



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**EĞİTİM AMAÇLI İNSAN - MAKİNE**  
**ETKİLEŞİMİ VE FİZİK TEDAVİ**  
**UYGULAMASI**

**Kemal ERDOĞAN**

**DOKTORA TEZİ**

**Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Kasım-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI


Kemal ERDOĞAN tarafından hazırlanan “Eğitim Amaçlı İnsan - Makine Etkileşimi ve Fizik Tedavi Uygulaması” adlı tez çalışması 26/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

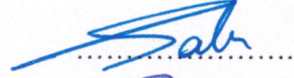
Prof. Dr. Cabir VURAL

### İmza



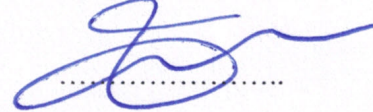
#### Danışman

Doç. Dr. Rahime CEYLAN



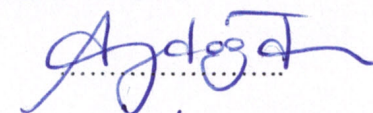
#### Üye

Prof. Dr. Salih GÜNEŞ




#### Üye

Prof. Dr. Ömer AYDOĞDU



#### Üye

Dr. Öğretim Üyesi Burak YILMAZ



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
Enstitü Müdürü


Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 16101010 nolu proje ve TÜBİTAK 2214-A Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Burs Programı 1059B141600796 nolu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

  
Kemal ERDOĞAN

Tarih: 26 Kasım 2019



# ÖZET

## DOKTORA TEZİ

### EĞİTİM AMAÇLI İNSAN - MAKİNE ETKİLEŞİMİ VE FİZİK TEDAVİ UYGULAMASI

**Kemal ERDOĞAN**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Rahime CEYLAN**

**2019, 88 Sayfa**

#### **Jüri**

**Doç. Dr. Rahime CEYLAN  
Prof. Dr. Cabir VURAL  
Prof. Dr. Salih GÜNEŞ  
Prof. Dr. Ömer AYDOĞDU  
Dr. Öğretim Üyesi Burak YILMAZ**

İnsan - Makine Etkileşimi (İME), insanların, bilgisayarlar, makineler, robotlar ve diğer teknolojik ortamlar ile nasıl etkileşime girdiğini anlamaya çalışan genelleyici bir bilimsel konu başlığı olarak tanımlanabilir. İME çalışmaları sayesinde bu tip ortamların insanlık için daha etkin hale getirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, İME yoluyla insana bir görevin öğretilmesi için hem robot hem de hologram etmenin (agent) kullanıldığı uygulamalar geliştirilmiştir. Bu uygulamalar sayesinde, literatürde ilk defa iki etmen, öğretme alanındaki başarı oranları, avantajları ve dezavantajları yönünden katılımcılar ile denenerek karşılaştırılmıştır. Bu uygulamalardan edinilen tecrübe ve geliştirilen yöntem kullanılarak, hologram ile insana görev öğretme fizik tedavi alanına taşınmış; literatürde ilk defa boyun ağrısının tedavisi için gerekli olan egzersiz hareketlerini hastalara öğretecek ve uygulanırken de onları denetleyip yönlendirecek holografik bir tedavi uygulaması geliştirilmiştir.

Tez çalışmasında gerçekleştirilen ilk uygulamada, insana bir görevin öğretilmesini amaçlayan deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Önce robot etmen için niyet yönlendirme temelli deneysel çalışma ortamı hazırlanmış sonra bunun bir benzeri de HoloLens cihazı üzerinde Artırılmış Gerçeklik (AG) ortamı olarak tasarlanmıştır. Her iki etmen ile gerçekleştirilen deneylerde 50 kişiden elde edilen sonuçlar literatürdeki eğitim amaçlı çalışmalarda kullanılan metriklere göre değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre insana bir görevi öğretmede robot etmenin %48, hologram etmenin ise %24 oranında başarılı olduğu görülmüştür. Böylece robot öğreticinin daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Gerçekleştirilen bu uygulama ile bir İME çalışmasında ilk defa Sonlu Durum Makineleri (SDM) yöntemi ile hologramın kontrol edildiği bir algoritma tasarlanmıştır. Bunun yanında kullanıcıların hareketleri, İçerikten Bağımsız Dilbilgisi (İBD) ve Aşağı Sürüklemeli Otomat (ASO) yöntemleri ile modellenerek hologramların daha karmaşık görevleri öğretmede kullanılabilmesi sağlanmıştır.

İnsana bir görevin bir etmen aracılığıyla öğretilmesi konusunda tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen ikinci uygulama, boyun ağrısı tedavisi için gereken fizik tedavi hareketlerinin hologram yardımıyla öğretilmesidir. Bu uygulama ile literatürde tedaviye sadık kalmayan veya tedaviyi yanlış uygulayan hastalar için çözüm olabilecek bir sistem geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem ile hastaların hareketleri doğru açıyla, doğru tekrar sayısı ve doğru sürede yapıp yapmadıkları HoloLens üzerindeki sensörlerden ve etrafa yerleştirilen işaretçilerden faydalanılarak denetlenmiştir. Buna ilaveten holografik videolar, yönlendirici hologramlar ve sesler ile insanlara egzersiz hareketleri öğretilmiştir. Bu sistemin faydasını ölçmek için 15'i kontrol grubu 15'i test grubu olmak üzere toplam 30 katılımcı ile testler yapılmıştır. Cihazı kullanmayan kontrol grubunda süre, tekrar ve açılı hata oranları sırasıyla %36,4, %8 ve

%27.3 iken, test grubunda hata oranları sırasıyla %0, %0 ve %9.1 şeklinde gerçekleşmiştir. Ayrıca deneyler sırasında toplanan görüntü ve video kayıtları ile daha sonraki çalışmalar için veri seti hazırlanmıştır.

Bu tezdeki çalışmalarla, İME ile insanların yönlendirilmesi sağlanmış ve bunun sonucunda da ihtiyacı olan insanlara teknolojik cihazlar ile fayda sağlayabilecek sistemler geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Artırılmış Gerçeklik, Boyun Ağrısı Tedavisi, Fizik Tedavi, İnsan - Robot Etkileşimi, İnsan - Makine Etkileşimi, Eğitim Teknolojisi, Karma Gerçeklik



## **ABSTRACT**

### **PhD THESIS**

## **EDUCATION PURPOSED HUMAN - MACHINE INTERACTION AND PHYSIOTHERAPY APPLICATION OF IT**

**Kemal ERDOĞAN**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Electrical and Electronics Engineering**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Rahime CEYLAN**

**2019, 88 Pages**

#### **Jury**

**Advisor Assoc. Prof. Dr. Rahime CEYLAN**

**Prof. Dr. Cabir VURAL**

**Prof. Dr. Salih GÜNEŞ**

**Prof. Dr. Ömer AYDOĞDU**

**Assist. Prof. Dr. Burak YILMAZ**

Human - Machine Interaction (HMI) could be defined as a general scientific topic that deals with understanding how people interact with computers, machines, robots and other technological environments. With HMI studies, it is aimed to make these environments into more effective ones for humanity.

In this thesis study, both robot and holographic agent applications are developed to teach a task to human through HMI. Thanks to these applications, for the first time in the literature, these two agents were compared in terms of their success rates, advantages and disadvantages with a teaching aspect. Using the experience and the methods developed from these applications, teaching human with the hologram concept has been moved to the field of physical therapy. For the first time in the literature, a holographic treatment application has been developed which teaches patients the exercise movements needed for the treatment of neck pain and supervises them while they are practicing.

In the first application of the thesis, experimental studies aiming to teach a task to humans were realized. First, an experimental environment based on intention reshaping was prepared for a robot agent and then a similar one was designed as Augmented Reality (AR) environment on a HoloLens device. The results obtained from the experiments, which were carried out with both agents and 50 individuals, were evaluated according to the metrics derived from educational studies in the literature.

According to the results obtained, it was seen that robot agent was 48% and hologram agent was 24% successful in teaching a task to the human. Thus, it was concluded that the robot teacher is more successful. With this application, an algorithm that controls the hologram with Finite State Machines (FSM) method was developed for the first time in a HMI study. In addition to this, users' movements were modeled with Context - Free Grammar (CFG) and Push Down Automaton (PDA) methods so that holograms would be used to teach more complex tasks.

The second application, which was carried out within the scope of this thesis, is teaching the physical therapy movements that are necessary for the treatment of neck pain with holograms. With this application, a system has been developed to be a solution for the problem of patients who are not loyal to the treatment or who applied the treatment incorrectly in the literature. With this system, patients' movements are checked if they were done with correct angle, number of repetitions and time period by using sensors on HoloLens and markers placed around. In addition, exercise movements are taught to patients with holographic videos, directive holograms and sounds. In order to measure the efficiency of this system, experiments were realized with 30 individuals; 15 of them were selected to the control group and 15 of them were selected to the test group. While, time period, number of repeat and angle error rates

were 36.4%, 8% and 27.3% in the control group, the error rates in the test group were 0%, 0% and 9.1%, respectively. Also, images and video recordings collected during the experiments were built as a data set for future studies.

With the studies in this thesis, people were guided with HMI and as a result of this, it was contributed to provide benefit to the people in need with technological devices.

**Keywords:** Augmented Reality, Education Technology, Human – Robot Interaction, Human – Machine Interaction, Mixed Reality, Neck Pain Therapy, Physiotherapy





*Kızım Bilge'ye*



## ÖNSÖZ

Çalışmalarında bilgi ve tecrübeleriyle bana ışık tutan ve hiç bir zaman yardımını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Konya Teknik Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Rahime CEYLAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Tezimde büyük katkıları olan Marmara Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Cabir VURAL'a, Konya Teknik Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Dr. Öğretim Üyesi Akif DURDU'ya, Ohio State Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Alper YILMAZ'a ve tezin son dönemlerinde Fizik Tedavi konusu ile ilgili çalışmalarımıza sunduğu katkılarından dolayı Selçuk Üniversitesi Tıp Fakültesi öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. İlknur ALBAYRAK GEZER'e desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım. Akademik kariyerime başladığımdan beri her zaman yanımda olan tüm değerli mesai arkadaşlarıma verdikleri desteklerden dolayı teşekkür ederim.

Beni büyütüp, yetiştiren, eğitim görmemi sağlayan, ellerindeki her türlü imkânı sunan, hayatımdaki en büyük şansım olan anneme, babama, kardeşime ve diğer aile üyelerine de sonsuz teşekkür ederim.

En sıkıntılı dönemlerimde bana umut kaynağı olan kızıma ve hayatının geri kalanını benimle paylaşarak her türlü fedakârlığı gösteren kıymetli eşime sevgimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamı 2214-A kapsamında destekleyen ve bu burs sayesinde akademiye farklı bir bakış açısı kazanmamı sağlayan TÜBİTAK kurumuna verdiği destekten dolayı minnettarım.

Kemal ERDOĞAN  
KONYA-2019

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>ix</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>x</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>1 GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivasyon ve Hedef: .....	1
1.2 Yaklaşım: .....	4
1.3 Yenilik:.....	6
<b>2 KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>8</b>
2.1 Robot Etmen ile İnsana Karmaşık Görevin Öğretilmesi Üzerine Literatür Çalışmaları .....	8
2.2 Hologram Etmen ile İnsana Karmaşık Görevin Öğretilmesi Üzerine Literatür Çalışmaları .....	12
2.3 Robot ve Hologram Etmenlerden Öğrenmenin Karşılaştırılması Üzerine Literatür Çalışmaları .....	16
2.4 Boyun Ağrısının Cerrahi Olmayan Tedavisi için Gereken Temel Egzersizlerin Hologram ile Öğretilmesi ve Uygulanması Üzerine Literatür Çalışmaları.....	19
<b>3 MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>26</b>
3.1 Robot ve Hologram Etmen ile İnsana Karmaşık Bir Görevin Öğretilmesinde Kullanılan Yöntemler .....	26
3.1.1 Sonlu Durum Makinaları (SDM).....	27
3.1.2 İçerikten Bağımsız Dilbilgisi (İBD) .....	30
3.1.3 Aşağı Sürüklemeli Otomatlar (ASO).....	33
3.1.4 HoloLens.....	36
3.1.5 Robot ile İnsana Karmaşık Bir Görevin Öğretilmesi.....	37
3.1.6 Hologram ile İnsana Karmaşık Görevin Öğretilmesi .....	40
3.1.7 Hologram ve Robot Etmenlerin Karşılaştırılması .....	45
3.2 Boyun Ağrısının Cerrahi Olmayan Tedavisi için Gereken Temel Egzersizlerin Hologram ile Öğretilmesi ve Uygulanmasında Kullanılan Yöntemler .....	47
3.2.1 Boyun Ağrısının Cerrahi Olmayan Tedavisi .....	48
3.2.2 Hololens Üzerinde İşaretçilerin Tanınması .....	50
<b>4 ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>58</b>
4.1 Robot Etmen ile İnsana Karmaşık Görevin Öğretilmesinden Elde Edilen Sonuçlar .....	58

