklamalarla ilgili bilgilere ulaşılabilmesi için Şekil 10.15'te QR kod sunulmuştur.



Şekil 10.15. Sistemin prototipe yerleştirilme süreci ile ilgili QR kod

Akıllı tekstillerin ve onun alt kategorilerinden biri olan elektronik tekstillerin 21. yüzyılla beraber tekstil sektörü içerisinde pazar payının artmış olduğu görülmektedir. Değişen pazar koşulları ve üretim şekillerine ayak uydurabilmek amacıyla moda tasarımcılarının geleneksel moda eğitimi dışında farklı disiplinlerden de bilgiler edinmek, farklı malzemeleri deneyimlemek ve disiplinler arası çalışma alışkanlığı kazanması gerekmektedir. Giyilebilir bir teknoloji ürününün üretiminin, geleneksel giysi tasarımı ve dikiminden farklı olmasıyla tek bir kişinin üstesinden gelmekte zorlanabileceği koşullar doğurduğu görülmüştür. Üretim sürecinde karşılaşılan ve moda tasarımcısını zorlayabilecek olan bu koşulların bir kısmının doğru bir araştırma ile üstesinden gelinebileceği gibi bir kısmında da yardım almayı ve belki de üretmek istenilen projenin paylaşılarak multidisipliner bir çalışmaya dönüştürülmesi gerekliliği görülmüştür.

Sonuç olarak araştırmanın başında belirlenen araştırma sorularına çalışma sonunda aşağıdaki şekilde cevap vermek mümkündür.

- I. Haptik geri bildirim sistemlerinden biri olan pnömatik sistemlerin, gündelik hayatta sıklıkla kullanılan, kolay erişilebilir malzemeler ile açık kaynaklı kodlar kullanarak oluşturulması mümkün müdür?

Çalışma kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda Haptik geri bildirim sistemlerinden biri olan pnömatik sistemlerin, gündelik hayatta sıklıkla kullanılan, kolay erişilebilir malzemeler ile açık kaynaklı kodlar kullanarak oluşturulabilmesi mümkündür. Pnömatik haptik geri bildirim sistemlerinde hava kesecikleri olarak kullanılan malzemelerin hiperelastik özelliğe sahip olmaları göz önüne alınarak, yapılan malzeme denemeleri hiperelastik yapıya sahip malzemeler üzerine yoğunlaşmıştır. Hava keseciği olarak denenen malzemeler Görsel 10.48’de verilmiştir. Denenen malzemeler arasından

hava keseciklerini oluşturmak için en uygun malzemenin serum poşeti olduğu görülmüştür.



Görsel 10.48. Hava kesecikleri için denenilen malzemeler

Serum poşetiyle oluşturulan hava keseciklerine yine kolay erişilebilecek pnömatik hortumlar sayesinde hava akışının sağlanması, benzin kesici valfler sayesinde hava akışının kontrol edilebilmesi ve valflerin kontrolünün Arduino ile sağlanabilmesinin mümkün olduğu görülmüştür.

Instructables, Fritzing, YouTube, Thingiverse, MakeFaire gibi siteler başta olmak üzere açık kaynaklı kodlara ulaşımın kolay olduğu ve kodları ihtiyaç doğrultusunda düzenleyerek Arduino'nun programlanabilmesin mümkündür.

II. Pnömatik giysi üretimi için hangi malzemeler kullanılabilir?

Kayış tahrikli hava kompresörü, solenoid benzin kesici valf, serum poşeti, pnömatik hortum, röle, arduino ve bluetooth modülü kullanılarak pnömatik sistem kurulumu gerçekleştirilebilir.

Pnömatik sistemlerin temelini hava oluşturduğu için sistem oluşumunda en önemli faktör hava akımının sağlamak için kullanılacak ekipmandır. Giysinin şişirilerek katmanlar arasında hava boşluğu oluşturulması ve bu sayede kullanıcının vücut ısını korumasını sağlamak amacı ile üretilecek bir üründe, birçok hava motorunun yeterli kapasiteye sahip olabileceği gözlemlenmiştir. Fakat haptik bir geri bildirim sağlamak istenildiğinde, şişirme süresinin önem kazanmasından dolayı güçlü bir kompresöre ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Hava keseciklerini şişirmek için denenen ekipmanlar Görsel 10.49.'de gösterilmiştir.



Görsel 10.49. Hava akımını elde etmek için denenen ekipmanlar

Denenen ekipmanlar arasından kayış tahrikli bir hava kompresörünün sahip olduğu hava basınç düzeyinin ve hızının prototip için uygun olduğu tespit edilmiştir.

Prototip için oluşturulan pnömatik sistemin, önerilen Puzzlesuit tasarımıyla farklı beden tipleri ve farklı haptik geri bildirim noktalarına sahip bir formun içine entegre edilebilmesi de mümkündür.

III. Haptik geri bildirimlerin kontrollü bir şekilde yapılması mümkün müdür?

Mikrodenetleyicilerin entegre edildiği bir sistem sayesinde haptik geri bildirimlerin kontrollü bir şekilde yapılabilmesi mümkündür. Mikrodenetleyicilerin açık kaynaklı kodların sisteme uygun şekilde revize edilerek yeniden kodlanması ile elektronik komponentleri kontrollü bir şekilde çalıştırabildiği görülmüştür. Elektronik komponentlerin istenildiği gibi aktif edilebilmesiyle haptik geri bildirim sisteminin kontrollü bir şekilde çalışabilmesine olanak sağlanmıştır.

IV. Pnömatik giysinin vücut üzerine uygulamış olduğu basınç noktalarını ve bu noktalara uygulanan basınç değerlerini 3D simülasyon yazılımlarını kullanarak modellemek mümkün müdür?

Clo 3D simülasyon programı ve Ansys yazılımı sayesinde prototipte kullanılan hava keseciklerinin modellenmesine, basınç noktaları ve uygulanan basınç değerleri elde edilebilmektedir.

Clo 3D simülasyon programında modellenen giysi ve pnömatik sistemin avatar üzerine yapmış olduğu basınç değerlerini ölçümlemek mümkün olmuştur. Ansys yazılımında modellenen serum poşetlerinin basınç altındaki davranışıyla, Clo 3D programında elde edilen basınç noktaları ve değerlerine ait veriler uyum göstermektedir. İki programda yapılan modellemelerde hiperelastik yapıya sahip serum poşetlerinin basınç noktalarının en yüksek değere sahip olduğu alan orta noktası olarak tespit edilmiştir. Verilerin uyumu 3 boyutlu simülasyon programlarında pnömatik sistemin modellemesinin mümkün olabileceğinin göstergesidir.

Araştırma kapsamında yapılan çalışmaların sonucunda, duyuşal geri bildirim sistemlerinden biri olan pnömatik sistemin kolay erişilebilir malzemeler ile üretiminin mümkün olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda elde edilen prototip, izlenen görsel ile eş zamanlı olarak çalışabilmekte ve görüntüde seçilen karakterin aldığı fiziksel darbeleri, serum poşetlerinin yerleştirildiği yerlerde kullanıcıya aktarabilmektedir. Kol, göğüs ve sırt kısmına yerleştirilen serum poşetleri hedeflenen sürede şişirilebilmiştir. Hedeflenen sürede şişirilebilen serum poşetleri, kullanıcıyı rahatsız etmeyecek bir düzeyde etki

vermiştir. Kodlar sayesinde istenilen serum poşetinin görselle uyumlu bir şekilde bağımsız olarak şişirilebilir olması, seçilen bölgenin dokunsal geri bildirim maruz kalmasını sağlamıştır. Görselde avatarın karşılaştığı fiziksel darbenin birden fazla bölgeye denk gelmesi durumunda istenilen serum poşetleri eş zamanlı şişerek farklı bölgelere aynı anda etki etmeyi başarmıştır.

Başarıyla çalışan prototipin şehir şebekesinden gelen elektrik akımı ile beslenmesi ve bir kompresöre bağlı olması, kullanım alanının kısıtlayarak hareket kabiliyetine sınırlama getirmektedir.

