

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DUYGULARIN SANAL ORTAMDA DOKUNSAK ETKİLEŞİMLE  
İFADE EDİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ceren KARAMAN**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yiğit TAŞCIOĞLU**

**ARALIK 2019**

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....  
**Prof. Dr. Osman EROĞUL**  
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

.....  
**Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ**  
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 171511038 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ceren KARAMAN** 'ın ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**DUYGULARIN SANAL ORTAMDA DOKUNSAL ETKİLEŞİMLE İFADE EDİLMESİ**" başlıklı tezi **12.12.2019** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. Yiğit TAŞCIOĞLU** .....  
TED Üniversitesi

**Eş Danışman :** **Dr. Öğr. Üyesi Didem KADİHASANOĞLU** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Dr. Öğr. Üyesi Recep M. GÖRGÜLÜARSLAN (Başkan)** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Ali Emre TURGUT** .....  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Ceren Karaman

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### DUYGULARIN SANAL ORTAMDA DOKUNSAL ETKİLEŞİMLE İFADE EDİLMESİ

Ceren Karaman

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yiğit Taşcıoğlu

Tarih: Aralık 2019

Bu çalışmanın amacı, evrensel beş duygunun sanal ortamda kuvvet geri beslemeli haptik (dokunsal) cihaz aracılığıyla nasıl ifade edildiğinin incelenmesidir. Katılımcılardan, haptik cihaz aracılığıyla, duvara projeksiyonla yansıtılmış olan 3D kadın ve erkek modele farklı kültürlerde yüz ifadesi ve vokal olarak tanınırlığı kanıtlanmış beş duyguyu iletmeleri istenmiştir. Bir başka deyişle araştırmanın, modelin cinsiyeti ve ifade edilmesi istenen duygular olmak üzere iki bağımsız değişkeni bulunmaktadır. Araştırmanın dizaynı 2x5 denek içi dizayndır. Bugüne kadar yapılan araştırmalar dokunuşun insanlar üzerinde bu kadar etkileyici olmasının nedenlerini henüz ortaya çıkarmamıştır ve bu davranışsal fenomenlerin altında yatan bilişsel, sinirsel ve fizyolojik mekanizmalar hakkında çok fazla şey bilinmemektedir. Bu nedenle sanal ortamda insan-makine etkileşiminin bir örneği olan, aynı zamanda beş evrensel duygunun; bağımlı değişkenler olan dokunma konumu, dokunma kuvveti yoğunluğu, dokunma hızı ve dokunma süresi bakımından parametreleştirilmesine katkı sağlayacağı öngörülen ve bu parametrelerin insansı robotlara entegre edilmesine öncü olması hedeflenen bu çalışma seçilmiştir. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, çok yönlü (altı serbestlik dereceli) bir haptik cihaz yardımıyla C++'ta yazılan program aracılığıyla sanal ortamda insan modeli

simüle edilerek duygu iletme çalışmasının yapılmasıdır. Duygu iletme çalışmasından elde edilen sonuçlar, farklı duygular ifade edilirken türetilmiş parametreler bakımından farklılıklar olduğunu ve bu varyansların anlamlı yollarla ölçülebileceğini göstermiştir. Sonuçlar, aktif duygu olan öfke duygusunun uzun, hızlı ve kuvvet yoğunluğu fazla dokunuşlarla tanımlanabileceğini, pasif duygu olan hüžün duygusunun ise kısa, yavaş ve kuvvet yoğunluğu az dokunuşlarla tanımlanabileceğini göstermiştir. Ayrıca model cinsiyeti değişkeni temel etkisinin, ortalama dokunma süresi ve ortalama dokunma hızı bakımından anlamlı farklı olduğu gözlemlenirken, ortalama dokunma kuvveti yoğunluğu bakımından anlamlı farklı olmadığı görölmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Haptik, Kuvvet geri beslemeli haptik cihaz, İnsan-makine etkileşimi, Duygular.

## **ABSTRACT**

Master of Science

### **EXPRESSION OF EMOTIONS THROUGH HAPTIC INTERACTION IN VIRTUAL ENVIRONMENT**

Ceren Karaman

TOBB University of Economics and Technology  
Institute of Natural and Applied Sciences  
Mechanical Engineering Science Programme

Supervisor: Doç. Dr. Yiğit Taşcıoğlu

Date: December 2019

The aim of this study is to examine how five universal emotions are expressed in virtual environment through a haptic device. Participants were asked to transmit five universal emotions to 3D male and female model projected on a wall by means of a haptic device. In other words, the study has two independent variables: the gender of the model and the emotions to be expressed. The design of the study is 2x5 within subject design. Research to date has not yet revealed the reasons why touch is so impressive on humans, and little is known about the cognitive, neural and physiological mechanisms underlying these behavioral phenomena. For this reason, this study which is expected to contribute to parameterization in terms of dependent variables, touch force (intensity), touch speed and touch time, is aimed to be integrated into humanoid robots. It is also an example of human-machine interaction in the virtual environment. The difference of this study from other studies is that the human model is simulated in a virtual environment through the program written in C++ and the emotions are transmitted by means of a multi-directional (six degrees of freedom) haptic device. The results obtained from the emotion transmission study showed that there are differences in the derived parameters when expressing different emotions and these variances can be measured in meaningful ways. The results showed that anger emotion, which is an active emotion, can be defined as long, fast

and high in force intensity, while the feeling of sadness, which is a passive emotion, can be defined as short, slow and low in force intensity. In addition, it was observed that the model gender variable factor was significantly different in terms of mean touch time and average touch speed, but it was not significantly different in terms of mean touch force intensity.

**Keywords:** Haptic, Force-feedback haptic device, Human-machine interaction, Emotions.



## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocalarım Doç. Dr. Yiğit Taşcıoğlu, Dr. Didem Kadıhasanoğlu ve Dr. Aydın Öztoprak'a, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve destekleriyle her zaman yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>viii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>RESİM LİSTESİ</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Haptik Cihazlar.....	5
1.2 OpenHaptics Araç Takımı .....	6
1.3 Altı Temel Duygu .....	8
1.4 Tezin Amacı.....	8
1.5 Tezin Kapsamı .....	8
<b>2. LİTERATÜR</b> .....	<b>9</b>
2.1 Doğrudan Temas ile Etkileşim.....	9
2.2 Taktil Cihazlar Aracılığı ile Etkileşim.....	11
2.3 Kuvvet Geri Besleme Cihazları Aracılığı ile Etkileşim.....	15
<b>3. SİSTEM YAPISI</b> .....	<b>21</b>
3.1 Sistem Modeli .....	21
3.2 Katılımcılar .....	22
3.3 Haptik Cihaz .....	22
3.3.1 Cihazın kinematik modeli.....	23
3.3.2 İleri kinematik hız modeli .....	26
3.3.3 Kinestetik kuvvet geribildirimi.....	27
3.4 Deney Prosedürü.....	27
3.5 SPSS.....	31
3.5.1 İki faktörlü tekrarlı ölçümler varyans analizi .....	31
3.6 Türetilmiş Parametreler .....	32
3.7 Katılımcı Eğitimi .....	33
3.8 Deney .....	35
<b>4. DENEY SONUÇLARI</b> .....	<b>39</b>
4.1 Dokunma Konumu .....	39
4.2 Dokunma Süresi.....	42
4.3 Dokunma Hızı.....	44
4.4 Dokunma Kuvveti Yoğunluğu.....	45
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR</b> .....	<b>47</b>
<b>6. GELECEK ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>51</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>53</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>57</b>
EK 1: Katılımcıların Erkek Modele Dokunma Grafikleri .....	58
EK 2: Katılımcıların Kadın Modele Dokunma Grafikleri .....	63

EK 3: Katılımcıların Modellere Ortalama Dokunma Kuvveti Yoğunluğu .....	68
EK 4: Katılımcıların Modellere Ortalama Dokunma Hızı .....	69
EK 5: Katılımcıların Modellere Ortalama Dokunma Süresi .....	70



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Vücutun farklı bölümlerinin algılama ve motor kontrolü bakımından beyinde dağılımını gösteren duyuşsal alan haritası [1].....	2
Şekil 1.2 : Haptik bileşenler .....	3
Şekil 1.3 : Haptik teknolojisinin ayırt edici özelliği olan çift yönlü bilgi akışı sağlaması .....	3
Şekil 1.4 : Gerçek ve sanal dünyalarda temel dokunma kavramı (a) Gerçek ortamda meydana gelen dokunma. (b) Sanal ortamda meydana gelen dokunma simülasyonu .....	4
Şekil 1.5 : (a) Empedans tipi haptik cihazların çalışma prensibi (b) Admitans tipi haptik cihazların çalışma prensibi .....	5
Şekil 1.6 : (a) Novint Falcon [5] ve (b) Haptic Master [6] .....	6
Şekil 1.7 : Varsayılan QuickHaptics kamera konumu ve çalışma alanı [7].....	7
Şekil 3.1 : Sistem Modeli .....	21
Şekil 3.2 : Phantom Omni kinematik zincir değişkenleri ve sabitleri.....	23
Şekil 3.3 : Phantom Omni Kinematik zinciri .....	24
Şekil 3.4 : Phantom Omni Ters Kinematik Modeli .....	25
Şekil 3.5 : Koordinat sistemi ve bileşenleri .....	28
Şekil 3.6 : Küre modeli .....	33
Şekil 3.7 : Katılımcı eğitimi programlaması için kullanılan akış şeması.....	34
Şekil 3.8 : Kadın model.....	35
Şekil 3.9 : Erkek model.....	35
Şekil 3.10 : Programa ait akış diyagramı .....	38
Şekil 4.1 : Erkek modele temas noktaları .....	40
Şekil 4.2 : Kadın modele temas noktaları .....	40
Şekil 4.3 : Erkek modele dokunma bölgeleri .....	41
Şekil 4.4 : Kadın modele dokunma bölgeleri.....	41
Şekil 4.5 : Katılımcıların duygulara ve model cinsiyetine göre ortalama dokunma süreleri ve +/- 1 standart hataları.....	43
Şekil 4.6 : Katılımcıların duygulara göre ortalama dokunma süreleri ve +/- 1 standart hataları.....	43
Şekil 4.7 : Katılımcıların duygulara ve model cinsiyetine göre ortalama dokunma hızları ve +/- 1 standart hataları .....	44
Şekil 4.8 : Katılımcıların duygulara göre ortalama dokunma hızları ve +/- 1 standart hataları.....	45
Şekil 4.9 : Katılımcıların duygulara göre ortalama dokunma kuvveti yoğunluğu ve +/- 1 standart hataları .....	46
Şekil 6.1 : Cihaz imleci olarak sanal el modelinin kullanılması .....	51
Şekil Ek 1.1 : Katılımcıların erkek modele dokunma grafikleri .....	58
Şekil Ek 1.2 : (devam) Katılımcıların erkek modele dokunma grafikleri.....	59
Şekil Ek 1.3 : (devam) Katılımcıların erkek modele dokunma grafikleri.....	60
Şekil Ek 1.4 : (devam) Katılımcıların erkek modele dokunma grafikleri.....	61

Şekil Ek 1.5 : (devam) Katılımcıların erkek modele dokunma grafikleri .....	62
Şekil Ek 2.1 : Katılımcıların kadın modele dokunma grafikleri .....	63
Şekil Ek 2.2 : (devam) Katılımcıların kadın modele dokunma grafikleri .....	64
Şekil Ek 2.3 : (devam) Katılımcıların kadın modele dokunma grafikleri .....	65
Şekil Ek 2.4 : (devam) Katılımcıların kadın modele dokunma grafikleri .....	66
Şekil Ek 2.5 : (devam) Katılımcıların kadın modele dokunma grafikleri .....	67



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1 : İki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA analizi için deney veri tablosu	30
Çizelge Ek 3.1 : İki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA analizi için ortalama dokunma kuvveti veri tablosu .....	68
Çizelge Ek 4.1 : İki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA analizi için ortalama dokunma hızı veri tablosu .....	69
Çizelge Ek 5.1 : İki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA analizi için ortalama dokunma süresi veri tablosu .....	70

## KISALTMALAR

<b>HLAPI</b>	: Yüksek Düzeyli Yazılım Programlama Arayüzü (High Level API)
<b>HDAPI</b>	: Haptik Cihaz Yazılım Programlama Arayüzü (Haptic Device API)
<b>OPENGL</b>	: Açık Grafik Kütüphanesi (Open Graphics Library)
<b>STL</b>	: Standart Şablon Kütüphanesi (Standart Template Library)
<b>VIT</b>	: Sanal Kişilerarası Dokunma (Virtual Interpersonal Touch)
<b>DOF</b>	: Serbestlik Derecesi (Degree of Freedom)



## SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
mm	milimetre
N	Newton
$F$	Kuvvet
$v$	Hız
s	saniye
$\tau$	Tork
b	Sönümlenme katsayısı
k	Yay sabiti
F	F değeri
p	anlamlılık

## RESİM LİSTESİ

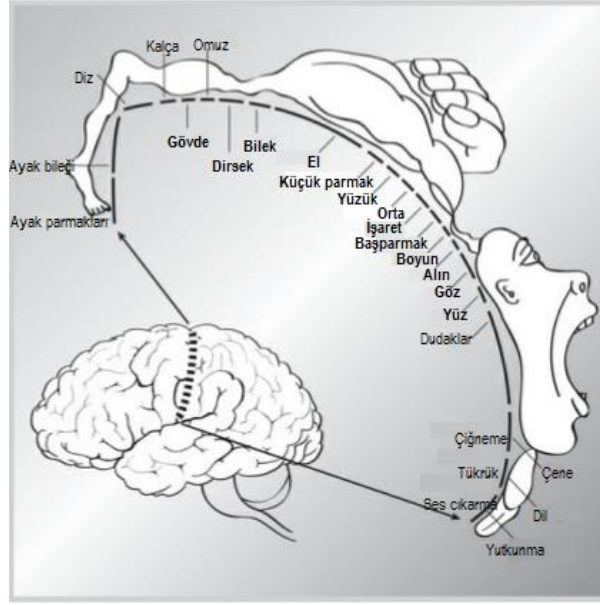
### Sayfa

Resim 2.1 : Doğrudan temas yoluyla duyguların altı evrensel ifadesinin haptik olarak tanınması [22].....	10
Resim 2.2 : ‘TapTap’ giyilebilir dokunsal sistem [26] .....	13
Resim 2.3 : Katılımcının çalışma sırasında Haptic Creature ile etkileşimi [29] .....	14
Resim 2.4 : Katılımcının iki serbestlik dereceli haptik cihaz ile etkileşimi [32] .....	16
Resim 3.1 : Phantom Omni Haptik Cihaz .....	22
Resim 3.2 : Erkek model üzerindeki duygu iletimi.....	36



## 1. GİRİŞ

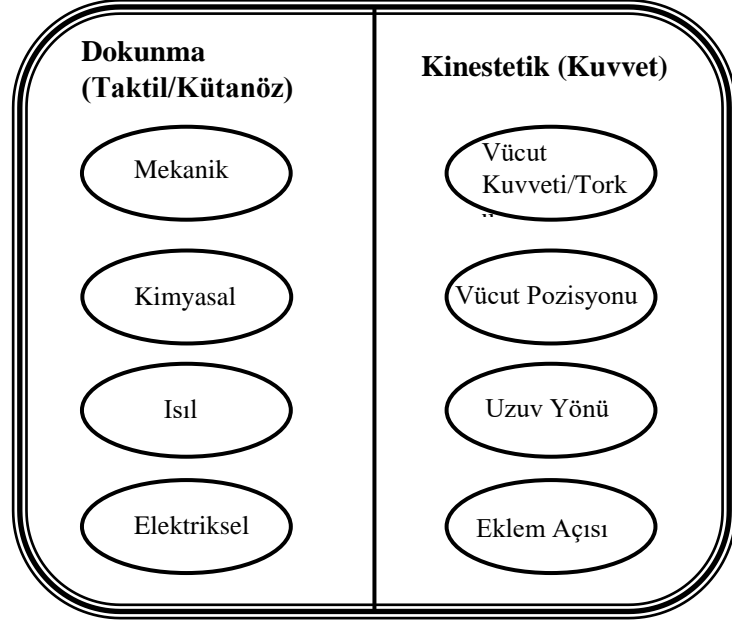
Duyularımız çevresel bilgileri algılamaya yarayan fizyolojik araçlardır. Aristoteles tarafından tanımlandığı ve sınıflandırıldığı üzere (MÖ 350) insanlar en az beş duyuya sahiptir. Bu duyular; görme, işitme, koku, dokunma ve tat alma duyularıdır. Bu beş duyunun meşhur hiyerarşisinde görme duyusu en üst konumda yer alırken, dokunma duyusu en alt konumda yer almıştır. Duyusal nöronlar, uyarılara tepki verdiğinde ve merkezi sinir sistemine mesaj gönderdiğinde algılanırlar. Aslında beşten fazla duyumuz bulunmaktadır. Propriyosepsiyon (iç algı) olarak da adlandırılan denge hissi, diğer duyuların bir örneği olarak gösterilebilir. Duyu modalitelerinin her biri, alınan ve kabul edilen verilerin türleri, veriye olan duyarlılık ve reseptörlerin alınan verilere uyum sağlama kapasitesi gibi birçok faktörle karakterize edilir. Genellikle görme ve işitme duyularının bir ortam hakkında en çok bilgiyi iletmediği, diğer duyuların algılanmasının daha güç olduğu düşünülür. Bu nedenle, son birkaç on yılda karakteristikleri bilim adamları ve mühendisler tarafından yaygın bir biçimde araştırılmıştır. Aslına bakılırsa, dokunma duyusu, vücudun belirli bölümleri etrafında merkezileştirilen dört duyunun aksine, tüm vücut üzerine dağılmıştır. Oldukça nadir seyreden bir nörolojik rahatsızlığa sahip olmadıkça dokunma duyusunun nesnelere ve insanlarla etkileşim içinde bulunulduğunda inkâr edilemez bir mevcudiyet durumundan bahsedilebilir. İnsanlar dokunma duyusuna çok duyarlı olmasına rağmen, vücudun farklı bölümlerinin hassasiyet dereceleri farklılık göstermektedir. Somatosensöri homunkülüs vücudun farklı bölümlerinin algılama ve motor kontrolü bakımından beyinde dağılımını gösteren duyusal bir alan haritasıdır. Bu alan vücudun anatomik bölünmelerinin nörolojik bir haritası olarak da adlandırılabilir. Bir vücut kısmına adanmış korteksin yüzey alanı, o alandaki somatosensöriyel giriş miktarı ile ilişkilidir. Örneğin, sırtta çok daha küçük bir alana ihtiyaç duyulurken, ellerde duyuya ayrılan geniş bir korteks alanı vardır. Somatosensöri homunkülüs Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Vücudun farklı bölümlerinin algılama ve motor kontrolü bakımından beyinde dağılımını gösteren duyu alan haritası [1]

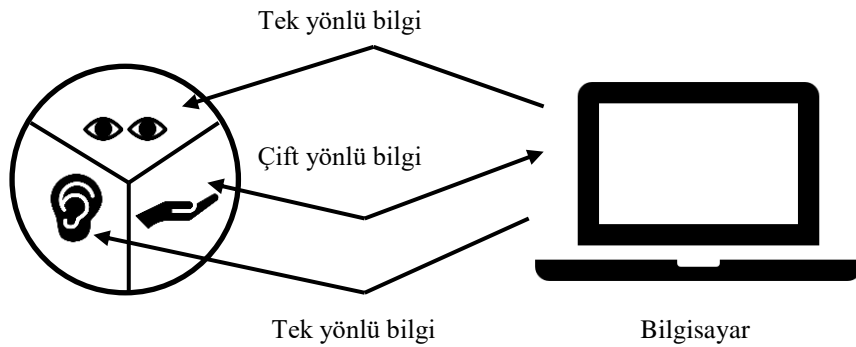
Haptik, ‘dokunma duyusu ile ilgili ya da dokunma hissi’ anlamına gelen yunanca ‘haptesthai’ kelimesinden türetilmiş bir terimdir [2]. Bu terim insanların objelerle dokunma yolu ile etkileşimini kapsadığı gibi, makinelerin ve hatta insan-makine etkileşimini de kapsar. Bir kişinin eli obje ile etkileşime girdiği zaman, temas hissi derideki dokunma reseptörleri tarafından sağlanır. Reseptörler obje yüzeyinin algılanmasına dair bilgi akışını sağlar. Bu bilgi taktil veya kutanöz olmak üzere iki grupta incelenebilir. Kutanöz; basınç, sıcaklık ve ağrı hissi içeren deriye ait duyu hissi olarak tanımlanabilir. Taktil ise kutanöz his ile alakalı olmakla beraber sıcaklık ve ağrıdan daha spesifik olarak basınç hissi ile alakalıdır. Şekil 1.2’de gösterildiği gibi kutanöz haptik hissi söz konusu olduğunda deride hissedeceğimiz düşük seviyeli kuvvetlerden bahsediyorken, kinestetik haptik hissi kas, eklem ve tendonlarda meydana gelen hareket hissiyatından kaynaklanan daha büyük seviyeli kuvvetleri içerir. Bu hislerin önemini anlamamanın bir yolu da eksikliklerinde oluşabilecek semptomların farkındalığının oluşturulmasıdır. Soğuk günlerde insanların hareketlerini kontrol edemediklerini düşündüren etmen bazı mekanoreseptörlerin çalışma fonksiyonlarını yerine getirememesinden kaynaklanan kutanöz his noksanlığıdır. Kinestetik his noksanlığı semptomları olarak ise insanların uzuvlarının uzayda nerede yer aldığı, çevreye uygulanan kuvvetin veya çevre tarafından uygulanan kuvvet geri beslemesi farkındalıklarının oluşmaması olarak gösterilebilir. Önemli bir kinestezi unsuru olan vücudun uzayda nerede olduğu farkındalığına

proprioception (iç algı) denir. Diğer duyu modaliteleri noksanlıklarına kıyasla telafi edilemez sonuçlara yol açabileceği sebebi ile dokunma duyusu benzersiz olarak tanımlanabilir.



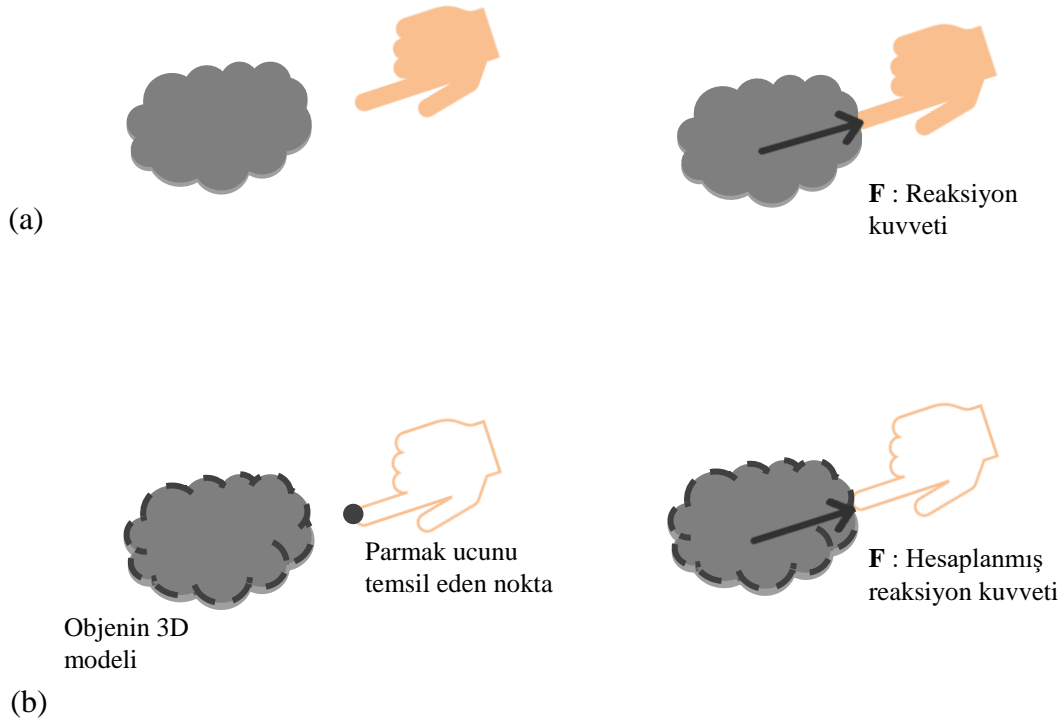
Şekil 1.2 : Haptik bileşenler

Son yıllarda, psikoloji, mühendislik, bilgisayar bilimleri, biyomekanik gibi birçok farklı disiplin bir araya getirilerek dokunma hissi ve kuvvet geri bildirim çalışmaları konu olmuştur. Şekil 1.3'te gösterildiği gibi haptik teknolojisi gerçek veya sanal ortam ile kullanıcı arasındaki bilgi alışverişinin yanı sıra, gerçekleştirilen algılama ve harekete geçirme faaliyetleri nedeniyle çift taraflı enerji akışını sağlar. Haptik etkileşimin gerçekleştiği ortam gerçek, sanal ya da her ikisinin bir kombinasyonu olabilir.



Şekil 1.3 : Haptik teknolojinin ayırt edici özelliği olan çift yönlü bilgi akışı sağlaması

Gerçek ortamda parmak ucu nesneye dokunur dokunmaz, nesne, nesneye nüfuz etmesini önlemek için parmağa karşı bir reaksiyon kuvveti uygular. Kişi bu kuvveti nesnenin dokusuyla birlikte kas ve mekanik reseptörleriyle hisseder. Sanal dünyada bilgisayar tarafından üretilen bir model ile gerçek bir nesne gösterilebilir ve parmak ucu bir nokta olarak gösterilebilir. Kullanıcı kuvvet geri besleme cihazını parmağıyla hareket ettirdiğinde, karşılık gelen nokta sanal dünyadaki hareketi taklit eder. Parmak ucunu temsil eden nokta sanal nesneyle karşılaştığında, gerçek reaksiyon kuvvetine benzer bir kuvvet hesaplanır ve parmak ucuna geri dönmek için kuvvet geri besleme cihazına geri verilir. Sonuç olarak, kişi Şekil 1.4'te gösterilen gerçek bir nesneye dokunuyormuş gibi hisseder.