4.2	Hologram Etmen ile İnsana Karmaşık Görevin Öğretilmesi .....	60
4.3	Robot ve Hologram Etmenlerden Öğrenmenin Karşılaştırılması .....	61
4.4	Boyun Ağrısının Cerrahi Olmayan Tedavisi için Gereken Temel Egzersizlerin Hologram ile Öğretilmesi ve Uygulanması Çalışmasında Elde Edilen Sonuçlar .....	66
<b>5</b>	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>71</b>
5.1	Sonuçlar.....	71
5.2	Öneriler .....	76
	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>78</b>
	<b>EKLER .....</b>	<b>83</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>87</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$M$	: SDM fonksiyon kümesi
$Q$	: Otomatın durumları
$\Sigma$	: Otomatın girdi olarak kabul ettiği alfabe kümesi
$\delta$	: Durumlar arasındaki geçişlerin kümesi
$q_0$	: Başlangıç durumu
$F$	: Son durum
$T$	: Sıcaklık
$G$	: Sonlu yeniden yazma kuralları kümesi, dilbilgisi
$V$	: Kelime dağıncığı
$V_N$	: Üretken simgeler
$V_T$	: Terminal simgeler
$P$	: Üretim kuralları
$S$	: Başlangıç simgesi
$\varepsilon$	: Boş dizi
$\alpha$	: Alfa harfi
$\beta$	: Beta harfi
$L$	: İBD ile oluşturulan dil
$A$	: ASO fonksiyon kümesi
$\Gamma$	: Yığılda depolanabilen alfabe kümesi
$Z_0$	: Başlangıç simgesi
$q_1$	: 1. durum
$q_2$	: 2. durum
$\tan^{-1}$	: Ters tanjant
$h_0$	: Başlangıç pozisyonu
$h_1$	: Servikal sağa rotasyon
$h_2$	: Servikal sola rotasyon
$h_3$	: Servikal sağ lateral fleksiyon
$h_4$	: Servikal sol lateral fleksiyon
$h_5$	: Servikal ekstansiyon
$h_6$	: Servikal fleksiyon
$r$	: Kırmızı nesne
$y$	: Sarı nesne
$w$	: Beyaz nesne
$r_s$	: Kırmızı nesne seçildi
$y_s$	: Sarı nesne seçildi
$w_s$	: Beyaz nesne seçildi

## Kısaltmalar

İRE	: İnsan – Robot Etkileşimi
HRI	: Human – Robot Interaction
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
İBE	: İnsan – Bilgisayar Etkileşimi
AG	: Artırılmış Gerçeklik
AR	: Augmented Reality
SG	: Sanal Gerçeklik
İME	: İnsan – Makine Etkileşimi
HMI	: Human – Machine Interaction
BGE	: Başa Giyilebilir Ekran
SDM	: Sonlu Durum Makineleri
FSM	: Finite State Machines
İBD	: İçerikten Bağımsız Dilbilgisi
CFG	: Context – Free Grammar
ASO	: Aşağı Sürüklemeli Otomat
PDA	: Push Down Automaton
C#	: C Sharp Programlama Dili
HD	: Hareket Dilbilgisi
SAA	: Sıralı Aralık Ağı
KYM-D	: Kırmızı Yeşil Mavi – Derinlik
TV	: Televizyon
IMU	: Atalet Ölçüm Birimi
MS	: Çoklu Skleroz
VOTA	: Sanal Mesleki Terapi Asistanı
BASO	: Belirlenimci Aşağı Sürüklemeli Otomat
MP	: Mega Piksel
USB	: Evrensel Veri Yolu
WMV	: Windows Medya Video
LCR	: Sol – Orta – Sağ
LC	: Sol – Orta
L	: Sol

# 1 GİRİŞ

## 1.1 Motivasyon ve Hedef:

İnsan - Robot Etkileşimi (Human Robot Interaction - İRE), insana fayda sağlaması için robotik sistemlerin tasarlanması, geliştirilmesi ve bunların anlaşılması üzerine yapılan çalışmaları kapsayan bilimsel bir çalışma alanıdır. Bu etkileşimin temeli insan ve robot arasındaki iletişime dayanmaktadır. İRE'nin uzaktan etkileşim ve yakından etkileşim şeklinde iki sınıfta incelendiği görülebilir. Mars yüzeyindeki bir robot ile olan etkileşimde insan ve robotun mekân ve zaman bakımından ayrı olması, fakat destekleyici robotlar ile olan etkileşimin ise aynı odada gerçekleşmesi bu ayrıma örnek olarak gösterilebilir. 20. yüzyılın ortalarında gelişmeye başlamış olan robot teknolojisinin ardından 90'lı yıllardan itibaren İRE başlığı altında sayılabilecek çalışmalar ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu çalışmaların genelinde disiplinler arası çalışma denilebilecek düzeyde farklı alanların işbirliği görülmektedir. Robotik, bilişsel bilim, doğal dil bilimi, psikoloji ve insan faktörü bir araya getirilerek İRE ile ilgili çalışmalar meydana getirilmektedir. Günümüze kadar İRE ile ilgili birçok yarışma alanları oluşturulmuş olup, bunlarla ilgili problemlerin çözümüne yönelik çalışmaların yapılabilmesi için araştırmacılar motive edilmiştir ve edilmeye de devam etmektedir. Bu alandaki en eski bilimsel toplantı 1992 yılında başlayan ve yılda bir kez yapılmaya devam eden Uluslararası IEEE Robot ve İnsan İnteraktif İletişimi Üzerine Sempozyumu'dur (IEEE International Symposium on Robot & Human Interactive Communication - RoMan) (Goodrich ve Schultz, 2008).

İnsan - Bilgisayar Etkileşimi (Human Computer Interaction - İBE) alanındaki çalışmaların, diğer tasarım ve makinelerden farklı olarak daha çok bilgisayarla yapılan çalışmalara odaklandığı söylenebilir. İRE ya da İBE konularında yapılan çalışmalar farklı disiplinlerdeki alanlar ile iç içe olabilmektedirler. Ancak bütün bu çalışmaların temel gayesi, insanların işlerini daha kolay, hızlı, hatasız ve emniyetli yani kısaca etkin bir şekilde gerçekleştirebilmesi için yardımcı sistemler geliştirmektir.

Bu konuda 1980'li yıllardan günümüze kadar olan süreçte ise şüphesiz bilgisayar ve robot sistemlerinin insanların işlerini nasıl daha kolay hale getirebileceği üzerine araştırmalar artarak devam etmiştir. Bu çalışmaların konularına genel olarak bakıldığında sağlık, öğrenci eğitimi, askeri eğitim, dil bilimi, sosyal bilimler, psikoloji, endüstriyel tasarım, iş güvenliği, iş verimliliği, pazarlama ve eğlence gibi farklı alanlar ile ortak çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Uygulamaların hedefleri incelendiğinde;



insanlar ile sistemlerin ortak çalışması, insan - sistem etkileşiminin artırılması, verimliliğin yükseltilmesi ve işlerin kolaylaştırılmasına yönelik tasarımlar karşımıza çıkmaktadır. Sanal Gerçeklik (Virtual Reality - SG), Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality - AG), hareket algılama, niyet algılama, karar verme destek sistemleri, ses ve görüntüye dayalı etkileşim, kullanıcı arayüzleri, işletim sistemleri ve programlama dilleri gibi alt konu başlıkları İBE için örnek verilebilir.

Teknolojinin sürekli ilerlediği şüphesiz bir gerçektir. Son yıllarda bu ilerleme ile birlikte insan iş gücünün yerini robot ya da bilgisayar temelli etmenlere (agent) bırakmaya başladığı görülmektedir. Hayatımızdaki bu yönelim ile tezin hedefleri belirlenmeye çalışılmış olup, iş güvenliği ya da iş verimliliği konusunda insanları yönlendirebilecek bir sistemin geliştirilmesini amaçlayan konulara yoğunlaşmıştır. Daha da detaylı düşünüldüğünde insana bazı görevlerin robot etmenler ile öğretilmesi ve onların yönlendirilmesi başlıklarının güncel ve gelişebilecek konular olduğu görülmüştür. Bunun üzerine araştırma yapılırken, hologram etmenlerin bu amaçla kullanılması yönündeki çalışmalar incelenmiştir. Yapılan araştırmaların sonucunda bahsedilen iki yardımcı olan robot ve hologram etmenlerin insana görev öğretmedeki avantajları, dezavantajları ve başarı durumlarını kıyaslamaya yönelik bugüne kadar herhangi bir çalışmanın bulunmadığı tespit edilmiş olup, bu hususun değerlendirilmesi üzerine çalışılmıştır.

Bu tezde, insanlar ile bilgisayar ve robotların etkileşimi üzerine çalışılmıştır. Bilgisayar ve robotlar şeklinde tanımlanmasının nedeni, deneysel çalışmalarda insan ile etkileşimde bulunan etmen olarak hem robotun hem de hologramın ayrı ayrı kullanılmasıdır. Çalışmada hem robotun kullanılması hem de hologram etmenleri kontrol ederken bilgisayarın kullanılmasından dolayı tezin çalışma alanı İRE ya da İBE yerine daha kapsamlı olacağı düşüncesiyle İnsan Makine Etkileşimi (Human Machine Interaction - İME) olarak tanımlanmıştır.

Son yıllarda AG alanındaki gelişmeler, hologram etmenlerin kullanıldığı çalışmaların sayısının artmasını sağlamıştır. Sutherland'ın AG ortamı için tasarlanan Başa Giyilebilir Ekran (Head Mounted Display - BGE) üzerine yaptığı ilk çalışmayla başlayan bu alandaki ilerlemeler 90'lı yıllarda hız kazanmıştır. Günümüze kadar sağlık, eğitim, askeri, üretim, tamir, inceleme, eğlence, vb. birçok alanda kullanılan, AG ortamını sağlayan, çeşitli BGE'ler bulunmaktadır (Sutherland, 1968; Azuma, 1997; Azuma ve ark., 2001). Bunlardan birisi de 2016 yılında Microsoft'un ürettiği HoloLens

isimli cihazdır. Bu aletin AG uygulamalarının günlük yaşamda kullanılabilir hale gelmesinde önemli katkıları olmuştur.

HoloLens isimli cihaz hakkında araştırma yapılmış ve hologramlar ile insanın yönlendirilmesi, insanlara karmaşık görevlerin öğretilmesi üzerine bir uygulama çalışmasının da son dönemde popüler olan bu cihaz ile tez kapsamında gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Çeşitli yardımcı sistemlerin kullanılarak insana birşeylerin öğretilmesi ya da insanların yönlendirilmesi konusu incelendiğinde literatürde karşımıza en çok çıkan konular eğitim ve sağlık alanındaki konulardır. Fizik tedavi alanında da robot ve diğer teknolojik yardımcı sistemlerin kullanımının hızla arttığını görmekteyiz. Bu kapsamda araştırmalar yapılırken fizik tedavi görmesi gereken hastaların terapistler ile çalışmak için haftalarca sıra beklediği veya sıra beklemek istemeyenlerin ise özel terapistler ile tedavi programlarının uygulanması için fazladan ücretler ödemesi gerektiği görülmüştür. Bekleme durumu hastanın tedavi sürecinin uzamasına, fazladan ağrı kesici ilaçlar kullanmasına ya da iş gücü verimliliğinin düşmesine sebep olabilmektedir.

Ayrıca, evde yapılabilecek egzersizlere ise hastaların sadık kalmadığı ya da hareketleri doğru ve düzenli uygulamadığı tespit edilmiştir. Literatürde yapılan tıbbi ve sosyal içerikli çalışmalarda, bazı hastaların yaşlılık, düşük fiziksel aktiviteye sahip olma, gayretsiz yapıda olma, depresyon, anksiyete, yardıma muhtaç olma, sosyal desteğinin düşük ya da hiç olmaması gibi nedenlerden ötürü egzersizleri yanlış yapması, unutmaması, ihmal etmesi gibi sorunların ortaya çıktığını gösteren sonuçlar açıklanmıştır (Martin ve ark., 2005; Jack ve ark., 2010).

Boyun ağrısı çeken hastalara konulan teşhisin “Akut boyun ağrısı” gibi farklı tedaviler gerektiren bir teşhis olmaması halinde, literatüre göre cerrahi olmayan yöntemler önerilmektedir. Bu tedavi yöntemlerinden en etkili ve yaygın olarak kullanılanı “Servikal Eklem Hareketi Açıklığı Egzersizleri” olarak adlandırılan toplamda 6 hareketten oluşan temel boyun kasları egzersizleridir (Carpenter, 1974). Buradan yola çıkarak yapılan araştırma sonucunda boyun ağrısının cerrahi olmayan tedavisi için literatürde robot ya da hologram etmenlerin kullanılarak hastaya egzersizlerin yaptırıldığı bir çalışmanın bulunmadığı tespit edilmiş ve HoloLens kullanılarak oluşturulan AG ortamında, hologramlar ile hastaya bu hareketlerin öğretilip uygulatabileceği bir çalışmanın gerçekleştirilmesine ve etkilerinin araştırılmasına karar verilmiştir.