Elektronik komponentlerin ihtiyaç duyduğu en yüksek elektrik akımı düzeyinin 12V olduğu görülmüştür. 12V elektrik akımlı bir batarya kullanılarak, adaptörlerin çıkarılması mümkündür. Ancak sanayi tipi valflerin ağırlığına, bir de bataryanın ağırlığı eklendiğinde prototipin ağırlığı kullanıcı konforunu olumsuz etkileyebilecek düzeye ulaşmaktadır. Batarya sorunu çözülebilse bile prototipin kompresöre bağımlılığı tasarımcı için daha ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Kayış tahrikli kompresör dışında denenilen farklı şişirme yöntemlerinden istenilen dokunsal geri bildirim düzeyini alabilmek mümkün olmamıştır. Bu durum Morrison vd. (2018) titreşim üzerine yaptıkları süre-örtüşme çalışmasının pnömatik sistemler içinde uygulanabilecek bir referans olduğunu göstermektedir. Yeterli sürede şişirilemeyen pnömatik sistem ürünlerinin duyuşsal geri bildirim konusunda etkisiz kaldığı ve şişirme süresinin 0,5 saniye olarak uygulanmasının hedeflenen geri bildirimi sağlama konusunda ideal olduğu gözlemlenmiştir. Hedeflenen 0,5 saniye hedefine ulaşabilmek için tercih edilen kompresör türü de hareket alanını kısıtlamaktadır. Aynı güç düzeyine sahip ufak boyutlu ve bağımsız çalışabilen bir kompresörün kolay ulaşılabilen bir ürün olmadığı görülmüştür. Prototipin hareket bağımsızlığı kazanabilen bir hale getirebilmesinin önemli bir maliyet artışına sebep olacağı ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak pnömatik bir sistemin kolayca erişilen malzemeler aracılığıyla üretilebileceği görülmüştür. Kullanılan 6mm'lik hortumlar yerine daha ince hortumlar tercih edilebilir, ağırlığı daha hafif valfler bulunabilir. Serum poşeti yerine ecoflex, kauçuk gibi malzemeler sayesinde istenilen boyutta hava kesecikleri oluşturularak prototipin geliştirilmesi sağlanabilir.

Pnömatik sistem içerisinde dolanacak olan havanın kontrolü uygun fiyatlı mikrodenetleyiciler ve açık kaynaklı kodlar kullanarak sağlanabilir. Bunun için açık erişimli internet sitelerinde yeterli bilginin ve görsel kaynakların var olduğu gözlemlenmiştir. Maker yaklaşımı ile oluşturulan Instructables, Thingiverse vb. siteler ve forumlar dünya üzerinde bu konular hakkında meraklı olan birçok kullanıcıyı bir araya getirmektedir. Açık kaynaklı kodların dağıtımı yasal olduğundan tasarımcı çözemediği problemleri forumlar aracılığı sayesinde kod yazımında deneyimli olan kişilerin yardımı ile çözebilmektedir. Tasarımcı pnömatik sistem dışında diğer dokunsal geri bildirim yöntemlerini de mikrodenetleyiciler ve kodlar sayesinde tasarımına ekleyebilir. Dokunsal geri bildirim sistemleri dışında farklı amaçlara yönelik giyilebilir teknoloji ürünleri prototipleri tasarlayabilir. Maker yaklaşımı tasarımcının hayalini kurduğu birçok şeyi gerçekleştirmesine olanak sağlayan platformlarla, yenilikçi ürünler tasarlamak ve üretmek isteyen insanlar için sınırı olmayan bir bilgi paylaşımı ağı oluşturmaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında Clo 3D kullanarak simülasyonu oluşturulan prototipin, programın imkân verdiği olanaklar içerisinde basınç değerleri ölçümlenmiştir. Clo 3D simülasyon programının sahip olduğu haritaların avatara yaptığı basıncı gösterdiği bilinmektedir. Stress map yardımıyla elde edilen verilerde serum poşetlerinin orta noktaları, basınç değerinin en yüksek olduğu noktalar olarak tespit edilmiştir. Prototipin Clo 3D programında yapılan simülasyonu ve ANSYS yazılında yapılan serum poşetlerinin modellemesinden elde edilen verilerin birbirleriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler sayesinde; prototipi oluşturulan tasarımın, çoktan seçmeli görüntüler içeren filmler için de oldukça kolay uyarlanabilecek bir yapıya sahip olduğunu söylebilmek mümkündür. Açık kaynaklı kodların görüntüye göre düzenlenmesi ile istenilen görüntünün prototipe uyumlu olabilmesi sağlanabilmektedir. Belirli bir akışa sahip olan görseller üzerine uyumlu hale getirilebilecek prototipin oyun sektöründe kullanılabilmesi için açık kaynaklı kodların dışında profesyonel bir kod yazım bilgisine sahip olunması gerekmektedir. Oyunların sahip oldukları poligonal yapı ve oyuncunun hareketinin önceden bilinemez olması kod yazımını zorlaştırmaktadır. Fakat önceden bilinmeyen kullanıcı hareketleri dahi poligonal yapı içerisinde oyunun izin verdiği olasılıklarla sınırlıdır. Olasılıkların hesaplandığı bir kod yazımıyla da prototipin herhangi bir oyuna uyarlanabilmesi de

mümkündür. Disiplinler arası yapılabilecek bir çalışma ile ortaya koyulan prototip geliştirilmeye ve farklı etkinliklerde kullanılmaya uygun bir üründür.

Çalışma sürecinde denenen malzemeler, üretim süreci ve prototipin nihai hali ile ilgili görsel, video ve ayrıntılı açıklamalarla ilgili bilgilere ulaşılabilmesi için Şekil 10.16'da QR kod sunulmuştur.



Şekil 10.16. *Pnömatik esaslı haptik geri bildirim prototipi ile ilgili görseller ve videolar için QR kod*