Şekil 1.4 : Gerçek ve sanal dünyalarda temel dokunma kavramı (a) Gerçek ortamda meydana gelen dokunma. (b) Sanal ortamda meydana gelen dokunma simülasyonu

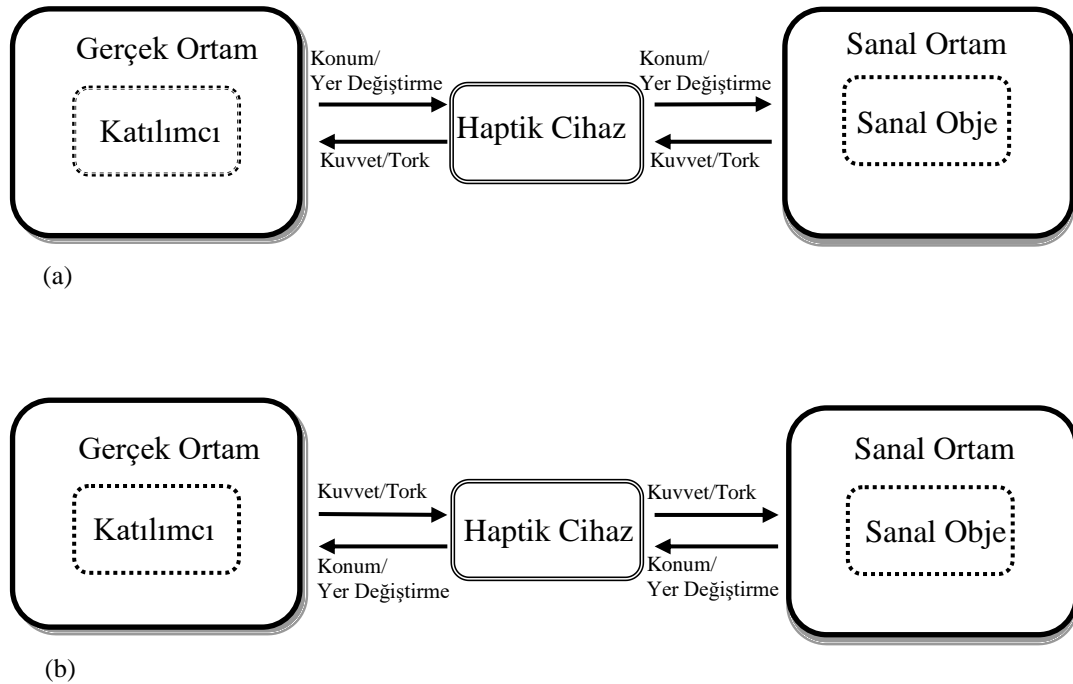
Haptik cihazlar bilgisayar ve kullanıcı arasındaki kuvvet değişimini sağlamak amacıyla kullanılır. Kullanıcı haptik cihazın uç işlevcisini manipüle ettiğinde, cihazın pozisyon sensörleri uç pozisyonunu bilgisayara aktarır. Belirli kısa zaman aralıklarında cihazı kontrol eden bilgisayar, simüle edilen uç ve sanal obje arasında bir temas olup olmadığını kontrol eder. Bir temas meydana gelmesi halinde, haptik işleme sistemi, kullanıcı ve cihaz etkileşim noktasında uygulanması gereken kuvvet

ve torkları hesaplar ve cihaza bağı olan aktüatörlerin kontrolünü sağlayarak sanal nesnelerin dokunsal algısına yol açar. Herhangi bir temas tespiti olmaması durumunda kullanıcı cihazın çalışma alanı sınırları içerisinde boş bir alanı keşfediyormuş gibi uç işlevciyi hareket ettirmekte serbesttir.

## 1.1 Haptik Cihazlar

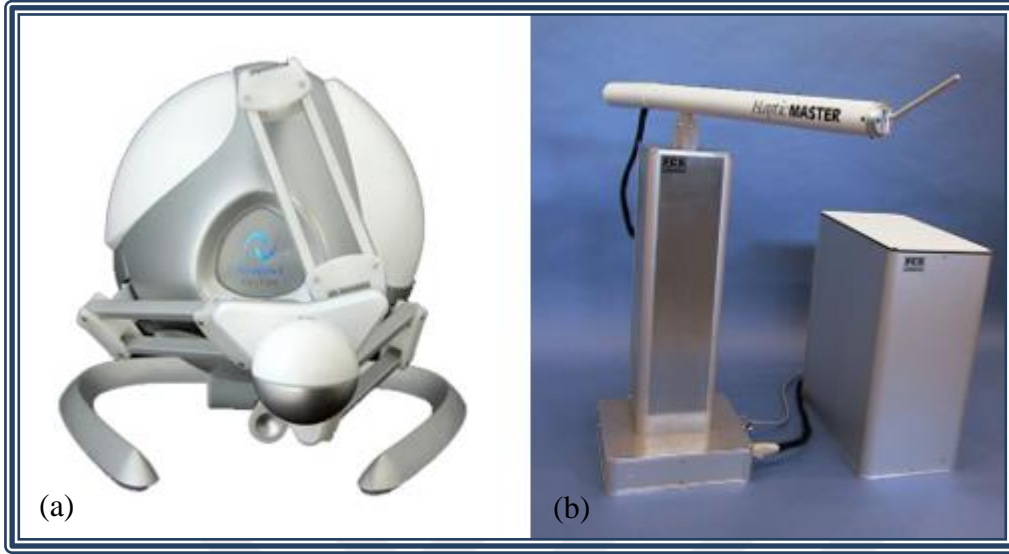
Haptik cihazlar admitans temelli cihazlar ve empedans temelli cihazlar olmak üzere iki kategoride sınıflandırılabilir. Empedans temelli cihazlarda girdi konum iken çıktı kuvvettir, admitans temelli cihazlar için ise girdi kuvvet iken çıktı konumdur. Genel olarak, empedans temelli cihazların kararlılığı ve maksimum sertliği, admitans temelli cihazlara kıyasla nispeten daha düşüktür [3].

Admitans tipi cihazlar, yapımı daha pahalı oldukları için daha az kullanılır. Bu tip cihazların, serbest alanlardaki konumlarını sabit tutmak için sürekli bir kontrol ünitesine ihtiyacı vardır. Empedans kontrolü serbest alanlarda herhangi bir işlem yapmaz, ancak sert duvarlar için maksimum kuvvet uygular. Bu nedenle bu cihazların sürekli bir kontrol ünitesine ihtiyacı yoktur. Empedans ve admitans tipi cihazların çalışma prensibi Şekil 1.5'te gösterilmektedir.



Şekil 1.5 : (a) Empedans tipi haptik cihazların çalışma prensibi (b) Admitans tipi haptik cihazların çalışma prensibi

Empedans tipi ticari cihazlara SensAble Phantom Omni ve Novint Falcon örnek gösterilebilir [4]. Admitans tipi ticari cihaza ise Haptic-Master örnek gösterilebilir. Bu iki tip cihazın birer örneği Şekil 1.6’da verilmiştir.



Şekil 1.6 : (a) Novint Falcon [5] ve (b) Haptic Master [6]

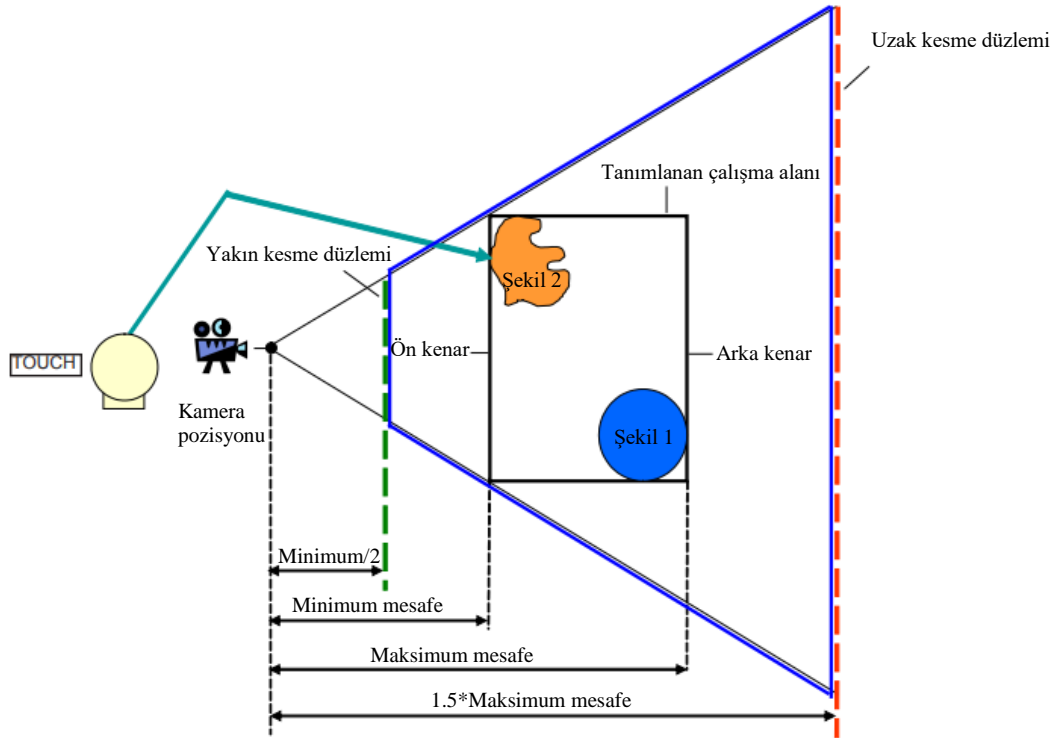
## 1.2 OpenHaptics Araç Takımı

OpenHaptics, SensAble Technologies firmasının kendi dokunsal aygıtları ile birlikte sağladığı bir araç takımıdır. Tüm Phantom haptik cihazları serisiyle uyumlu olduğu gibi Phantom Omni ile de uyumludur. OpenHaptics, Haptic Library API (HLAPI) ve Haptic Device API (HDAPI) aracılığıyla haptik uygulama geliştirmesi için hem yüksek hem de düşük seviyeli programlama dillerine izin veren bir arayüzdür. Yüksek seviyeli programlama dili (HLAPI) aracılığıyla genellikle cihazlara ve dokunsal görüntü oluşturma algoritmalarına daha fazla kontrol sağlar. Yüksek seviyeli programlama daha kolay ve hızlı olma eğilimindedir çünkü pek çok düşük seviyeli programlama uygulaması programcılar tarafından erişilebilir değildir. Üst düzey kütüphane, dokunsal sanal ortamların kontrolü, hızlı prototipleme ve özel dokunsal efektler gibi birçok avantaj sağlar. Kullanıcıların mevcut bilgisayar grafik uygulamalarını hızlı bir şekilde haptik uygulamalarına dönüştürmelerine imkan verir. Üst düzey kütüphanede, kullanıcı sadece nesnenin boyutlarını tanımlayarak dokunsal bir nesne yaratabilir. Bu, bilinen OpenGL (Open Graphics Library) grafik kütüphanesine benzer. Düşük seviyeli kütüphane (HDAPI), grafik ve haptik işlemlerinin ayrıştırılmasını sağlar, böylece daha karmaşık prototipleme için önemli bir gereksinimi yerine getirir. Bununla birlikte, düşük seviyeli programlama,

kullanıcıların daha yüksek seviyeli programlamadan daha fazla uygulama yapmasını gerektirir. Bir uygulama oluşturmak için, düşük seviyeli kütüphane kullanıcının dokunsal uygulamayı sıfırdan geliştirmesini gerektirir. Bu kütüphaneyi kullanmak, kullanıcıların kendi kuvvet hesaplama algoritmalarının yanı sıra çarpışma tespiti için kendi algoritmalarını geliştirmeleri gerektiği anlamına gelir. Bu nedenle, HDAPI, yeni dokunsal görüntü oluşturma ve kontrol algoritmaları geliştiren ve test eden araştırmacılar için daha uygundur. QuickHaptics ise yeni dokunsal (haptik) uygulamalar yazmayı veya mevcut uygulamalara haptik özellikler eklemeyi hızlı ve kolay hale getiren mikro bir (API) arayüzdür.

OpenHaptics temel olarak C tabanlı olmasına rağmen, yardımcı program kütüphanelerinin bazıları ve kaynak kod örnekleri C ++ 'ı kullanır. QuickHaptics mikro API, C ++ programlama dilinde uygulanır ve Standart Şablon Kütüphanesi'nden (STL) yararlanır. Bu çalışmada, kullanıcının dokunsal olarak etkinleştirilmiş uygulamaları çok verimli bir şekilde kodlamasını sağlayan QuickHaptics mikro arayüzü kullanılmıştır.

Ayrıca, kendi faaliyet alanını programcı tarafından oluşturulan şekillere uyarlayan QuickHaptics kamera parametrelerinden faydalanılmıştır. QuickHaptics kamera için varsayılan konum ve çalışma alanı Şekil 1.7 'de gösterilmiştir.



Şekil 1.7 : Varsayılan QuickHaptics kamera konumu ve çalışma alanı [7]

### **1.3 Altı Temel Duygu**

Ekman ve arkadaşları [8] , Yeni Gine, Borneo, Amerika Birleşik Devletleri, Brezilya ve Japonya'da yüzlerce etki göstergesinde pan-kültürel unsurların kanıtlarını bulmuştur. Bu kültürlerdeki gözlemcilerin, standart bir yüz fotoğraf seti gösterildiğinde aynı duyguların birçoğunu tanıdıklarını belirtmişlerdir. Bu bulgular, yüz ifadeleri ile ortaya çıkan duyguların sosyal olarak öğrenildiği ve dolayısıyla kültürel olarak değişken olduğu teorisi ile çelişmektedir. Bulgular, Darwin'in [9] yüzdeki duygu ifadelerinin evrimsel kökenleri nedeniyle kültürden bağımsız olarak insanlar arasında benzer olduğu görüşünü desteklemektedir.

Okuryazar kültürler arasında duyguların tanınmasındaki benzerlikler, kendilerinin veya birbirlerinin yüzlerinin, paylaşılan görsel bir kaynaktan (televizyon, filmler veya dergiler) yüz ifadelerini öğrenmeye atfedilebildiklerinden, görsel olarak izole edilmiş kültürlerden de görsel olarak elde edilen verilerin elde edilmesi gerekli görülmüştür. Sonuçlar altı temel duygu olarak adlandırılabilir mutluluk, korku, iğrenme, öfke, şaşırma ve hüznün şans düzeyinden çok daha büyük oranlarda tanınabilir olduğu kanısını ortaya çıkarmıştır.

### **1.4 Tezin Amacı**

Bu çalışmanın amacı evrensel beş duygunun sanal ortamda kuvvet geri beslemeli cihaz aracılığıyla nasıl ifade edildiğinin incelenmesidir. Diğer çalışmalardan farkı, çok yönlü bir dokunsal cihaz aracılığı ile sanal ortamda insan modeli simüle edilerek duygu iletme çalışmasının yapılmasıdır. Türetilmiş ölçümler, robotik endüstrisinde yenilikçiliğe yol açacak insansı robotların duygu iletme sırasındaki manevra ve kabiliyetlerinin geliştirilmesini desteklemeyi amaçlamaktadır.

### **1.5 Tezin Kapsamı**

Tez genel olarak altı anabashlıkta incelenmiştir. İlk olarak giriş kısmında haptik teknolojisi, tezin amacı ve yenilikçiliğinden bahsedilmiştir. Daha sonra ikinci kısımda literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü kısımda deney düzeneğindeki bileşenlerden ve deneylerin nasıl yapıldığından bahsedilmiştir. Dördüncü kısımda ise deney sonuçları ortaya konulmuştur. Beşinci kısımda sonuçlar ve tartışmadan bahsedilirken, altıncı kısımda gelecek çalışmalara yer verilmiştir.



## 2. LİTERATÜR

Haptik, dokunma ve kontrol duyusunu bilgisayar uygulamalarına kuvvet geribildirim (kinestetik) veya taktil geri bildirim yoluyla dahil etme teknolojisidir. Kullanıcılar haptik cihaz olarak adlandırılan özel bir giriş-çıkış cihazı kullanarak etkinleştirilen uygulamalarla, sanal üç boyutlu nesnelere hissedebilmekte ve işleyebilmektedir. Dokunma hissini iletmek için kullanılan geri besleme tipi, kullanılan haptik cihaza göre belirlenir. Haptik bilimi için uygulama alanları çeşitlidir ve sürekli genişlemektedir. Haptik uyarım üzerine yapılan araştırmalar eğlence [10], ve oyun [11], mobil ve dokunmatik ekran etkileşimi [12], duygusal [13] ve kişilerarası iletişim [14], sağlık [15], telerobotik ve teleoperasyon [16], eğitim [17] ve e-ticaret [18] gibi uygulamaların bir bölümünü kapsamaktadır.

### 2.1 Doğrudan Temas ile Etkileşim

Doğrudan temasla meydana gelen iletişim, insan deneklerin duyguları iletmek amacıyla başka bir denekle vücutuna doğrudan dokunsal bir uyarım uygulamak için vücut kısmını (el gibi) kullandığı çalışmaları içerir.

Farklı türlerde kişilerarası etkileşimlerdeki kişilerarası dokunuşun gücü, son yıllarda birçok farklı çalışmada gösterilmiştir [19]. Bu alandaki klasik çalışmalardan birinde Fischer ve arkadaşları [20] kadın ve erkek katılıplardan kütüphane kartlarını bazı öğrencilere iade etmelerini ve bunu yaparken ellerini doğrudan öğrencilerin avuçlarının üzerine koymalarını ve fiziksel temas kurmalarını istemiştir; öğrencilerin bir kısmı ile ise temas gerçekleştirilmemiştir. Araştırmacılar, öğrencilerin kütüphane kâtibine ‘kazara’ temas ettiği durumda, kütüphane değerlendirmelerini daha olumlu bulmuşlardır. İlginç bir şekilde, bu etki, hiçbir öğrencinin kütüphanecinin dokunduğunu hatırlamamasına rağmen ortaya çıkmıştır.

Gue’guen [21] öğrencilerin sınıf ortamında verilen belirli bir istatistiksel alıştırmaların çözümünü tahtada göstermeye teşvik edildiği bir deneyi bildirmiştir. Öğretmen birkaç öğrencinin önkollarına alıştırmaların sırasında kısaca temas etmiştir. Daha sonra öğretmen, öğrencilerden tahtada alıştırmaların çözümünü göstermelerini

istemmiştir. Sonuçlar, dokunmanın öğrencilerin gönüllülük oranını arttırdığını göstermiştir .

Doğrudan temasla duygu etkileşimi örneği olan, insanların canlı yüzler tarafından tasvir edilen evrensel duyguları tanımak için ellerini kullanabileceklerine dair Lederman ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [22] statik ve dinamik ifade olarak iki deney grubu oluşturulmuştur. Resim 2.1 'de verilen şekilde, duyguların altı evrensel ifadesinin (öfke, iğrenme, korku, mutluluk, hüznün ve şaşırma) haptik olarak tanınması test edilmiştir. Statik ifadeler için %51 ve dinamik ifadeler için %74 olmak üzere şans düzeyinden yüksek oranda tanınabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Performans değerlendirmesine göre, mutluluğun, hüznün ve şaşırmanın çok iyi tanınabildiğini, öfke, iğrenme ve korkunun daha az tanınabilir olduğu doğrulanmıştır. Sağır ve kör bireyler tarafından konuşmayı takip edebilmek için kullanılacak taktik yöntem, yüzün elle temasının bilgilendirici bir kanal olduğunu vurgulamaktadır.



Resim 2.1 : Doğrudan temas yoluyla duyguların altı evrensel ifadesinin haptik olarak tanınması [22]

E. H. Thompson ve arkadaşlarının [23] denek gruplarının yakınlığının duygu iletimine olan etkisini araştırmak amacıyla yaptığı çalışmada, romantik çiftlerin ve yabancıların duyguları yalnızca dokunuşla iletme yetenekleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar hem yabancıların hem de romantik çiftlerin evrensel ve olumlu sosyal duyguları iletebildiklerini, ancak yalnızca romantik çiftlerin kendi kendine odaklanmış duyguları (kıskançlık ve gurur) iletebildiklerini göstermiştir. Deneye otuz çift (60 katılımcı) katılmıştır. Katılımcıların ortalama yaşları 24.2 ve yaşları 18

ile 54 arasında değişmektedir. Tüm iletişim etkinlikleri kayda alınmıştır ve her bir duyguyu ifade etmek için kullanılan dokunma türü kodlanmıştır. Kodlamayı onaylamak için, rastgele seçilen 10 test oturumu bir asistan tarafından ince ayarlı kodlama ile kodlanmıştır ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Duygusal sinyalleşme çalışmaları neredeyse yalnızca yüze ve sese odaklanmıştır. Son zamanlarda ise araştırmacılar, duygusal iletişim için haptiğin potansiyelini keşfetmeye başlamışlardır. Çalışmanın ilk iki deneyinde Hertenstein ve arkadaşları [14] insanların kollarına bir yabancı tarafından dokunduğunu görmeden dokunulma deneyiminden duyguları belirleyip belirleyemediklerini araştırmışlardır. Üçüncü deneyde ise gözlemcilerin kollara dokunulmasını izleme yolu ile duyguları tespit edip edemediklerini araştırmışlardır. İki tür kanıt, insanların dokunuşla sayısız duyguları iletebileceğini düşündürmektedir. İlk olarak, Amerika Birleşik Devletleri (Deney 1) ve İspanya'daki (Deney 2) katılımcılar dokunarak öfke, korku, iğrenme, sevgi, şükran ve sempati duygularını şans seviyesinden çok daha iyi düzeyde tanımlayabilmişlerdir. İkinci olarak, ince ayarlı kodlama , farklı duygular ile ilişkili belirli dokunuş davranışlarını belgelemiştir. Deney 3'te yazarlar katılımcıların yalnızca başkalarının dokunuşla iletişim kurmasını izleyerek, farklı duyguları doğru bir şekilde çözebileceği kanıtını sağlamıştır. İyi çalışılmış duygular arasında, öfke, korku ve iğrenme, şans düzeyinin çok üzerinde seviyelerde çözülmüştür. Katılımcıların hüznü sempati olarak yorumlama konusunda ciddi bir eğilimleri olduğu gözlenmiştir. Kişi odaklı duyguların hiçbiri (utanma, kıskançlık veya gurur duyma) dokunma yolu ile çözülememiştir. Bulgular duygusal bilime katkıları, fedakârlık ve iş birliğinin evrimi açısından tartışılmıştır.

## **2.2 Taktil Cihazlar Aracılığı ile Etkileşim**

Tipik olarak, aracılı iletişim için kullanılan dokunsal arayüzler somut nesnelere veya robotlar, giyilebilir cihazlar olarak kendini göstermektedir.

Salminen ve arkadaşları [24] dokunsal uyarıcıya duygusal deneyimleri ve davranışsal tepkileri araştırmak için sürtünme bazlı yatay olarak dönen bir parmak ucu uyarıcısı kullanmıştır. 12 farklı uyarının dönme stili, uyarı uzunluğu (20, 50, 100 ms), süreklilik (sürekli ve süreksiz) ve yön (ileri ve geri) ile değişmiştir. Bu uyarıyı kullanarak, her bir çiftteki uyarıların aynı veya farklı olup olmadığını ayırt edecek olan 12 (dokuz erkek, üç kadın) deneğe 528 uyarı çifti verilmiştir. Katılımcılar

uyarıcıları, 12 uyarının hoşluk, uyarılma, ulaşılabilirlik ve baskınlık niteliklerini ölçen dört ölçek kullanarak derecelendirmişlerdir. Sonuçlar, sürekli ileri geri dönen döner uyarıların, diğer uyarı tiplerinden (örneğin, devamsız ileri dönüş) daha belirgin, rahatsız edici, önlenemez ve baskın olarak değerlendirildiğini göstermiştir. Bu uyarılara karşı reaksiyon süreleri, süresiz ileri ve geri dönen uyarılara karşı reaksiyon zamanlarından önemli ölçüde daha hızlı olmuştur. Sonuçlar açıkça basit dokunsal uyarının duygusal bilgi taşıyabileceğini göstermektedir. Sonuçlar, insan-teknooloji etkileşiminde haptikten faydalanılabileceğini göstermektedir.

Dokunma duyusunu bilgisayar ortamında duygusal iletişim sağlama aracı olarak kullanma çalışmaları yapılmaktadır. Taktil cihazlar aracılığıyla çevrimiçi konuşmalar sırasında yaşanan duyguları iletmeyi amaçlayan fiziksel uyarıların üretilmesine yönelik Tsetserukou ve arkadaşlarının [25] yaptığı çalışma olan iFeel\_IM, dört haptik kanala odaklanmıştır. Bunlar; fizyolojik değişiklikler (kalp atım hızı, vücut ısısı, vb.), fiziksel uyarım (gıdıklama), sosyal dokunma (kucaklama), duygusal haptik tasarım (cihazın şekli, malzeme, doku) şeklindedir. Dört ayrı tip olan taktil cihazlar, nesnenin termal özelliğini (HaptiTemper), basıncını (HaptiHeart, HaptiHug), titreşim frekansını (HaptiButterfly, HaptiTickler ve HaptiShiver) ve uyarı konumunu algılamayı sağlar. Öfke, korku, hüzn, mutluluk gibi duygu analiz modeli (AMM) tahmin farkındalığı diğer duygulara göre daha yüksek olan dört farklı duygu seçilerek iki ya da üç insan değerlendirmesine göre cümlelerde %72,6'lık bir doğruluk payı yakalanmıştır.

Haptik özellikli giyilebilir teknoloji duygu iletişimi için yeni bir yol olarak gösterilebilir. Bonanni ve arkadaşlarının yaptığı [26] duygusal terapide duygu iletmek amacıyla asenkron dağıtık iletişim bilgilerinin dağıtılmasına izin veren giyilebilir dokunma sistemi çalışmasında 'TapTap', bir annenin çocuğuna ya da bir terapistin hastayla birlikte bırakabileceği has sevgi unsuru sağlamak için kişiselleştirilmiş bir giysi olarak tanımlanmaktadır. Resim 2.2'de gösterilen TapTap, titreşimli motorlar ve solenoid içermekle beraber duygusal terapide insani dokunma hissi uyandırmak amacıyla geliştirilmiştir. Fuların yeniden yapılandırılabilir doğası ve insanların simüle edilmiş dokunuşu hissetmek için fuları vücutlarına sarmak zorunda kalması, sistemin asla şaşırtıcı, kısıtlayıcı ya da invaziv olmadığı anlamına geldiği belirtilmiştir.



Resim 2.2 : 'TapTap' giyilebilir dokunsal sistem [26]

Filmlere dokunsal uyarım eklemeyi amaçlayan Lemmens ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [27] izleyicinin bedenine filme özgü uyarıyı iletmek için kullanılan bir dokunsal ceket oluşturulmuştur. Ceket içindeki aktüatörler, LabVIEW (National Instruments, Austin, TX, USA) yazılım arayüzü kullanılarak bir bilgisayardan kontrol edilmiştir. Çalışma, anketler ve fizyolojik ölçümler kullanılarak bir kullanıcı testinde (Likert tipi ölçekler) değerlendirilmiştir. Kullanıcı testi, taktile ceketlerin laboratuvar testlerinin zorluklarını karşılayacak kadar dayanıklı olduğunu göstermiştir. Bulgular, daha rafine kullanıcı testlerinde kanıtlanması gereken haptik uyarıların ümit verici etkilerini göstermektedir.