## 1.2 Yaklaşım:

Tez iki bölüm halinde değerlendirilecek olursa; ilk bölümde robot ve hologram temelli sistemler ile karmaşık görevlerin insana öğretilmesi hakkında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Burada karmaşık görevler alt görevlere ayrılarak farklı düzeyleri temsil eden durumlar oluşturulmuş ve bu alt görevlerin tamamlanması takip edilerek robot ya da hologram etmenin insanı yönlendirdiği farklı hareketlere geçiş yapması sağlanmıştır.

Bu deneysel çalışmalardan robot ile insana karmaşık görevin öğretilmesi için hazırlanan ortamda robot kolu, kinect sensör, bilgisayar ve çeşitli renk ve boyutlardaki nesnelere kullanılmıştır. Hologram etmen ile insana karmaşık görevlerin öğretilmesi için hazırlanan ortamda ise "HoloLens" isimli BGE kullanılmıştır. Her iki ortamda da insan katılımcılardan kutuları doğru sırayla üst üste dizmelerini gerektiren bu görevi tamamlamaları ve karşılarında bulunan robot veya hologram etmenin hareketlerinden ipucu alabilecekleri söylenmiştir.

Robot etmen için hazırlanan bölümde Sonlu Durum Makinaları (Finite State Machines - SDM) yöntemine dayalı bir algoritmaya göre çalışan yarı otonom bir sistem hazırlanmıştır. SDM temelli algoritmada insanın yapacağı görevler adım adım alt görevlere bölünmüş, bu alt görevler İçerikten Bağımsız Dilbilgisi (Context Free Grammar - İBD) yöntemiyle hazırlanan bir dile dönüştürülmüştür. Bu dile göre durumlar arası geçişleri sağlayan Aşağı Sürüklemeli Otomat (Push Down Automaton - ASO) tasarlanmış ve robotun, insanın yaptığı alt görevleri algılaması ve onu yönlendirmesi sağlanmıştır.

Aynı yöntemlerin kullanıldığı benzer bir uygulama HoloLens cihazı için Unity oyun motoru ortamında C# programlama dili ile geliştirilmiş ve aynı senaryonun hologram etmen ve insan arasında denenmesi sağlanmıştır. Bu deneysel çalışmada da SDM temelli ve İBD yöntemine göre hazırlanmış dile göre çalışan bir ASO tasarlanarak kullanılan yöntemin değişmemesi sağlanmıştır. Böylelikle aynı karmaşık görevin farklı iki etmen ile insana öğretilmesi gerçekleştirilmiş ve bu etmenlerin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları karşılaştırılmıştır. Robot etmen ile yapılan deneylerde 25, hologram etmen ile yapılan deneylerde 25 olmak üzere toplamda 50 kişi ile test yapılmış ve katılımcıların yüzleri belli olmayacak şekilde kamera ile kayıt edilmiştir. Ayrıca katılımcılar ile deney sonunda anketler yapılmıştır. Bu kayıtlardaki katılımcıların tepkileri, hareketleri, hataları ve yapılan anketler, literatürdeki benzer

çalışmalar incelenerek tespit edilen metriklere göre analiz edilerek sonuçlar ortaya çıkartılmıştır.

İkinci bölümde, AG ortamında hologram etmenler ile hastaya boyun ağrısının cerrahi olmayan tedavisi için gereken temel egzersizlerin öğretilmesi ve uygulanması üzerine yenilikçi bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada HoloLens isimli cihaz ve çeşitli işaretçiler kullanılmıştır. Başa giyilen bu cihaz için geliştirilen yazılım, çevreye yerleştirilen işaretçilerden faydalanarak hastaların yaptığı fizik tedavi hareketlerinin doğruluğunu takip etmekte ve yanlış durumlarda hastayı hologramlar ile yönlendirmektedir. Çalışılan çevreye yerleştirilen işaretçilerin algılanmasında Vuforia isimli bir yazılım geliştirme aracındaki hazır kütüphaneler kullanılmıştır (PTC, 2019). Vuforia, HoloLens üzerindeki RGB kamera aracılığıyla alınan görüntüde işaretçileri algıladığında ya da işaretçiler görüntüleme alanından çıktığında birer çıktı üretmektedir. Bu çıktılar, geliştirilen algoritmada girdi bilgisi olarak kullanılmakta ve böylece hastanın yaptığı baş hareketlerinin algılanmasını sağlamaktadır. Algoritmayı genel olarak yönlendiren ise SDM yöntemidir. İşaretçilerin algılanmasıyla otomata gelen girdiler SDM tarafından değerlendirilip hologramların ne yapacağı belirlenmektedir. Boyun egzersizlerinin gereken açıyla yapılıp yapılmadığı denetlenerek hasta, hologramlar ile yönlendirilmektedir.

Bu çalışma ile boyun ağrısı çeken ve doktor tarafından temel boyun egzersizlerini uygulaması önerilen hastaya, yapılacak fizik tedavi hareketlerinin hologram etmen tarafından tarif edilmesi ve hastanın yaptığı hareketlerin takip edilerek doğruluğunun kontrol edilmesi sağlanmaktadır. Bu tedavi için yapılması gereken 6 temel egzersiz, 15'i deney ve 15'i kontrol grubu olmak üzere iki bölümde toplamda 30 katılımcıya uygulanmıştır. Deney grubundaki katılımcılara HoloLens cihazı giydirilerek hologramlar aracılığıyla hareketler tarif edilmiş ve yaptıkları hareketlerin doğruluğu da takip edilmiştir. Kontrol grubundaki katılımcılara ise klasik şekilde yapacakları egzersiz tarif edilerek ve hareketlerin gösterildiği şablona bakarak egzersizleri uygulamaları istenmiştir. Her iki gruptaki katılımcıların egzersizleri kamera ile kayıt edilmiş, uygulama sonunda anket çalışması yapılmış ve egzersizleri yaparlarken hareketleri ne kadar doğru yaptıkları incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken hareketlerin uygulama süresi, başın açısı ve hareketlerin tekrar sayısı gibi kriterlere göre sonuçlar değerlendirilmiştir.

### 1.3 Yenilik:

Tezin ilk bölümünde Robot ve Hologram etmenler ile insana karmaşık bir görevin öğretilmesi ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir. İkinci bölümde ise boyun ağrısının tedavi edilmesi amacıyla tasarlanan hologramların kullanıldığı sistem ile insanlara fizik tedavi hareketleri öğretilmiş ve uygulanmıştır. Bu çalışmalar neticesinde gerçekleştirilen uygulamalar ve dikkate değer sonuçları aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Robot etmen ile gerçekleştirilen uygulamada SDM ile tasarlanan bir algoritma ile robot kolu kontrol edilmiş ve insanlara robot ile bir görev öğretilmiştir.
- Robot ile gerçekleştirilen bu deneyler sonucunda görüntü ve video işleme uygulamalarında kullanılabilecek, 25 farklı katılımcı ile İRE'nin gerçekleştirildiği bir veri tabanı oluşturulmuştur.
- Hologram etmen ile yapılan uygulamalar içinde ilk defa farklı aşamalardan oluşan karmaşık görev alt görevlere ayrılmış ve bu alt görevler İBD yöntemine göre tasarlanan bir dil ile ifade edilmiştir.
- Hazırlanan İBD tabanlı bu dili denetleyen ve alt görev aşamalarının ne kadar tamamlandığını takip eden bir ASO yapısı da ilk defa bu tez çalışmasıyla birlikte bir AG ortamında kullanılarak hologram ile insan arasında bir etkileşim oluşması sağlanmış ve insana görev öğretilmiştir.
- Yine bu çalışmada ilk defa bir hologram öğreticinin kontrol algoritmasında SDM yöntemi kullanılmıştır.
- İnsana etkileşim ile bir görevi öğretmede, robot ve hologram gibi iki farklı etmen, başarı oranları, sistemlerin avantajları ve dezavantajları yönünden ilk defa karşılaştırılmıştır.
- Tezde ikinci bir uygulama olarak sunulan hologramlar ile boyun ağrısının tedavisine yönelik egzersiz hareketlerinin hastaya öğretilmesi ve doğru uygulanması bu alanda bir ilk olma niteliği taşımaktadır. İlk defa BGE ile hem fizik tedavi hareketi öğretilmiş hem de hareketlerin doğruluğu denetlenmiştir.
- Geçmişteki teknolojik cihazlar ile gerçekleştirilmiş benzer fizik tedavi uygulamalarına bakıldığında, hologram ya da robot etmen ile insana

yaptırılmaya çalışılan fizik tedavi egzersizlerinin, mobil cihazlar yerine bilgisayar, Kinect sensör, Leap Motion sensör, projeksiyon cihazı, televizyon gibi kurulum gerektiren ve hastanın evine taşınması ya da kurulması maliyetli olan sistemler ile gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında böyle tedaviler için HoloLens gibi mobil bir cihazın ve hastanın kolaylıkla taşıyıp evine yerleştirebileceği işaretçilerin kullanılması, bu yönden de bir yenilik ve avantaj sağlamaktadır.

- Bu çalışma, benzer hologram temelli mobil sistemlerin geliştirilmesi, gerçekten uygulanabilmesi ve yaygınlaşması yönünden öncü bir çalışma olmuştur.





## 2 KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1 Robot Etmen ile İnsana Karmaşık Görevin Öğretilmesi Üzerine Literatür Çalışmaları

20. yüzyılın ortalarında gelişmeye başlamış olan robot teknolojisinin ardından 90'lı yıllardan itibaren İRE başlığı altında sayılabilecek çalışmalar ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu çalışmaların genelinde disiplinler arası çalışma denilebilecek düzeyde farklı alanların işbirliği görülmektedir. Robotik, bilişsel bilim, doğal dil bilimi, psikoloji ve insan faktörü bir araya getirilerek İRE ile ilgili çalışmalar meydana getirilmektedir.

Destekleyici robot sistemleri, yaşlılar veya engelliler gibi bireylere fiziksel, zihinsel veya sosyal destek sağlamayı amaçlamaktadır. Burada yardımcı robotlar engelli kişilerle yakından etkileşim sağladıklarından İRE alanı için önemlidir. Güvenli fiziksel temas sağlamayı gerektirmesi ve çok yakın mesafelerden hareket etmeyi içermesi İRE'nin bu alandaki zorlukları arasındadır. Bunların dışında etkili sosyal etkileşimlerin desteklenmesi amacıyla, kavramayı sağlamak ve duyguları doğru ifade etmek için hesaplamaların yapılabilmesi, el – kol hareketleri ve konuşma gibi doğal etkileşimlerin gerçekçi bir şekilde sunulabilmesi de zorluklar arasında yer almaktadır. Bu sistemlere bazen robot ismi dışında adlandırılmalar da yapılmaktadır. Yardımcı uygulamalarda kullanılan robotların ya da makinelerin türlerinde ve fiziksel görünümünde geniş bir çeşitlilik görülmektedir. Bunlara tekerlekli sandalyeler, mobil robotlar, hayvan benzeri robotlar ve insansı (humanoid) robotlar örnek verilebilirler (Nemoto ve ark., 1998; Van der Loos ve ark., 1999; Robins ve ark., 2004b; Feil-Seifer ve Matarić, 2011). Yakından etkileşim ve bazen de uzun süreli etkileşimler nedeniyle, destekleyici robotlar ile gerçekleştirilen İRE, kültürel etkilere duyarlı olabilmektedir (Kawamura ve Iskarous, 1994; Shibata ve Tanie, 2000).

2004 yılında yapılan bir çalışmaya göre çocuklar, otistik kişiler veya zihinsel engelli bireylere yönelik tedavi edici veya eğitici rollerde kullanılan robotlarla etkileşime girmek için gereken insan eğitimini ve adaptasyon oranını minimuma indirmek önemlidir. Ayrıca, tehlikeli maddelerin taşınması gibi problemleri içeren konularda İRE'nin uygun eğitimi içermesi önemlidir. Benzer şekilde, tedavi edici ve eğitici rollerde robot kullanmak, insanların etkileşime doğrudan uyum sağlamasını ve insanın etkileşimden öğrenmesini gerektirmektedir (Kanda ve ark., 2004).

Yakından etkileşim içeren robotların öğretme amaçlı veya insanlara davranışsal cevaplar verme amaçlı tasarlandıklarını gösteren birçok çalışma ile karşılaşmaktadır. Tedavi edici veya sosyal robotlar, özellikle uzun süreli etkileşimlerde insanları değiştirmek, eğitmek veya onlara idman yaptırmak için tasarlanmaktadır. Bu uzun süreli etkileşim boyunca insanların hizmet robotlarına adapte olduğu görülmektedir (Werry ve ark., 2001; Green ve Eklundh, 2003; Kanda ve ark., 2004; Robins ve ark., 2004a).