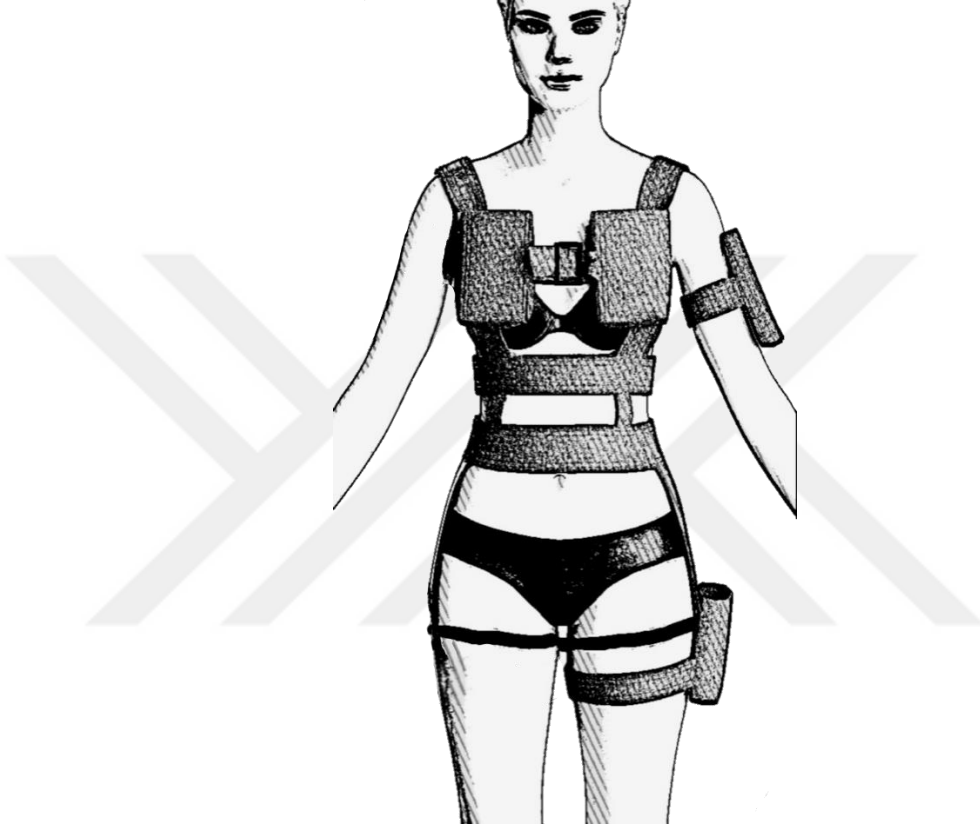
11. ÖNERİLER

Üretilen prototipte duyuşal geri bildirim alınabilecek bölgeler, oluşturulan cep sayısı ve ceplerin yerleştirildikleri alanla sınırlıdır. Literatür incelendiğinde üretilmiş pnömatik sistemli duyuşal geri bildirim tasarımlarında benzer bir sorunla karşılaşılmaktadır. Karşılaşılan bir diğerk problem ise tasarımların belli bir beden aralığına sahip bireyler tarafından kullanımının uygun olmasıdır. İnsan anatomisinin bireyden bireye göstermiş olduğı fark göz önünde bulundurulduğunda; her kullanıcı için farklı boyutlarda ürün üretmek gerekmektedir. Hazır giyim kalıpları göz önünde bulundurularak üretilecek S,M,L kalıplarında olan ürünler bile bir çok kullanıcıyı tatmin etmeyecektir. Çünkü bu kalıplar belli değerk aralıklarını karşıladığından, her M beden kullanıcı aynı duyuşal geri bildirim ürününden aynı etkiyi almakta zorlanacaktır. Bu sorunun çözümü için; kişiye özel tasarım yapılması, ürünü talep eden her bireyin bedensel ölçülerinin alınması ve alınan bedensel ölçülere göre ürünün baştan üretilmesi gerekmektedir. Bu doğırtuda o kişinin duyuşal geri bildirimini almasını sağılamak amacıyla sistem içerisinde yer alan hortumların ve cep yerlerinin yerleşiminde ürünü talep eden bireyle prova yapılmalıdır. Çünkü duyuşal geri bildirim verecek alan ile kullanıcının bedeni arasında oluşacak boşluk bildirimin doğırt sağılanması açısından önemlidir. Eğer cilt ile ürün arasında yeterli boşluk yoksa pnömatik sistem ile çalışan hava kesecikleri şişmeyebilir, boşluk fazla olursa da hava kesecikleri cilt yerine dışarıya baskı yapar ve duyuşal geri bildirim düzeyinin istenilen seviyede olmamasına neden olur. Gereklri boşluğu dengelemek için kişiye özel üretilebilecek bir pnömatik sistem en doğırt duyuşal geri bildirimini sağılayacaktır. Fakat kişiye özel üretilcek ürünün üretim zamanının uzun sürecekt olması, iş yükünü arttıracığı ve ürün maliyetini yükselteceğı göz önünde bulundurulursa modüler bir tasarım yapmak daha avantajlı olabilecektir.

Gemperle vd.'ne (1998) göre; “beden ölçüleri değışimi, giyilebilir formlar tasarlarırken ilginç bir meydan okuma sağılar. Hem vücudun yapısı hem de kilo ve kas kazanma ve kaybetme yolları önemlidir. Giyilebilir cihazlar, mümkün olduğunca çok sayıda kullanıcıya uyacak şekilde tasarlanmalıdır.” Bireye yönelik üretilcek ürünün oluşturduğı dezavantajlar ve Gemperle vd. yaklaşımı değerkendirildiğinde; serum poşetlerini barındıran ceplerin bir ürüne sabitlenmeden üretilmesi, kullanıcının isteğı doğırtusunda cepleri vücudunda konumlandırabilmesi ve cırt bantlar ya da kayışlar sayesinde bedenine tam oturabilecek şekilde yerleştirebilmesi üretilcek modüler bir tasarımın avantajları gibi görünmektedir. Bu anlamda çalışma kapsamında, ortaya konan

bu problemlere çözüm bulmak amacıyla PuzzleSuit adı verilen bir tasarım önerisi sunulmuştur.

Modüler bir tasarım elde edebilmek için; cepler herhangi bir zemine dikilmeden Görsel 11.1’de görüldüğü gibi kol ve bacaklara istenildiği zaman ve istenildikleri noktada yerleştirilebilecek şekilde tasarlanmıştır.

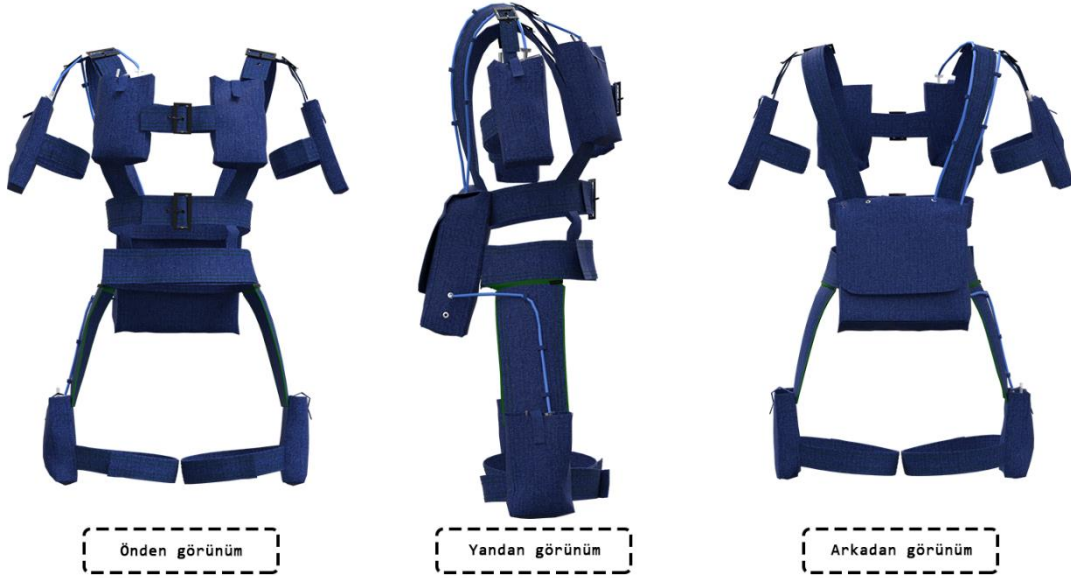


Görsel 11.1. Kavramsal bir tasarım önerisi olarak "PuzzleSuit"

Kol ve bacaklara yerleştirilecek ceplerin kayış ya da cırt bant yöntemi ile yerleştirilme sorunu çözülecektir. Cırt bant veya kayış sistemi birbirinden farklı çapa sahip bölgelerde de ceplerin kullanım avantajını sağlamaktadır. Kullanıcı ister uyluk isterse baldırda cebi konumlandırabilir, kol ve ön kol içinde aynı yöntemi izleyebilir. Tercih durumunda kullanıcının kol ya da bacağına yerleştireceği cep sayısını artırarak alacağı duyuşsal geri bildirim alanlarını çoğaltma şansına sahip olması mümkün kılınabilir.