Görsel sosyal ipuçlarının önemini anlamak için taktile dokunma yoluyla duygu iletişimine dair Krishna ve arkadaşlarının [28] yaptığı çalışmada ise, 16 katılımcının (dokuz görme engelli olan, dokuz görme bozukluğu olan kişi ve iki görme bozukluğu alanında görüş yeteneği olan uzman olmak üzere) yer aldığı, sosyal etkinliğin önemine değinen web tabanlı bir anket uygulanmıştır. İki açık uçlu odak grubu tanımlanmıştır. Katılımcılar beş skorlu Likert ölçeğine göre cevap vermişlerdir; kesinlikle katılmadığını belirten bir, kesinlikle katıldığını belirten beş puan vermiştir. Sıralı sosyal ihtiyaçlar listesi, katılımcıların en önemli ihtiyacının kendi vücut davranışları ve sosyal etkileşimlerini nasıl etkilediğiyle ilgili geribildirimlere karşılık geldiğini göstermektedir. Bunu takiben, sunulan sırayla, yüz ifadelerine, vücut davranışlarına, kimliğine, göz bakışlarına, konumlarına ve sosyal etkileşim ortaklarının ortaya çıkmasına ihtiyaç duymuşlardır. Bu nedenle, kör ya da görme bozukluğu olan kişiler için sosyal rehabilitasyon sağlamaya yönelik kalıplaşmış

vücut tutumunu tespit etmek için bir metodoloji önerilmiştir. VibroGlove, parmakların arkasına monte edilmiş 14 adet titreşim motorundan (her bir parmak kemiği için bir adet) oluşur. Orta, halka ve küçük parmak üzerinde üç ve baş parmağındaki iki adet bulunmaktadır. Eldiven üzerinde sadece dokuz vibratör içeren üç merkezi parmak kullanılmıştır. Yedi yüz ifadesini temsil etmek için, iki önemli faktör tarafından motive edilen dokunsal ifade simgeleri oluşturulmuştur: birincisi görsel ifade ile benzer simgeler ağzın belirgin bir şekilde şekillendiği mutluluk, hüznün, şaşırma ve nötr gibi popüler kullanımda olan ifade temsil eden ve ikincisi ağzın tek başına ifadeyi iletmediği öfke, korku ve iğrenme gibi simgelerdir. Böylece katılımcılardan söz konusu ifade duygusunu uyandıracak haptik simgeler yaratılması istenmiştir. Sonuçlar, temel yüz ifadelerini haptik ara yüzlerle iletmenin mümkün olduğuna ikna edicidir.

İnsanlar ve robotlar arasındaki iletişimde dokunuşunun rolünü araştırmak için Yohanan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [29] küçük, hayvan benzeri haptik yaratık robotu geliştirilmiştir. İnsanın cinsiyetine veya hayvanlarla ilgili geçmişe bakılmaksızın, robotun uyarılma durumunu iletmede etkili olduğunu, ancak valans için daha az etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle nefes alma oranı ve kulak dikliği uyarılmayı iletirken, robotun nefes alma asimetrisinin ve mırıldanmasının valansını iletip iletmediği test edilmiştir. İkincil amaç olarak cinsiyet veya hayvanlarla ilgili önceki deneyimlerin bir sonucu olarak tanımadaki farklılıkları araştırmaktır. Son olarak ise Resim 2.3'te gösterilen haptik yaratık ile etkileşimin sonucu olarak katılımcının duygu durumundaki değişiklikler de incelenmiştir. 32 katılımcı için genel farkındalık oranları %17 ile %52 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.



Resim 2.3 : Katılımcının çalışma sırasında Haptic Creature ile etkileşimi [29]

Psikolojik sağlık uygulamaları, hastanın duygu durumunu tanımlamada haptik dokunmadan faydalanabilirler. Tıp uzmanlarının, hastalar ve doktorlar arasındaki iş birliğini kolaylaştıracak ve potansiyel olarak bakım veren tesislerde kullanımdan kamusal kullanıma adapte edilebilecek yeni müdahalesiz tedavi şekli sunmasını mümkün kılan birkaç haptik sisteme dayalı Vaucelle ve arkadaşlarının yaptığı çalışma [30] akıl sağlığı ekibi uzmanları ile birlikte geliştirilmiştir. Dokunma terapisinin bakım veren tesislerde yapılma şeklini değiştirebilme potansiyeline sahip ilk nesil bilgisayarlı dokunmatik terapi cihazları oluşturulmuştur. Hurt Me, kendi kendine zarar verme eğilimi olan kişiler için duyusal topraklama şekli olarak kontrollü acı üreten giyilebilir bir dokunsal aygıttır. Araştırmada, terapistin hastayla daha iyi iletişim kurabilmeleri için ve terapi sırasında hastayı rahatlatmak amacıyla bu prototiplerin kullanılabileceği vurgulanmıştır.

### **2.3 Kuvvet Geri Besleme Cihazları Aracılığı ile Etkileşim**

Son yıllarda aracılı iletişimin bir cihaz aracılığı ile iletilip iletilemeyeceğini araştırılmaktadır. Metinsel veya grafiksel etkileşime haptik uyarının eklenmesi yerine, bazı araştırmalar, dokunma duygusunun tamamen haptik bir link üzerinden iletişimine odaklanmıştır. Smith ve arkadaşlarının yaptığı tek serbestlik dereceli haptik cihaz kullanılarak ikili ilişki türlerini belirlemeye odaklı olan bilgisayar aracılı haptik iletişim çalışmasında [31] haptik etkileşim modelinin ikilinin paylaştığı ilişkinin performansları ve öznel deneyimlerine olan etkisini incelenmiştir. Dört duygu olan; öfke, memnuniyet, rahatlama ve mutsuzluğun iletişimde ve iletişimsizlikteki etkileri incelenmiştir. Katılımcıların, testlerin %54'ünde duyguları başarılı bir şekilde iletteği gözlemlenmiştir. Öfke %62'lik oranla en sık doğru olarak tanımlanan duygu olarak belirlenmiştir. Rahatlama duygusu %57 doğru tespit edilmiştir. Mutsuzluk ve memnuniyet duyguları ise, testlerin yarısından biraz daha azında doğru bir şekilde tanımlanmıştır.

Kuvvet geri bildirim aracılığıyla dokunsal iletişime dair sınırlı çalışmalar yapılmıştır. İnsanların birbirlerine kuvvet geri beslemeli haptik cihazlar ile dokundukları varsayılan sanal kişilerarası dokunma (VIT) olgusu, üç deney grubuna ayrılarak incelenmiştir. Bailenson ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [32] ilk deneyde dokuz kadın ve yedi erkekten oluşan katılımcılar yedi duyguyu ifade etmek için Resim 2.4'te gösterilen şekilde iki serbestlik dereceli kuvvet-geri besleme

denetim kolunu kullanmışlardır. Oluşturulan kuvvetlerin çeşitli boyutları ve bu duyguları ifade etme zorluğunun öznel dereceleri incelenmiştir. Deney 2'de, ayrı bir katılımcı grubu Deney 1'de ortaya çıkan hareketlerin kayıtlarından yola çıkarak duyguları ayırt etmeye çalışmıştır. Deney 3'te, katılımcı çiftler yedi duyguyu gerçek ortamda el sıkışma yoluyla iletme girişiminde bulunmuştur. Katılımcıların denetim koluyla etkileşime geçerken bu duyguları iletme sıraları her katılımcı için randomize edilmiştir. Her deneyden sonra katılımcılardan bir ölçekte deneyimlerini derecelendirmeleri istenmiştir. Sonuçlar, sanal kişiler arası dokunma (VIT) yoluyla duyguları ayırt etmenin insanlarda şans düzeyinden yüksek bir yüzdeye sahip olduğunu, ancak doğrudan el sıkışmalarıyla duyguları ifade etme yolu kadar doğru olmadığını göstermiştir. Hüzün duygusu, yavaş, sabit ve kısa hareketlerle ifade edilirken, mutluluk duygusu uzun, sarsıntılı ve hızlı hareketlerle ifade edilmiştir. Jeremy ve arkadaşları daha zarif hareketlere izin veren bir Phantom cihazının aksine basit bir iki serbestlik dereceli (2-DOF) cihazı kullanma sebeplerini, stratejik bir hamle olarak gösterirken, gelecekteki çalışmaları için duyguları üretmeyi ve tanımayı keşfetmede çok yönlü bir dokunsal aygıt kullanmanın önemini vurgulamışlardır.



Resim 2.4 : Katılımcının iki serbestlik dereceli haptik cihaz ile etkileşimi [32]

D. Bonnet ve arkadaşları [33] yaptığı çalışmada, farklı duygu sınıflarını tanımak için yüz ifadeleri ile dokunsal geribildirim arasındaki tamamlayıcı olmayı amaçlamıştır. Çalışmada, kinestetik bir yaklaşımla dokunsal geribildirim ile sanal karakterin gösterdiği yüz ifadelerinin tanınmasını iyileştirmek amacıyla kinematik parametreler (çapraz mesafe, süre, hız, genlik vb.) belirlenmiştir. Her duygu için, yavaş ve hızlı olmak üzere iki hızda hareket tanımlanmıştır. Bu çalışmaya Paris-Sud



Üniversitesi'nden ve CNRS / LIMSI laboratuvarından (Orsay, Fransa) 23 katılımcı (yaş ortalaması 23,5 olan 21 erkek ve 21 kadın) katılmıştır. Katılımcılar deneyi dokunsal kolun yer aldığı bir masada gerçekleştirmiştir. Sistemin çalışmasının kısa bir sunumundan sonra, katılımcılara seçilen hareketlerin serisi rastgele sırayla sunulmuştur. Katılımcılara hareketin başka bir kişiden geldiğini düşünmeleri söylenmiştir. Her hareket için, beş puanlık Likert ölçeğine göre puan verdikleri bir form doldurmuşlardır. Önerilen dokunsal ifadelerin tanınma düzeyini incelemek için bazı ölçümler önerilmiştir. İlk olarak, katılımcılar valans-aktivasyon-baskınlık boyutlarına göre her hareket için bir puan vermiştir. İkinci olarak katılımcılar, tüm duygulara göre her hareket için bir puan vermiştir. Diğer türetilmiş ölçümler ise puan vermeden önce deneme miktarı ve puan vermeden önce geçen süre olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, öfke, mutluluk ve iğrenmenin aynı hareketlerle iyi bir şekilde tanımlandığını gözlemlenmiştir. Son olarak, bu çalışmada korku iyi tanımlanmamıştır (en iyi puan: 1.30). Çalışmanın ikinci kısmında ise, 19 katılımcının (13 erkek, 6 kadın), seçilen hareketlere dayanarak, dokunsal geribildirimlerin algı ve duyguların anlaşılmasına olan katkısını incelemek için bir görsel-dokunsal deney yapması önerilmiştir. Bu çalışma önceki denemeye aynı platform üzerine kuruludur. Bununla birlikte, MARC yazılımıyla sanal bir karakter yardımıyla görsel bir geri bildirim sunulmuştur. Sistem çalışmasının kısa bir sunumundan sonra, katılımcılara yüz ifadeleri serisi ve karşılık gelen dokunsal geri bildirimleri rastgele sırayla sunulmuştur. Katılımcılar bu duygunun başka bir kişiden geldiğini düşünmelidir. Ölçüm prosedürü bir önceki deneyle aynı tutularak dört parametreden oluşmaktadır. Sonuç olarak, aktif duygulara karşılık gelen öfke, iğrenme ve kıskançlık, yalnızca dokunsal uyarıcılarla iyi tanımlanmıştır. Daha az aktif bir duyguya karşılık gelen gurur, yalnızca dokunsal geribildirim ile iyi tanımlanmamıştır. Sevgi duygusu ise, dokunsal geribildirim ile görsel geribildirimden daha iyi tanımlanmıştır. Sonuçlar, önerilen dokunsal geribildirim, bazı duyguların tanınmasını farklı seviyelerde geliştirdiğini göstermektedir.

Dijital iletişim daha yaygınlaştıkça ve duyuşsal olarak zenginleştikçe, insanların birbirleriyle etkileşim kurma biçimlerini anlamak çok önemli duruma gelmiştir. Bailenson ve arkadaşlarının [34] yaptığı çalışmada insanların, insan dijital temsillerine dokunma biçimlerini incelenmiş ve bu davranışları insan olmayan nesnelere dijital temsillerine dokunma biçimleriyle karşılaştırılmıştır. 40 üniversite

öğrencisinden oluşan (23 kadın, 17 erkek) katılımcı grubu, masaüstü sanal ortamda yer alan çeşitli nesnelere kir parçacıklarını “temizlemek” için haptik bir cihaz (Geomagic Touch) kullanmışlardır. Katılımcılara cinsiyet (erkek veya kadın) bakımından değişen ve insanın yüzünde veya gövdesinde bulunan kir parçacıklarını temizlemeleri beklenen bir dizi insan modeli sunulmuştur. Katılımcılardan ayrıca silindirik bir nesnenin üst veya alt kısmındaki kir parçacıklarını temizlemeleri istenmiştir. Katılımcılar her kombinasyon iki deneme yapmışlardır ve bu 20 deneme, yirmi farklı yüzde (sekiz erkek yüz ve sekiz kadın yüz) ve silindirik nesnelere (dört farklı şekil) rastgele sırayla sunulmuştur. Katılımcıların dokunsal cihazın hareketine ve kuvvet geri beslemesine alışmasını sağlamak için küçük bir kutu alanın etrafında bir küpün hareket ettirilmesini içeren bir pratik yapmışlardır. Her katılımcı için her koşulda, her saniye uygulanan kuvvet miktarı ölçülmüştür. Sonuçlar, insanlara diğer insan dışı nesnelere kıyasla dokunurken daha az güç kullandığını ve insanların yüze, gövde bölgesinden daha az güçle dokunduğunu göstermiştir. Son olarak, erkek dijital temsillere, her iki cinsiyetin özneleri tarafından kadın temsillerine oranla daha fazla kuvvet uygulanmıştır. Bu verilerin dokunsal iletişim sistemlerinin geliştirilmesine yönelik bir metodoloji üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Çalışmanın kısıtlılığı, görevin bir sosyal dokunuş biçiminden ziyade temizlik etrafında dönmesidir (yani, hastaya güven vermek, dikkatlerini çekmek için omzunda birine dokunmak vb.). Gelecekte yapılacak çalışmalar, dokunmanın kendisinin sosyal olduğu bir paradigma üzerine olabileceği belirtilmiştir. Örneğin, katılımcılardan onlardan uzağa bakan avatarların omuzlarına dokunmaları istenebilir.

Gatti ve arkadaşları [35] daha büyük çalışma ortamı sağlayan ve altı serbestlik dereceli ticari amaçlı haptik cihaz kullanılan, haptik etkileşimin insanların standartlaşmış duygusal uyarılara tepkilerini etkileyip etkilemediğini araştırmak için tasarlanan çalışmada , 36 katılımcının Phantom cihazının ucunu hareket ettirirken farklı sabit kuvvet alanlarının duygudurumlarına etkisini test etmiştir. Katılımcılara 21 resim (yedi pozitif, yedi nötr ve yedi negatif duygular uyandırması beklenen) gösterilerek algılanan valans ve aktivasyon uyarılmasını, Phantom cihazı ile etkileşime girdikleri sırada puanlandırmaları istenmiştir. Göğse solunum sensörü, sol elin küçük parmağına sıcaklık sensörü, işaret ve yüzük parmaklarına GSR sensörleri ve orta parmağa BVP sensörü yerleştirilmiştir. Sağ ellerinde ise Phantom cihazının ucu bulunmakla beraber bu ucu fare gibi imleci hareket ettirmeleri için

kullanmaları istenmiştir. Deneysel uygulama C# ile yazılmıştır. Fizyolojik edinim programı, Thought Technology tarafından sağlanan bir uygulama programlama arayüzü (API) kullanılarak geliştirilirken, haptik imleç ve geri besleme, açık kaynak ‘OpenHaptics API’ kullanılarak programlanmıştır. Katılımcılara, görüntülenen resim sebebiyle oluşan duyguyu derecelendirmek için, öz değerlendirme modeli (SAM) ölçeğinde, imleç yardımı ile butonlardan birini seçmesi talimatı verilmiştir. Kuvvet alanı oluşmayan ortam ve viskoz kuvvet alanı oluşan ortamda uyarılma kanısının değişmediği görülmüştür. Hoş olmayan resimler hoş olan resimlere göre daha uyarıcı bulunurken hoş resimler ise nötr resimlere göre daha uyarıcı bulunmuştur. Phantom cihazı imlecinin hareketi sırasında viskoz sürtünmeli ortam yaratıldığında, katılımcıların resim klasmanına bakılmaksızın resimleri genel olarak daha az uyarıcı bulduklarını bildirmişlerdir. Deneyde uyarıcı olarak bir dizi statik duygusal resim kullandığı ancak duyuşsal hesaplama ve daha genel olarak duyuşsal bilim alanında yeni eğilim olan çoklu boyutlarda derecelendirilmiş dinamik duygusal uyarıcıların kullanımının önemi de göz önünde bulundurulmalıdır.

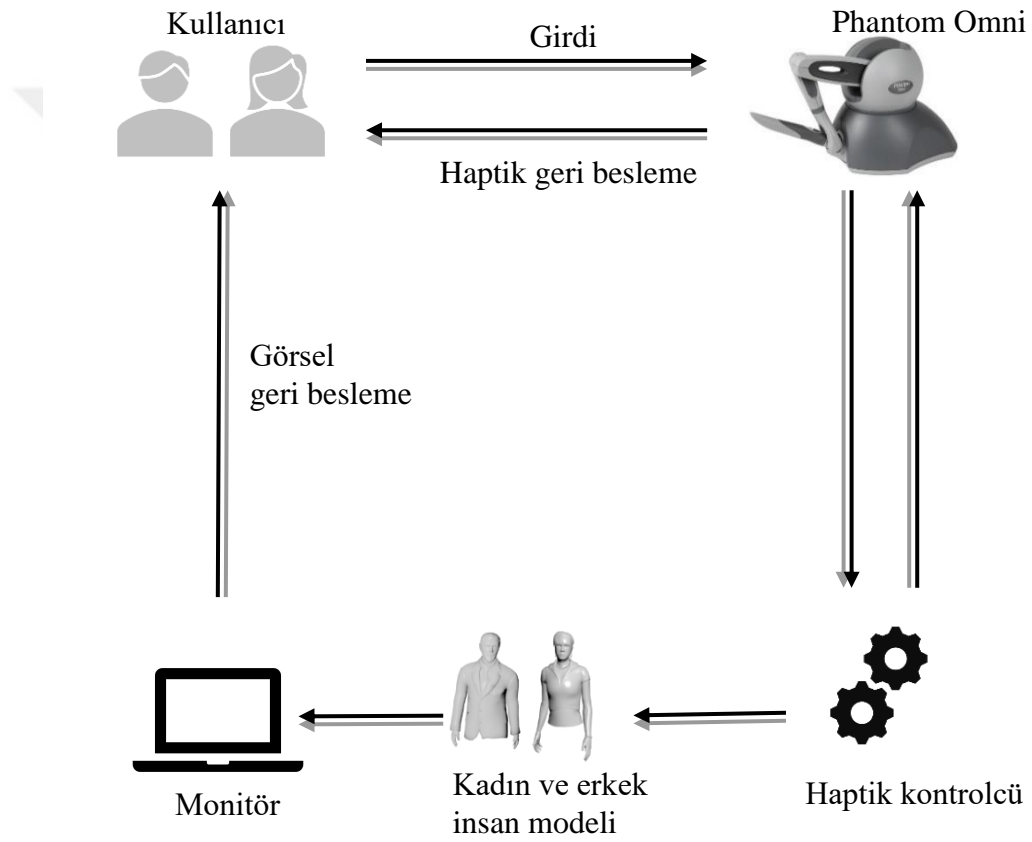
Şu anda, kişilerarası dokunuşun insanlar üzerinde neden bu kadar güçlü bir etkiye sahip olduğu bilinmemektedir. Bugüne kadar yapılan araştırmalar kişilerarası dokunuşun insanlar üzerinde bu kadar etkileyici olmasının nedenlerini henüz ortaya çıkarmamıştır ve bu davranışsal fenomenlerin altında yatan bilişsel, sinirsel ve fizyolojik mekanizmalar hakkında çok fazla şey bilinmemektedir. Sonuç olarak, bu etkileyici konuyla ilgili araştırmalarda daha fazla teorik ve uygulamalı gelişmelerin, ancak farklı araştırma alanlarından gelen çabaların sinerjisi ile mümkün olacağına inanılmaktadır [36].



### 3. SİSTEM YAPISI

Bu bölümde öncelikle sistem modeli açıklanmış olup, daha sonra haptik cihaz ve yapılan deney ayrıntılı olarak incelenmiştir.

#### 3.1 Sistem Modeli



Şekil 3.1 : Sistem Modeli

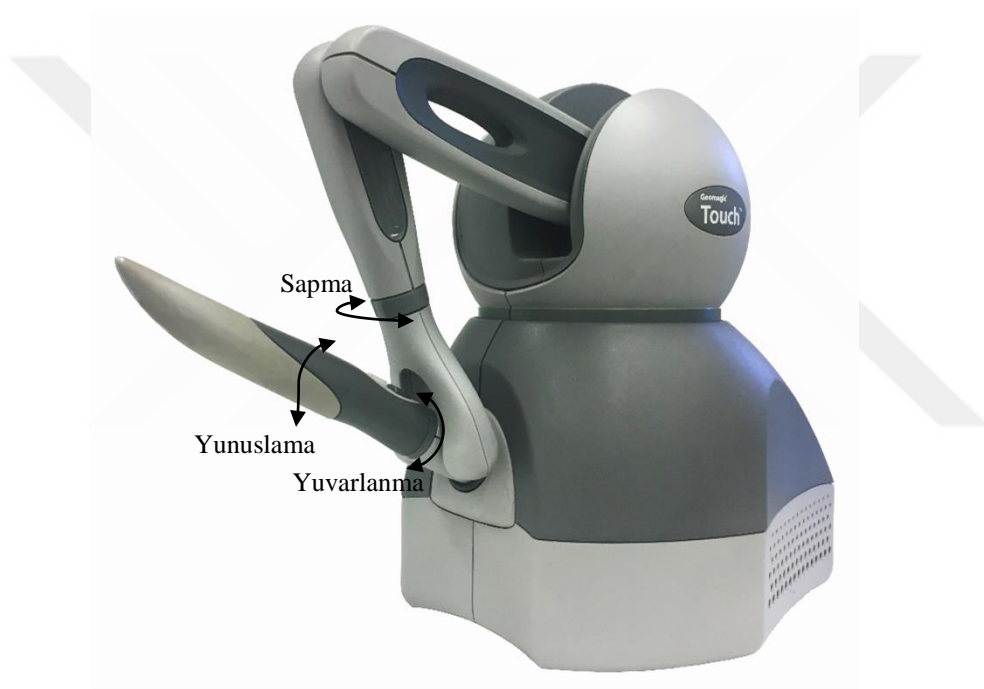
Şekil 3.1’de sistemin modeli görülmektedir. Katılımcı, haptik cihaz ile etkileşime girerek, 3DS MAX’te tasarlanan deformatif kadın ve erkek insan modeli üzerinde beş evrensel duygunun iletilmesi üzerine bir deney gerçekleştirmiştir. Katılımcıya görsel geri besleme sağlayan bilgisayar, simule edilen uç ve model arasında bir temas olup olmadığını kontrol eder. Bir temas meydana gelmesi halinde, haptik kontrolcü, kullanıcı ve cihaz etkileşim noktasında uygulanması gereken kuvveti hesaplar ve

cihaza bağlı olan aktüatörlerin kontrolünü sağlayarak sanal modellerin dokunsal algısına yol açar.

### 3.2 Katılımcılar

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesinden 20 katılımcı (ortalama yaşları 24.15 standart sapmaları 3.98 olan, 8 kadın, 12 erkek) bu çalışmada yer almıştır. Çoğunluğu makine mühendisi mezunu olan katılımcıların bazılarının ise haptik veya sanal gerçeklik deneyimi bulunmaktadır.

### 3.3 Haptik Cihaz



Resim 3.1 : Phantom Omni Haptik Cihaz

Resim 3.1’de gösterilen Phantom Omni haptik cihazın, serbestlik derecesi altıdır (x, y, z, yuvarlanma, yunuslama, sapma). Phantom Omni, x, y ve z düzlemlerinde kuvvet geribildirimini sağlayabilen ve maksimum 3.3 N kuvvet uygulanabilen bir cihazdır. Cihaz, x, y ve z eksenlerinde anlık konum ve hız ölçümünden optik kodlayıcıların kullanımına yönelik kinestetik aktif kuvvet geri beslemesi sağlar. Kuvvet geri besleme çalışma alanı yaklaşık 163 (x) × 122 (y) × 71 (z) milimetredir. Nominal pozisyon çözünürlüğü ise yaklaşık olarak 0.055 milimetredir. Altı serbestlik derecesi boyunca hareketi ölçer (öteleme ve dönme ölçüleri) ve bu serbestlik derecelerinin üçünde (yalnızca öteleme hareketi için) kullanıcı üzerinde kontrol edilebilir kuvvetler uygulayabilir. Cihaz, bilgisayara arayüz oluşturmak için IEEE-

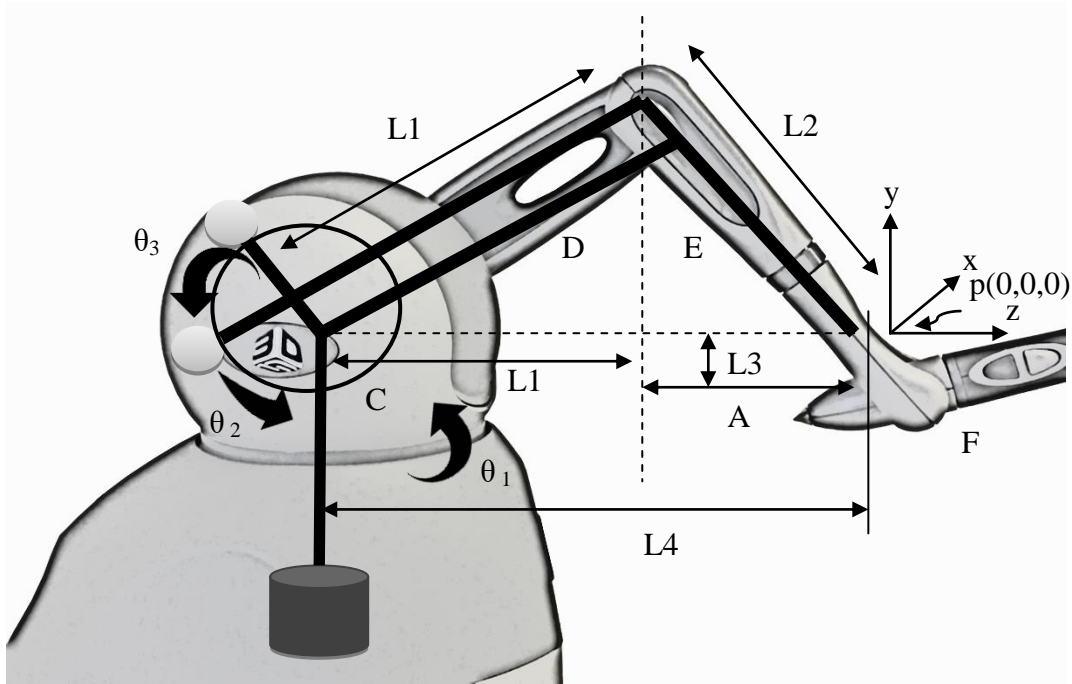
1394 FireWire portunu kullanır. Cihaz, hareket alanı içindeki hareketi sınırlamadığından ve ataleti ve sürtünmesi düşük olduğundan, hareket rahat hissedilir. Bu cihazın kurulumu ve kullanımı kolaydır, ekonomik olması nedeni ile de araştırma laboratuvarlarında yaygındır.