Eğitim amaçlı kullanılan robot sistemleri ise genellikle çok çeşitli insanlar tarafından yönetilebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Bu robotlarla eğitim, bir araştırmacıdan gelen talimatlarla, robotun kendisinden gelen talimatlarla veya bir kullanım kılavuzunun takip edilmesiyle gerçekleştirilebilir (Nourbakhsh ve ark., 2003; Sidner ve ark., 2004). Buna benzer çalışmalar beklentileri yönlendiren ve olası tehlikelere karşı insanları uyaran eğitim materyalleri oluşturmak için kullanıldıklarından önem arz etmektedirler. Bunlar arasında, çocukların sınıf ortamlarında eğitim robotlarını nasıl kullandıklarını araştırmak, engelli çocukların sosyal ortamlarda robotlarla nasıl etkileşime girdiklerini araştırmak, evdeki insanlara yardımcı olmak veya müze rehberi robotlarıyla etkileşim modellerini belirlemek gibi konular yer almaktadır (Nourbakhsh ve ark., 2003; Kanda ve ark., 2004; Visser ve ark., 2006; Billard ve ark., 2007).

İRE’de eğitim terimini sadece insan tarafının eğitimi için kullanmak yanlış olacaktır. Öğrenme konusu, insanlar ve robotlar arasında verimli iletişim yoluyla algısal yeteneklerin iyileştirilmesini, etkileşim ve yeteneklerin iyileştirilmesi yoluyla muhakeme ve planlama yeteneklerinin geliştirilmesini içermektedir. Robotun öğrenmesine yönelik yaklaşımlar; göstermeyle öğretmeyi, programlamayı, görev öğrenmeyi ve beceri öğrenmeyi içermektedir. Beceri öğrenme, sosyal, bilişsel ve hareket kabiliyeti becerilerini öğrenmeyi kapsamaktadır. Bazı araştırmacılar, insanlar veya sosyal hayvanlar arasındaki öğretimin bir robot yetiştirmek için nasıl kullanılabileceğini içeren biyolojik öğrenme modellerini araştırmaktadır. İnsan beyninin çok az sayıda denemeyle veya çok az sayıda örnek veriyle nasıl öğrenebildiği hakkında bilgi edinilmesi sayesinde öğrenmenin de daha verimli hale getirilebileceği düşünülmektedir. Dünya karmaşık olduğu için insanlar ve robotlar arasındaki etkileşimler de karmaşıktır. Bu, akla gelebilecek her sorunu önceden tahmin edip kodlanmış yanıtlar üretmenin veya akla gelebilecek her algıyı tahmin etmenin ve sensör işleme algoritmaları oluşturmanın imkânsız olduğunu göstermektedir. Etkileşimli

öğrenme, bir robotun ve bir insanın algısal yeteneği, otonomluğu ve etkileşimi aşamalı olarak geliştirmek için birlikte çalıştıkları bir süreçtir (Asada ve ark., 2001; Saunders ve ark., 2006; Franklin ve ark., 2007; Goodrich ve Schultz, 2008).

Biçimsel dilleri kullanarak çok sayıda robotik uygulama gerçekleştirilmiştir. 2004 yılında Dillmann yaptığı bir çalışmada günlük klasik ev işlerini gerçekleştirebilecek bir insansı servis robotu için bir yaklaşım sunmuştur. Bu uygulamada amaç, robotun insan hareketlerini tanınması ve biçimsel dilleri kullanarak görevleri öğrenmesi şeklindedir (Dillmann, 2004).

Biçimsel dil yaklaşımının robota uyarlandığı bir çalışmada da robot insan ile santraç oynamaktadır. Bu çalışmada araştırmacılar robot kontrol sistemlerini uygulamak için yeni bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem İBD'ye dayalı Hareket Dilbilgisi (Motion Grammar - HD) dir. HD sayesinde robot kontrolü için görev ayrımı, planlama ve tespit işlemleri hızlı ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmektedir. (Dantam ve Stilman, 2013).

Bir robotun, insandan konuşma dilini öğrenmesi için geliştirilen bir çalışmada ICub adı verilen akıllı bir robot kullanılmıştır. Öncesinde çok az bir dilbilgisine sahip ICub insanla etkileşime girmektedir ve konuşulan dilin dilbilgisi kurallarını konuşmacı ifadelerinden anlayabilmektedir. Bu çalışmada, robotun kullanıcı tarafından istenen karmaşık aktiviteleri gerçekleştirebilmesi için dilbilgisel bir yaklaşım kullanılmıştır (Hinaut ve ark., 2014).

Gams ve ark. tarafından 2016 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, yeri temizlemeye yönelik hareketleri öğrenmek için bir ARMAR-III insansı robotu, bir insan öğretmenin hareketlerini tanımaya ve izlemeye odaklanmıştır. Nesnelere takip etmek için renk takibi kullanılmıştır, ancak parlaklık ve açınma - kapanma gibi bazı durumlardan dolayı renk takibinin düzgün çalışmadığı bildirilmiştir (Gams ve ark., 2016).

Bu çalışmaların aksine tezin ilgi alanı, insanın bir robotik sistemden görevi öğrenmesini sağlamaktır. Aynı amaçla benzer bir çalışma, yaşlı insanlar için 2010 yılında gerçekleştirilmiştir. Yaşlı bir kişiyi izleyen sosyal bir yardımcı robot, oturarak yapılan bir kol çalıştırma egzersizi sırasında fiziksel aktivite performansını iyileştirmeyi amaçlamıştır. Kullanıcı performansı, robot tarafından görsel olarak kolun pozisyonunun takip edilmesiyle izlenmektedir. Katılımcılar robotun zekâsının ortalamanın üstünde olduğunu ve robotun egzersiz yapmada orta derecede yararlı olduğunu düşünmüşlerdir.

Ayrıca robotun basit, eğlenceli bir cihazdan ziyade onlara yardım edebilecek bir varlık olduğunu ifade etmişlerdir (Fasola ve Mataric, 2010).

Benzer bir araştırma çalışması rehabilitasyon seansı sırasında çocuklara koçluk yapmak için robot Nao'nun kullanıldığı bir sistemdir. Robot çocuğu gözlemlemektedir ve çocuğa öğretmek için önce fizik tedavi hareketlerini yapmaktadır. Daha sonra çocuk aynı egzersizi yapmaya çalışmakta, aynı zamanda da robot çocuğu gözlemleyerek eylemlerin doğru yapılıp yapılmadığını anlamaya çalışmaktadır. Çalışma sonucunda çocukların fizik tedavi hareketlerini bir robottan öğrenmekten keyif aldıkları gözlemlenmiştir. Ayrıca bu sistemin sağlık odaklı egzersizleri sürdürmek için ucuz bir sistem olduğu da vurgulanmıştır (Pulido ve ark., 2017).

İBD genellikle karmaşık insan faaliyetlerini modellemek için kullanılmıştır. 2006 yılında İBD ile üst düzey hiyerarşik insan faaliyetlerini tanıyan bir uygulama geliştirilmiştir (Ryoo ve Aggarwal, 2006). 2014 yılında ise karmaşık insan faaliyetlerini ayırt etmek için Sıralı Aralık Ağı (Sequential Interval Network - SAA) sunulmuştur. İBD'ye dayanan yöntem, oyuncak montajı ve eylem tanıma için uygulanmıştır. Bu çalışmada aynı zamanda bir insanın sonraki eylemlerinin de öngörülmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte, basit bir renk detektörünün kullanılmasından dolayı takip performansının düşük olduğu belirtilmiştir (Vo ve Bobick, 2014). Benzer şekilde, 2017 yılında Kırmızı Yeşil Mavi - Derinlik (Red Green Blue-Depth - KYM-D) türü videolarda sonra gelen insan aktivitesini tahmin etmek için stokastik dilbilgisi tabanlı bir uygulama sunulmuştur (Qi ve ark., 2017). Öte yandan yine 2017 yılında olasılıksal İBD kullanılarak günlük aktiviteleri öğrenmek için bir modelleme yöntemi önerilmiştir (Li ve Lee, 2017)

Yukarıda bahsedilen çalışmalara bakıldığında;

- Robotların insanları yönlendirme ve insanlara birşeyleri öğretme amaçlı olarak birçok uygulamada kullanıldığı görülmektedir.
- Robotlara görevlerin öğretilmesinde ve ortamdaki hareketlerin algılanmasında bunların alt görev ya da hareket gruplarına ayrıldığı ve İBD gibi benzer yaklaşımlar ile daha basit hale getirilerek işlendiği tespit edilmiştir.
- Bu yaklaşımlardan farklı olarak robotun öğretici olacağı ve bütün görevin biçimsel bir dil yöntemiyle aşama aşama alt görevlere ayrılarak robotun bunu insana öğreteceği bir uygulamanın yenilik getirebileceği sonucuna varılmıştır.

## 2.2 Hologram Etmen ile İnsana Karmaşık Görevin Öğretilmesi Üzerine Literatür Çalışmaları

Licklider tarafından 1960 yılında İBE üzerine yapılan, çokca atıf alan ve ilk çalışmalardan biri olan yayında; insan ile bilgisayar arasındaki ilişkinin gelecekte simbiyotik yani birbirlerine muhtaç bir ilişki olacağı ifade edilmiştir. Buna göre insanlar amaçları, kriterleri belirleyip, hipotezi formüle eder ve sonuçları değerlendirir. Bilgisayarlar ise, teknik ve bilimsel düşünmedeki anlamaya ve karar vermeye giden yolu hazırlayan rutin hale getirilmiş görevleri yapar (Licklider, 1960). Bu yaklaşımdan sonra İBE'nin tanım olarak verildiği ve bir konu başlığı olarak kullanıldığı ilk çalışmalar ise Stuart K. Card ve arkadaşlarına aittir (Card ve ark., 1980; Card, 1983).

İnsanlar ve makineler arasındaki, sürücü - otomobil, sekreter - daktilo gibi alışılmış etkileşim tarzları son derece yalındır. Bu gibi durumlarda başarılması gereken sınırlı sayıda görev bulunmaktadır ve dar bir araç yelpazesi vardır. Bir makinenin operatörü adlandırması da bu bağlamdan ortaya çıkmıştır. Ancak kullanıcı bir operatör değildir. Bir bilgisayar kullanıcısı bilgisayarı işletmemekte, bir görevi gerçekleştirmek için onunla iletişim kurmaktadır. Böylece, yeni bir insan hareketi alanı oluşmuştur. Bu alan, makinelerin çalışması yerine, makinelerle iletişime odaklanılan bir alandır.

İnsan ve robot arasındaki bu tanımlamayı 1983 yılında yapan Card, hem bilgisayarın gücündeki hem de performans - maliyet oranındaki radikal gelişmelerin, yalnızca bilgisayar işlemlerinin gelişiminde değil, insan bilgisayar arabiriminin geliştirilmesinde de harcanabileceği anlamına geldiğini söylemiştir. Bilgisayar kaynaklarındaki bu artışın, bu alandaki yenilikçiliği arttırdığını, çünkü tamamen yeni etkileşim stillerinin, etkileşim başına elde edilebilecek artan hesaplama yeteneği ile elde edilebilir hale geldiğini söylemektedir. Bu yeni stillerin yeni arayüzlere neden olduğunu, aynı zamanda, iyi arayüzlerin icadı için fırsatların da hızlı bir şekilde arttığını anlatmıştır (Card, 1983).

İBE alanında 1980'li yıllarda bu şekilde öngörülerin yapıldığı araştırma çalışmaları hızla gelişimini sürdürmektedir. AG ortamının İBE amacıyla kullanıldığı çalışmalara bakıldığında önemli başlıklardan birisinin de eğitim konusu olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen tez çalışması, literatürde çoklukla karşımıza çıkan öğrenci eğitiminin daha etkin hale getirilmesini amaçlayan AG uygulamalarından farklıdır. Bu çalışma, insanın hologramlar ile etkileşime girerek bir görevi öğrenmesini

sağlamayı amaçlamaktadır. Bu şekildeki bir mühendislik yaklaşımıyla, insan iş gücü yerine bilgisayarların veya makinelerin öğretici olması ve her alanda insan - sistem etkileşiminin sürdürülmesini hedefleyen çalışmalara katkıda bulunulması amaçlanmaktadır.

AG'yi eğitim amaçlı kullanma konusunda ilham veren ilk çalışmalardan birisi, 1995'te yayınlanan makalesi ile Jacqueline M. Layng'e aittir. Çalışmasında, 80'lerde geliştirilen holografik teknolojiden ve gelecekteki beklentilerinden bahsetmiştir. Bazı tıbbi ve sanat temelli eğitici holografik araştırma çalışmalarına değinmiştir. Ancak o günlerde hologramları eğitim amaçlı olarak kullanmak sadece bir öngörüdür (Layng, 1995).

AG ortamındaki eğitim uygulamalarında öğrencilerden birden fazla teknolojik cihaz kullanmaları veya karmaşık görevleri tamamlamaları istenebilir. AG uygulamasının içeriğine değinen başka bir çalışmada da, bu içeriklerin öğrencinin ilgisini başarıyla çekebilmek için çok önemli olduğu anlatılmaktadır. Bu içerikleri hazırlamak için özel çabanın ve niteliğin gerektiği belirtilmiştir (Kaufmann ve Schmalstieg, 2002).