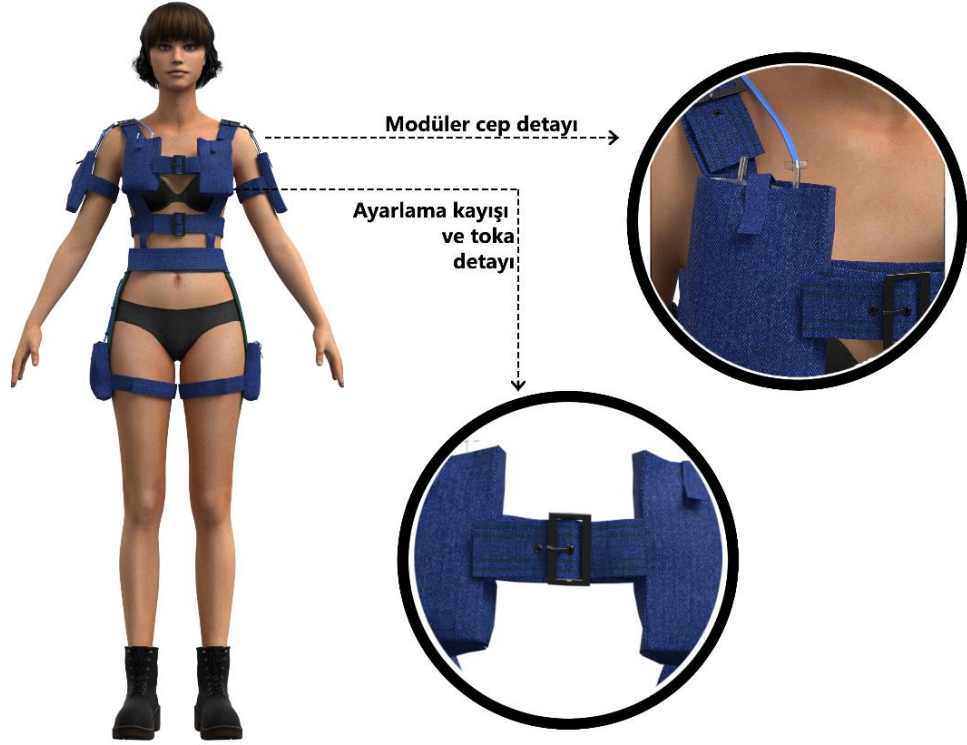
Gövde kısmında ise cırt bant kullanarak cepleri sabitlemek pek mümkün görülmemektedir. Bu nedenle üst gövde için bir iskelet giysisi önerilmiştir. İskeleti oluşturan kayışların üzerine kullanıcı cepleri sabitleyebilir. Üst gövde için tasarlanan

iskelet birden fazla alanda duyuşal geri bildirim sağlama avantajının yanında, sahip olduğu kayışlar sayesinde birden fazla beden tipi için uygundur (Bkz. Görsel 11.2).



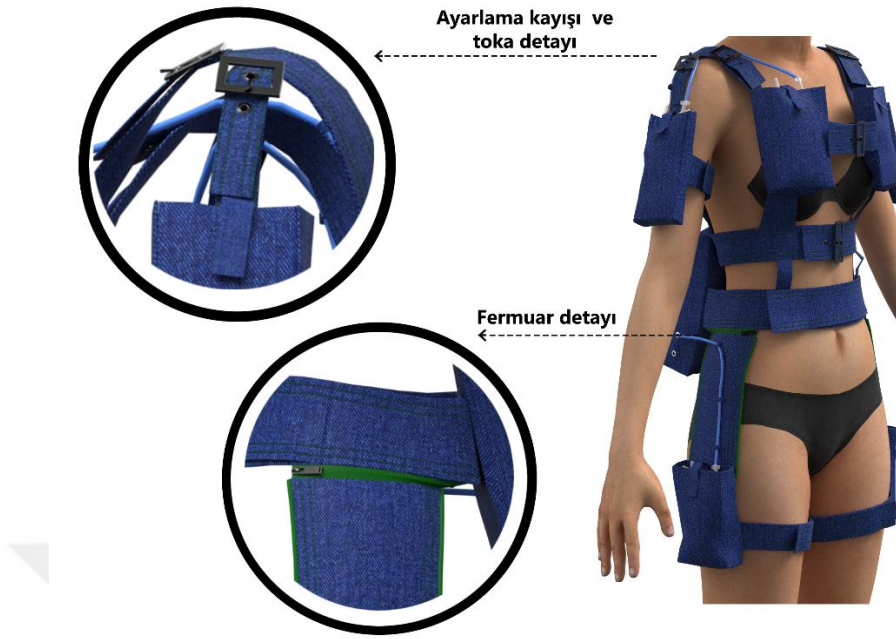
Görsel 11.2. Üst gövde için modüler iskelet giysi tasarımı

İskelet üzerine yerleştirilecek ceplerin doğru yerlere konumlandırılabilmesi ve üreteceği basınç etkisini arttırmak amacıyla kemer ile birbirlerine bağlanabilir. Kullanıcı kendi beden tipine göre cepleri birbirlerine yaklaştırabilir ya da uzaklaştırabilir (Bkz. Görsel 11.3).



Görsel 11.3. Göğüs kemeri detayı

Ayrıca kol bölgesinin omuza bağlantısı kemer ile bacak bölgesinin de kalçada bulunan fermuar desteği ile iskelete eklemlenebilmesi mümkün hale getirilebilir. Fermuar ve kemer sistemleri ceplerin kullanım anında yerlerinden oynamasına da engel olacaktır (Bkz. Görsel 11.4).



Görsel 11.4. *Fermuar ve kemer detayları*

PuzzleSuit'in sağlayacağı bir diğer avantajda pnömatik sistem dışında kalan duyuşal geri bildirim yöntemlerinin (EMS vs) de kullanılabilecek olmasıdır. Çıkarılıp takılabilir parçaları sayesinde kullanıcının istediği oyuna göre aktüatör seçimi yaparak, farklı oyun modlarında birbirinden farklı dokunsal geri bildirim olanaklarını deneyimlemesi mümkün olabilecektir.

PuzzleSuit bu yaklaşımıyla kullanıcıya da farklı satın alma opsiyonları sunabilecek, kullanıcı ilk başta isterse başlangıç paketi olarak sadece üst gövde ve oyun özelliğine göre seçilmiş bir aktüatör türünü satın alabilecektir. Başlangıçta bütün ürüne yüklü miktarda para ödemek ya da ihtiyaç duymadığı parçaları satın almak zorunda kalmayacaktır. Kullanıcı zaman içerisinde ürününü geliştirerek tam vücut kıyafeti ve farklı oyun modlarında kullanabileceği bir ürün haline çevirebilir.

Gelecekte kullanıcı yeni bir ürün satın almak yerine gerek duyduğu parçaları yenileyerek ürünü kullanmaya devam edebilir. Böylece PuzzleSuit; daha etkili aktüatörlere ve daha uzun süreli pil ömrüne sahip, ana iskelet üzerinde sürekli eklenerek ilerleyen bir kıyafete dönüşebilir.

PuzzleSuit'in sağlayacağı bir diğer avantaj ise istenilen aktüatörün devre dışı bırakılabilmesidir. Kullanıcılar oyunda uzun saatler harcamaktadırlar. Uzun süre haptik

geri bildirimlere maruz kalmak kullanıcıyı yorabileceği gibi, bir süre sonra duyusal geri bildirimlere karşı duyarsızlaştırabilir. Böyle bir durumla karşı karşıya kalan kullanıcı, PuzzleSuit'in tercih ettiği alanlarını aktif hale getirerek kullanmaya ve bu alanlardan duyusal geri bildirim almaya içine daldığı sanal dünyayı daha gerçekçi deneyimlemeye devam edebilecektir.

PuzzleSuit tasarım önerisi ile ilgili daha detaylı görsellere ulaşılabilmesi için Şekil 11.1'de QR kod sunulmuştur.