### 3.3.1 Cihazın kinematik modeli

Dokunsal cihazın ileri kinematiği, uç işlevcinin konumu ve oryantasyonu ile mafsalları arasındaki ilişkiyi sağlar. İleri kinematik model, uç işlevcinin konumu ve yönü ile mafsalları (mafsalları açıları) arasındaki ilişkileri belirten aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.

$$x = f(q) \quad (3.1)$$

Bu denklemde  $x \in R^{3 \times 1}$ , operasyonel koordinatlar vektörünü belirtir ve  $q \in R^{3 \times 1}$ , mafsalları koordinatlarının vektörüdür. Phantom Omni haptik cihazın kinematik zinciri ve modelde yer alan değişkenlerin ve sabitlerin temsili, Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 : Phantom Omni kinematik zinciri değişkenleri ve sabitleri

$L1 = L2 = 0.135m$  olarak kolların uzunluğunu temsil ederken,  $A = 0.035m$ ,  $L4 = L1+A$  ve  $L3 = 0.025m$  olarak aynı kinematik modeli elde etmek için yardımcı değişkenleri temsil eder. Kaynak Koordinat Merkezinden (Şekil 3.2'de C bölgesinin

içinde yer alan) manipülatörün uç işlevcisine kadar olan vektör, uç işlevcinin pozisyonunu belirler.

$$x = -\sin \theta_1(L1\cos \theta_2 + L2\sin \theta_3)$$

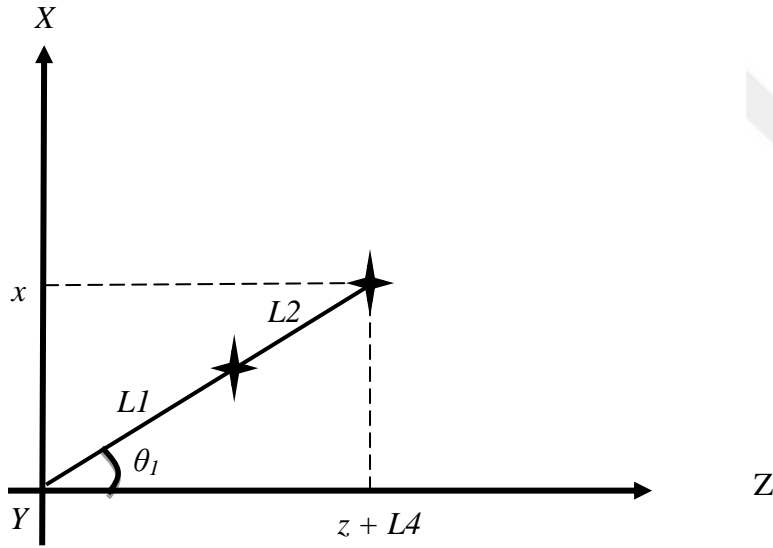
$$y = L3 - L2\cos \theta_3 + L1\sin \theta_2 \quad (3.2)$$

$$z = -L4 + \cos \theta_1(L1\cos \theta_2 + L2\sin \theta_3)$$

Ters kinematik konum modeli ise kartezyen koordinatlarda uç işlevci konumunun bir fonksiyonu olarak mafsal açılarının  $\theta_i$  hesaplamasıdır ve (3.3) ile tanımlanmıştır.

$$\theta = f^{-1}(x) \quad (3.3)$$

Bu çözüm yolu  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  ve  $\theta_3$ 'ü kartezyen koordinatların (x, y, z) bir fonksiyonu olarak tanımlar.

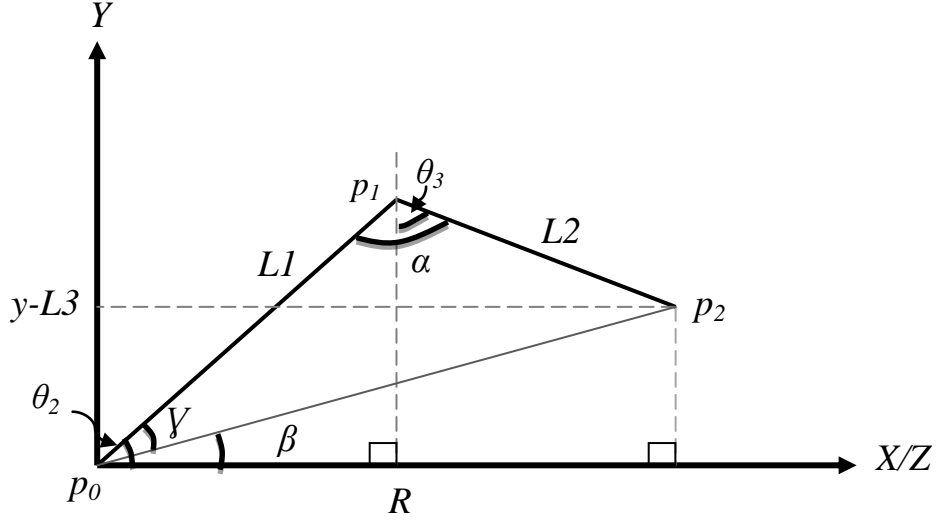


Şekil 3.3 : Phantom Omni Kinematik zinciri

$\theta_1$ , Şekil 3.3 kullanılarak belirlenebilir.

$$\theta_1 = -\text{atan2}(x, z + L4) \quad (3.4)$$





Şekil 3.4 : Phantom Omni Ters Kinematik Modeli

$\theta_2$  ve  $\theta_3$  ise Şekil 3.4 kullanılarak belirlenebilir.

$$R = \sqrt{x^2 + (z + L4)^2} \quad (3.5)$$

$$r = \sqrt{x^2 + (z + L4)^2 + (y - L3)^2} \quad (3.6)$$

$$\beta = \text{atan2}(y - L3, R) \quad (3.7)$$

Kosinüs teoremi  $\Delta P_0P_1P_2$  üçgenine uygulanarak aşağıdaki ifade elde edilebilir.

$$L2^2 = L1^2 + r^2 - 2L1r \cos(\gamma) \quad (3.8)$$

$$\gamma = \cos^{-1}((L1^2 + r^2 - L2^2)/2L1r) \quad (3.9)$$

Phantom Omni'nin fiziksel özellikleri  $\gamma > 0$  olmasını gerektirir.  $\theta_2$  (3.10) yardımı ile bulunabilir.

$$\theta_2 = \gamma + \beta \quad (3.10)$$

Aynı  $\Delta P_0P_1P_2$  üçgeni için kosinüs teoremi kullanılarak  $\theta_3$  hesaplanabilir.

$$r^2 = L1^2 + L2^2 - 2L1L2 \cos(\alpha) \quad (3.11)$$

$$\alpha = \cos^{-1}((L1^2 + L2^2 - r^2)/2L1L2) \quad (3.12)$$

$\alpha$  açısı Phantom Omni'nin çalışma alanı gereği pozitif olmalıdır. Buradan  $\theta_3$  aşağıdaki gibi bulunur.

$$\theta_3 = \theta_2 + \alpha - \frac{\pi}{2} \quad (3.13)$$

### 3.3.2 İleri kinematik hız modeli

İleri kinematik hız modeli (3.14) ile tanımlanabilir.

$$\dot{x} = J\dot{\theta} \quad (3.14)$$

$\dot{x} \in \mathbb{R}^{3 \times 1}$  operasyonel hız vektörünü,  $J \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$  haptik cihazın Jacobian matrisini ve  $\dot{\theta} \in \mathbb{R}^{3 \times 1}$  mafsalsal hız vektörünü ifade eder.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

$\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$  ve (3.2)'nin türetilerek matris formuna getirilmesi ile aşağıdaki matris bileşenleri bulunur.

$$J_{11} = -(L1 \cos \theta_1 \cos \theta_2 + L2 \sin \theta_3 \cos \theta_1)$$

$$J_{12} = L1 \sin \theta_1 \sin \theta_2$$

$$J_{13} = -L2 \cos \theta_3 \sin \theta_1$$

$$J_{21} = 0$$

$$J_{22} = L1 \cos \theta_2$$

$$J_{23} = L2 \sin \theta_3$$

$$J_{31} = -L1 \cos \theta_2 \sin \theta_1 - L2 \sin \theta_3 \sin \theta_1$$

$$J_{32} = -L1 \sin \theta_2 \cos \theta_1$$

$$J_{33} = L2 \cos \theta_3 \cos \theta_1$$

### 3.3.3 Kinestetik kuvvet geribildirimi

Haptik cihazın mafsal aktüatörlerinin uyguladığı tork aşağıdaki denklem ile tanımlanabilir.

$$\tau = J^T F \quad (3.16)$$

burada  $\tau \in \mathbb{R}^{3 \times 1}$  tork vektörü olarak tanımlanırken,  $J^T$ , Jacobian matrisinin transpozudur ve  $F \in \mathbb{R}^{3 \times 1}$ , sanal ortam etkileşimi ile tanımlanan kuvvetler vektörüdür.

Temas noktasındaki kuvvetler vektörü aşağıdaki gibi tanımlanır,

$$\vec{F} = (Fx_i + Fy_i + Fz_i) N \quad (3.17)$$

Tork vektörleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\tau_1 = (J_{11} Fx + J_{21} Fy + J_{31} Fz) Nm \quad (3.18)$$

$$\tau_2 = (J_{12} Fx + J_{22} Fy + J_{32} Fz) Nm \quad (3.19)$$

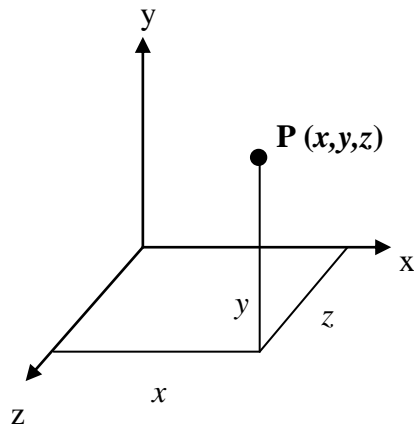
$$\tau_3 = (J_{13} Fx + J_{23} Fy + J_{33} Fz) Nm \quad (3.20)$$

Aktüatörlerde sanal bir nesnenin varlığını hissetmek amacıyla oluşturulan kuvvet için farklı algoritmalar kullanılabilir.

### 3.4 Deney Prosedürü

Bu çalışmada katılımcılar, masaya yerleştirilmiş bir cihazın önündeki sandalyeye rahatça otururlar. Katılımcılar, Phantom Omni kuvveti geri besleme cihazının mavi koni şeklindeki imlecini baskın olan elleri ile (sağlaklar sağ elini kullanırken solaklar sol elini kullanırlar) tutarlar. İmleç, duvara projeksiyonla yansıtılmış insan modelinin simüle edildiği ekranda hareket sağlaması amacıyla fare gibi görev yapar. Katılımcıların dokunsal cihazın haptik geri beslemesine alışmasını sağlama amacı ile bir küre etrafında imlecin hareket ettirilmesini içeren iki dakikalık bir deneme yaptırılır. Deneyin başlangıcında, katılımcıların yapacakları görevin kısa bir yazılı özeti ekranda sunulur ve deneyci katılımcılara bu görevi açıklar. Deneyde katılımcılardan duvara projeksiyonla yansıtılmış olan 3D erkek ve kadın modele beş evrensel duyguyu iletmeleri istenir. Katılımcıya, her bir duyguyu nasıl iletmek istediği hakkında düşünmesi ve daha sonra uygun gördüğü herhangi bir dokunma

şeklini kullanacak biçimde cihaz imlecini hareket ettirerek 3DS MAX'te modellenen deformatif erkek ve kadın insan modeline duyguyu iletme amacı ile temas etmesi istenir. Katılımcılar tek seferde yalnızca bir model üzerinde duygu iletme çalışması yaparlar ve modellerin duvara yansıtılma sıraları her katılımcı için randomize edilir. Ayrıca, iletilen beş duygu her katılımcı için rastgele sırayla verilir. Her bir duyguyu iletmeleri için katılımcılara 10 saniye verilir. Tüm denemelerde, bilgisayar monitörünün sağ üst köşesinde 10'dan geriye doğru sayan bir sayaç bulunur, böylece katılımcılar kayıt için ne kadar zamanları kaldığını her zaman bilir. Araştırmanın, modelin cinsiyeti ve ifade edilmesi istenen duygular olmak üzere iki bağımsız değişkeni bulunmaktadır. Araştırmanın dizaynı 2x5 denek içi dizayndır. Deneysel uygulama OpenHaptics açık kaynak ara yüzü kullanılarak C++'ta yazılmıştır. Katılımcıların insan modeline dokunma yerleri (konumları), ortalama dokunma kuvveti, ortalama dokunma hızı, bu dokunuşu gerçekleştirme için geçen ortalama süre olan bağımlı değişkenler ise çıkış parametreleri olarak belirlenir. Cihazın konum, kuvvet, hız ve süre çıktıları dosya olarak kaydedilir. Konum, kuvvet ve hız parametreleri, toplam örnek sayısı kadar satıra ve Şekil 3.5'te verilen, üç boyutlu uzayda  $x$ ,  $y$  ve  $z$  eksenlerinde yer alan koordinatlar üç sütuna sahiptir. Süre parametreleri ise toplam örnek sayısı kadar satırdan ve tek sütundan oluşmaktadır. Konum çıktılarının  $x$  ve  $y$  bileşenlerinin, kadın ve erkek model için MATLAB'da grafikleri çizdirilip, katılımcılar arası benzerlik yönünden herhangi bir gruplandırma yapıp yapılamayacağı gözlemlenir. Bu potansiyel fark ve benzeşimleri değerlendirmek için iki faktörlü tekrarlı ölçümler varyans analizi (two-way repeated measures ANOVA) yapılır.



Şekil 3.5 : Koordinat sistemi ve bileşenleri

$F_i$  ile gösterilen kuvvet vektörünün şiddeti, her bir duygu için o satırdaki kuvvet bileşenlerinin karelerinin toplamının kareköküne eşittir.  $\Delta F$  ile gösterilen ortalama kuvvet yoğunluğu ise her bir satırda yer alan kuvvet vektörünün şiddetlerinin ortalamalarına eşittir. Yüksek çözünürlüklü saat tarafından, milisaniye bazında alınan toplam örnek sayısı  $n$  harfi ile ifade edilmiştir.

$$F_i = \sqrt{F_{xi}^2 + F_{yi}^2 + F_{zi}^2} \quad (3.21)$$

$$\Delta F = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \quad n = \text{toplam örnek sayısı} \quad (3.22)$$

$v_i$  ile gösterilen hız vektörünün şiddeti,  $v_1, v_2, \dots, v_n$  ile ifade edilen her bir duygu o satırdaki hız bileşenlerinin karelerinin toplamının kareköküne eşittir.  $\Delta v$  ile gösterilen ortalama hız ise her bir satırda yer alan hız vektörünün şiddetlerinin ortalamalarına eşittir.

$$v_i = \sqrt{v_{xi}^2 + v_{yi}^2 + v_{zi}^2} \quad (3.23)$$

$$\Delta v = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad n = \text{toplam örnek sayısı} \quad (3.24)$$

$t$  ile gösterilen süre, her bir duygu için son temas sırasında ölçülen değer ile ilk temas sırasında ölçülen değer farkına eşittir.

$$t = t_n - t_1 \quad n = \text{toplam örnek sayısı} \quad (3.25)$$

Yukarıda verilen hesaplamalar sonucu hız, kuvvet ve süre parametreleri için, 20 satır ve 10 sütundan oluşan veriler çizelgeleştirilerek (20×10), cinsiyet ve duygu temel etkiler, cinsiyet×duygu interaksiyon etkisi olmak üzere SPSS'te iki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA analizi yapılmıştır. İki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA analizi için deney verileri Çizelge 3.1'deki gibi tablolaştırılmıştır.

Çizelge 3.1 : İki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA analizi için deney veri tablosu

Katılımcı	Kadın					Erkek				
	Mutluluk	Öfke	Hüzün	Korku	İğrenme	Mutluluk	Öfke	Hüzün	Korku	İğrenme
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

### 3.5 SPSS

Sosyal bilimler için istatistiksel paket programının (Statistical Package for the Social Sciences) lansmanı ilk olarak 1968'de yapılmıştır. SPSS Java platformunda çalışırken Mac, Windows ve Linux işletim sistemleriyle uyumludur. SPSS her tür veri analizi ve düzenlemesi için kullanılan bir programdır. Bu veri: bilimsel araştırma, müşteri veritabanı veya web sunucusunun içerisinde yer alan log dosyalarından gelebilir. SPSS genel olarak yapılandırılmış veri dosyaları olarak adlandırılan OpenOffice ve MS Excel gibi elektronik çizelge programları, düz metin dosyası ve bağlantılı veri tabanları gibi tüm dosya formatlarını açabilir. Bu çalışmada veri tablolaştırılması MS Excel programında yapılmıştır. SPSS'te veri türüne göre uygun analiz yöntemi belirlenmelidir. Veri özelliklerine bağlı olarak temel analiz yöntemleri, parametrik veriler için kullanılan analiz yöntemleri ve parametrik olmayan veriler için analiz yöntemleri olmak üzere iki grupta incelenebilir. Varyans analizi, pearson korelasyonu ve t-testi, parametrik veriler için kullanılan analiz yöntemleri olarak gösterilebilirken; spearman korelasyonu, ki-kare testleri ve rusn testi parametrik olmayan veriler için kullanılan analiz yöntemleri arasında gösterilebilir. Bu çalışmada iki faktörlü tekrarlı ölçümler varyans analizi yapılmıştır.

#### 3.5.1 İki faktörlü tekrarlı ölçümler varyans analizi

İki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA (iki faktörlü tekrarlanan ölçümler ANOVA veya denek içi ANOVA) denek faktörleri içinde iki gruba bölünmüş gruplar arasındaki (bağımsız değişkenler) ortalama farklılıkları karşılaştırır. İki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA, iki veya daha fazla zaman noktasında bağımlı bir değişkenin ölçüldüğü çalışmalarda veya denekler iki veya daha fazla koşula maruz kaldığında kullanılır. İki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA'nın temel amacı, bağımlı değişken üzerinde bu iki faktör arasında bir etkileşim olup olmadığını anlamaktır. İki faktörü ayrı ayrı analiz etmek yerine aynı anda analiz etmenin daha verimli olması iki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA'nın avantajları arasındadır. Bu çalışmada model cinsiyeti ve ifade edilmesi istenen duygular olmak üzere iki bağımsız değişken yer almaktadır. Model cinsiyeti erkek ve kadın olmak üzere iki türe ayrılırken, ifade edilmesi istenen duygular mutluluk, öfke, hüzn, korku ve iğrenme olmak üzere beş türe ayrılır. Tüm katılımcılar ifade edilmesi istenen duyguları kadın ve erkek model üzerinde ileticeği için araştırmanın dizaynı 2x5 denek içi dizayndır. Cinsiyet ve duygu temel etkileri, cinsiyet×duygu interaksyon etkisini temsil etmektedir. Bağımlı

değişkenler dokunma konumu, ortalama dokunma kuvveti yoğunluğu, ortalama dokunma hızı ve ortalama dokunulan süredir. Cinsiyet ve duygu temel etkilerinin beraber bağımlı değişken üzerinde yaptıkları etkiye interaksiyon etkisi denir. Küresellik varsayımı, denek içi faktörün tüm mümkün kombinasyonları için hesaplanan fark puanlarının evrendeki varyanslarının eşit olduğu varsayımdır. Bu çalışmada küresellik varsayımı SPSS'te Mauchly testi ile test edilmiştir. Küresellik varsayımının sağlanmaması tekrarlı ölçümler ANOVA testinin birinci tip hatasında artışa neden olması dolayısıyla testin gücünün düşmesine neden olur. Bu çalışmada güven aralığı %95 olarak belirlenmiştir. İki faktörlü tekrarlı ölçümler varyans analiz sonuçları olan bağımlı değişkenlerin ortalamaları ve standart hataları dördüncü bölümde raporlanmış ve yorumlanmıştır.

### 3.6 Türetilmiş Parametreler

**Konum:** Bu ölçüm, x-y düzleminde cihaz imlecinin pozisyonunun modele temas bölgesini göstermektedir.

**Ortalama Dokunma Hızı:** Bu ölçüm, katılımcıların cihaz imlecini hareket ettirdiği ortalama hızdır. Düşük değer, katılımcıların cihaz imlecini yavaşça hareket ettirdiği anlamına gelirken, yüksek değer katılımcıların cihaz imlecini çok hızlı hareket ettirdiği anlamına gelmektedir.  $\Delta v$  sembolü ile gösterilmektedir.

**Ortalama Dokunma Hızının Standart Hatası:** Bu ölçüm, katılımcıların imleci hareket ettirme hızlarının standart hatasıdır.

**Ortalama Dokunma Süresi:** Bu ölçüm, katılımcıların her bir duyguyu iletmek için insan modeline dokunduğu ortalama süredir.  $\Delta t$  sembolü ile gösterilmektedir.

**Ortalama Dokunma Süresinin Standart Hatası:** Bu ölçüm, katılımcıların imleci hareket ettirme sürelerinin standart hatasıdır.

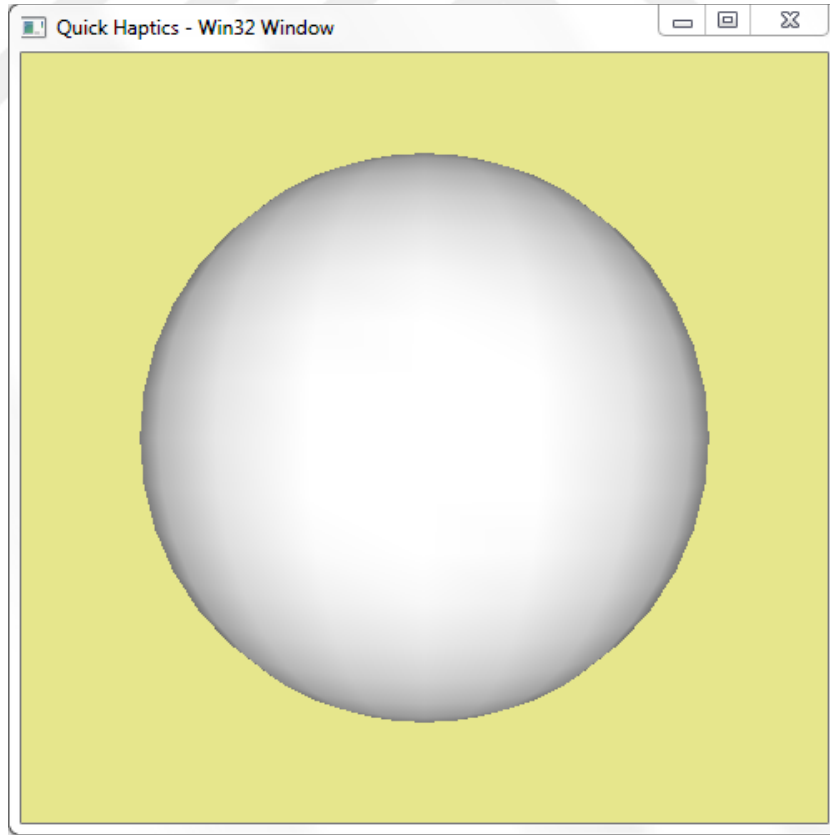
**Ortalama Dokunma Kuvveti Yoğunluğu (Şiddeti):** Bu ölçüm, katılımcıların her bir duyguyu iletmek için insan modeline dokunma yoluyla uyguladığı ortalama kuvvet yoğunluğudur.  $\Delta F$  sembolü ile gösterilmektedir.

**Ortalama Dokunma Kuvveti Yoğunluğunun Standart Hatası:** Bu ölçüm, katılımcıların imleci hareket ettirdikleri ortalama kuvvet yoğunluklarının standart hatasıdır.



### 3.7 Katılımcı Eğitimi

Katılımcıların haptik cihazın kuvvet geri beslemesine alışmaları ve cihazın uç işlevcisi olarak simüle edilen imlecin dönme ve ötelenme hareketini sağlayarak modele temas etmek istedikleri bölge üzerinde alıştırma yapmaları için, deney öncesi bir katılımcı eğitimi yapılmıştır. Katılımcılardan Şekil 3.6'da görülen küre modeline temas etmeleri istenerek modelin dokunsal algısını kuvvet geri beslemesi yoluyla hissetmeleri sağlanmıştır. Aynı zamanda imleç ile küre modelinin spesifik bir bölgesine dokunması istenmiştir. Bunun sebebi deney sırasında duvara yansıtılacak kadın ve erkek modellerinin istenmeyen bir bölgesine temasının engellenmek istenmesidir. Katılımcılara deney öncesi alıştırma amacıyla yapılan bu eğitim için verilen süre iki dakikadır. Katılımcı eğitim uygulaması OpenHaptics açık kaynak arayüzü kullanılarak C++'ta yazılmıştır. Şekil 3.6'da gösterilen küreyi içeren QuickHaptics mikro arayüz varsayılan (default) ekran penceresi 500 x 500 piksel boyutundadır. Varsayılan arka plan rengi kremdir. Orjine yerleştirilmiş varsayılan 0,5 birim yarıçapında bir küre oluşturulmuştur.



Şekil 3.6 : Küre modeli

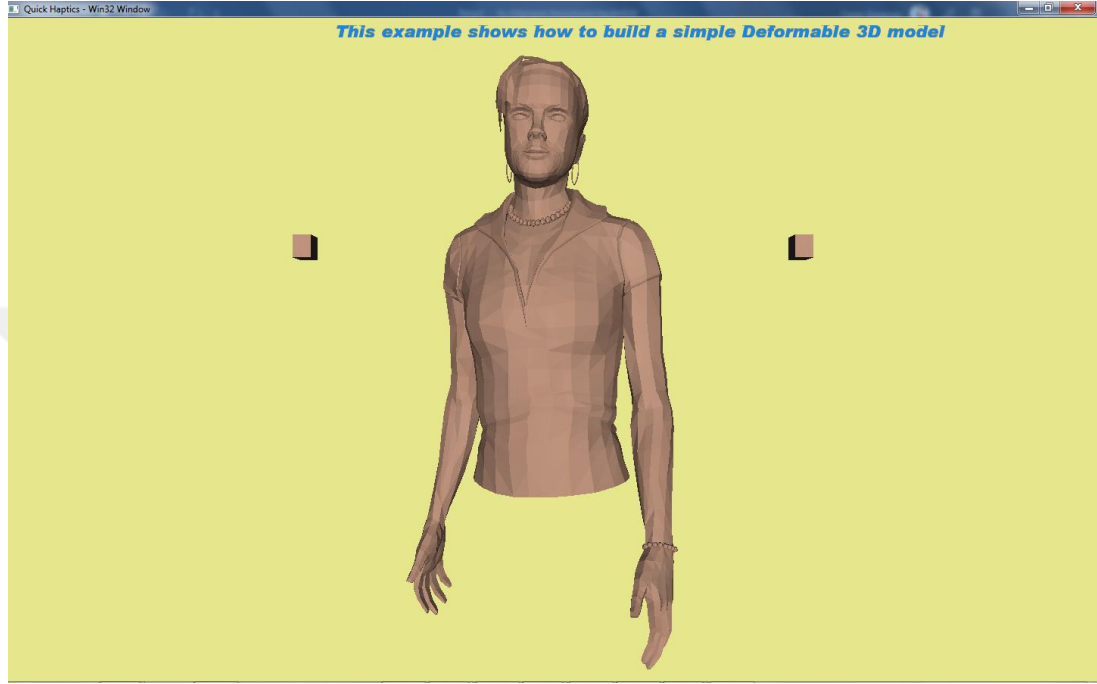
Katılımcı eğitimi için yapılan programlamaya dair akış şeması Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



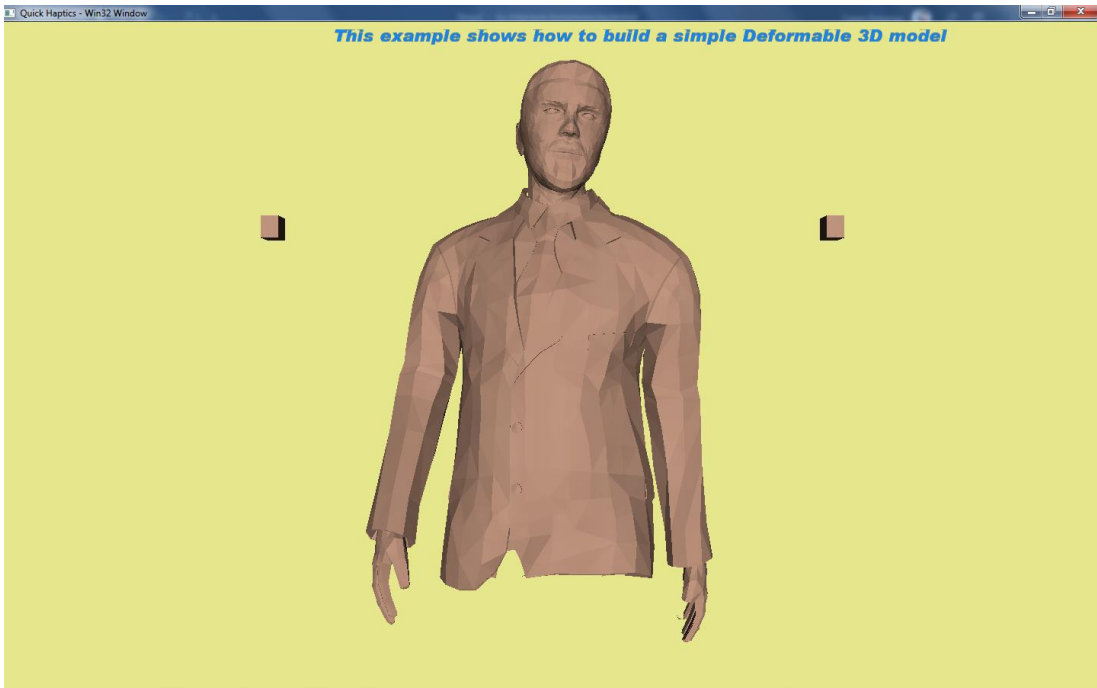
Şekil 3.7 : Katılımcı eğitimi programlaması için kullanılan akış şeması

### 3.8 Deney

Katılımcıların deney sırasında rastgele gördükleri kadın ve erkek modeller sırasıyla Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmiştir. Kadın ve erkek modelin sağ ve sol tarafına pozisyonlanmış kareküp modelleri, en/boy oranına göre konumlandırılan modellerin pencerelemeye sığdırılmasını amaçlamaktadır.