2011 yılında El Sayed ve ark. ARSC ismini verdikleri AG öğrenci kartlarını tanıtmışlardır. Tek kart üzerinde bulunan 7 farklı işaretçi ile istenilen ders içeriğine göre özelleştirilebilen üç boyutlu uygulamalar geliştirilebilmektedir. Bu üç boyutlu uygulamaların, öğrencilere farklı öğrenme nesnelerini görüntüleyebilme, teoriyle etkileşime girebilme ve bilgiyle ilgilenme imkânı sağladığını anlatmışlardır. Bu kartları eğitimde kullanmanın yeni, etkin ve düşük maliyetli bir yöntem olduğunu açıklamışlardır. ARSC kartlarını yaşları 10 ile 17 arasında değişen çocuklarda denemişler ve çocukların kartları büyük beğeniyle karşıladıklarını gözlemlemişlerdir (Sayed ve ark., 2011).

AG teknolojisi ve eğitim ile ilgili en çok atıf yapılan çalışmalardan birisi AG'yi bir teknoloji yerine bir kavram olarak değerlendirmektedir. Bu çalışmaya göre, AG ortamında oluşturulacak öğretim yaklaşımının ve bunun için tasarlanan teknolojinin, öğretim hedefine ve öğrenme deneyimlerine göre özel olarak ayarlanması, eğitimde kullanılan diğer cihazlara göre daha çok önem arz etmektedir. AG teknolojisinin, öğrencilerin beceri ve bilgilerini daha etkili bir şekilde geliştirmelerine yardımcı olabileceği gibi, AG teknolojisi eğitime uygulandığında bazı teknolojik, pedagojik ve öğrenme sorunlarının ortaya çıkabildiği de özetlenmiştir (Wu ve ark., 2013).



2014 yılında eğitimde AG kullanımını ile ilgili 32 çalışmayı analiz etmiş olan Bacca ve arkadaşlarına göre, son yıllarda bu konu üzerindeki araştırma ilgisi oldukça artmıştır. AG uygulamaları genellikle yükseköğretim hedef gruplarına uygulanmaktadır. Erken çocukluk ve meslek grupları, gelecekteki potansiyel hedefler olarak belirtilmektedir. Eğitimde AG'nin kullanım amacını, bir başlığın açıklanmasında veya onunla ilgili ek bilginin verilmesinde kolaylık sağlaması şeklinde anlatmışlardır (Bacca ve ark., 2014).

Hareket algılama için faaliyetler iki bölümde incelenebilir. Bunlar kısa (düşük seviye) ve daha karmaşık faaliyetlerdir. Daha karmaşık faaliyetlerin kolay anlaşılabilmesi için bunlar alt segmentlerde incelenebilirler. Genellikle incelenecek giriş hareketlerinin bir dizge olarak alınması ve sonra bunların alt hareketlere ayrılması önerilmektedir. Bilgisayar tabanlı sistemlerin bu daha karmaşık faaliyetleri anlayabilmeleri için biçimsel dil yöntemleri geliştirilmiştir. Bu biçimsel dil sınıfları bir otomat şekli olarak tanımlanmıştır (Ryoo ve Aggarwal, 2006; Chen ve ark., 2008; Vo ve Bobick, 2014).

2013 yılında LEE ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada çocukların yeni yaklaşımları anlamayı öğrenmeden önce kelimelerden yardım aldıkları ve böylece alt bileşenlerde daha karmaşık etkinlikleri öğrenmek için kullandıkları ifade edilmiştir (Lee ve ark., 2013). Bir dilin ne kadar kesin kuralları varsa o dili öğrenmek de o kadar kolaydır. Lioutikov ve ark. 2018 yılında gerçekleştirdikleri çalışma ile hareket algılama problemleri için biçimsel bir dil oluşturulmasının ve hiyerarşik alt eylemleri anlamak ve düzenlemek için dilbilgisi kurallarının tanımlanmasının gerekliliğini vurgulamışlardır (Lioutikov ve ark., 2018).

Cerezo ve ark. tarafından 2019'da gerçekleştirilen çalışmada Arturito adında sanal bir öğretmen geliştirilmiştir. Bu çalışmada, çocuklara İngilizce kelimelerin telaffuz pratiği yaptırılmaktadır. Bu uygulamada Arturito isimli hologramı dans ederken görmek isteyen çocukların kelimeleri doğru telaffuz etmeleri gerekmektedir. Çalışmanın etkisini görebilmek için; geleneksel öğretim metodolojisi ile çalıştırılan *Kontrol Grubu*, hologram etmeni olmayan mobil uygulama ile çalıştırılan *Grup 1* ve hologram etmenin bulunduğu mobil uygulama ile çalıştırılan *Grup 2* şeklinde üç farklı grup karşılaştırılmıştır. Deneylemlerden elde edilen sonuçlara göre, çocukların geleneksel yöntemlere göre mobil uygulamalar ile daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Hologramın olduğu mobil uygulamanın da hologramın olmadığı mobil uygulamaya

göre çocuklara İngilizce öğretmede daha başarılı olduğu tespit edilmiştir (Cerezo ve ark., 2019).

Fizik tedavi hareketlerinin insana AG ortamında öğretilmesine yönelik 2019 yılında geliştirilen bir çalışmada, denge bozukluğu tedavisi için yaşlı bireylere egzersiz yaptıracak kafaya giyilebilir cihaz ile AG uygulaması önerilmektedir. Çalışmalarda Meta 2 isimli BGE üzerindeki sanal koç ile denge eğitimi talimatları ve doğru performanslar kullanıcılara gösterilmekte, sonrasında ise kullanıcılar bu hareketleri uygulamaktadır. Kullanıcıların hareketleri bir Kinect sensör ile izlenmektedir. Sonuçlar, yaşlı bireylerin denge eğitimleri için sanal koçu kullanma konusunda olumlu yaklaşıtlarını göstermektedir. (Mostajeran ve ark., 2019).

Literatür araştırmasından anlaşıldığı gibi dildeki kurallar kesinse, hiyerarşik ve özyinelemeli fonksiyonları kodlamayı kolaylaştırmaktadır. Semboller alfabetleri oluşturmakta ve dilbilgisi kuralları da bunların sıralama koşullarını oluşturmaktadır. Bu şekildeki bir yapıyla tasarlanan bir otomat, önceden tanımlanan dile ait dizileri kabul etmekte veya reddetmektedir.

Literatürdeki AG ortamında öğretmeye yönelik çalışmalar incelendiğinde;

- Bunların genellikle eğitim etkinliğini arttırmaya yönelik destekleyici AG uygulamaları olduğu görülmektedir.
- Öğretici olarak hologramın kullanıldığı çalışmalar bulunmakta fakat bunlar AG ortamında video gösterilmesi ya da avatar kullanılması gibi araçlar ile insanı yönlendirmeyi hedefleyen ama etkileşim kurmaktan uzak çalışmalardır.
- Karmaşık bir görevin biçimsel bir dil yapısı yöntemi kullanılarak alt görevlere ayrıldığı, bu aşamaların tasarlanan bir otomat ile kontrol edilerek insan ile hologramın etkileşimde bulunacağı bir öğretim amaçlı AG uygulaması bulunmamaktadır.
- Bu doğrultuda insan katılımcıya hologramlar ile ne yapacağını düz bir şekilde göstermek yerine insanın hologram etmen ile etkileşime girerek karmaşık görevleri doğru sırayla öğrenebileceği bir çalışmanın gerçekleştirilmesi İBE alanında oldukça önemlidir.

### 2.3 Robot ve Hologram Etmenlerden Öğrenmenin Karşılaştırılması Üzerine Literatür Çalışmaları

Bir etmen, çevresini kısmi bir şekilde algılayabilen, hareket edebilen, başkalarıyla iletişim kurabilen, otonom, hedeflerini ve eğilimlerini gerçekleştirme becerisine sahip fiziksel veya sanal bir varlık olarak tanımlanabilir. Pratikte etmenler çok çeşitli formlarda karşımıza çıkabilmektedirler (Franklin ve Graesser, 1996; Ferber ve Weiss, 1999).

Sosyal robotlarda cisimleşmenin, insanın karar vermedeki etkisinin incelendiği 2007 yılında yapılan bir çalışmada farklı üç ortamdaki etmen türü ele alınmıştır. Birincisi robotun insan karşısında bulunduğu ortam, ikincisi aynı robotun başka bir odadan telekonferans aracılığıyla görüntüsünün ve sesinin kullanıcıya bir ekran aracılığıyla aktarıldığı bir başka deyişle robotun sanal varoluş (telepresence) ile etkileşime girdiği ortam, sonuncusu ise bir bilgisayar üzerinde robotun Gazebo ortamındaki simülasyonunun kullanıcıya gösterildiği ortamdır. Aynı sosyal amaçlı robotun üç farklı ortamda insan kullanıcıya, Hanoi kuleleri isimli bulmaca oyununu oynarken yardımcı olması sağlanmıştır. Bu çalışmada açıklanan sonuca göre ise kullanıcılar tarafından en çok benimsenen etmen, fiziksel olarak ortamda bulunan robottur (Wainer ve ark., 2007).

Dunleavy ve ark.'nın 2009 yılında gerçekleştirdikleri çalışmanın sonuçlarına göre öğrencinin AG ortamında karşılaştığı çok fazla bilgi varsa, bilişsel olarak aşırı yüklenme durumu oluşabilmektedir. Bu durum AG ortamı ile öğrenme için bir dezavantaj oluşturmaktadır (Dunleavy ve ark., 2009).

Radu tarafından 2012 yılında gerçekleştirilen bir inceleme çalışmasında, AG ortamında geliştirilen uygulamaların, öğrenci öğreniminde kullanımıyla ilgili artılar ve eksiler masaya yatırılmıştır. Daha iyi öğrenci motivasyonu, uzun süreli hafızada tutma, işbirliği yapmayı ve uzamsal düzeni öğrenmeyi artırma, dil ortaklıklarını öğrenme, fiziksel görevleri öğrenme, kitaplardan öğrenme gibi hususlar dikkate alındığında geleneksel eğitim yöntemlerine göre AG'nin eğitimde olumlu etkileri olduğu vurgulanmıştır. Olumsuz öğrenme etkileri ise dikkatin tünellenmesi, kullanılabilirlik zorlukları, etkisiz sınıf entegrasyonu ve öğrenci farklılıkları şeklinde sıralanmıştır. Olumlu ve olumsuz öğrenme etkilerine yönelik bilgi edinilen bu çalışmada robot ve hologram etmenlerinin karşılaştırılmasına yönelik herhangi bir içerik bulunmamaktadır (Radu, 2012).

Robotlarla öğrenme ile ilgili çalışmalar hakkında Kısım 2.1’de detaylı bir literatür araştırmasına yer verilmişti. Karşılaştırma kriterlerine katkı sağlayabilecek bazı çalışmalara bakıldığında 2011 yılında robotların öğretici olduğu bir çalışma karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada bir sınıfta robota yönelik dikkat çekicilik ve öğrenenlerin robotu benimsemesi konusundaki olumlu ve olumsuz geri bildirimler araştırılmıştır. Çalışmada alınan geri bildirimlere göre, bir insan eğitmen, robot eğitime göre daha değerlidir. Bunun yanı sıra robotun yüz ifadelerinin ya da mimiklerinin, robotun dikkat çekiciliğini artırma konusunda çok önemli olduğu vurgulanmıştır (Park ve ark., 2011).

Bu çalışmalara ek olarak, literatürde birçok farklı amaç için sosyal veya hizmet robotu mevcuttur. Bir insanla etkileşimde bulunan sosyal robotlar için son inceleme çalışması Tapus ve ark. tarafından 2019’da sunulmuştur. İnsanla etkileşime giren sosyal robotlar hakkındaki bu inceleme çalışmasında, insan hareketlerini tanımak için son dönemdeki uygulanan yaklaşımların analizi yapılmıştır. Çalışmaya göre en büyük zorluklardan birisi, bu algoritmaların tepki süresidir. Etmenlerin bir kişiyle etkileşime girdiklerindeki tepki süresi, insanların etkileşimdeki tepki süresi oranlarına yakın olmasının gerekliliği vurgulanmıştır (Tapus ve ark., 2019).