Şekil 11.1. *PuzzleSuit tasarım önerisi ile ilgili QR kod*

KAYNAKÇA

- Adi, M. N. and Aljunaidy, M. M. (2020). The Usefulness of Using Virtual Reality to Assess Elderly and Dementia Friendly Hospital Design. *International Design and Art Journal*, 2(1), 137-150.
- Altıparmakogulları, Y. (2019). Ürün Deneyimi Perspektifinden Haptik Etkileşimin Araştırma Alanlarının Belirlenmesine Yönelik Bir İnceleme. *International Architecture, Design and Fine Arts Sciences Congress*, (s. 146-158). Konya.
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Teleoperators and Virtual Environments*, 355-385.
- Bagnara, S. and Smith, G. C. (2006). *Theories and Practice in Interaction Design*. CRC Press. doi:<https://doi.org/10.1201/9781482269536> (Erişim Tarihi: 03.02.2022)
- Baudrillard, J. (2011). *Simgesel değiş tokuş ve ölüm*. (O. Adanır, Çev.) Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.
- Baumann, L. M. (2016). *The Story of Wearable Technology: A Framing Analysis*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Virginia, A.B.D.: Virginia Polytechnic Institute and State University, İletişim Sanatları Bölümü.
- Bayousuf, A., Al-Khalifa, H. and Al-Salman, A. (2019). Haptics-Based Systems Characteristics, Classification, and Applications. M. Khosrowpour içinde, *Advanced Methodologies and Technologies in Artificial Intelligence, Computer Simulation, and Human-Computer Interaction* (s. 778-794). Engineering Science Reference. doi:10.4018/978-1-5225-7368-5.ch058
- Bayrak, V. (2009). Geliştirilmiş en hızlı pnömatik valfler. *Mühendis ve Makina*, 50(589), 66-72.
- Bedeloğlu, A., Sünter, N. ve Bozkurt, Y. (2010). Elektriksel olarak iletken tekstil yapıları, üretim yöntemleri ve kullanım alanları. *Tekstil ve Mühendis*, 7-17.
- Bilir, M. Z. (2016, Temmuz). *Balistik koruyucu elektronik tekstil ürün tasarımı*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü.

- Bingel, Z. K. (2009). *'Haptik'in tasarımı' tasarım aşamalarında haptik etmenler*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. İstanbul: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Blikstein, P. (2018). Maker Movement in Education: History and Prospect. *Handbook of Technology Education, Project: Maker Education* (s. 419-437). Springer International Publishing.
- Boeva, Y. and Troxler, P. (2020). Maker. M. O'Neil, C. Pentzold, and S. Toupin. *The Handbook of Peer Production* (s. 225-237). John Wiley & Sons, Inc. doi:DOI:10.1002/9781119537151
- Boscia, T. (2010, Mart 15). *Coat can charge cell phone, iPod, MP3 player*. <https://news.cornell.edu/stories/2010/03/coat-can-charge-cell-phone-ipod-mp3-player> (Erişim tarihi: 04.06.2021)
- Brewster, S. (2005). The Impact of Haptic 'Touching' Technology on Cultural. *Digital Applications for Cultural Heritage Institutions*, 273-284.
- Ciurdaru, L. (2013). Philosophy of "Spinning Wheels". *ACMS 19th Biennial Conference Proceesings*. Bethel University.
- Coşkun, C. (2017). Bir Sergileme Yöntemi Olarak Artırılmış Gerçeklik. *Sanat ve Tasarım Dergisi*(20), 61-75. doi:<https://doi.org/10.18603/sanatvetasarim.370723> (Erişim tarihi: 04.03.2022)
- Culbertson, H., Schorr, S. B. and Okamura, A. M. (2018). Haptics: The Present and Future of Artificial Touch Sensation. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 1, s. 385-408. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev-control-060117-105043> (Erişim tarihi: 04.11.2021)
- Dahiya, R. S., Metta, G., Valle, M. and Sandini, G. (2010). Tactile Sensing—From Humans to Humanoids. *IEEE Transactions on Robotics*, 26(1), 1-20. doi:10.1109/TRO.2009.2033627
- Damer, B. (2008). Meeting in the Ether: A Brief History of Virtual Worlds as a Medium for User-Created Events. *Artifact*, 94-107.

- Das, S. and Kurita, Y. (2020). ForceArm: A Wearable Pneumatic Gel Muscle (PGM)-Based Assistive Suit for the Upper Limb. *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*. 2, s. 269-281. IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics. doi:10.1109/TMRB.2020.2990436
- Davydov, D. S. and Riabovol, D. (2019). Inovation In The Sphere Of Augmented And Virtual Reality Technologies In Eu Member States And Other Countries Of The World. *Проблеми економіки*, 5-11.
- Değerli, N. G. (2019). Moda Endüstrisinin Giyilebilir Teknoloji Tasarımları. *Journal of the International Scientific Research*.
- Delazio, A., Nakagaki, K., Lehman, J. F., Klatzky, R., Sample, A. and Hudson, S. E. (2018). Force Jacket: Pneumatically-Actuated Jacket for Embodied Haptic Experiences. *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (s. 320, 1-12). Montreal QC, Canada: Association for Computing Machinery. doi:<https://doi.org/10.1145/3173574.3173894> (Erişim tarihi: 04.12.2021)
- Desjardins, J. (2015, 10 08). *The History of Wearable Technology*. Visual Capitalis: <https://www.visualcapitalist.com/the-history-of-wearable-technology/> (Erişim tarihi: 21.06.2021)
- Dewey, J. (1939). *Türkiye maarifi hakkında rapor*. İstanbul: Devlet Basımevi.
- Dionisio, J. D., Burns, W. G. and Gilbert, R. (2011). 3D Virtual Worlds and the Metaverse: Current Status and Future Possibilities. *ACM Computing Surveys*, 2-43.
- Dionisio, J. D., Burns, W. G. and Gilbert, R. (2013). 3D Virtual Worlds and the Meta orlds and the Metaverse: Curr erse: Current Status and F ent Status and Future. *ACM Computing Surveys*, 45(3), 34:1-34.38.
- Dougherty, D. (2012). The Maker Movement. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 7(3), 11-14.
- Earnshaw, R. A., Gigante, M. A. and Jones, H. (1993). *Virtual Reality Systems*. Elsevier Ltd. doi:<https://doi.org/10.1016/C2009-0-22372-5>

- Erkan, S. (2012). *Labview Tabanlı Bir Ani Su Isıtıcı Sisteminin Tasarlanması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Tunceli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü .
- Ferretti, F. and Lente, H. V. (2022). The promise of the Maker Movement: policy expectations versus community criticisms. *Science and Public Policy*, 49(1), 18-27. doi:<https://doi.org/10.1093/scipol/scab053> (Erişim tarihi: 23.01.2022)
- Gemperle, F., Kasabach, C., Stivoric, J., Bauer, M. and Martin, R. (1998). Design For Wearability. *Digest of Papers. Second International Symposium on Wearable Computers (Cat. No.98EX215)*. doi:<https://doi.org/10.1109/ISWC.1998.729537> (Erişim tarihi: 28.02.2022)
- Gibson, J. J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. London: Houghton Mifflin.
- Grunwald, M., Muniyandi, M., Kim, H., Kim, J., Krause, F., Mueller, S. and Srinivasan, M. A. (2014). Human haptic perception is interrupted by explorative stops of milliseconds. *Frontiers in Psychology*, 5, 292-292. <https://frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2014.00292/full> (Erişim tarihi: 01.23.2021)
- Günther, S., Makhija, M., Müller, F., Schön, D., Mühlhäuser, M. and Funk, M. (2019). PneumAct: Pneumatic Kinesthetic Actuation of Body Joints in Virtual Reality Environments. *Proceedings of the 2019 on Designing Interactive Systems Conference*. San Diego, CA, USA: Association for Computing Machinery. doi:<https://doi.org/10.1145/3322276.3322302> (Erişim tarihi: 21.03.2022)
- Günther, S., Schön, D., Müller, F., Mühlhäuser, M. and Schmitz, M. (2020). PneumoVolley: Pressure-based Haptic Feedback on the Head through Pneumatic Actuation. *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (s. 1-10). Honolulu, HI, USA: Association for Computing Machinery. doi:DOI: <https://doi.org/10.1145/3334480.3382916> (Erişim tarihi: 09.01.2022)