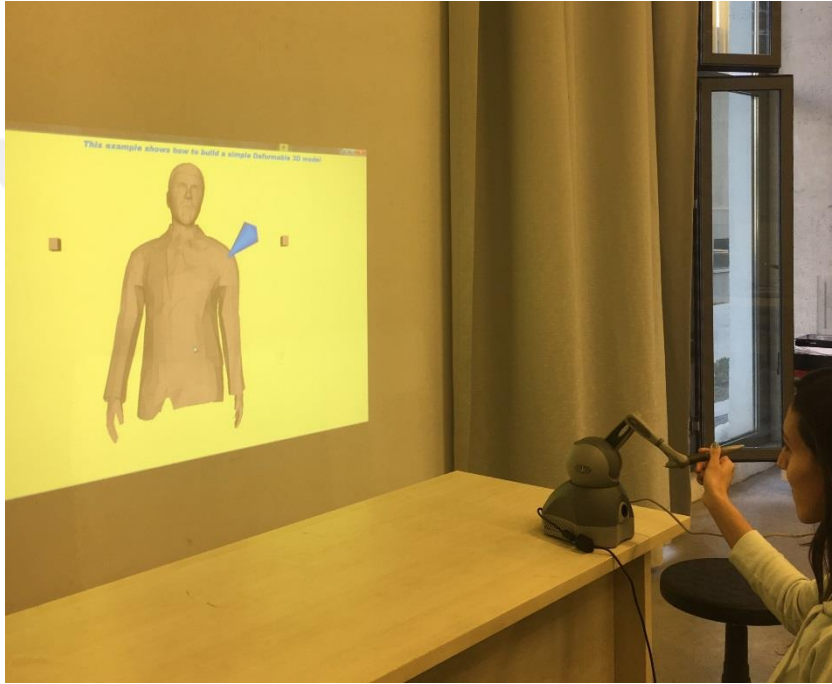
Şekil 3.8 : Kadın model



Şekil 3.9 : Erkek model

Şekil 3.8’de verilmiş kadın model, boyutları 980×450×255 mm’lik (yükseklik x genişlik x derinlik) bir çalışma hacimine sığacak şekilde konumlandırılmıştır. Sanal ortamda simüle edilen modelin gerçeklik kazanmasını destekleyeceği düşünülerek (iki ayağının yere temas eden orta noktasından kafasının sonuna kadar) boyu 1700 mm olarak modellenmiştir.

Şekil 3.9’da verilmiş erkek model, boyutları 1000×635×295 mm’lik (yükseklik x genişlik x derinlik) bir çalışma hacimine sığacak şekilde konumlandırılmıştır. Resim 3.2, katılımcının erkek model üzerindeki duygu iletimini göstermektedir.



Resim 3.2 : Erkek model üzerindeki duygu iletimi

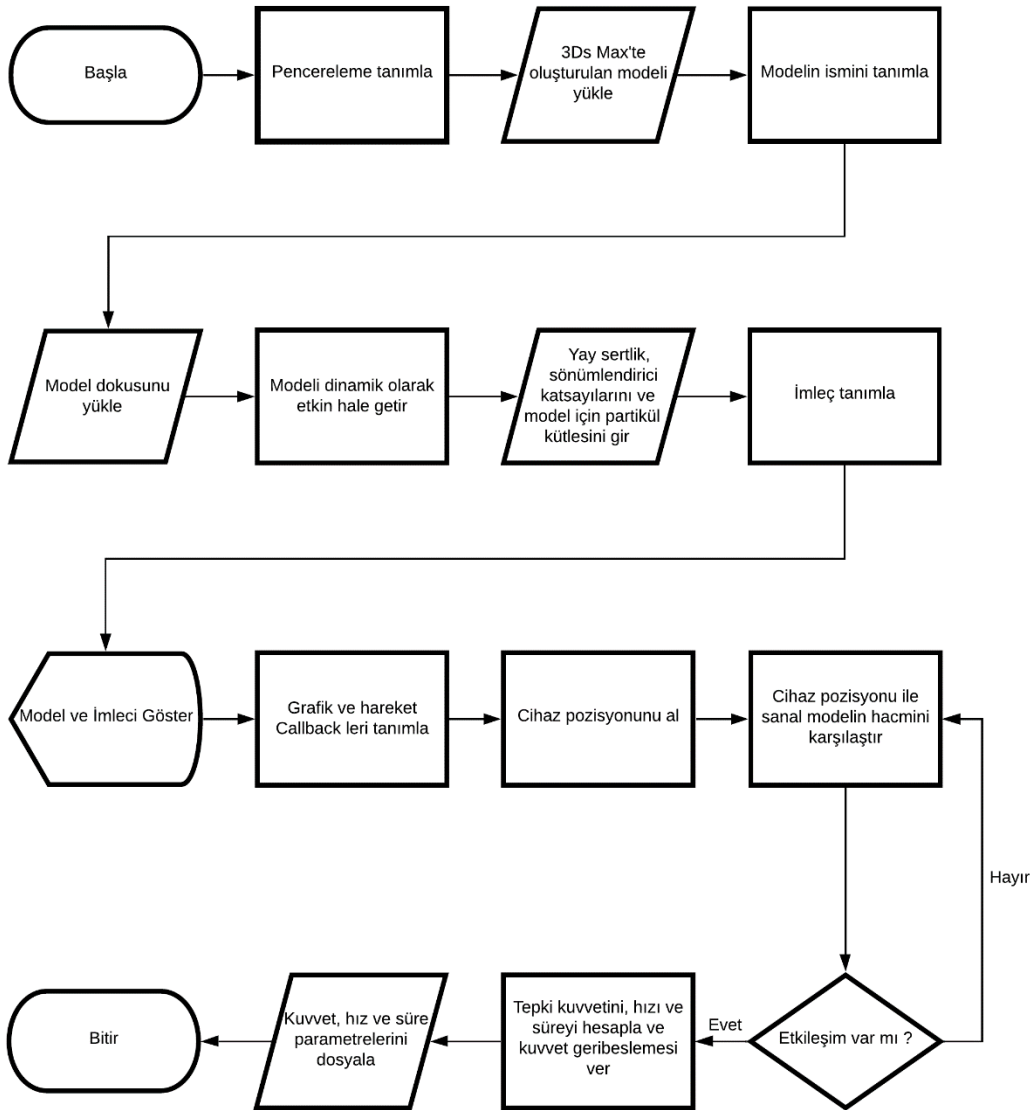
Bu çalışmada, katılımcı 3D insan modeline dokunduğunda, modelin yüzeyi dokunsal imleç konumunda içe doğru bükülür veya deforme olur. Kuvvet alındığında, modelin yüzeyi ileri geri esner, ancak sonunda orijinal konumuna geri döner. Deformasyon özellikleri yalnızca şekil sınıfında yer alan TriMesh alt sınıfı yardımı ile uygulanabilir. Ana program içinde 3D model yüklenir ve dokunsal imleç tanımlanır. Model şekli değiştiğinden, programda model dinamik olarak etkin hale getirilir. Bu özellik model için gerçek (true) değerine ayarlanmazsa, program GraphicsCallback'te deformasyon hesaplamaları yapmaya devam eder, ancak bunları grafiksel olarak oluşturmaz. TriMesh şekillerinin kenarları ve köşeleri basit bir kütle yayı ağı olarak yorumlanır; yani üçgen köşeleri (parçacıklar olarak da bilinir) üçgen kenarlar

boyunca sanal yaylarla birbirine bağlanır. Tüm yaylar için parametreler aynıdır ve verilen standart kuvveti sağlar.

$$F = kx - Bv \quad (3.26)$$

setSpringStiffness, parçacıklar (k) arasındaki "yaylanma (esneklik)" gücünü ayarlar; yüksek bir değer, her parçacık arasındaki yay bağının çok güçlü olduğu anlamına gelir. setSpringDamping, sönümlenme faktörünün (B) yayaların sıçrama veya geri tepme etkisini ne kadar hızlı engelleyeceğini ayarlar. Daha yüksek bir değer, dokunmadan sonra imleci modelin yüzeyinden serbest bıraktıktan sonra oluşan esneme miktarını azaltır. setMass, modeldeki her partikülün kütlesini ayarlar. Parçacıkların kütlesi büyük bir değer olarak ayarlanmışsa ve setSpringStiffness değişmemişse, parçacıklar arasındaki yaylar parçacıkları çekmekte daha zorlanır. SetMass büyük bir değer olarak ayarlanmışsa ve setSpringStiffness düşük ayarlanmışsa, ağır kütlelerin çok zayıf bir yay tarafından dayanak noktasına tutturulması anlamına gelir. Ana program GraphicsCallback ve MotionCallback olmak üzere iki geri çağırma işlevini çağırır. GraphicsCallback, "İnsan Modeli" nesnesini bulmak için searchTrimesh ögesini kullanır ve yerel işaretçiyi ModelPointer değişkenine döndürür. Daha sonra elastik modelin yüzeyindeki mevcut yer değiştirme miktarını hesaplamak için varsayılan deformasyon işlevini kullanır ve bunu grafiksel olarak oluşturur. Deformasyon işlevi, çağrılar arasında geçen "gerçek zaman" miktarına bağlı olarak, bir zaman adımıyla Euler entegrasyonunu kullanır. Yüzey, kullanıcı orijinal deforme olmamış duruma geri dönene kadar dokunaklı bir şekilde dokunduktan sonra bir süre boyunca deforme kalabilir. GraphicsCallback, kullanıcının insan modeline dokunup dokunmadığına bakmaksızın, deformasyon durumunun herhangi bir zamanda doğru şekilde yapılmasını sağlar. Buna karşılık, MotionCallback yalnızca dokunsal imleç modelin yüzeyine temas ettiğinde çağırılır. "İnsan Modeli" nesnesini, dokunsal imleci ("OmniCursor") ve varsayılan dokunsal aygıtı ("DefaultDevice") bulmak için aynı arama işlevini kullanır ve işaretçileri yerel değişkenlere (sırasıyla ModelPointer, OmniCursorPointer ve SpacePointer) döndürür. SpacePointer, oluşturulan kuvvetler hakkındaki verileri içeren varsayılan dokunsal cihaz bir işaretçisidir. GetPosition () işlevi, dokunsal imlecin geçerli konumunu almak için kullanılır ve getForce () işlevi, dokunsal aygıt tarafından uygulanan mevcut kuvvetleri almak için kullanılır. Veriler sırasıyla CPosition ve

Force değişkenlerine atanmıştır. Hız değişkeni dokunsal imlecin konumunun birim zamanda yaptığı yer değiştirmesini temsil ederken, süre değişkeni modele temas anından itibaren yüksek çözünürlüklü kronometre tarafından alınan değeri temsil etmektedir. Son olarak, deformasyon Fonksiyonu, dokunsal imleç konumuna kuvvet uygulanmasının neden olduğu deformasyonu hesaplamak için CPosition ve Force parametreleriyle çağrılır. Sonuç olarak Euler entegrasyonu 1/30 saniyelik sabit bir zaman aşaması ile gerçekleştirilir. Programa ait akış şeması Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Programa ait akış diyagramı

#### **4. DENEY SONUÇLARI**

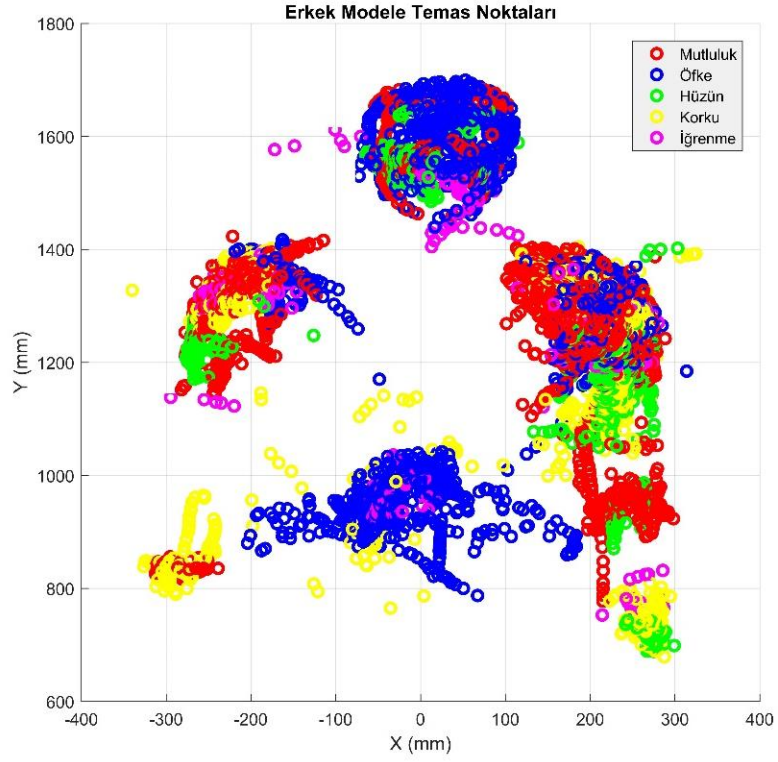
Modelin cinsiyeti ve ifade edilmesi istenen beş evrensel duygu olmak üzere iki bağımsız değişken ve çalışma sonucunda alınan ölçümler (dokunma konumu, dokunma kuvveti yoğunluğu, dokunma hızı ve dokunulan süre) bağımlı değişkenler olan iki faktörlü tekrarlı ölçümler varyans analizi yapılmıştır. Alınan ölçümlere göre yapılan istatistiksel incelemeler aşağıdaki gibidir.

##### **4.1 Dokunma Konumu**

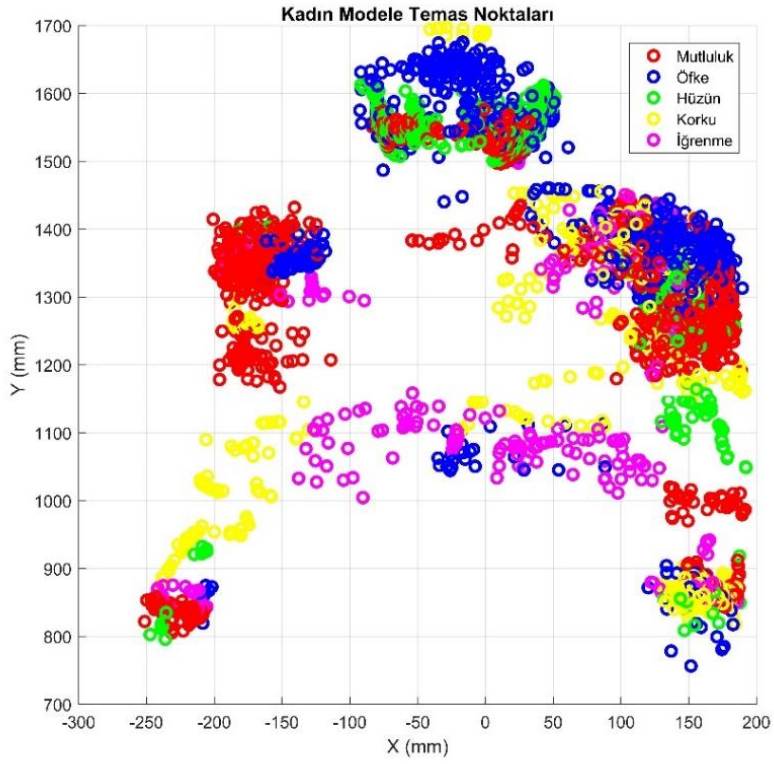
Katılımcıların beş evrensel duyguya göre erkek modele, temas noktaları Şekil 4.1’de verilmiştir. Erkek modele, mutluluk duygusunun iletilmesi sırasında en çok omuza ve alt kola temas edildiği görülmüştür. Öfke duygusunun iletilmesi sırasında ise temas noktalarının yüz ve karın bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca, hüznün duygusunun iletilmesi sırasında temas noktalarının yüzde ve üst kolda yoğunlaştığı görülmektedir. Aktif duygular olarak tanımlanan mutluluk ve öfke duygularının erkek model üzerindeki temas noktalarının, pasif duygular olarak tanımlanan hüznün, korku ve iğrenme duygularına göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Katılımcıların beş evrensel duyguya göre kadın modele, temas noktaları Şekil 4.2’de verilmiştir. Kadın modele korku duygusunun iletimi sırasında en çok ele temas edildiği görülmüştür. Her ne kadar öfke duygusunun iletimi sırasında kadın modelin yüz bölgesine de temas edildiği görülse de, erkek modelin yüz bölgesi kadar yoğun olmadığı açıkça görülmektedir. Bu durum katılımcıların kadın modelin yüzüne temasından, öfke gibi aktif bir duygu iletimi söz konusu olsa dahi, kaçınması olarak yorumlanabilir.

Erkek ve kadın modele temas noktalarını içeren temas noktası grafiklerinden de anlaşılacağı gibi, beş farklı duyguyu iletirken kadın modele daha az temas edilmiştir.



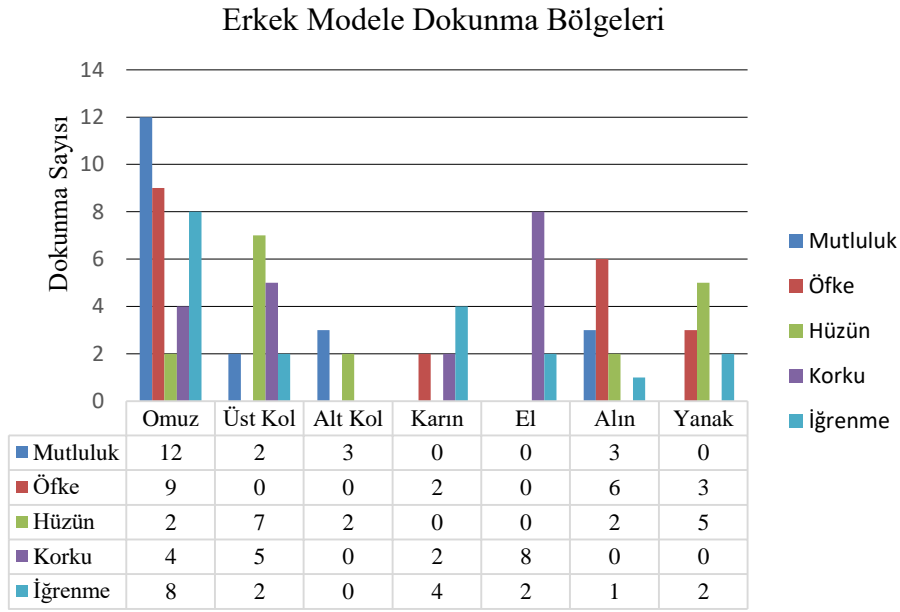
Şekil 4.1 : Erkek modele temas noktaları



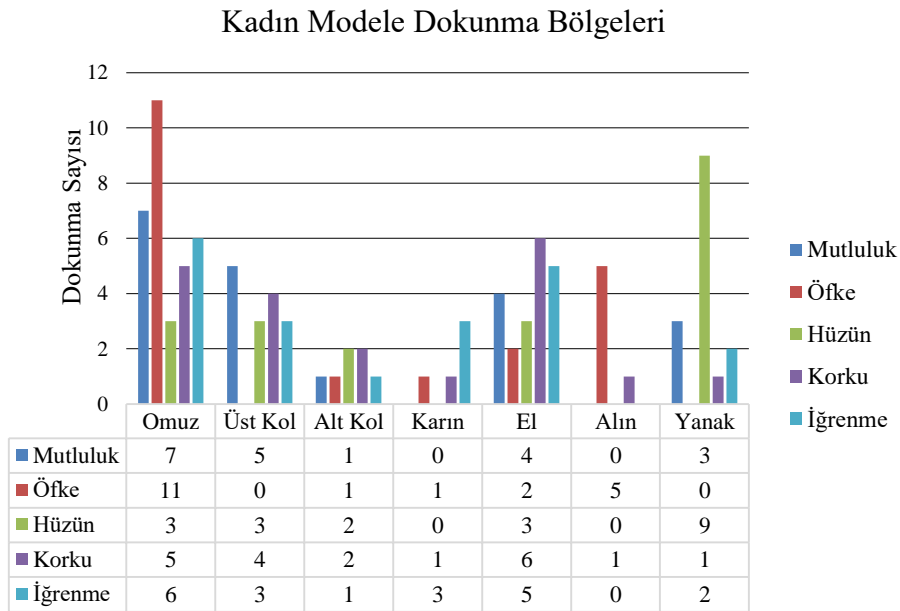
Şekil 4.2 : Kadın modele temas noktaları



Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 karşılaştırıldığında, öfke duygusunun iletimi sırasında ise erkek modelin karın bölgesine, kadın modelin karın bölgesinden daha fazla temas edildiği görülmektedir. Erkek modele hüzün duygusu iletimi sırasında yoğunluklu olarak üst kola temas edildiği görülürken, kadın modelin yanak bölgesine temas edildiği görülmektedir. Mutluluk duygusunun iletimi sırasında erkek modelin alın bölgesine temas edildiği görülürken, kadın modelde alın bölgesine hiç temas edilmemiş yüz bölgesinden yalnızca yanak bölgesine temas edilmiştir.



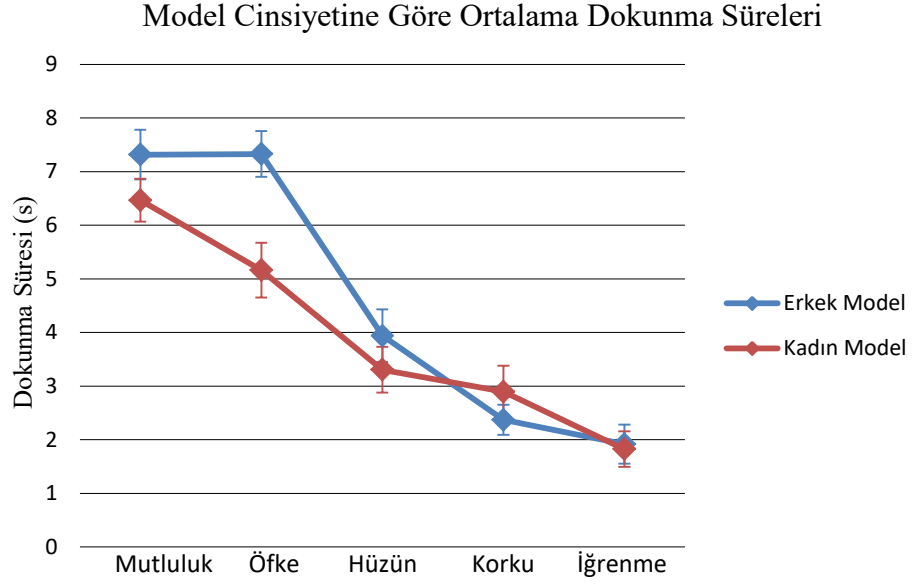
Şekil 4.3 : Erkek modele dokunma bölgeleri



Şekil 4.4 : Kadın modele dokunma bölgeleri

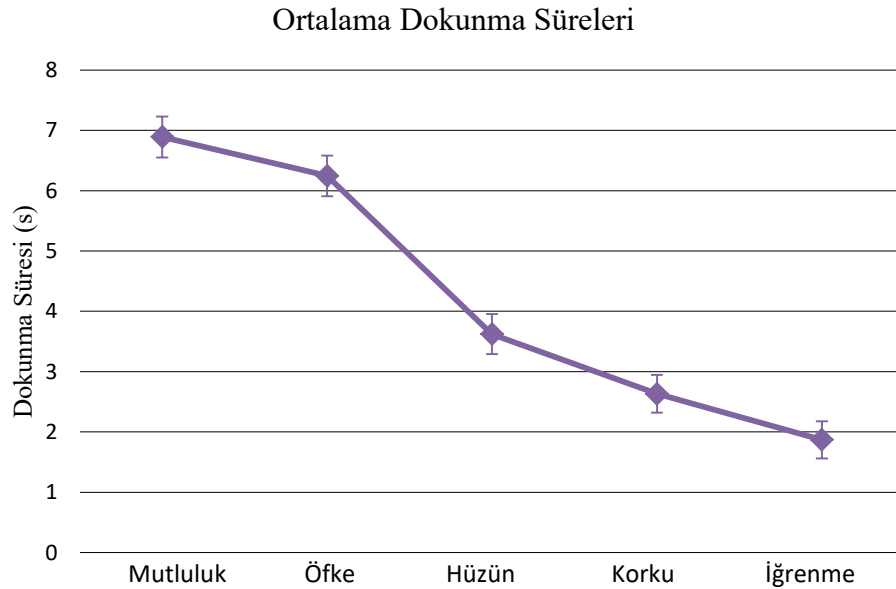
## 4.2 Dokunma Süresi

Katılımcıların beş evrensel duyguya göre erkek ve kadın modele, duygulara ve modelin cinsiyetine göre ortalama dokunma süreleri ve standart hataları Şekil 4.5'te verilmiştir. Modelin cinsiyeti ve duyguların, dokunma süresi üzerindeki etkisinin anlamlı olup olmadığını test etmek amacıyla iki faktörlü tekrarlı ölçümler varyans analizi (two-way repeated measures ANOVA) yapılmıştır. Güven aralığı %95 olarak belirlenmiştir. Mauchly test ile küresellik varsayımının sağlanıp sağlanmadığına bakılmıştır. Bu varsayımına göre her uygulama durumundaki puanların diğer uygulama durumlarındaki puanlar ile korelasyonları aynı değerdir. Bu testin anlamlı bulunmaması ( $p > 0.05$ ) küresellik varsayımının sağlandığı anlamına gelir. Analiz sonucuna göre, katılımcılardan sağlanan veride küresellik varsayımı sağlanmış olduğu görülmüştür. Grup içi etkiler testine göre cinsiyet ve duygunun dokunma süresi üzerindeki temel etkisinin anlamlı olduğu ( $F(1,19)=4.706$ ,  $F(4,76)=53.020$ ,  $p < 0.05$ ) bulunmuştur. Cinsiyet×duygu interaksiyon etkisinin de anlamlı olduğu ( $F(4,76)=4.003$ ,  $p < 0.05$ ) bulunmuştur. Bonferroni yöntemi kullanarak beş duygu arasında çoklu karşılaştırma yapılmıştır. İstatiksel sonuçlara göre, mutluluk duygusunun öfke duygusuna göre dokunma süresi bakımından anlamlı bir farklılık olmadığı gözlemlenirken, hüznün, korku ve iğrenme duygularına göre anlamlı bir farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Hüznün, korku ve iğrenme olarak adlandırılan pasif duyguların ise kendi aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadığı gözlemlenirken, aktif duygular olan mutluluk ve öfkeye göre anlamlı bir farklılık bulunduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.5'teki değerlerden, aktif duygular olarak adlandırılan mutluluk ve öfkenin model üzerindeki dokunma sürelerinin, pasif duygular olarak adlandırılan hüznün korku ve iğrenmeden anlamlı derecede fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca grafikteki değerlerden korku duygusu hariç diğer duygularda kadın modele dokunma süresinin erkek modele dokunma süresinden daha az olduğu görülmektedir. Katılımcıların kadın ve erkek modele dokunma sürelerinin standart hataları benzerlik göstermekle beraber, öfke duygusu için kadın modele ortalama dokunma süresinin standart hatasının erkek modele ortalama dokunma süresinin standart hatasından daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Model cinsiyeti farkı gözetmeksizin, katılımcıların beş farklı duyguya göre modele ortalama dokunma süreleri ve standart hataları Şekil 4.6'da verilmiştir.