Çeşitli sosyal robot türlerini karşılaştırmak için, genellikle cisimleşme ve bulunma olmak üzere iki kavram göz önünde bulundurulmaktadır. Cisimleşme, ilgili robotun fiziksel olarak bir vücudunun olması, bulunma ise robotun etkileşime girdiği varlıkla aynı ortamda bulunması olarak açıklanabilir. Fiziksel robotlar fiziki olarak cisimleştirilmişlerdir ve genellikle kullanıcı ile aynı alanda bulunurlar. Buna karşılık, sanal varoluş robotlar fiziksel olarak cisimleri olan ancak kullanıcıya bir ekran ile gösterilmiş robotlardır. Sanal etmenler ise cisimleştirilmemiş ve genellikle ekranda gösterilen etmenlerdir. Önceki araştırmalar fiziksel varlığı ve fiziksel cisimleşmeye sahip olan robotların insanlar tarafından genellikle sanal robotlara göre tercih edildiğini açıklamışlardır (Brooks ve ark., 2012; Li, 2015; Thellman ve ark., 2016; Wang ve Rau, 2018)

Wang ve Rau tarafından 2018 yılında gerçekleştirilen çalışmada sosyal robotlarda cisimleşmenin insanın karar vermesindeki etkisi incelenmiş ve çalışmada ayrıca fiziksel robot, başka bir odada bulunan robot, AG ortamda bulunan robot ve SG ortamda bulunan robotların etkileri araştırılmıştır. Çalışmada insanlara bazı bulmaca soruları yöneltilmiştir. Öncelikle bazı şekiller insanlara gösterilmiş ve bunlardan sonra sıradaki şeklin ne olabileceği yönünde cevabı çoktan seçmeli olan 10 tane soru sorulmuştur. 4 şıktan birisini cevap olarak seçmeleri istenen insanlara, soruları robotlar

sormuştur. İnsan kullanıcı sorunun cevabını verdikten sonra, robot onunla aynı fikirde olduğunu ya da başka bir şıkkın doğru olduğunu söylemektedir. Uygulamada bazı soruların iki tane, bazı soruların ise bir tane doğru cevabı olduğu ve robotun tek doğru cevabı olan sorularda insana doğru cevabı gösterdiği, çift doğru cevabı olan sorularda ise doğru cevaplardan insanın seçmediği diğerini gösterdiği açıklanmıştır. Bu şekilde insanların kararlarını robotun etkisiyle ne kadar değiştirdiği gözlemlenmiştir. İnsanların kararını, fiziksel robotun ve SG ortamındaki robotun daha çok değiştirebildiği, başka bir odada bulunan sanal varoluş ile etkileşim yapan robotun ise daha az değiştirebildiği tespit edilmiştir. Yapılan ankette ise insanların en çok fiziksel olarak karşılıklarında bulunan robotu ve SG ortamında bulunan robotu beğendikleri sonucuna ulaşılmıştır (Wang ve Rau, 2018).

Yapılan literatür araştırması neticesinde gerçekleştirilen tez çalışması açısından aşağıdaki maddeler dikkate alınmıştır:

- Öğrenme, öğretme ya da eğitim amaçlı hologramların ya da AG ortamındaki etmenlerin robot etmenler ile karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Buna yakın sayılabilecek 2018 yılında Wang ve Rau'nun yaptığı çalışmada 4 farklı ortamdaki etmenin insanın karar verme aşamasındaki etkilerini araştıran bir çalışma bulunmaktadır. Wang ve Rau'nun çalışmasında insanların karar verirken, fiziksel yani cisimleşmiş robottan mı yoksa cisimleşmemiş diğer yardımcılarından mı daha çok etkilendikleri araştırılmıştır (Wang ve Rau, 2018).
- Robot ve hologram yardımcılarından insanın bir görevi öğrenmesi sırasında hangi etmenin daha başarılı olduğu ve bu ortamların birbirlerine göre sağladıkları avantajları ve dezavantajları konusunda bir boşluk bulunmaktadır. Bu boşluğun doldurulabilmesi için AG ortamında hazırlanan uygulamaların etkilerini açıklayan çalışmalar incelenmiş ve karşılaştırmanın hangi kriterlere göre yapılması gerektiği tespit edilmiştir.
- Tespit edilen kriterlerin sağlıklı olarak tanımlanabilmesi için gerekli deney düzeneği planlanmıştır. Bunun için katılımcıların etmenler karşısındaki hareketlerinin gözlemlenmesi, insan ve sistemler arasındaki etkileşimin değerlendirilmesi gerekmektedir.
- AG ortamında, literatürde de geçen, bilişsel aşırı yüklenme veya dikkatin tünellenmesi durumlarının meydana gelip gelmediğinin incelenmesi için

uygulamalar sırasında katılımcıların AG ortamına mı yoksa tamamen nesne sıralaması problemini çözmeye mi yoğunlaştıklarına bakılarak sonuçlar yorumlanmaya çalışılmıştır.

- Bunların dışında katılımcıların BGE cihazını kullanırken zorluk çekip çekmediği, bu uygulamaları deneyimlemede motivasyonlarının nasıl olduğu yani denenen sistemlerin katılımcılar üzerindeki cazibesi de karşılaştırma kriterlerine eklenmesi gerektiği belirlenmiştir.
- Ayrıca her iki sistemin uygulanabilirlik, maliyet ve hazırlanma süresi yönünden de karşılaştırmasının uygun olacağı düşünülmüştür.

#### **2.4 Boyun Ağrısının Cerrahi Olmayan Tedavisi için Gereken Temel Egzersizlerin Hologram ile Öğretilmesi ve Uygulanması Üzerine Literatür Çalışmaları**

Fizyoterapi hareketlerinin teknolojik cihazlar yardımıyla yapılması ile ilgili çalışmalar hızla artmaktadır. Bu çalışmaların bazılarında telefon, tablet, TV gibi cihazlar kullanılarak hastalara görsel yönlendirmeler ile yardımcı olunmaktadır. Bazı çalışmalarda ise Kinect, Leap Motion, Kamera, Atalet Ölçüm Birimi (IMU - Inertial Measure Unit) gibi sensör içeren cihazlarla veya benzeri sensörlerin kullanılmasıyla oluşturulan sistemler ile hastaların yaptığı hareketler denetlenmektedir. Kinect cihazının 2010 yılında piyasaya çıkması ve 2011'de yayınlanan yazılım geliştirme kiti ile Windows işletim sistemine kolaylıkla adapte edilmesi sayesinde birçok çalışmada popüler olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü Kinect cihazın üzerindeki derinlik sensörü karşısına geçen insanın eklem noktalarını kolaylıkla tespit edebilmekte ve bu bilgi kolayca bilgisayara aktarılıp kullanılabilir. Genellikle üst ve alt ekstremitte tedavisi, denge takibi veya egzersizi ve hareket açıklığı egzersizlerinde sıklıkla kullanıldığı ve faydalı olduğu görülmüştür (Mousavi Hondori ve Khademi, 2014).

Son yıllarda ise SG ve AG ortamlarında geliştirilen ya da bu ortamlardaki yardımcı etmenlerin kullanımı ile gerçekleştirilen fizik tedavi çalışmaları ortaya çıkmıştır.

2002 yılında yapılan bir durum raporu çalışmasında, SG teknolojisi ile etkileşimli, motive edici bir fizik tedavi ortamının oluşturulabileceği anlatılmıştır. Bu ortamda bireye özel tedaviler oluşturmak için geri bildirimlere göre egzersizlerin sıklığının değiştirilebileceği bildirilmiştir. İnme sonrası kronik evrede olan üç hasta



gerçek nesnelere ve SG egzersizleriyle beceriye yönelik görevleri yapmak üzere günde 3,5 saatlik ve toplam 2 haftalık bir eğitim programına tabi tutulmuşlardır. SG simülasyonları, hareket aralığını, hareket hızını, parçalama ve kuvvet üretimini hedefleyerek hazırlanmıştır. Sonuçlar, SG'nin inme sonrası kronik fazdaki hastalarda üst ekstremitelere rehabilitasyonu için faydalı olabileceğini göstermektedir (Merians ve ark., 2002).

2004 yılında Sveistrup tarafından gerçekleştirilen SG'nin fizik tedavide kullanımı ile ilgili inceleme çalışmasında, sanal ortamların kullanıldığı motor rehabilitasyonu üzerine çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmaların eğer gerçek dünyadaki uygulamalarla yapılabilen karşılıkları varsa onlarla da karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Üst ve alt ekstremitelere fonksiyonu, denge ve hareket konularıyla ilgili olan SG uygulamaları incelenmiştir. Bu çalışmada incelenen uygulamalar, bazı popülasyonlarda belirli motor fonksiyonlarında gelişmeler olduğunu göstermiştir. Bu cihazların mevcut hareket ve terapi anlayışımızı önemli ölçüde genişletme potansiyeline sahip olduğu ve rehabilitasyon müdahalelerinin sunumunu önemli ölçüde etkileyebileceği açıklanmıştır (Sveistrup, 2004).

2013 yılında Ortiz-Gutiérrez ve ark. tarafından Çoklu Skleroz (Multipl Skleroz - MS)'li postural kontrol bozukluğu hastalarında geleneksel tedavi yöntemlerinin kullanımına bir alternatif olarak SG ile telerehabilitasyon şeklinde bir çalışma sunulmuştur. Toplamda 50 hastanın alındığı çalışmada 25 kişi kontrol grubu olarak haftada iki kez ve seans başına 40 dakika olmak üzere fizyoterapi tedavisi almıştır. Diğer 25 kişilik deney grubu ise Xbox oyun konsolu ve Kinect sensörü kullanılarak video konferans yoluyla izlenen telerehabilitasyon tedavisi almışlardır. Sonuçlara bakıldığında her iki grupta da genel denge üzerinde bir iyileşme görülmüştür. Görüntüye göre yapılan tercihlerin ve vestibüler bilginin katkısı ile deney grubunda önemli farklılıklar sağlanmıştır. Sonuçlar, SG sistemine dayalı bir telerehabilitasyon programının, MS hastası kişilerin dengesini ve duruş kontrolünü korumak için gerekli duyuşsal bilgi işleme ve entegrasyon sistemlerinin optimize edilmesine olanak sağladığını göstermiştir. Çalışmada, hazırlanan SG uygulamasının, bilgisayar ve cevap mekanizmalarıyla ilgili oluşan beklentiye karşıladığı ve geleneksel terapinin hazır olmadığı durumlarda başarılı bir alternatif olarak hizmet edebileceği ifade edilmiştir (Ortiz-Gutiérrez ve ark., 2013).

2014 yılında SG ile günlük yaşamın sanal aktivitelerinin uygulanması sırasında elde edilen üst ekstremitelere motor fonksiyon ölçümlerinin kriter geçerliliğini araştırmak

için bir çalışma yapılmıştır. 14 hemiparetik inme hastasının, yaklaşık 1 saat süren 4 seansta, sanal bir ortam ve bir Kinect sensöründen oluşan Sanal Mesleki Terapi Asistanı (VOTA) ismi verilen uygulamayı kullanması sağlanmıştır. Hasta, Kinect ve bilgisayar karşısında bir oyun içerisinde kendisine verilen kahvaltı hazırlama, bulaşık yıkama gibi günlük ev işleri şeklindeki görevleri yerine getirmeye çalışmaktadır. Kokusuz Kalman Filtresi (Unscented Kalman Filter) tabanlı insan hareketi takip algoritması, sanal görevlerin uygulanması sırasında gerçek zamanlı olarak insanları takip etmiştir. Sonuç olarak ilk 1 - 2 seansta hastaların hareket kabiliyetlerinde ilerleme olduğu görülmüş, fakat sonraki seanslarda ilerlemenin çok azaldığı ya da hiç olmadığı tespit edilmiştir (Adams ve ark., 2014).

Bir başka SG ile fizyoterapi çalışmasında, ciddi engelli bireylerin egzersiz yapması ve sonuçların değerlendirilmesi için bir sistem sunulmuştur. Sistem, otizm spektrum bozukluğu, travmatik beyin hasarı ve omurilik hasarı gibi şiddetli mobilite bozukluğuna yönelik üç engelli gruba eğitim sağlamayı amaçlamaktadır. Hastalara dev ekran başında kasada para ödeme, sanal rafları yerleştirme gibi çalışma hayatına yönelik egzersizler yaptırılmaktadır. Hastalar önlerine konan tablet, fare gibi cihazlarla egzersizleri gerçekleştirmiştir. Çalışma sonuçları ve meslek koçlarının gözlemlerine göre, önerilen sistemin ciddi bilişsel engelli bireylere etkili mesleki eğitim sağlama konusunda umut vaat ettiği açıklanmıştır (Bozgeyikli ve ark., 2017).

AG ile yapılan çalışmalar incelendiğinde son yıllarda SG ile yapılan çalışmalara göre daha popüler olduğu görülmektedir. Öyle ki 2012 yılında yapılan ilk derleme çalışmasında 1950 ile 2010 yılları arasında fizik tedavi ve AG içerikli çalışmaları taramışlar ve 2002 ile 2010 yılları arasında yapılan sadece 14 adet çalışma bulabilmişlerdir. Bu çalışmaların konularına bakıldığında ise 2 çalışmanın travmatik beyin hasarı, 4 çalışmanın inme, 4 çalışmanın Parkinson hastalığı, 1 çalışmanın serebral palsi, 1 çalışmanın MS ve 2 çalışmanın da üst ekstremitte engelliliği üzerine olduğu görülmektedir. İnceleme çalışmasında tespit edilen önemli noktalardan biri AG uygulamaları için teknolojilerin hala çoğunlukla geliştirme aşamasındaki prototip çalışmaları olduğu ve henüz genel uygulama kullanımı için uygun bir aşamada olmadığıdır. Umut verici sonuçların bu alanda daha fazla araştırmayı desteklediği de belirtilmiştir (Al-Issa ve ark., 2012).