- Haddow, S. (2017). *Çatalhöyük 2017 arşiv raporu*.
http://www.catalhoyuk.com/sites/default/files/Catalhoyuk_2017_Arsiv_Raporu.
(Erişim tarihi: 06.09.2021)
- Hancılar, Ü. ve Ayten, U. E. (2021). Velostat ile Nefes Takip Sistemi Tasarımı. *Medical Technologies Congress (TIPTEKNO)*. Antalya: IEEE.
doi:10.1109/TIPTEKNO53239.2021.963291
- Hatton. (2014). Industry Analysis: Wearable Technology. <https://ininet.org/industry-analysis-wearable-technology.html> (Erişim tarihi: 26.03.2021)
- He, L., Xu, C., Xu, D. and Brill, R. (2015). PneuHaptic: Delivering Haptic Cues with a Pneumatic Armband. *Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers* (s. 47-48). Osaka, Japan: Association for Computing Machinery. doi:<https://doi.org/10.1145/2802083.2802091> (Erişim tarihi: 24.01.2022)
- Heiling, M. (1962). Sensoroma simülatörü. A.B.D., Patent No. 3,050,870.
- Hughes-Riley, T., Dias, T. and Cork, C. (2018). A Historical Review of the Development of Electronic Textiles. *Electronically Active Textiles*, 6(2).
doi:<https://doi.org/10.3390/fib6020034> (Erişim tarihi: 13.09.2021)
- IJsselsteijn, W. A., Ridder, H. d., Freeman, J. and Avons, S. E. (2000). Presence: concept, determinants, and measurement. *Human Vision and Electronic Imaging V*.
doi:Wijnand A. IJsselsteijn, Huib de Ridder, Jonathan Freeman and Steve E. Avons
- IJsselsteijn, W., Ridder, H. d. and Freema, J. (2000). Postural Responses To Real-World Moving Video: An Objective Measure Of Presence? *3rd International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research*. Nijmegen, The Netherlands.
- Işık, A. F. (2013). IŞIK, A. F. (2013). *Sensör Çeşitleri, Robotik Alanda Kullanılan Sensörler Ve Fsr Sensör Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Jiang, H., Chen, X., Shuwei , Z., Xin , Z., Weiqiang , K. and Zhang, T. (2015). Software for Wearable Devices: Challenges and Opportunities. *2015 IEEE 39th Annual Computer Software and Applications Conference*.
- Kafai, Y. B., Fields, D. A. and Searle, K. (2104). Electronic Textiles as Disruptive Designs: Supporting and Challenging Maker Activities in Schools. *Harvard Educational Review*, 84(4), 532-556. doi:10.17763/haer.84.4.46m7372370214783
- Kahraman, N. (2018, 12 21). Sanal gerçekliği “hissettiren” kıyafet: HoloSuit. <https://www.log.com.tr/sanal-gercekligi-hissettiren-kiyafet-holosuit-video/> (Erişim tarihi: 30.02.2022)
- Kishishita, Y., Das, S., Ramirez, A. V., Thakur, C., Tadayon, R. and Kurita, Y. (2019). Muscleblazer: Force-Feedback Suit for Immersive Experience. *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, (s. 1813-1818). Osaka, Japan. doi:10.1109/VR.2019.8797962
- Krueger, M. W., Gionfriddo, T. and Hinrichsen, K. (1985). VIDEOPLACE—an artificial reality. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, (s. 35-40). doi:<https://doi.org/10.1145/317456.317463> (Erişim tarihi: 04.04.2022)
- Kurbanoğlu, S. (1996). Sanal gerçeklik: Gerçek mi, değil mi? *Türk Kütüphaneciliği* 10,1, 21-31.
- Levin, M. (2014). Fashion with Function: Designing for Wearables. J. Follett, *Designing for Emerging Technologies* . O'Reilly Media, Inc.
- Liu, Y. and Shrum, L. J. (2002). What is Interactivity and is it Always Such a Good Thing? Implications of Definition, Person, and Situation for the Influence of Interactivity on Advertising Effectiveness. *Journal of Advertising*, 31(4), 53-64. doi:<https://doi.org/10.1080/00913367.2002.10673685> (Erişim tarihi: 25.02.2022)
- Macdonald, N. (2006). About: Interaction Design. *The Design Council Web Site White Paper* (s. 1-25). London: Design Council.

- Maimani, A. A. and Roudaut, A. (2017). Frozen Suit: Designing A Changeable Stiffness Suit And Its Application To Increase Realism In Games. *CHI Conference on Human* (s. 2440-2448). Association for Computing Machinery. doi:<https://doi.org/10.1145/3025453.3025655> (Erişim tarihi: 04.02.2022)
- Malnar, J. M. and Vodvarka, F. (2003). *Sensory Design*. University of Minnesota Press.
- Marozas, V., Petrenas, A., Daukantas, S. and Lukosevicius, A. (2011). A Comparison Of Conductive Textile-Based And Silver/Silver Chloride Gel Electrodes In Exercise Electrocardiogram Recordings. *Journal of Electrocardiology*, 44(2), 189-194. doi:10.1016/j.jelectrocard.2010.12.004
- Martinez, S. L. and Stager, G. S. (2013). Invent to learn: Makers in the classroom. *The Education Digest*, 79(4), 11.
- Mchugh, S. and Yarwey, K. (2014). Near Field Communication: Recent Developments and Library Implications. *Synthesis Lectures on Emerging Trends in Librarianship*, 1-93.
- Michael, K. (2015). Wearables and Lifelogging: The socioethical implications. *IEEE Consumer Electronics Magazine*.
- Mitsuya, K., Nakasu, Y., Horiguchi, S., Harada, H., Nishimura, T., Yuen, S., Endo, M. (2011). Metastatic skull tumors: MRI features and a new conventional classification. *Journal of Neuro-oncology*, 104(1), 239-245. <https://ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc3151370> (Erişim tarihi: 03.01.2022)
- Moggridge, B. (2007). *Designing Interactions*. Footprint books.
- Mohomed, I. and Dutta, P. (2015). THE Age of DIY and Dawn of the Maker Movement. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 18(4), 41-43. doi:10.1145/2721914.2721929
- Morrison, A., Manresa-Yee, C. and Jensen, W. (2018). Sensations on the Body: Varying Duration, Overlap, Ratios and Placement on Dynamic Vibrotactile Patterns. *Proceedings of the XIX International Conference on Human Computer Interaction* (s. 1-8). Association for Computing Machinery. doi:<https://doi.org/10.1145/3233824.3233858>

- Mystakidis, S. (2022, Mart 20). Metaverse. *Encyclopedia 2022*, 486-497. (A. T. Azar, and R. Barretta, Dü) doi:<https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010031> (Erişim tarihi: 04.12.2021)
- Navaraj, W. T., Carlos, G. N., Dhayalan, S., Vincenzo, V., Fabrice, L., H., G. D. and Ravinder, D. (2017, Ekim 20). Nanowire FET Based Neural Element for Robotic Tactile Sensing Skin. *Frontiers in Neuroscience*(11), 501. doi:10.3389/fnins.2017.00501
- Neubronner, J. (1909). *Die Photographie mit Brieftauben*. (R. W. Bernhard Lepsius, Dü.) Springer Berlin, Heidelberg.
- Nguyen, J. D. and Duong, H. (2021). Neurosurgery, Sensory Homunculus. *StatPearls*.
- Norman, D. (2013). *The Design Of Everyday Things (Revised and expanded edition.)*. New York: Basic Books.
- Norstebo, C. A. (2003). Intelligent Textiles, Soft Products . *Journal Future Materials*, 1-14.
- Ometov, A., Shubina, V., Klus, L., Skibinska, J., Saafi, S., Pascacio, P. and Flueratoru, L. (2021). A Survey on Wearable Technology: History, State Of The Art And Current Challenges. *Computer Networks*, 2-37.
- Oppenheim, C. (1993). Virtual reality and the virtual library. *Information Services and Use* , 215-227.
- Özgüner Kılıç, H. (2017). Giyilebilir Teknoloji Ürünleri Pazarı ve Kullanım Alanları. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*.
- Öztürk, H. (2020). *Kişisel Koruyucu Donanım Malzemeleri İçin Ulusal ve Uluslararası Standartlar ve İhale Süreçlerindeki Rolü*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Rumeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pamuk, O. ve Yıldız, E. Z. (2021). Elektronik Devrelerin Nakış İşlemi İle Kumaş Yüzeylerine Uygulanması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 319-325. doi:10.21205/deufmd.2021236728
- Pirhonen, A., Saariluoma, P., Isomaki, H. and Roast, C. (2005). *Future Interaction Design*. London: Springer-Verlag.