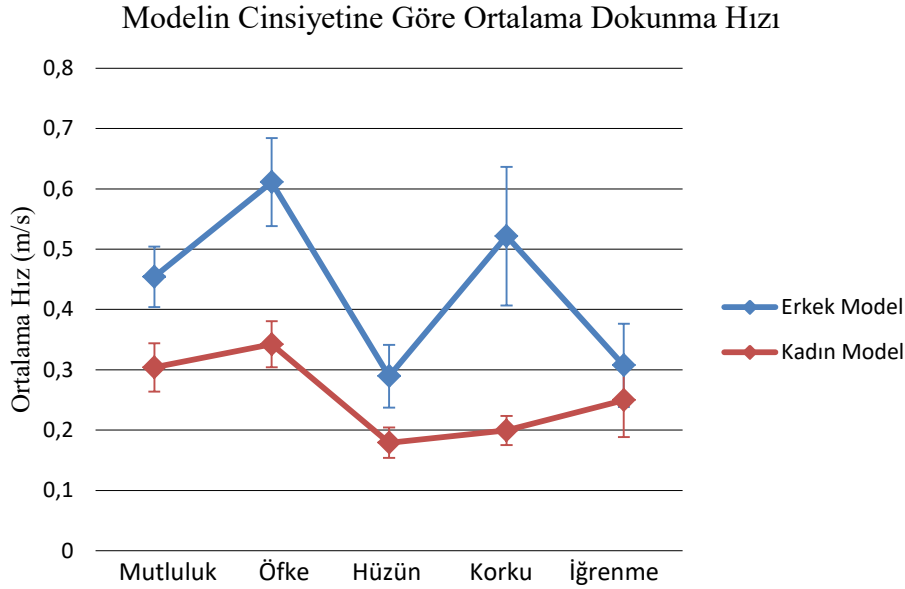
Şekil 4.5 : Katılımcıların duygulara ve model cinsiyetine göre ortalama dokunma süreleri ve +/- 1 standart hataları

Katılımcıların ortalama temas sürelerinin en fazla ( $M=6.890$  s) mutluluk duygusunu iletirken ortaya çıktığı ölçülürken, en az temas süresi ( $M=1.869$  s) iğrenme duygusunu iletirken ölçülmüştür. Ortalama dokunma sürelerinin standart hatasının en yüksek mutluluk duygusunda olduğu gözlemlenirken ( $SE=0,340$ ) en düşük ise iğrenme duygusunda ( $SE=0,308$ ) olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.6 : Katılımcıların duygulara göre ortalama dokunma süreleri ve +/- 1 standart hataları

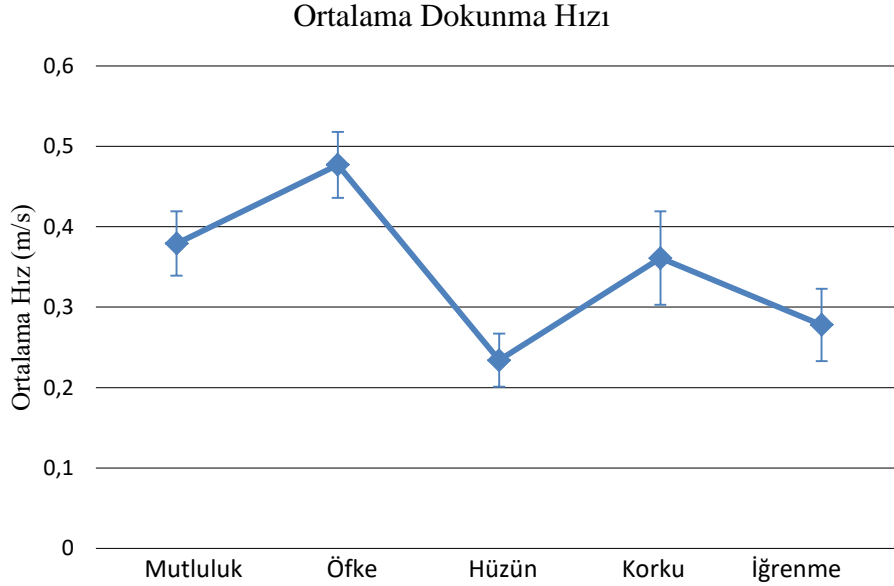
### 4.3 Dokunma Hızı



Şekil 4.7 : Katılımcıların duygulara ve model cinsiyetine göre ortalama dokunma hızları ve +/- 1 standart hataları

Katılımcıların beş evrensel duyguya göre erkek ve kadın modele, duygulara ve modelin cinsiyetine göre ortalama dokunma hızları ve standart hataları Şekil 4.7’de verilmiştir. Modelin cinsiyeti ve duyguların, dokunma süresi üzerindeki etkisinin anlamlı olup olmadığını test etmek amacıyla iki faktörlü tekrarlı ölçümler varyans analizi (two-way repeated measures ANOVA) yapılmıştır. Güven aralığı %95 olarak belirlenmiştir. Mauchly test ile küresellik varsayımının sağlanıp sağlanmadığına bakılmıştır. Analiz sonucuna göre, ( $p>0.05$ ) katılımcılardan sağlanan veride küresellik varsayımı sağlanmış olduğu görülmüştür. Grup içi etkiler testine göre cinsiyet ve duygunun dokunma hızı üzerindeki temel etkisinin anlamlı olduğu ( $F(1,19)=24.401$ ,  $F(4,76)=5.043$ ,  $p<0.05$ ) bulunmuştur. Cinsiyet×duygu interaksiyon etkisinin ise anlamlı olmadığı ( $F(4,76)=1.819$ ,  $p>0.05$ ) bulunmuştur. Bonferroni yöntemi kullanarak beş duygu arasında çoklu karşılaştırma yapılmıştır. İstatistiksel sonuçlara göre, öfke duygusunun hüzün ve iğrenme duygusuna göre ortalama dokunma hızı bakımından anlamlı bir farklılık olduğu gözlemlenirken, mutluluk ve korku duygularına göre anlamlı bir farklılık olmadığı gözlemlenmiştir. Model cinsiyeti farkı gözetmeksizin, katılımcıların beş farklı duyguya göre modele ortalama dokunma hızları Şekil 4.8’de verilmiştir. Katılımcıların ortalama dokunma hızlarının en fazla ( $M=0.477$  m/s) öfke duygusunu iletirken ortaya çıktığı ölçülürken, en az dokunma hızı ( $M=0.33$  m/s) hüzün duygusunu iletirken

ölçülmüştür. Dokunulan ortalama hızın standart hatasının en yüksek korku duygusunda olduğu gözlemlenirken (SE= 0,058 ) en düşük ise hüznün duygusunda (SE=0,033) olduğu gözlemlenmiştir.

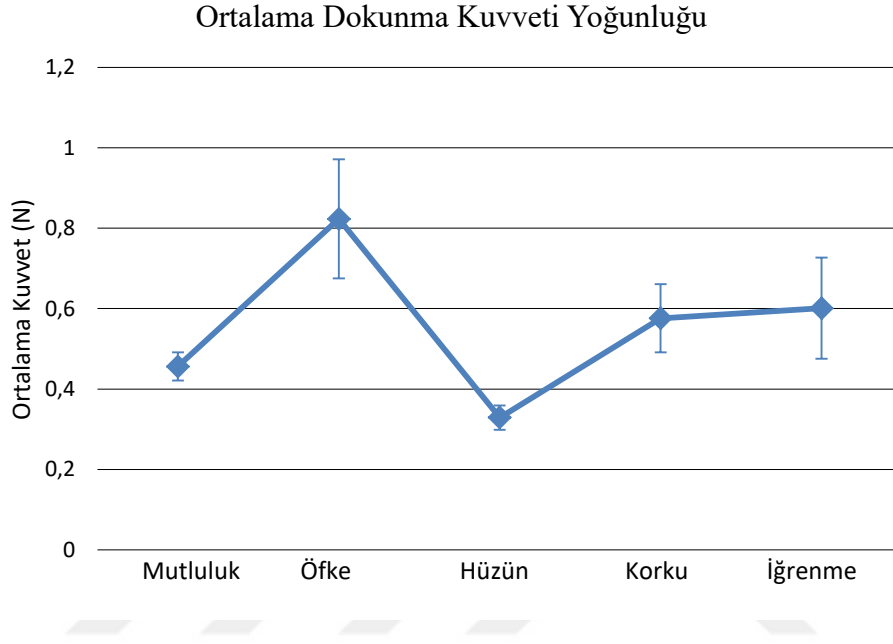


Şekil 4.8 : Katılımcıların duygulara göre ortalama dokunma hızları ve +/- 1 standart hataları

#### 4.4 Dokunma Kuvveti Yoğunluğu

Model cinsiyet farkı gözetmeksizin, katılımcıların beş farklı duyguya göre modele ortalama dokunma kuvveti yoğunluğu ve standart hataları Şekil 4.9’da verilmiştir. Modelin cinsiyeti ve duyguların, dokunulan kuvvet üzerindeki etkisinin anlamlı olup olmadığını test etmek amacıyla iki faktörlü tekrarlı ölçümler varyans analizi (two-way repeated measures ANOVA) yapılmıştır. Güven aralığı %95 olarak belirlenmiştir. Mauchly test ile küresellik varsayımının sağlanıp sağlanmadığına bakılmıştır. Analiz sonucuna göre, ( $p < 0.05$ ) katılımcılardan sağlanan veride küresellik varsayımı sağlanmamış olduğu görülmüştür. Bu varsayım sağlanmadığından dolayı Greenhouse-Geisser değeri kullanılmıştır. Grup içi etkiler testine göre cinsiyetin dokunulan kuvvet üzerindeki duygunun dokunma süresi üzerindeki temel etkisinin anlamlı olmadığı ( $F(1,19)=3.261, p > 0.05$ ) bulunmuştur. Duygu temel etkisinin ise anlamlı olduğu ( $F(2,430,46.161)=4.033, p < 0.05$ ) bulunmuştur. Cinsiyet×duygu interaksiyon etkisinin ise anlamlı olmadığı ( $F(1,922,36.524)=1.776, p > 0.05$ ) bulunmuştur. Bonferroni yöntemi kullanarak beş duygu arasında çoklu karşılaştırma yapılmıştır. Dokunulan kuvvet yoğunluğunun

standart hatasının en yüksek öfke ve iğrenme duygularında olduğu gözlemlenirken (SE= 0,148, SE=0,126) en düşük ise hüzün duygusunda (SE=0,03) olduğu gözlemlenmiştir. İstatiksel sonuçlara göre, öfke duygusunun hüzün duygusuna göre ortalama dokunma kuvvet yoğunluğu bakımından anlamlı bir farklılık olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.9 : Katılımcıların duygulara göre ortalama dokunma kuvveti yoğunluğu ve +/- 1 standart hataları

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Duygu iletme çalışmasından elde edilen sonuçlar, farklı duygular ifade edilirken türetilmiş ölçümler bakımından farklılıklar olduğunu ve bu varyansların anlamlı yollarla ölçülebileceğini göstermiştir. Mutluluk ve öfke gibi aktif duyguların dokunma sürelerinin fazla olduğu gözlemlenirken, hüznün, korku ve iğrenme gibi duyguların dokunma sürelerinin anlamlı derecede az olduğu gözlemlenmiştir. Dokunma hızı için öfke duygusunun mutluluk duygusuna göre anlamlı farklı olmadığı gözlemlenirken, hüznün ve iğrenme duygularına göre anlamlı farklı olduğu görülmüştür. Öfke ve hüznün duygularının ortalama dokunma kuvveti yoğunluğu bakımından anlamlı farklı olduğu görülmüştür. Özetlemek gerekirse, aktif duygu olan öfke duygusu uzun, hızlı ve kuvvet yoğunluğu fazla olarak tanımlanabilirken, pasif duygu olan hüznün duygusu kısa, yavaş ve kuvvet yoğunluğu az bir duygu olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda modelin cinsiyetinin, ortalama dokunma süresi ve ortalama dokunma hızı bakımından anlamlı farklı olduğu gözlemlenirken, ortalama dokunma kuvveti yoğunluğu bakımından anlamlı farklı olmadığı görülmüştür. Cinsiyet temel etkisinin anlamlı bulunması, farklı duygulara göre erkek ve kadın model üzerinde türetilen parametrelerin farklılık göstermesi anlamını bildirmektedir. Modelin cinsiyetinin dokunulan ortalama kuvvet yoğunluğu bakımından anlamlı farklı olmaması, katılımcıların sanal ortamda insan dijital temsillerine dokunma deneyimi gerçekleştirmesinden veya haptik cihazın dokunsal kuvvet geri besleme deneyimlerinin yeterli gelmemesine bağlı olabileceği düşünülmektedir. Duygu×cinsiyet interaksiyon etkisinin ise, dokunma süresi bakımından anlamlı farklı olduğu gözlemlenirken, ortalama dokunma hızı ve ortalama dokunma kuvveti yoğunluğu bakımından anlamlı farklı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Daha açıklayıcı olmak gerekirse duygu×cinsiyet interaksiyon etkisinin anlamlı bulunması, farklı duygulara göre erkek ve kadın model üzerindeki türetilmiş parametre değişimlerinin de farklılık gösterdiği anlamına gelmektedir. Katılımcılardan, beş farklı duygunun iletimi sırasında alınan parametreler türetilerek duyguların karakterize edilmesine yardımcı olması amacıyla nicel olarak karşılaştırılıp yorumlanmıştır.

Katılımcıların mutluluk duygusunu iletirken heyecan ve coşkunluk yaşayacağı ve bu duygunun aktif bir duygu olduğu varsayımı yapılmıştır. Mutluluk duygusunun iletimi sırasında, katılımcıların erkek ve kadın modelin omuz bölgesine yoğun olarak temas ettiği görülmüştür. Aynı zamanda, bu duygu iletilirken yüz bölgesinde kadın modelin yanağına temas edildiği görülürken, erkek modelin alınına temas edildiği görülmüştür. Katılımcıların bu duyguyu iletirken dokunma süresinin diğer duygulara göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşılrken, dokunma süresinin standart sapmasının da diğer duygulara göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, hüzün duygusundan sonra ortalama kuvvet yoğunluğu en az olan duygudur. Sonuçlar, çalışma öncesi yapılan varsayımı desteklemektedir.

Katılımcıların öfke duygusunu iletirken, bilişsel bir gerginlik yaşayacağı bunun sonucunda ise fizyolojik bir aktivasyon gösterecekleri varsayımı yapılmıştır. Öfke duygusunun iletimi sırasında katılımcıların sırasıyla en çok omuz ve yüz bölgesine temas ettiği görülmüştür. Ayrıca, bu duyguyu iletirken erkek modelin yüz bölgesine kadın modele göre daha fazla temas edildiği görülmüştür. Katılımcıların bu duyguyu iletirken dokunma kuvveti yoğunluğunun diğer duygulara göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşılrken, dokunma kuvveti yoğunluğunun standart hatasının da diğer duygulara göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşıması bu varsayımı desteklemiştir.

Katılımcıların hüzün duygusunu iletirken bilişsel ve davranışsal aktivitelerinde düşüş görüleceği ve katılımcılarda sosyal destek arama algısı oluşturacağı varsayımı yapılmıştır. Hüzün duygusunun iletimi sırasında, erkek modelin en çok omuz bölgesine temas edildiği görülürken, kadın modelin yanak bölgesine temas edildiği görülmüştür. Ayrıca bu duygunun ortalama dokunma hızının ve dokunma kuvveti yoğunluğunun en az olması bu varsayımı desteklemiştir.

Katılımcıların korku duygusunu iletirken tehlikeli durumlardan kaçma eğilimi göstereceği varsayımı yapılmıştır. Korku duygusunun iletimi sırasında, kadın modelin en çok el ve omuz bölgesine temas edildiği görülürken, erkek modelde el ve üst kol bölgesine temas edildiği görülmüştür. Ayrıca, öfke duygusundan sonra ortalama dokunma hızı en yüksek duygu olması bu varsayımı desteklemiştir.

İğrenme duygusunun pasif bir duygu olduğu ve katılımcıların duygu iletimi sırasında bariz bir isteksizlik yaşayacağı varsayımı yapılmıştır. İğrenme duygusunun iletimi sırasında kadın ve erkek modelin en çok omuz bölgesine temas edildiği görülmüştür. Bu duygunun iletilmesi sırasında ortalama dokunma süresinin en az olduğu sonucuna



ulaşılırken, ortalama dokunma hızının hüznü duygusundan sonra en az olduğu sonucuna ulaşılmaması çalışma öncesi yapılan varsayımı desteklemektedir.

Bulguların, Hertenstein ve arkadaşlarının [14] yaptıkları doğrudan temas ile etkileşim çalışması ile ortalama süre ve kuvvet parametreleri bakımından paralel olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak hüznü duygusunun bu çalışmada bu iki parametre bakımından daha pasif bir duygu olarak ifade edildiği görülmüştür. Kuvvet geri-besleme cihazları aracılığı ile etkileşim çalışmasının bir örneği olan Bailenson ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [32] bağımsız değişken duygu olarak tanımlanmış, model cinsiyeti değişkeni tanımlanmayarak iki serbestlik dereceli denetim kolu ile duygu iletme çalışması yapılmıştır. Ancak katılımcıların öfke ve mutluluğu uzun ve hızlı hareketlerle ifade ederken, hüznü kısa ve yavaş hareketlerle ifade etmesi sonucu bu çalışmada da elde edilmiştir. Katılımcı cinsiyeti, model cinsiyeti ve dokunulan bölgenin (yüz ve gövde olarak) bağımsız değişken olarak tanımlandığı Bailenson ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [34] model cinsiyeti temel etkisinin ortalama kuvvet parametreleri bakımından anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmaması tutarlılık göstermemiştir. Yüz ve gövde bölgelerinin ortalama dokunma kuvveti yoğunluğu bakımından anlamlı farklı çıkması gelecek çalışmalarda incelenebilir, bu çalışmada incelenmeyen katılımcı cinsiyetinin ise bu parametre bakımından anlamlı farklı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

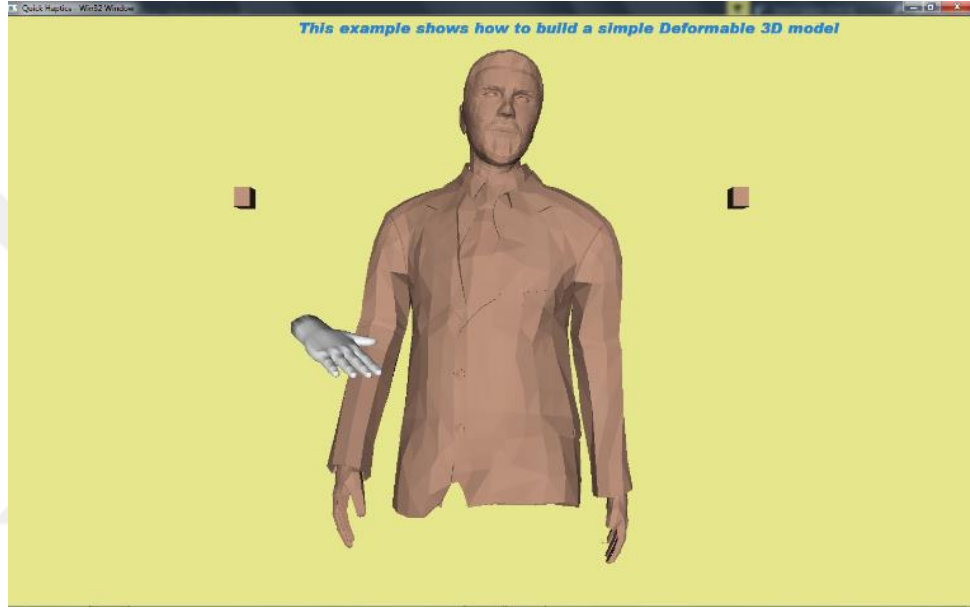
Bu çalışma TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesinde öğrenci olan 20 katılımcıdan elde edilen sonuçları göstermektedir. Bununla birlikte, dokunma yoluyla sosyal etkileşim üzerine yapılan çalışmalar katılımcı grubunun büyüklüğü, cinsiyeti, haptik cihaza ve haptik teknolojisine aşinalığı, sosyal durumu ve kültür gibi çeşitli faktörler nedeni ile farklılık gösterebilir. Bu nedenle, sosyal dokunuş yorumlamada ilgili parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak çalışmada türetilen ölçümlerin birden fazla modalitenin senkronizasyonu olmaksızın, tek bir haptik cihaz yardımı ile alınması çalışmanın avantajları arasında gösterilebilir. Öte yandan, duygusal dokunsal teknolojinin örneği olan bu çalışma, spontane katılımcı dokunma faaliyetleri ve duygusal tepkileri (örneğin bir insansı robotla etkileşime girerken) hakkında bilgiler almakta ve yorumlamaktadır. Bu bilgilerin katılımcılara etik kaygılar getirmesini önlemek ve bilgilerin güvenli ve anonim bir şekilde muhafaza edileceğini garanti etmek amacı ile TOBB ETÜ İnsan Araştırmaları Değerlendirme Kurulundan etik kurul onay belgesi alınmıştır. Ayrıca, insan

vücudunun çeşitli bölümlerinde dokunsal etkileşim yardımıyla (kuvvet ve hız gibi) alınan ölçümlerin, görsel-işitsel çalışmalardan daha zor olduğu gerçeği, haptik alanında yapılan çalışmaları daha zorlaştırır. Başka bir deyişle, dokunsal davranışın yüz, ses veya postural ifade gibi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında gözlemlenmesi (anlamlandırılması) daha zordur. İletişim gücü ve kuvvet gibi dokunsal davranışları ölçmek ve görüntülemek için yapılan çalışma, kullanıcı ile mekanik sistem arasında fiziksel bir temas gerektirmektedir. Bu kısıtlama, katılımcıların hareket özgürlüğünü azaltır ve bu nedenle daha az doğal ve önyargılı duygulara yol açabilir.

Sonuç olarak bu çalışma sanal ortamda insan-makine etkileşiminin bir örneği olmakla beraber, beş evrensel duygunun; dokunma konumu, dokunma kuvveti yoğunluğu, dokunma hızı ve dokunma süresi bakımından parametreleştirilmesine katkı sağlayacağı öngörülmekte ve bu parametrelerin insansı robotlara entegre edilmesine yardımcı olması hedeflenmektedir. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, altı serbestlik dereceli bir haptik cihaz aracılığı ile sanal ortamda duygu iletme çalışmasının yapılmasıdır. Türetilmiş parametrelerin, robotik endüstrisinde yenilikçiliğe yol açacak insansı robotların duygu iletme sırasındaki manevra ve kabiliyetlerinin geliştirilmesini desteklemesi öngörülmektedir.

## 6. GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada haptik cihaz imleci olarak varsayılan mavi koni olarak koymak yerine, 3DS MAX'te bir el modellenmiş ve programa yüklenmiştir. Şekil 6.1'de el modelinin imleç olarak kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 6.1 : Cihaz imleci olarak sanal el modelinin kullanılması

Her ne kadar Phantom Omni temas edilmesi istenen nesnelere, üç boyutlu uzayda tek bir noktadan dokunma imkanı tanısa da sanal ortamda sosyal dokunuşu simüle etmek açısından varsayılan imleç görünümünden daha gerçekçi olacağı öngörülen el modelinin sorunsuz bir şekilde programa yüklenmesi denenebilir.