2014 yılında Lee ve ark. tarafından gerçekleştirilen AG çalışmasının amacı inme hastalarında AG tabanlı postüral kontrol egzersizinin denge ve yürüyüş fonksiyonu üzerine etkilerini belirlemektir. 21 inme hastasından 10'u deney grubuna ve 11'i de

kontrol grubuna ayrılmıştır. AG ortamı, bir sunucu bilgisayara bağlanan kamera ve bir ultra mobil kişisel bilgisayara bağlı BGE kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İki bilgisayar kablosuz sinyal alışverişini sağlamaktadır. BGE üzerinde gösterilen postüral kontrol eğitimi videoları, inme hastalarını ideal postüral kontrol hareketlerini gerçekleştirirken yönlendirmek için kullanılmıştır. BGE iki görüntüyü göstermek üzere tasarlanmıştır. Modellenen hareket bireyin tarafında, asıl hareket diğer tarafta gösterilmektedir. Hasta normal hareketi kendi hareketi ile karşılaştırmak için modellenen hareketi izleyebilmekte ve kaydedilmiş bir sesi dinleyebilmektedir. 4 haftalık AG tabanlı postüral kontrol eğitiminin ardından, deney grubundaki hastalar, yürüyüş hızı, adım ve adım uzunluğu hususlarında, kontrol grubundakilere göre önemli ölçüde daha fazla iyileşme göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçları, inmeli hastaların yürüyüşünü iyileştirmek için AG ortamının postüral kontrol eğitimine destek olduğunu kanıtlamaktadır (Lee ve ark., 2014).

2016 yılında MirrARbilitation adında Da Gama ve ark. tarafından geliştirilen sistem ile üst ekstremitte egzersizlerine yönelik hareketlerin hastalara uygulanması hedeflenmiştir. Sistem Kinect sensör bilgisayar ve ekrandan oluşmaktadır. Ekran karşısında hastalar egzersizleri uygulamakta, Kinect ile eklem noktaları belirlenen hastaların ekrandaki görüntüsüne basketbol topu gibi sanal nesnelere eklenmekte ve hastaların elleriyle bunları yakalaması istenmektedir. Testler üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlkinde kullanıcılar, yardımsız olarak yorgun hissedene kadar egzersiz yapmışlardır. Sonrasında aynı egzersizi geliştirilen AG uygulaması rehberliğinde tekrarlamışlardır. En sonunda ise geliştirilen sistem olmadan yapmışlardır. Sonuçlara göre geliştirilen sistem kullanıcıların motivasyonunu arttırmıştır. Aynı zamanda sistem kullanıcıların egzersizleri tamamen yanlış bir şekilde yapmalarını da engellemiştir (Da Gama ve ark., 2016).

Kouris ve ark. tarafından 2018 yılında denge bozukluğuna yönelik bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistem kullanıcının gün içindeki etkinliğini izlemek ve fizyoterapi egzersizlerini doğru bir şekilde yaptırmak için gerçek zamanlı geri bildirim sağlamak üzere sanal bir denge terapisi sunmaktadır. Kullanıcı aktivitesinin takibi için giyilebilir sensörler kullanılırken, egzersizlerin yürütülmesi sırasında kullanıcının vücudunu takip etmek için de kameraların kullanılması önerilmiştir. BGE, sanal eğiticinin üç boyutlu avatarını kullanıcının önüne yansıtma için kullanılmakta ve bu sanal eğitici egzersizlerin doğru şekilde gerçekleştirilmesi için gerçek zamanlı rehberlik

sağlamaktadır. Fakat sistem gerçek hayatta hastalar üzerinde denenmemiş ve sonuçları görülememiştir (Kouris ve ark., 2018).

2019 yılında yine denge bozukluğuna yönelik geliştirilen bir çalışmada yaşlı bireylere denge bozukluğu gelişiminin erken evrelerinde egzersiz yaptıracak kafaya giyilebilir cihaz ile AG uygulaması önerilmektedir. Çalışmalara katılan kullanıcılara Meta 2 isimli BGE giydirilmiştir. Kullanıcıların hareketleri doğru yapıp yapmadıkları bir Kinect sensör vasıtasıyla izlenmiştir. Sanal koç, denge eğitimi talimatlarını ve doğru performansları BGE üzerinden kullanıcılara göstermektedir. Sonuçlar, geleneksel sağlık hizmetlerinin değişimlerinden dolayı, yaşlı bireylerin denge eğitimleri için bir sanal koçu kullanma konusunda olumlu yaklaşıtlarını göstermektedir. Anketler, yaşlı insanların gerçek bir doktordan randevu almak için bekleme sürelerinden memnun olmadıklarını ve bunun sonucunda böyle bir kişiselleştirilmiş egzersiz koçu sistemini memnuniyetle karşıladıklarını ortaya koymaktadır (Mostajeran ve ark., 2019).

2019 yılında önerilen bir sistemde Alzheimer hastalığının gelişiminin erken evrelerinde yaşlılar için teşhis koyabilmeyi amaçlayan bir uygulama üzerine çalışılmıştır. Çalışmada HoloLens BGE kullanılarak bir AG sistemi önerilmekte ve önerilen sistem halen geliştirme aşamasındadır. Alzheimer hastalığı teşhisinde en önemli hususlardan birisi, erken hafıza kaybına, özellikle de uzamsal hafızaya bağlı görünen belirtilerin tespit edilmesidir. Önerilen çalışma, yer ve nesne özellikleri gibi öğeler arasında bir ilişki içeren belirli bir olayı hafızada saklamayı ve alma yeteneğini bir oyun ortamında sunmayı hedeflemektedir. Kullanıcıların holografik bir cihazla nasıl etkileşime gireceklerini gözlemlemenin amaçlandığı bu projenin değerlendirme aşaması için kullanıcı çalışması planlanmıştır fakat henüz sonuçlar yayınlanmamıştır (Vovk ve ark., 2019).

Boyun ağrılarının tedavisi için kullanılan yöntemlere bakıldığında ise bu yöntemlerin çeşitlilik arz ettiği görülmektedir. Tedavi yöntemleri, boyun ağrısının sebebine de bağlı olarak, temelde cerrahi müdahale ve cerrahi olmayan müdahale şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Cerrahi olmayan yöntemler incelendiğinde fiziksel egzersiz hareketleri, masaj, omurga manüplasyonu, akupunktur, yoga, elektroterapi ve diğerleri olarak sınıflandırılmışlardır. Bunların içindeki etkili yöntemin de egzersiz yapmak olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Cohen ve Hooten, 2017).

Boyun ağrısı çeken hastalara konulan teşhis “Akut boyun ağrısı” gibi farklı tedaviler gerektiren bir rahatsızlık değilse, literatüre göre cerrahi olmayan yöntemler önerilmektedir. Bu tedavi yöntemlerinden en etkilisi ve yaygın olarak kullanılanı

“Servikal Eklem Hareketi Açıklığı Egzersizleri” olarak adlandırılan toplamda 6 hareketten oluşan temel boyun kasları egzersizleridir (Carpenter, 1974).

Ne yazık ki çalışmalar göstermektedir ki birçok hasta egzersiz tedavilerini düzenli uygulamamaktadır. Bunun en güçlü sebebi olarak, hastanın zaten temelde düşük fiziksel aktiviteye sahip olması, gayretsiz yapıda olması, depresyonda olması, anksiyete hastası olması, yardıma muhtaç olması, sosyal desteğinin düşük ya da hiç olmaması şeklinde sonuçlara ulaşılmıştır (Jack ve ark., 2010). Bazı hastalıklar için yapılan araştırmalar göstermektedir ki; tedaviye bağlı kalmama oranı %40'lara ulaşmaktadır. Bu çalışmaya göre de tedaviyi uygulamamanın temel nedenleri tedaviyi yanlış anlama, unutkanlık ve tedaviyi önemsememek olarak sıralanmıştır (Martin ve ark., 2005).

Rouse'un 1977 yılındaki makalesinde belirttiği gibi İBE yaklaşımının hem performans açısından hem de insanın sistemdeki rolü açısından yararları olduğu görülmektedir. Temel olarak, bilgisayar görevleri yerine getirmeye çalışırken hangi iş seçilirse yapmaktadır. Bilgisayarlarda ego yoktur. Asla çok çalışmış ya da az çalışmış şeklinde hissetmezler. Böylece, insan karar vericisinin sistemdeki kendi rolünü tanımlamasına ve durum değiştiğinde bu tanımı değiştirmesine olanak tanımaktadırlar (Rouse, 1977).

Yapılan kaynak araştırmasına göre;

- Teknolojik sistemlerin fizik tedavi amaçlı yardımcı sistemler olarak kullanımını geliştirerek devam etmektedir.
- Kinect sensörün kullanıldığı çalışmalar ile popülerite kazanan fizik tedavi amaçlı AG / SG sistemleri günümüzde BGE'lerin yaygınlaşması ve gelişmesiyle mobil hale gelmeye başlamaktadır.
- Boyun ağrısının tedavisine yönelik yapılması gereken egzersizlerin hastalara uygulatılması için geliştirilen herhangi bir AG / SG uygulaması ya da robotun kullanıldığı uygulama tespit edilememiştir.
- Hastaların günlük uygulaması için kendilerine verilen egzersiz ödevlerini düzgün bir şekilde yerine getirmedikleri tespit edilmiştir.
- İnsanların yorgunluk, yetersiz eğitim ya da başka sebeplerden dolayı gereken egzersizleri yanlış yaptıkları ya da hiç yapmadıkları ancak makinaların buna izin vermeyeceği, kuralları esnetmeyeceği ortadadır.

- Böyle bir mobil sistemin geliştirilmesi boyun ağrısının tedavisi için gereken egzersizlerin doğru tekrar sayısı, aı ve sre ile tatbik edilmesi yönünden önem arz etmektedir.
- AG ortamında bu tip bir sistemin geliştirilmesi, fizik tedaviye yardımcı başka sistemlerin de geliştirilmesi bakımından yeni fikirlerin doğmasını sağlayabilecektir.



### 3 MATERYAL VE YÖNTEM

Hazırlanan tez çalışması iki bölüm halinde incelenecek olursa ilk bölümde robot ve hologram etmenler kullanılarak insana karmaşık bir görev öğretilmiştir. Önce robot etmenin kullanılacağı deneysel çalışma ortamı hazırlanarak robot etmen ile deneyler yapılmış daha sonra bu ortama benzer nitelikte bir AG ortamı tasarlanarak deneyler hologram etmen ile HoloLens cihazı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki eğitim amaçlı çalışmalar incelenmiş ve bu iki farklı öğretici etmen tespit edilen metriklere göre kıyaslanmıştır (Dunleavy ve ark., 2009; Park ve ark., 2011; Radu, 2012; Wu ve ark., 2013; Bacca ve ark., 2014).

İkinci bölümde ise insanlar hologramlar ile yönlendirilerek, boyun ağrısı tedavisi için gereken fizik tedavi hareketleri insanlara öğretilmiş ve uygulanmıştır. Bu uygulama gerçekleştirilirken katılımcıların hareketleri doğru açıyla, doğru tekrar sayısında ve doğru sürede yapıp yapmadıkları HoloLens üzerindeki sensörlerden ve etrafa yerleştirilen işaretçilerden faydalanılarak denetlenmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde, robot ve hologram etmenler kullanılarak insana görevler öğretilirken ve bu görevlerin ne kadarının tamamlandığı takip edilirken kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Ayrıca bu etmenlerin ve hazırlanan sistemlerin avantaj ve dezavantajlar yönünden karşılaştırılması yapılırken göz önünde bulundurulmuş kriterler ile ilgili de bilgi verilmiştir. Boyun ağrısının cerrahi olmayan tedavisi ve bunun hologramlar ile nasıl gerçekleştirilebileceği hakkında bilgiye yer verilmiştir. Yapılan tüm deneylerde kullanılan ekipmanlar, metodlar ve hazırlanan uygulamalar detaylı bir şekilde ve görsel örneklerle anlatılmıştır.

Bu uygulamaların hazırlanmasının ve gerçekleştirilmesinin genel amacı, İRE ve İBE kullanılarak insanların yönlendirilebilmesini sağlamaktır. Bu yönlendirme sonucunda, hem farklı etmenler kullanmanın sonuçlara etkisi incelenmiş hem de sağlık alanında kullanımı ile ilgili faydalı bir uygulama geliştirilmiştir.

#### 3.1 Robot ve Hologram Etmen ile İnsana Karmaşık Bir Görevin Öğretilmesinde Kullanılan Yöntemler

Robot etmenle insana görevin öğretilmesi ile ilgili çalışmada, katılımcının farklı renk ve boyutlardaki kutuları doğru sırayla üst üste dizmesi istenmiş ve robot kolundan

yardım alabileceği söylenmiştir. Görev başlatıldığında robot kolu kutular üzerinde dolaşmaya başlamaktadır. Nesnelere seçildikçe robotun hangi güzergâhlarda dolaşacağı güncellenmektedir. Bahsedilen görev için toplamda üç farklı güzergâha ihtiyaç duyulmuştur. Bu hareketleri yapabilmesi için robot kolu önceden üç farklı konumda ve eşit bekleme süreleriyle programlanmıştır. Başka bir odada bulunan operatörün, katılımcının hareketlerini deney düzeneğinin tepesine yerleştirilen bir kamera ile takip etmesi ve bu algoritmalarından birini seçmesiyle İRE gerçekleştirilmiş, böylece insan katılımcıya görev öğretilmiştir. Robot kolunun ne zaman hangi hareketleri yapacağını kontrol eden genel algoritma SDM yöntemi ile tasarlanmış ve anlatılmıştır.