- Quinn, B. (2002). Introduction. B. Quinn, *In Techno Fashion* (s. 1-10). Oxford: Berg Publishers.
- Rantala, I., Colley, A. and Hakkila, J. (2018). Smart Jewelry: Augmenting Traditional Wearable Self-Expression Displays. *Pervasive Display* (s. 1-8). Munich: Association for Computing Machinery.
- Rantala, I., Colley, A. and Hakkila, J. (2017). Smart Jewelry: Augmenting Traditional Wearable Self-Expression Displays. *The 7th ACM International Symposium*. Munich, Germany: ACM. doi:10.1145/3205873.3205891
- Regrebsubla, N. (2015). *Determinants of Diffusion of Virtual Reality*. Grinn Verlag.
- Rhodes, B. (1998). *A brief history of wearable computing*. Media MIT: <https://www.media.mit.edu/wearables/lizzy/timeline.html> (Erişim tarihi: 30.11.2021)
- Rognon, C., Koehler, M., Duriez, C., Floreano, D. and Okamura, A. M. (2019). Soft Haptic Device to Render the Sensation of Flying Like a Drone. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4, s. 2524-2531. doi:doi: 10.1109/LRA.2019.2907432.
- Sağbaş, E. A., Ballı, S. ve Yıldız, T. (2016). Giyilebilir Akıllı Cihazlar: Dünü, Bugünü ve Geleceği. *Akademik Bilişim Konferansları*, (s. 749-756). Aydın.
- Särmäkari, N. (2021). Digital 3D Fashion Designers: Cases of Atacac and The Fabricant. *Fashion Theory The Journal of Dress, Body and Culture*. doi:<https://doi.org/10.1080/1362704X.2021.1981657> (Erişim tarihi: 19.04.2022)
- Seymour, S. (2008). *Fashionable Technology: The Intersection of Design, Fashion, Science and Technology*. Austria: Springer Vienna.
- Sezgin, S. (2016). Eğitimde Giyilebilir Teknolojiler: Fırsatlar ve Eęilimler. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakóltesi Dergisi*(40), 405418. doi:10.21764/efd.72734
- Sherman, W. R. and Craig, A. (2003). *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. Cambridge: Morgan Kaufman Publishers.
- Sherman, W. R. Craig, A. (2019). *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design (2nd Edition)*. Cambridge: Morgan Kaufman Publishers.

- Srinivasan, M. A. ve Başdoğan, Ç. (1997). *Haptics in virtual environments: Taxonomy, research status, and challenges* (Cilt 21). Research Status, and Challenges, Computer&Graphics.
- Stables, J. (2022, Mart 2). *Huawei and Apple big wearable winners in 2021*. Wareable: <https://www.wareable.com/wearable-tech/wearable-tech-shipments-2021-8724> (Erişim tarihi: 10.03.2022)
- Stone, A. R. (1991). Will the Real Body Please Stand Up? M. Benedikt içinde, *Cyberspace: First Steps* (s. 81-118). MIT Press.
- Sünter, N. (2011). *İletken İpliklerin Üretim Yöntemlerinin Ve Özelliklerinin İrdelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sürücü, O. (2017). *Sanal Gerçekliğin Kültürel Mirası Korumada Kullanımı Salih Bozok Villası Örneği*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şeker, E. M. (2006). *Etmen Tabanlı Sistemlerle Kullanıcı Hareketinin Modellenmesi: Müze Örneği*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Talhan, A. and Jeon, S. (2017). Pneumatic Actuation in Haptic-Enabled Medical Simulators: A Review. (6), 3184 - 3200. IEEE Access. doi:10.1109/ACCESS.2017.2787601
- Tao, X. (2001). SmartTechnology For Textiles And Clothing - Introduction And Review. X. Tao (Dü.) içinde, *Smart Fibres, Fabrics and Clothing: Fundamentals and Applications* (s. 1-6). Woodhead Publishing Ltd.
- Temel, F. (2017). *Günümüzde Teknik Ve Akıllı Tekstil Uygulamaları*. yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü
- Thierer, A. D. (2015). The Internet of Things and Wearable Technology: Addressing Privacy and Security Concerns without Derailing Innovation. *Richmond Journal of Law and Technology*, 21(2).

- Thorp, E. O. (2000, 17 11). *The Invention of the First Wearable Computer*. University Virginia Engineering, Computer Science: <https://www.cs.virginia.edu/~evans/thorp.pdf> (Erişim tarihi: 16.07.2021)
- Vatansever, Ö. M. (2018). *Farklı Fiziksel Aktivite Düzeyindeki Sağlıklı Bireylerde Vücut Farkındalığı İle Denge ve Postür Arasındaki İlişkinin İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Wang, Y. and Godoy, M. (2021). PNEU-SKIN: A Haptic Social Interface with Inflatable Fabrics. *26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*. 1, s. 713-722. Hong Kong: Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia.
- Wenjing, X. (2011). *Creation Of Interactive Fashion*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. The Hong Kong Polytechnic University Institute of Textiles and Clothing.
- Whyte, J. (2002). *Virtual reality and the built environment*. Londra: Routledge.
- Whyte, J. (2002). *Virtual Reality and the Built Environment*. London: Routledge. doi:<https://doi.org/10.4324/9780080520667> (Erişim tarihi: 01.03.2022)
- Wright, R. and Keith, L. (2014). Wearable Technology: If the Tech Fits, Wear It. *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*, 204-216.
- Wu, J. X. and Li, L. (2019). An Introduction to Wearable Technology and Smart Textiles and Apparel: Terminology, Statistics, Evolution, and Challenges. X. Dong (Dü.) içinde, *Smart and Functional Soft Materials*. Intech Open. doi:10.5772/intechopen.77491
- Yüce, İ., Yükseloğlu, S. ve Canoğlu, S. (2017). Şekil Hafızalı Tekstiller Ve Şekil Hafızalı Apre Uygulamaları. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 41-47.
- Zeagler, C. (2017). Where to wear it: functional, technical, and social considerations in on-body location for wearable technology 20 years of designing for wearability. *roceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers*, 150-157. doi:<https://doi.org/10.1145/3123021.3123042> (Erişim tarihi: 04.01.2022)

Zhang, B. and Sra, M. (Aralık 2021). PneuMod: A Modular Haptic Device with Localized Pressure and Thermal Feedback. *27th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* (s. 30, 1-7). Osaka, Japan: Association for Computing Machinery. doi:<https://doi.org/10.1145/3489849.3489857> (Erişim tarihi: 09.02.2022)

Zhu, M., Memar, A. H., Gupta, A., Samad, M., Agarwal, P., Keller, S. J. and Colonnese, N. (2020). PneuSleeve: In-fabric Multimodal Actuation and Sensing in a Soft, Compact, and Expressive Haptic Sleeve. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (s. 1-12). Association for Computing Machinery. doi:<https://doi.org/10.1145/3313831.3376333>(Erişim tarihi: 27.04.2022)

İnternet Kaynakçası

http1:

https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/wearable_1?q=wearable (Erişim tarihi: 17.08.2021)

http-2: <https://dictionary.cambridge.org/tr/s%C3%B6zl%C3%BCk/ingilizce/wearable> (Erişim tarihi: 17.08.2021)

http-3: <https://sozluk.gov.tr/> (Erişim tarihi: 17.08.2021)

http-4: <https://www.media.mit.edu/wearables/lizzy/timeline.html> (Erişim tarihi: 17.08.2021)

http-5: <https://www.techgadgets.in/wearables/2007/23/zegnas-solar-jkt-jacket-based-on-isolarx-wearable-solar-technology-presented/> (Erişim tarihi: 11.12.2021)

http-6: <https://www.google.com/glass/start/> (Erişim tarihi: 08.06. 2021)

http-7: www.visualcapitalist.com (Erişim tarihi: 10.11.2021)

http-8: www.grace.edu (Erişim tarihi: 01.02.2021)