Ayrıca, katılımcıları “talep üzerine” kasıtlı duygular yaratmaya zorlamak yerine, gelecekteki çalışmalar, katılımcıların çeşitli duyguları deneyimlemelerini sağlamalıdır; örneğin, duygusal film kısımları izlettirmeleri ve ardından gerçekten deneyimlenmiş olan duyguların dokunsal bir araçla iletilmesini ve alınmasını içerebilir. Başka bir deyişle, çalışmanın eleştirilerinden biri gerçek, anında reaksiyonel olarak gösterilen duyguları incelemek değil, yalnızca idealize olarak inşa edilmiş duyguların incelemesi olabilir. İfade edilmesi istenen spesifik duygu iletmeye tecrübelerinin kalitesini öğrenmek amacıyla katılımcılar tutum ölçeğine (Thurstone, Likert veya Semantik Diferansiyel) tabi tutulabilirler. Böylece standardize edilmiş

bir veri toplama aracı ile katılımcıların duygu iletme çalışması hakkında eğilim ve algıları değerlendirilebilir. Aynı zamanda bu çalışmada sanal kişilerarası dokunuşun, yalnızca sözsüz iletişim yoluyla iletimi sağlanmıştır. Sözsüz ve sözel davranışların birbirine bağlı olup olmadığını incelemek amacı ile ses, yüz ifadeleri ve jestler gibi diğer kanallardan gelen ipuçlarının eşlik ettiği durumlarda nasıl değiştiğini incelemek faydalı olacaktır. Ayrıca, bu çalışmada türetilen parametrelerin insansı robotlara entegre edilmesi ve robotun insana duygu iletimi sağlaması denenebilir. Daha sonra ise, insanların iletilen duyguyu anlayıp anlamadığının test edilmesinin insan-makine etkileşimi çalışmalarına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Kaku M.**, <http://liberteryen.org/2016/12/zihnin-kilidini-acmak/>, alındığı tarih: 15.10.2019
- [2] **Eid M., Orozco M., Saddik A. E.**, (2007). A guided tour in haptic audio visual environments and applications, *International Journal of Advanced Media and Communication.*, 1(3), 265-297.
- [3] **Xuyue Y., Liu K., Fan X., He Q.**, (2015). Virtual assembly with physical information: A review, *Assembly Automation*, 35( 3).
- [4] **Fünfzig C., Albrecht G., Müller K.**, (2009). Visual Debugger for Single-Point-Contact Haptic Rendering, *Software Engineering 2009 - Workshopband, Fachtagung des GI-Fachbereichs Softwaretechnik*, Kaiserslautern.
- [5] **Gouveia D., Carvalho C. V. D., Lopes D.**, (2011). Serious gaming for experiential learning, *Proceedings of the 2011 Frontiers in Education Conference*.
- [6] **Michielsen J.**, <https://blog.surf.nl/en/hapticmaster-transmits-movements-over-enormous-distance-in-real-time/>, alındığı tarih: 15.10.2019
- [7] **3D Systems Incorporated**, [http://vizulab.com.au/wp-content/uploads/2017/08/OpenHaptics\\_ProgGuide.pdf](http://vizulab.com.au/wp-content/uploads/2017/08/OpenHaptics_ProgGuide.pdf), alındığı tarih: 15.10.2019
- [8] **Ekman P., Sorenson E. R., Friesen W. V.**, (1969). Pan-Cultural Elements in Facial Displays of Emotion, *Science*, 164(3875), 86-88.
- [9] **Darwin C.**, (1872). The expression of the emotions in man and animals, London: J. Murray.
- [10] **Arafsha F., Alam K., Saddik A.**, (2015). Design and development of a user centric affective haptic jacket, *Multimedia Tools Applications*, 3035-3052.
- [11] **Gao Y., Bianchi-Berthouz N., Meng H.**, (2012). What Does Touch Tell Us about Emotions in Touchscreen-Based Gameplay?, *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 19(4).
- [12] **Brown L. M., Brewster S. A., Purchase H. C.**, (2005). A first investigation into the effectiveness of tactons, *First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. World Haptics Conference*, Pisa, Italy.
- [13] **Thompson E., Hampton J.**, (2011). The effect of relationship status on communicating emotions through touch, *Cognition and Emotion*, 25(2), 295-306.
- [14] **Hertenstein M. J., Keltner D., Buleit B. A., Jaskolka A. R.**, (2006). Touch communicates distinct emotions, *Emotion*, 528-533.

- [15] **Changeon G., Graeff D., Anastassova M. ve Lozada J.,** (2012). Tactile Emotions: A Vibrotactile Tactile Gamepad for Transmitting Emotional Messages to Children with Autism, *Haptics: Perception, Devices, Mobility, and Communication*, Tampere, Finland.
- [16] **Vu M., Na U.,** (2011). A New 6-DOF Haptic Device for Teleoperation of 6-DOF Serial Robots, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 60(11), 3510-3523.
- [17] **Eid M., Mansour M., Saddik A. E., Iglesias R.,** (2007). A haptic multimedia handwriting learning system, *Proceedings of the international workshop on Educational multimedia and multimedia education*, Augsburg, Bavaria, Germany.
- [18] **Muniandy M., Ee W.,** (2013). User's perception on the application of haptics in mobile, *International Conference on Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS)*.
- [19] **Thayer S.,** (1982). Social touching, *Tactual Perception: A Sourcebook*, Cambridge, Cambridge University Press, 263–304.
- [20] **Fischer J., Rytting M., Heslin R.,** (1976). Hands touching hands: affective and evaluative effects of interpersonal touch, *Sociometry*, 416–421.
- [21] **Gue'guen N.,** (2004). Nonverbal Encouragement of Participation in a Course: the Effect of Touching, *Social Psychology of Education*, 89–98.
- [22] **Lederman S., Klatzky R., Abramowicz A., Salsman K., Kitada R., Hamilton C.,** (2007). Haptic recognition of static and dynamic expressions of emotion in the live face, *Psychological Science*, 18(2), 158-64.
- [23] **Thompson E. H., Hampton J. A.,** (2011). The effect of relationship status on communicating emotions through touch, *Cognition and Emotion*, 295-306.
- [24] **Salminen K., Surakka V., Lylykangas J., Raisamo J.,** (2008). Emotional and Behavioral Responses to Haptic Stimulation, *Proceedings of the 2008 Conference on Human Factors in Computing Systems*, Florence, Italy.
- [25] **Tsetserukou D., Neviarouskaya A., Prendinger H., Kawakami N., Tachi S.,** (2009). Affective haptics in emotional communication, *3rd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops*, Amsterdam, Netherlands.
- [26] **Bonanni L., Vaucelle C., Lieberman J., Zuckerman O.,** (2006). TapTap: a Haptic wearable for asynchronous distributed touch therapy, *In CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '06)*, Québec, Canada.
- [27] **Lemmens P., . Cromptvoets F., Brokken D., van den Eerenbeemd J., de Vries G.,** (2009). A body-conforming tactile jacket to enrich movie viewing, *EuroHaptics conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, Salt Lake City, UT, USA.

- [28] **Krishna S., Bala S., McDaniel T., McGuire S., Panchanathan S.,** (2010). VibroGlove: an assistive technology aid for conveying facial expressions, *CHI'10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, Atlanta, GA, USA.
- [29] **Yohanan S., MacLean K.,** (2011). Design and Assessment of the Haptic Creature's Affect Display, *ACM/IEEE International conference on Human-Robot Interaction*, Lausanne, Switzerland.
- [30] **Vaucelle C., Bonanni L., Ishii H.,** (2009). Design of haptic interfaces for therapy, *SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '09)*, Boston, USA.
- [31] **Smith J., MacLean K.,** (2007). Communicating emotion through a haptic link: Design space and methodology, *International Journal of Human-Computer Studies*, 376-387.
- [32] **Bailenson J. N., Yee N., Brave S., Merget D., Koslow D.,** (2007). Virtual interpersonal touch: Expressing and recognizing emotions through haptic devices, *Human-Computer Interaction*, 325-353.
- [33] **Bonnet D., Ammi M., Martin J.,** (2011). Improvement of the recognition of facial expressions with haptic feedback, *2011 IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and Games*, Hebei, China.
- [34] **Bailenson J. N., Yee N.,** (2008). Virtual interpersonal touch: Haptic interaction and copresence in collaborative virtual environments, *Multimedia Tools and Applications*, 5-14.
- [35] **Gatti E., Caruso G., Bodegoni M., Spence C.,** (2013). Can the feel of the haptic interaction modify a user's emotional state?, *In proceeding of World Haptics Conference*, Daejeon, South Korea.
- [36] **Gallace A., Spence C.,** (2010). The science of interpersonal touch: An overview, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 246-259.
- [37] **Thompson E. H., Hampton J. A.,** (2011). The effect of relationship status on communicating emotions through touch, *Cognition and Emotion*, 295-306.
- [38] **Montagu A.,** (1971). *Touching: the human significance of the skin*, New York: Columbia University Press.
- [39] **Hertenstein M. J., Holmes R., McCullough M., Keltner D.,** (2009). The Communication of Emotion via Touch, *Emotion*, 566-573.
- [40] **Field T.,** (2001). *Touch*, MIT Press.
- [41] **Ekman P., Friesen W. V.,** (1975). *Unmasking the face: A guide to recognizing emotions from facial clues*, Oxford, England: Prentice-Hall.
- [42] **Barnett K.,** (1972). A theoretical construct of the concepts of touch as they relate to nursing, *Nursing Research*, 102-110.





## **EKLER**

EK 1: Katılımcıların Erkek Modele Dokunma Grafikleri

EK 2: Katılımcıların Kadın Modele Dokunma Grafikleri

EK 3: Katılımcıların Modellere Ortalama Dokunma Kuvveti Yoğunluğu

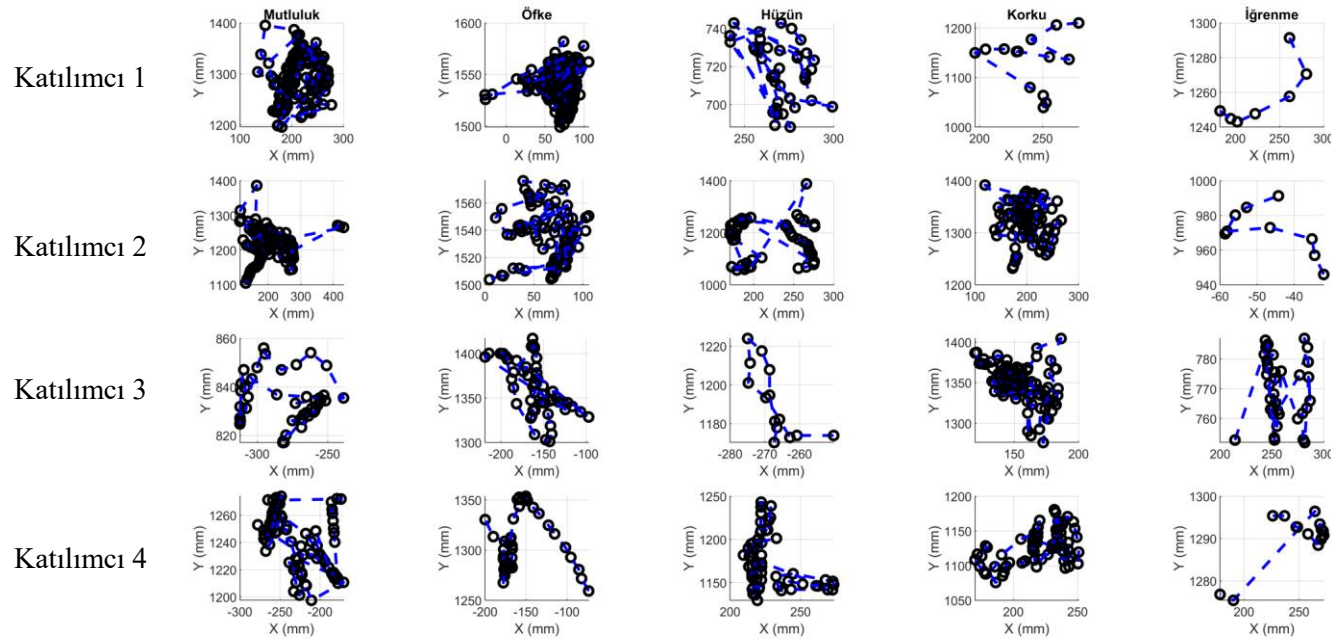
EK 4: Katılımcıların Modellere Ortalama Dokunma Hızı

EK 5: Katılımcıların Modellere Ortalama Dokunma Süresi



## EK 1: Katılımcıların Erkek Modele Dokunma Grafikleri

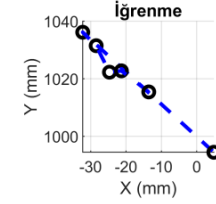
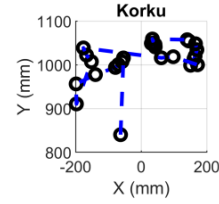
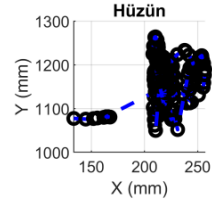
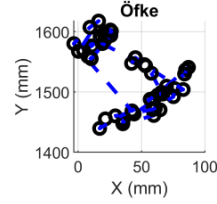
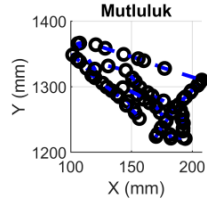
Şekil EK 1.1, katılımcılar tarafından erkek modele iletilmesi istenen beş duygunun x-y düzlemindeki konum grafiklerini göstermektedir. Üç boyutlu düzlemde çalışılmasına rağmen, grafiklerde yalınlık ve anlaşılabilirliği sağlamak açısından iki boyutlu düzlemde gösterilmesi tercih edilmiştir. Şeklin sol tarafında yer alan sayılar katılımcı numaralarını göstermektedir.



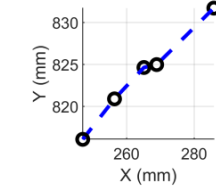
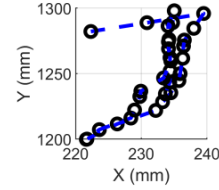
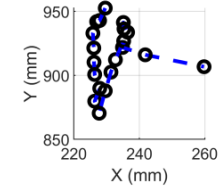
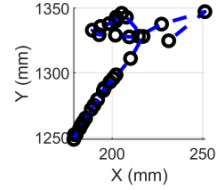
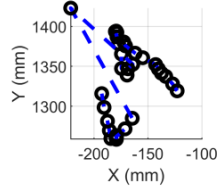
Şekil Ek 1.1 : Katılımcıların erkek modele dokunma grafikleri



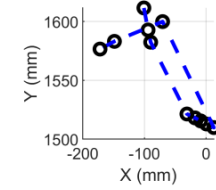
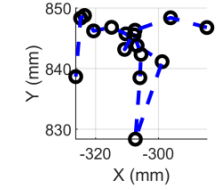
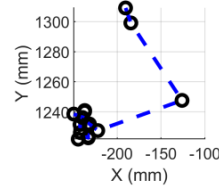
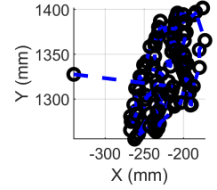
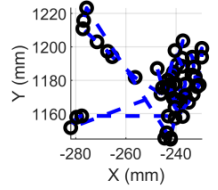
Katılımcı 5



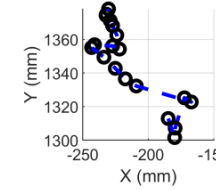
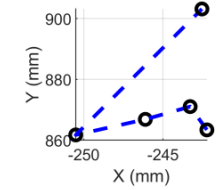
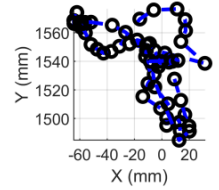
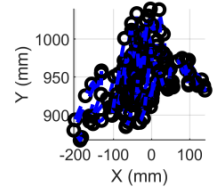
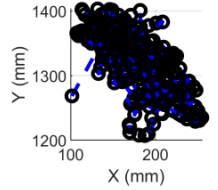
Katılımcı 6



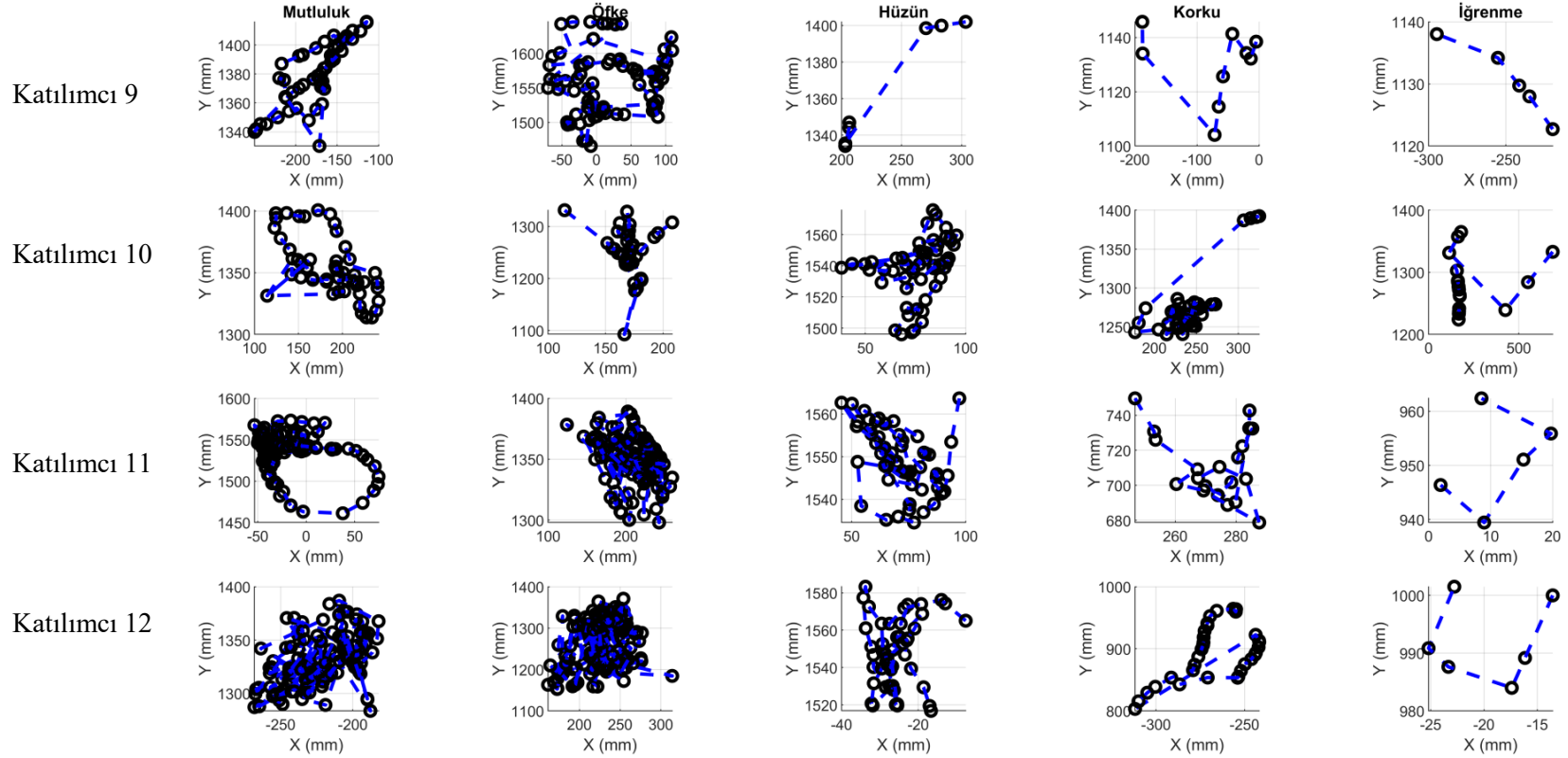
Katılımcı 7



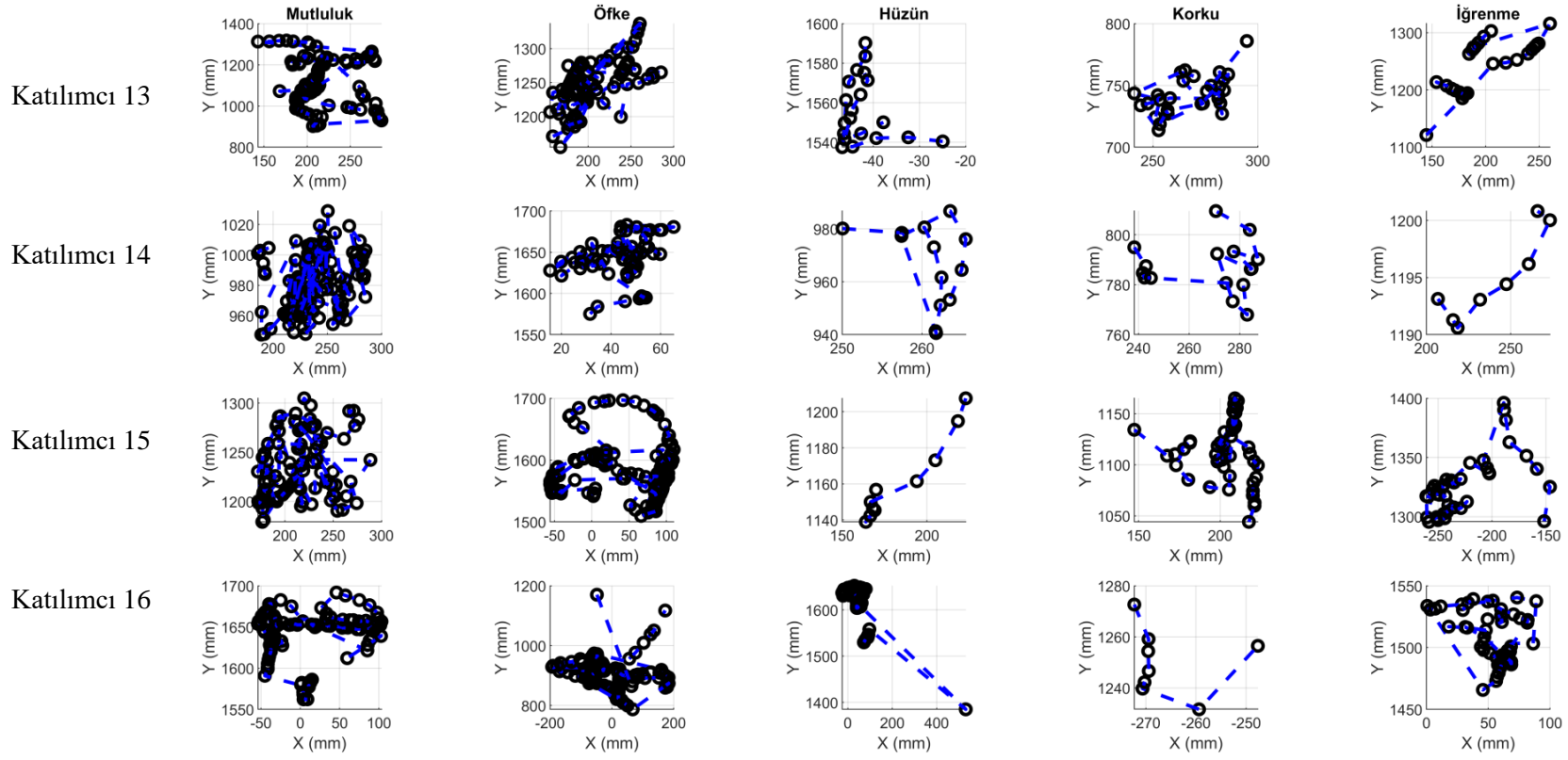
Katılımcı 8



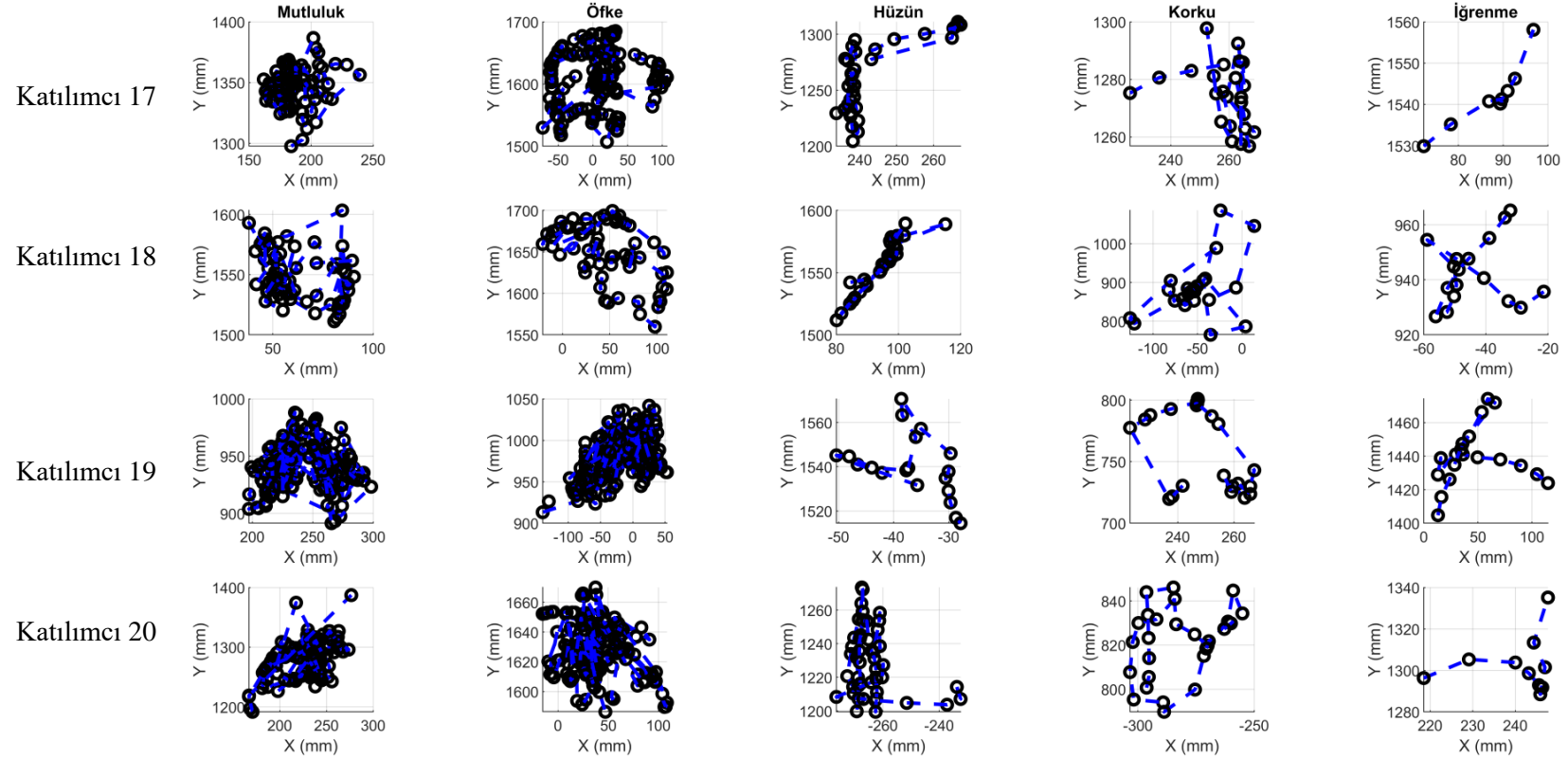
Şekil Ek 1.2 : (devam) Katılımcıların erkek modele dokunma grafikleri