- http-9:** <https://www.forbes.com/sites/rachelarthur/2014/11/20/tommy-hilfigers-solar-powered-jacket-wearable-tech-in-review/?sh=4c832cfe566b> (Erişim tarihi: 02.03.2022)
- http-10:** <https://www.cicret.com> (Erişim tarihi: 19.01.2022)
- http-11:** <https://www.ozguroptik.com/akilli-gozluk-nedir> (Erişim tarihi: 12.11.2020)
- http-12:** <https://www.owletcare.com/> (Erişim tarihi: 09.01.2022)
- http-13:** <https://www.wearablex.com/pages/fan-jersey> (Erişim tarihi: 27.11.2021)
- http-14:** <https://smartclothinglab.com/brands/omsignal/> (Erişim tarihi: 27.1.2021)
- http-15:** <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/09/09/2090913/0/en/Global-Wearable-Technology-in-Healthcare-Medical-Healthcare-and-Wellness-Market-2020-2027.html> (Erişim tarihi:22.11.2020)
- http-18:** <https://www.outlast.com> (Erişim tarihi: 3.03.2020)
- http-19:** <https://ualresearchonline.arts.ac.uk/id/eprint/5782/> (Erişim tarihi: 02.02.2022)
- http-20:** <https://www.lucymcrae.net/> (Erişim tarihi: 06.04.2022)
- http-21:** <https://sozluk.gov.tr/> (Erişim tarihi: 24.08.2021)
- http-22:**
<https://v3.arkitera.com/spotlight.php?action=displaySpotlight&ID=&year=&aID=562> (Erişim tarihi: 24.08.2021)
- http-23:** <https://www.verdict.co.uk/history-virtual-reality-timeline/#:~:text=The%20first%20VR%20head%2Dmounted,Jaron%20Lanier%20in%20the%201980s.> (Erişim tarihi: 24. 03.2022)
- http-24:** <https://digi-mode.com.tr/en/virtual-reality/vr-cave/> (Erişim tarihi: 28.01.2022)
- http-25:** <https://www.historyofinformation.com/detail.php?entryid=1087> (Erişim tarihi: 31.01.2022)
- http-26:** <https://steantycip.com/> (Erişim tarihi: 10.02.2022)
- http-27:** <https://dictionary.apa.org/homunculus> (Erişim tarihi: 03.03.2022)

- http-28:** <https://www.imore.com/science-behind-taptics-and-force-touch#:~:text=The%20integrated%20Force%20Touch%20system,electrodes%20at%20the%20four%20corners> (Erişim tarihi: 22.02.2022)
- http-29:** <https://www.larryshultz.com/Best-Virtual-Reality-VR-Video-Game-Wear-Invention-by-Larry-Shultz/> (Erişim tarihi: 03.10.2021)
- http-30:** https://en.wikipedia.org/wiki/Aura_Interactor (Erişim tarihi: 03.12.2018)
- http-31:** <https://cutecircuit.com/hugshirt/> (Erişim Tarihi:21.12.2018)
- http-32:** <https://www.wearablex.com/pages/fan-jersey> (Erişim tarihi: 03.12.2018)
- http-33:** <http://pakistantechnews.com/this-pakistani-startup-aims-to-bring-vr-and-augmented-reality-to-you/> (Erişim tarihi: 03.01.2019)
- http-34:** <https://www.startuplist.pk/organizations/Haptika> (Erişim tarihi: 07.01.2019)
- http-35:** <https://thevoid.com/> (Erişim tarihi: 03.09.2018)
- http-36:** <https://uploadvr.com/void-rapture-ted/> (Erişim tarihi: 30.11.2018)
- http-37:** [https://en.wikipedia.org/wiki/The_Void_\(virtual_reality\)](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Void_(virtual_reality)) (Erişim tarihi: 01.03.2022)
- http-38:** <http://hardlightvr.com/> (Erişim tarihi: 25.12.2018)
- http-39:** <https://www.kickstarter.com/projects/morgansinko/hardlight-vr-suit-dont-just-play-the-game-feel-it/posts/2292833> (Erişim tarihi: 23.12.2018)
- http-40:** <https://www.kickstarter.com/projects/morgansinko/hardlight-vr-suit-dont-just-play-the-game-feel-it> (Erişim tarihi: 03.03.2019)
- http-41:** <https://haptx.com/news/haptx-exoskeleton-background/> (Erişim tarihi: 09.04.2019)
- http-42:** <https://www.tweaktown.com/news/75450/forget-haptic-gloves-haptx-is-making-full-body-suit/index.html> (Erişim tarihi: 03.03.2022)
- http-43:** <https://www.forbes.com/sites/charliefink/2020/09/29/haptx-researchers-to-build-full-body-haptic-suit/?sh=1b3d95572403> (Erişim tarihi: 03.04.2022)
- http-44:** <https://synesthesia-suit.com/> (Erişim tarihi: 30.03.2019)

- http-45:** <https://rezinfinite.com/synesthesia-suit/> (Erişim tarihi: 28.03.2019)
- http-46:** <https://www.holosuit.com> (Erişim tarihi: 17.02.2019)
- http-47:** <https://teslasuit.io/> (Erişim tarihi: 03.04.2019)
- http-48:** <https://www.forbes.com/sites/allenadamson/2015/03/09/the-weex-brand-like-jerry-seinfeld-and-steve-jobs-uses-observation-of-human-behavior-to-succeed/?sh=10a03d032abd> (Erişim tarihi: 03.03.2021)
- http-49:** <https://www.wearablex.com/> (Erişim tarihi: 03.04.2022)
- http-50:** http://www-assets.lionsfestivals.com.s3.amazonaws.com/cannes/resources/downloads/winners_pdfs/Cannes_Lions_2013_PR_Lions_Winners.pdf (Erişim tarihi: 19.01.2022)
- http-51:** <https://www.techradar.com/news/this-haptic-skin-prototype-could-make-vr-experiences-more-realistic> (Erişim tarihi: 29.11.2021)
- http-52:** <https://www.fablabscugat.com/blog/la-cultura-maker-la-revolucion-del-siglo-xxi> (Erişim tarihi: 19.01.2022)
- http-53:** <https://medium.com/space10-imagine/chapter-3-power-to-the-people-the-irresistible-rise-of-the-maker-movement-292418c091c4> (Erişim tarihi: 31.01.2022)
- http-54:** <https://www.fablabscugat.com/blog/la-cultura-maker-la-revolucion-del-siglo-xxi> (Erişim tarihi: 21.02.2022)
- http-55:** <https://thevou.com/fashion/what-is-fashion-technology/> (Erişim tarihi: 26.02.2022)
- http-56:** <https://www.prioritydesigns.com/design/bridging-the-gap-between-fashion-and-product-design/> (Erişim tarihi: 30.09.2021)
- http-57:** https://www.youtube.com/watch?v=HA7HoK6_4Fk CLO3D, CLO Fabric Kit 2.0, 2018. (Erişim tarihi: 20 şubat 2021).
- http-58:** https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_elem/_Hlp_E_SOLID187.html (Erişim tarihi: 03.03.2022)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ekin UÇAK

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmiş:

- 2018 – 2022: Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstriyel Sanatlar Anabilim Dalı, Moda Tasarım Programı Tezli YL
- 2015: Millî Eğitim Bakanlığı OMEK, Bilişim teknolojileri, Animasyon Hazırlama Programı.
- 2012: Gülçehre Güzel Stilistlik ve Modelistlik Okulu, Stilistik Eğitimi
- 2008 – 2015: Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Endüstriyel Sanatlar Yüksekokulu, Moda Tasarımı Bölümü Lisans Programı.

Defileler:

- 2015, Anadolu Üniversitesi Öğrenci Merkezi Mezuniyet Defilesi

Program bilgisi:

- Adobe Photoshop
- Adobe Illustrator
- Blender
- Clo 3D
- Lectra/Kaledo Design Yazılımı