Şekil Ek 1.3 : (devam) Katılımcıların erkek modele dokunma grafikleri



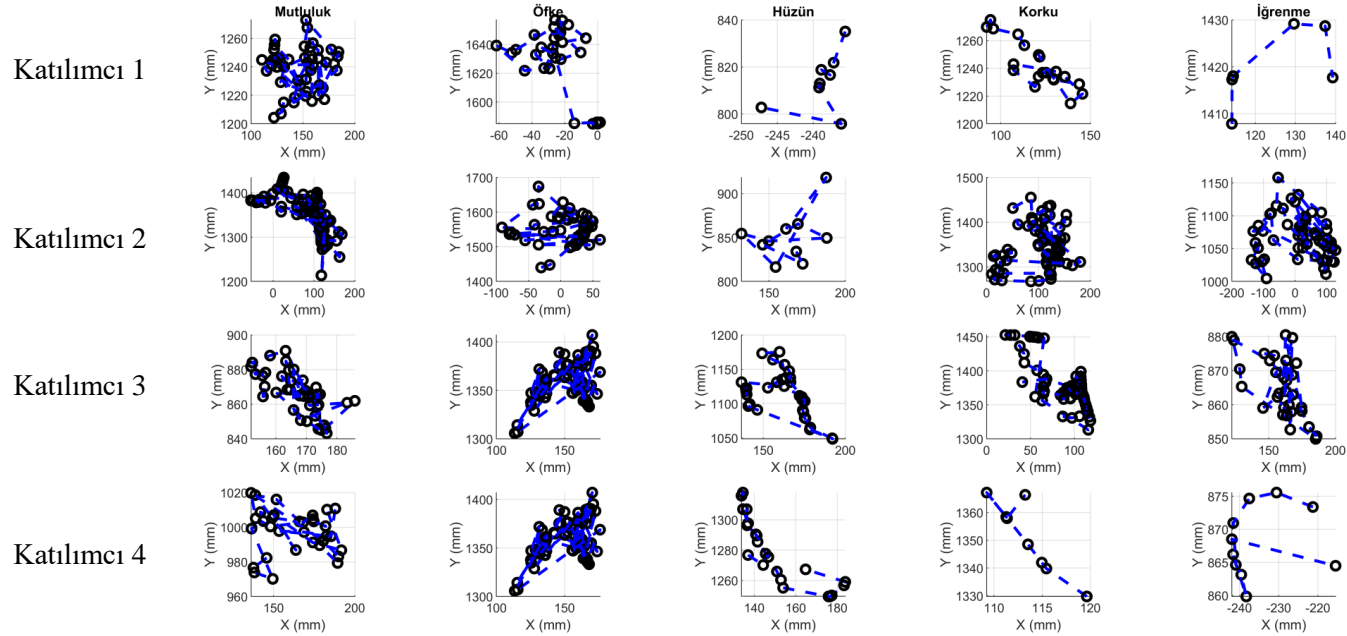
Şekil Ek 1.4 : (devam) Katılımcıların erkek modele dokunma grafikleri



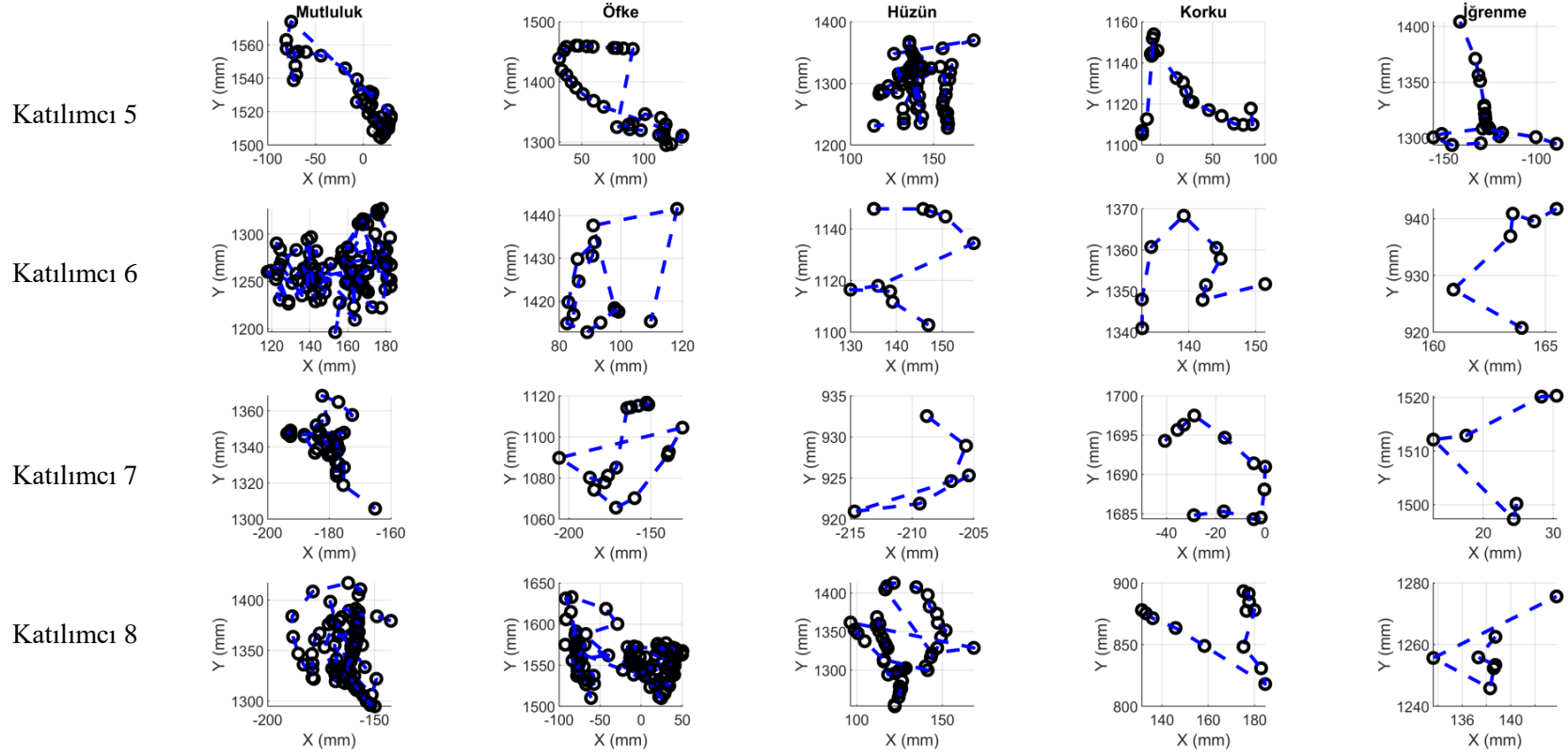
Şekil Ek 1.5 : (devam) Katılımcıların erkek modele dokunma grafikleri

## EK 2: Katılımcıların Kadın Modele Dokunma Grafikleri

Şekil EK 2.1, katılımcılar tarafından kadın modele iletilmesi istenen beş duygunun x-y düzlemindeki konum grafiklerini göstermektedir. Üç boyutlu düzlemde çalışılmasına rağmen, grafiklerde yalınlık ve anlaşılabilirliği sağlamak açısından iki boyutlu düzlemde gösterilmesi tercih edilmiştir. Şeklin sol tarafında yer alan sayılar katılımcı numaralarını göstermektedir.

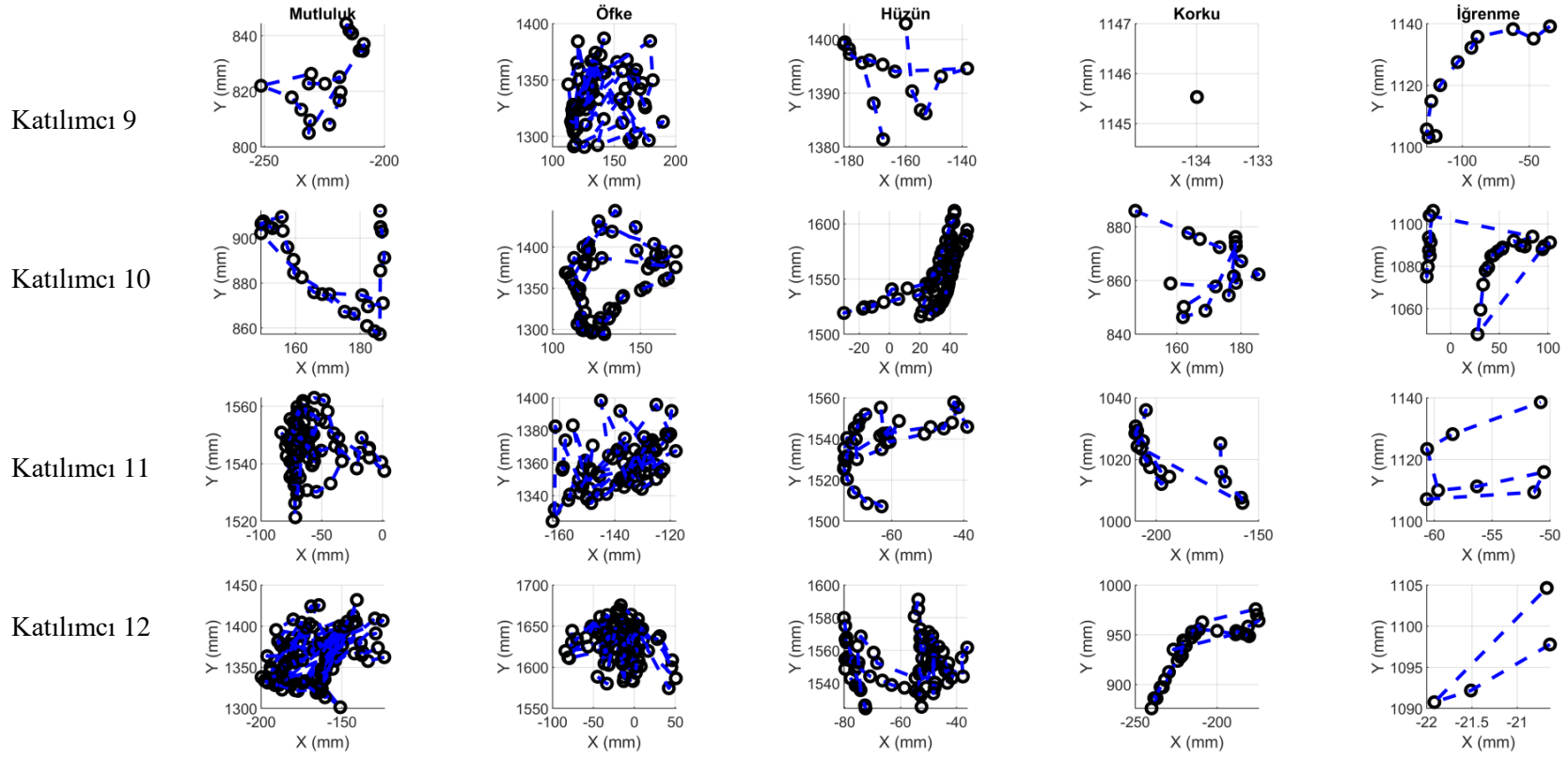


Şekil Ek 2.1 : Katılımcıların kadın modele dokunma grafikleri

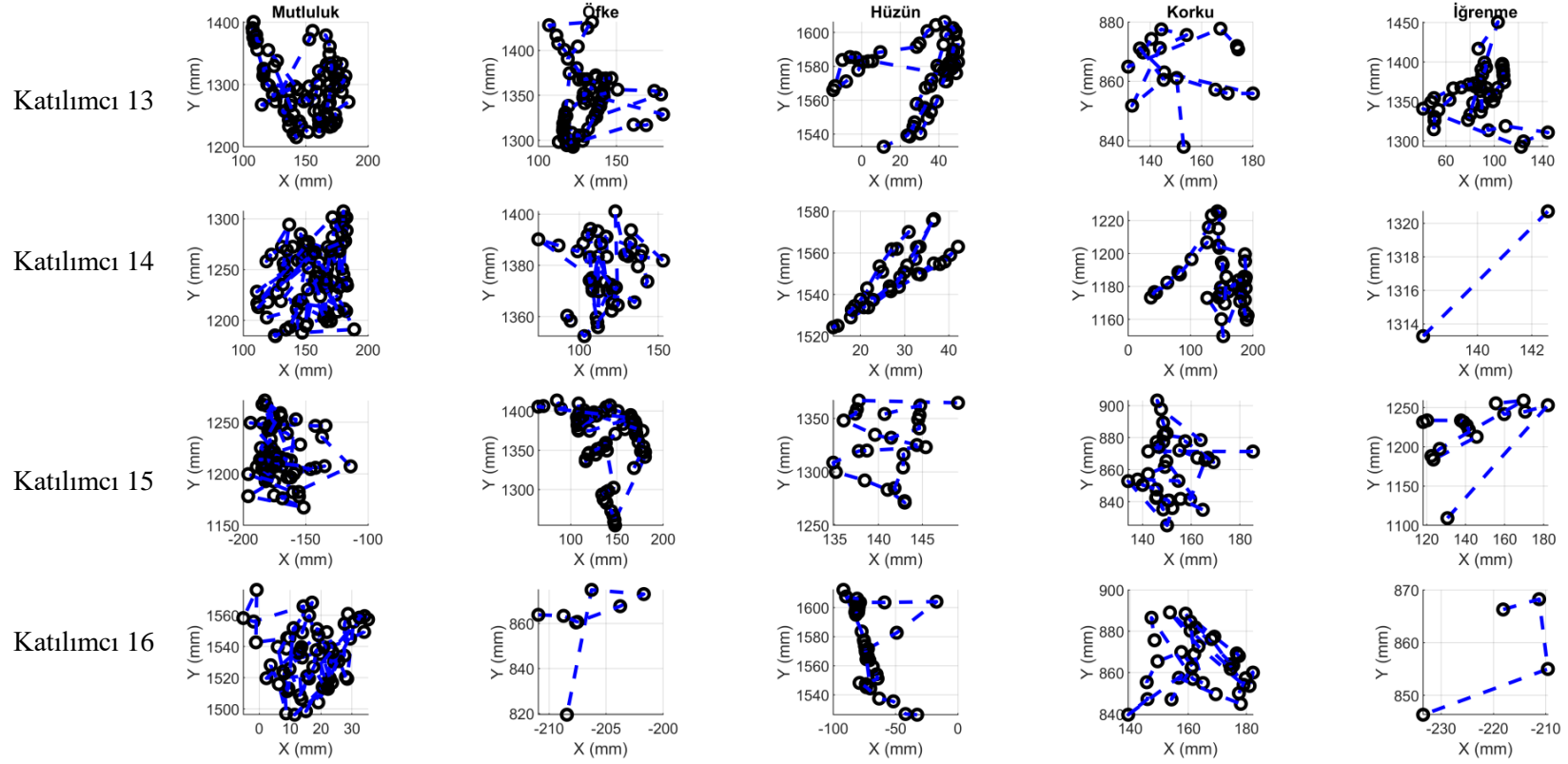


Şekil Ek 2.2 : (devam) Katılımcıların kadın modele dokunma grafikleri

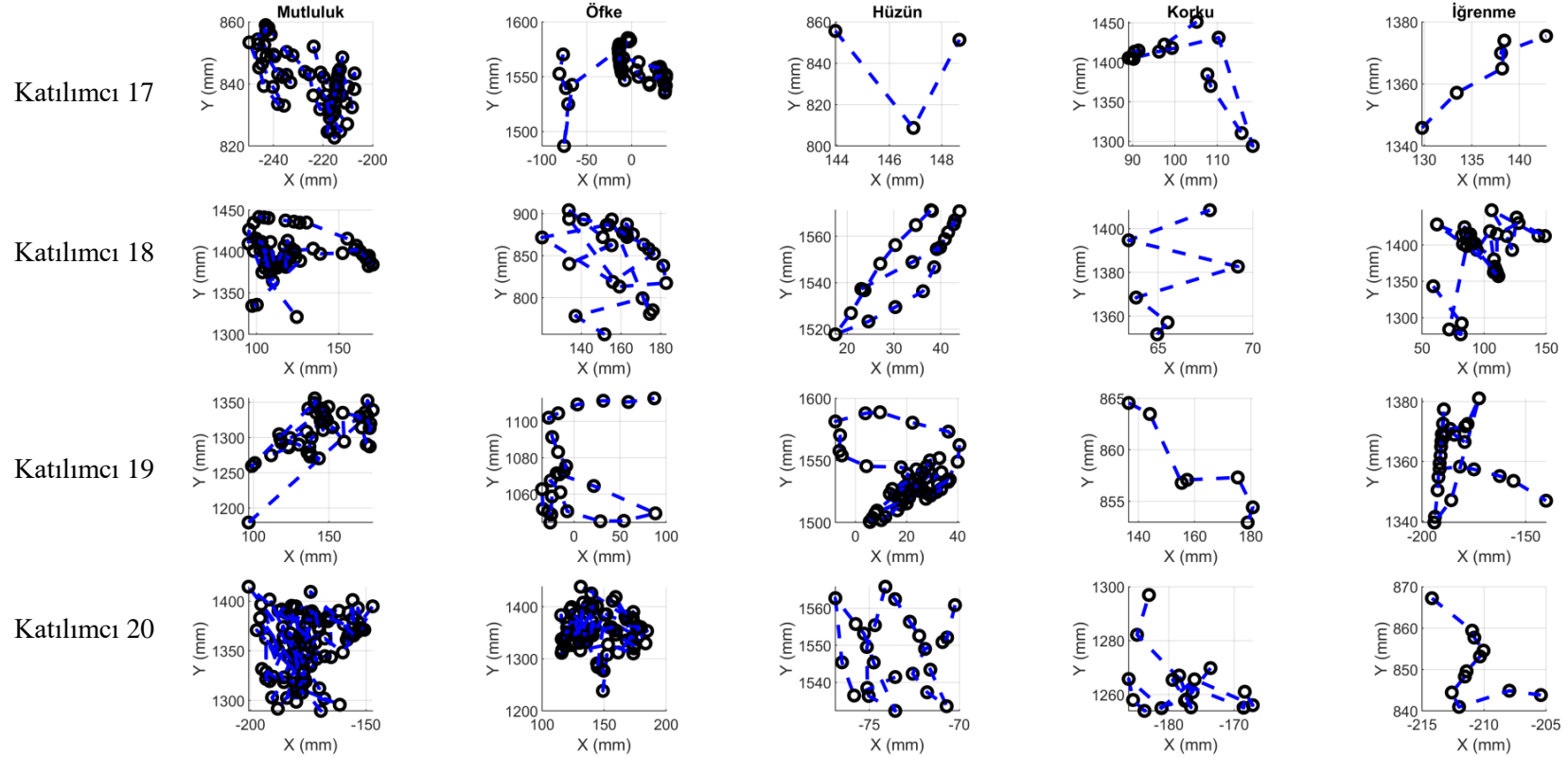




Şekil Ek 2.3 : (devam) Katılımcıların kadın modele dokunma grafikleri



Şekil Ek 2.4 : (devam) Katılımcıların kadın modele dokunma grafikleri



Şekil Ek 2.5 : (devam) Katılımcıların kadın modele dokunma grafikleri

### EK 3: Katılımcıların Modellere Ortalama Dokunma Kuvveti Yoğunluğu

Katılımcıların, iki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA analizi için ortalama dokunma kuvveti yoğunluğu veri tablosu aşağıdaki gibidir.

Çizelge Ek 3.1 : İki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA analizi için ortalama dokunma kuvveti veri tablosu

Katılımcı	Kadın					Erkek				
	Mutluluk	Öfke	Hüzün	Korku	İğrenme	Mutluluk	Öfke	Hüzün	Korku	İğrenme
1	0,597215231	0,626302	0,290712	0,638447	0,858556	0,326806	0,947329	0,758732	0,408065	0,415206
2	0,419517273	0,44004	0,420607	1,237123	0,537193	0,910827	0,669422	0,210596	1,102764	0,83773
3	0,362220646	0,571658	0,241738	1,148267	0,143121	0,37487	0,391933	0,750376	0,792037	0,310942
4	1,660926888	6,24647	0,445954	1,804606	0,309345	0,265698	0,391933	0,599024	1,08035	0,145597
5	0,61015635	0,497128	0,376745	0,942804	0,186778	0,184945	0,685339	0,413714	0,686746	0,844916
6	0,719976968	1,101155	0,360897	0,273325	0,457525	0,314395	0,642823	0,423301	1,163034	0,608056
7	0,451213642	0,480815	0,703741	0,421765	0,082306	0,333209	0,537742	0,46465	0,108783	0,204483
8	0,570829322	0,982962	0,465879	0,209162	0,188874	0,35155	0,419098	0,367935	0,521277	0,63575
9	0,420023732	0,575431	0,122583	2,186723	0,901608	0,278442	0,363213	0,337715	0,030179	0,429238
10	0,415427744	0,696371	0,243205	0,363858	1,32413	0,374296	0,582447	0,252566	0,208481	0,891697
11	0,406306299	0,672768	0,254191	0,282624	0,579446	0,308802	0,597559	0,332661	0,18028	0,374508
12	0,54684727	1,090215	0,218133	0,399331	0,675919	0,594849	0,543168	0,159392	0,122466	0,309877
13	0,474296909	1,981169	0,183811	0,235012	1,729187	0,412328	1,109836	0,312764	0,196674	3,85629
14	0,402927918	0,322049	0,379306	0,187053	0,406732	0,290317	0,384488	0,298428	0,35481	0,170377
15	0,582501255	0,306352	0,25571	0,904007	0,313279	0,253711	0,447289	0,419756	0,202102	0,321694
16	0,332977646	1,910493	0,38844	0,080411	0,342001	0,185064	0,15371	0,315397	0,39186	0,085604
17	0,877734044	0,766064	0,220633	0,374776	0,440719	0,330496	0,818368	0,018427	1,447642	0,612017
18	0,286746163	0,368578	0,136084	0,845483	1,005713	0,311482	0,124612	0,198239	0,422551	0,479578
19	0,371371891	1,039366	0,158106	0,477459	0,49882	0,341794	1,361647	0,215223	0,331669	0,271411
20	0,492085461	0,641421	0,189806	0,193443	0,909224	0,502821	0,448346	0,254434	0,068551	0,350296

#### EK 4: Katılımcıların Modellere Ortalama Dokunma Hızı

Katılımcıların, iki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA analizi için metre/saniye cinsinden ortalama dokunma hızı veri tablosu aşağıdaki gibidir.

Çizelge Ek 4.1 : İki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA analizi için ortalama dokunma hızı veri tablosu

Katılımcı	Kadın					Erkek				
	Mutluluk	Öfke	Hüzün	Korku	İğrenme	Mutluluk	Öfke	Hüzün	Korku	İğrenme
1	0,732266	0,626898	0,401502	0,521489	1,291928	0,351801	0,269769	0,115214	0,18137	0,216691
2	0,701561	0,491478	0,445204	0,636928	0,156429	0,390023	0,515673	0,430325	0,507653	1,140074
3	0,200841	0,229463	0,120534	0,445373	0,164433	0,250236	0,588817	0,224608	0,268921	0,177428
4	0,46977	0,208167	0,316895	0,437623	0,113292	0,206297	0,627932	0,143142	0,092734	0,05749
5	0,252725	0,924787	0,765344	0,924209	0,063452	0,131576	0,234421	0,350791	0,15676	0,48258
6	0,337277	0,301286	0,147939	0,34939	0,170032	0,550682	0,179172	0,182737	0,095177	0,035783
7	0,142384	0,476397	0,185241	0,094847	0,285121	0,064976	0,137737	0,019268	0,158577	0,13252
8	0,822834	1,035771	0,26233	0,06497	0,106048	0,375736	0,415416	0,233542	0,206957	0,375736
9	0,221995	0,78054	0,12088	1,542265	0,983854	0,148906	0,462947	0,05721	0,051667	0,369186
10	0,245953	0,858637	0,147503	0,493206	0,237505	0,108137	0,322921	0,11171	0,169746	0,202504
11	0,29635	0,708067	0,144579	0,470524	0,109405	0,137205	0,308469	0,129233	0,110534	0,100546
12	0,691253	1,519195	0,253169	0,265233	0,193442	0,780965	0,404913	0,208175	0,142597	0,065375
13	0,391825	0,453844	0,14248	0,398018	0,449832	0,286197	0,220224	0,142192	0,229943	0,23485
14	0,635884	0,311141	0,106751	0,105912	0,323313	0,469656	0,243781	0,096936	0,261608	0,093167
15	0,654999	0,442375	0,488079	0,569454	0,332218	0,209631	0,195466	0,16189	0,179713	0,1552
16	0,20664	0,565881	0,988226	0,188727	0,211205	0,33158	0,064767	0,172833	0,285353	0,176558
17	0,293121	0,35631	0,257716	0,298104	0,082944	0,124212	0,195251	0,41675	0,362513	0,049707
18	0,427563	0,499388	0,219532	2,187865	0,211286	0,269647	0,343764	0,107346	0,238173	0,753213
19	0,681681	0,976292	0,101001	0,219204	0,431103	0,408687	0,429706	0,187327	0,196471	0,117374
20	0,67568	0,452645	0,172401	0,218751	0,231813	0,482374	0,685324	0,091501	0,092229	0,055361

## EK 5: Katılımcıların Modellere Ortalama Dokunma Süresi

Katılımcıların, iki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA analizi için milisaniye cinsinden ortalama dokunma süresi veri tablosu aşağıdaki gibidir.

Çizelge Ek 5.1 : İki faktörlü tekrarlı ölçümler ANOVA analizi için ortalama dokunma süresi veri tablosu

Katılımcı	Kadın					Erkek				
	Mutluluk	Öfke	Hüzün	Korku	İğrenme	Mutluluk	Öfke	Hüzün	Korku	İğrenme
1	8331,809	9116,349	4123,459	1452,629	100,2044	4575,009	1903,199	751,563	2070,249	250,3904
2	8682,379	4574,979	4340,569	5059,319	1586,179	8348,399	5042,739	2854,999	4975,569	4524,759
3	3406,169	9367,009	1870,24	2922,099	4190,649	2871,959	4875,869	4257,759	7413,469	3339,099
4	8749,349	5383,179	8371,569	2671,509	1552,899	5760,369	5509,919	1936,899	1151,939	2137,299
5	9166,669	8036,939	7921,169	4532,279	2287,339	4357,889	3724,409	6044,729	5250,078	1285,689
6	2320,889	6969,649	2020,27	1452,689	1169,589	5560,639	1903,559	734,796	951,657	920,4264
7	7780,719	7830,859	6945,989	3673,229	1969,259	7613,789	3606,629	1870,009	501,083	500,993
8	9984,609	7364,149	4442,159	2704,719	3088,999	5326,439	6177,869	4892,349	1588,499	1218,939
9	5276,379	7464,479	3022,239	133,3794	100,2694	3856,969	7864,109	5259,399	0,000642	333,9164
10	9951,119	7268,759	4391,469	2370,949	5927,449	7128,219	6762,799	6178,029	1469,539	2588,359
11	9334,389	5292,849	5943,009	1069,029	400,784	6394,899	6979,019	3439,509	2287,229	750,3587
12	7931,019	6127,789	5192,469	2837,909	367,3504	8164,929	8883,169	4658,729	3723,539	400,938
13	6628,709	9324,019	1485,289	2203,909	3413,439	7597,109	9400,609	3623,169	7129,309	4073,799
14	5944,109	4441,439	3122,229	1820,148	334,004	9934,689	3305,909	3339,419	4792,159	66,69994
15	6561,749	9984,649	267,235	1719,729	3907,209	8548,909	7162,949	2487,689	4307,519	4290,839
16	8180,639	9958,889	4182,159	667,7484	3806,999	7446,839	2972,309	2654,909	1986,139	2487,799
17	7380,109	9533,069	1953,499	1469,379	1352,8	7630,279	4391,549	217,015	1753,019	1018,419
18	4976,529	3991,369	4707,599	3730,549	1102,009	5042,399	4307,419	1886,82	283,996	1803,569
19	8164,669	6512,449	1368,939	3022,159	801,3814	6214,029	1786,569	6867,099	2982,329	3740,139
20	7563,549	8030,419	3139,019	1903,499	868,229	6929,259	6678,919	2137,669	3255,909	718,097

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Ceren Karaman  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 06.12.1994  
**E-posta** : cerenkaraman149@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2019, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Makine Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2015	Türk Uzay ve Havacılık Sanayii A.Ş.	Stajyer
2016	Aselsan A.Ş.	Stajyer
2018	Digitest Elektronik	Mekanik Tasarım Mühendisi

**YABANCI DİL:** İngilizce (İleri düzeyde), Almanca (Temel düzeyde)

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Karaman C., Taşcıoğlu Y., (2019).** Sanal Ortamda Dokunsal Etkileşimle Duyguların İfade Edilmesi, *TOK 2019 Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi*, Muğla, Turkey.