Hologram etmen ile insana görevin öğretilmesi ile ilgili çalışmada da benzer şekilde, farklı renk ve boyutlardaki kutuların katılımcı tarafından, AG ortamında doğru sırayla üst üste dizilmesi istenmiştir. Geliştirilen uygulama Unity oyun motorunda tasarlanmış ve HoloLens isimli cihaz üzerinde koşturulmuştur. Burada da hologramı kontrol eden genel algoritma SDM ile yönetilmiştir. Katılımcının hareketleri yani kutuların pozisyonlarındaki değişimler ise ASO yöntemi ile denetlenmiştir. Hangi kutuların seçildiği yani görevin ne kadarının doğru şekilde tamamlandığı, İBD yöntemi ile tasarlanan dil sayesinde alt görevlere ayrılıp kodlanmış ve ASO ile bu alt görevlerin denetimi yapılmıştır. Sonuç olarak bu yöntemler ile katılımcının hangi durumda olduğu tespit edilerek hologramın yönlendirici hareketleri kontrol edilmiştir.

İki yardımcının karşılaştırıldığı bölümde ise katılımcıların görevleri başarılı tamamlama sonuçları, anket ve kaydedilen video görüntüleri üzerinde yapılan analizler bir araya getirilerek, katılımcıların alt görevleri tamamlarken hologram veya robot etmenlerin hareketlerini ne kadar anlayabildikleri belirlenmiştir. Bunun yanında bu iki farklı yönlendirici ortam literatürde de kullanılan metriklere göre kıyaslanmış ve tespit edilen avantajlar / dezavantajlar ortaya konulmuştur.

### **3.1.1 Sonlu Durum Makinaları (SDM)**

Nesnelerin doğru sırasını katılımcıya yaptıkları hamlelere göre öğreten hologramın hareketlerini kontrol etmek için bir Sonlu Durum Makinesi (SDM) yapısı oluşturulmuştur. SDM sınırlı sayıda duruma sahip olan sıralı bir ağ algoritmasıdır. Bu algoritmada, bir durumdan diğerine geçişler yapılır ve bu geçişlerin sonuçlarıyla girdiye göre uygun çıktılar üretilir. SDM'nin temeli, hesaplama problemlerinin çözümünü soyut makineler kullanarak inceleyen otomat teorisine dayanmaktadır. Otomat olarak



adlandırılan bu soyut makineler bir dizi işlemi otomatik olarak takip eder. Otomat, girdi, çıktı ve bu ikisi arasındaki işlevi içerir. Otomatlarda belirli sayıda durum varsa, buna sonlu otomat denir.

SDM yönteminde aynı anda aktif olan sadece bir durum olabilir. Bir durumdan diğerine geçiş yapılırken girdi, şartlara göre gözden geçirilir ve hangi durumun seçileceğine ilişkin kararlar alınır. Şekil 3.1’de SDM yapısının grafiksel gösterimine örnek verilmiştir.

SDM’nin fonksiyonu “ $M$ ”, 5 elemandan oluşmaktadır:

$$M = ( Q, \Sigma, \delta, q_0, F) \quad (3.1)$$

Bu elemanların tanımını aşağıdaki gibidir:

$Q$ : SDM’nin durumları

$\Sigma$ : Girdi kümesi

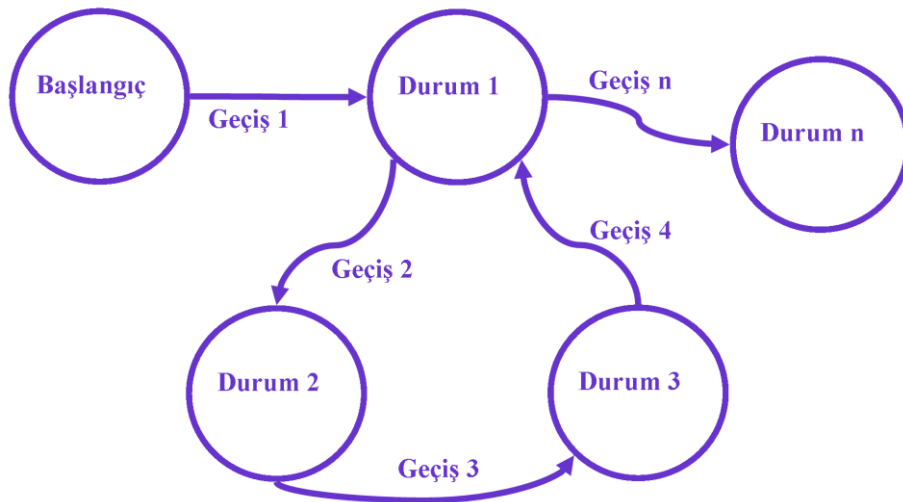
$\delta$ : Durumlar arasındaki geçiş fonksiyonu

$q_0$ : Başlangıç durumu

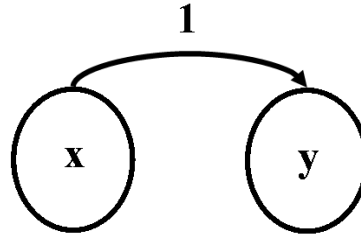
$F$ : Son durum

Durumları ve durumlar arası geçişi tanımlayan örnek bir fonksiyon Eşitlik 3.2’de gösterilmektedir. Şekil 3.2’de grafiksel gösterimi yapılan bu fonksiyona göre “ $x$ ” durumundayken “ $I$ ” şartı sağlandığında “ $y$ ” durumuna geçiş yapılmaktadır (Sipser, 2006).

$$\delta(x, I) = y \quad (3.2)$$



Şekil 3.1 Örnek bir SDM yapısı

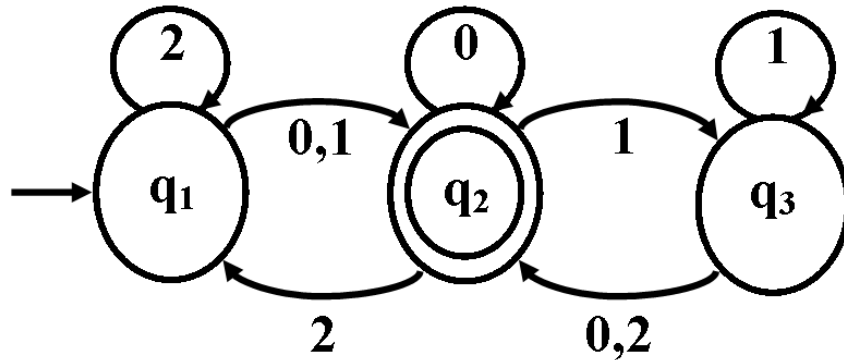


Şekil 3.2 İki durumlu bir SDM'nin grafiksel gösterimi.

SDM yöntemi ile tasarlanan ısıtma ve soğutma yaparak sıcaklık kontrolü sağlayan bir termostat örneği 3 durum ile oluşturulabilir. Şekil 3.3'te gösterilen bu durumlardan  $q_1$  başlangıç durumunu ve "Isıtıcıyı Çalıştır" durumunu,  $q_2$  son durumu ve "Isıtıcıyı ve Soğutucuyu Durdur" durumunu, son olarak  $q_3$  ise "Soğutucuyu Çalıştır" durumunu temsil etmektedir. Sıcaklık sensöründen alınan veriler, 0, 1 ve 2 değerleri ile gösterilmekte ve bunlarla geçiş şartları temsil edilmektedir:

- 0: İstenilen oda sıcaklığı ( $T=23^\circ$ )
- 1: İstenilen oda sıcaklığının üstündeki değerler ( $T \geq 25^\circ$ )
- 2: İstenilen oda sıcaklığının altındaki değerler ( $T \leq 21^\circ$ )

Bu örnek için  $M_2$  olarak adlandırılan, SDM'nin yapısını oluşturan elemanların matematiksel gösterimi Eşitlik 3.3'teki gibi de ifade edilebilir (Sipsler, 2006).



Şekil 3.3 Üç durumlu SDM ile kontrol edilen bir termostatlı ısıtıcı, soğutucu örneği.

$$M_2 = (\{q_1, q_2, q_3\}, \{0, 1, 2\}, \delta, q_1, q_2) \quad (3.3)$$

$$Q = \{q_1, q_2, q_3\}$$

$$\Sigma = \{0, 1, 2\}$$

$$\delta \begin{array}{c|ccc} & 0 & 1 & 2 \\ \hline q_1 & q_2 & q_2 & q_1 \\ q_2 & q_2 & q_3 & q_1 \\ q_3 & q_2 & q_3 & q_2 \end{array}$$

$$q_0 = \{q_1\}$$

$$F = \{q_2\}$$

$$q_0 = \{q_1\}$$

$$F = \{q_2\}$$

SDM, çok yaygın bir algoritma olduğundan örnekler çoğaltılabilir. Bunların dışında özellikle örüntü tanıma ile ilgili birçok sıralı uygulamada kullanıma da uygundur (Vidal ve ark., 2005a; Vidal ve ark., 2005b).

### 3.1.2 İçerikten Bağımsız Dilbilgisi (İBD)

Dil, cümle kümelerinin bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır. Cümle kümesi, sınırlı kelimeler veya alfabe tarafından oluşturulan dizelerdir. Dilbilgisi ise dili kodlayan bir cihaz olarak tanımlanabilir. Herhangi bir giriş sinyali seti ile birlikte Turing Makinesi ele alındığında bir dilbilgisi örneğidir. İBD özyinelemeli ve yeniden yazma kurallarından oluşan bir settir. Bu biçimsel dilbilgisi karakter dizilerini oluşturmak için kullanılmaktadır. Biçimsel dili oluştururken dilin özellikleri belirli üretim kurallarında tanımlanmalıdır. Bu üretim kuralları bire bir, bire çok veya bire hiç olabilir. Kurallar, içeriğe bakılmaksızın uygulanabilir (Scheinberg, 1960).

Eğer  $G$ , sonlu yeniden yazma kuralları kümesi yani dilbilgisi (grammar) ise,  $V$  sonlu bir alfabe yani kelime dağarcığı (vocabulary) şeklinde temsil edilmektedir.  $V_N$ , üretken simgelerini (non-terminal vocabulary) ve  $V_T$  terminal simgelerini (terminal vocabulary) temsil eder. Üretken simgelerin Türkçe Bilim Terimleri Sözlüğü'ndeki tanımı, "Dilbilim ve bilgisayar bilimlerinde gramerlerin tanımında kullanılan, üretim kurallarında verilmiş terminal ve üretken simgelerden oluşan bir dizgi ile yer değiştirebilen simgelerden biri" şeklindedir. Terminal simgeler ise "Dilbilim ve bilgisayar bilimlerinde, bir dilin ögesi olan bütün sözcüklerin üretilebilmesini sağlayan dilbilgisi kurallarının gösteriminde kullanılan ve sözcük üretim sürecinin en sonunda ortaya çıkan sözcüklerin içinde yer alan simge" olarak tanımlanmaktadır.  $V_N$ , sonuç

olarak ortaya çıkan biçimsel dilde görünmez. Üretken simgeler ve terminal simgeler kelime dağarcığını oluşturur. (Scheinberg, 1960; Hopcroft, 2008; TÜBA, 2013).

Konuşmak için nasıl dildeki harfler ve sözcükler kullanılarak ihtiyaç duyulan sözcükler kümesi oluşturuluyorsa, İBD ile de otomatın kabul edeceği dizilerin kümesi oluşturulabilmektedir. Bu kümenin sınırları üretim kurallarıyla belirlenerek, kısaca makinanın anlayabileceği şekilde tanımlanabilmektedir. Burada bahsedilen üretim kuralları  $P$  simgesi ile gösterilmektedir. Her üretim kuralı bir simgenin ya da bir değişkenin birbirine eşleştirilmesiyle oluşturulmaktadır.  $P$ 'nin sol tarafı her zaman üretken simgelerden sağ tarafı ise terminal simgelerinden oluşmaktadır.  $S$  simgesi başlangıç simgesi,  $\varepsilon$  simgesi ise kurallardaki boş dizi anlamına gelmektedir. Sonuç olarak  $G$  dilbilgisi kuralları  $V_N, V_T, P, S$  elemanlarından oluşmaktadır;

$$G = (V_N, V_T, P, S) \quad (3.4)$$

Türkçe'deki kurallı (düz) cümle yapısı için bir örnek verilerek, İBD yöntemi ile sınırları belirlenmiş dilbilgisine uygun cümlelerin üretim kuralları ile oluşturulması sağlanabilir. Kurallı cümle yapısında özne başta, tümleç ya da nesnelere oluşan yardımcı öğeler ortada, yüklem ise sondadır. Oluşturulacak dilbilgisine göre başlangıç simgesi "CÜMLE" dir. Parantez içinde ve büyük harfler ile yazılmış diğer elemanlar da üretken simgeleri temsil etmektedir. Çıktı olarak üretilecek cümlelerde kullanılacak kelimeler olan küçük harfler ile yazılmış kelimeler ise terminal simgeleridir.

Çizelge 3.1'de verilen üretim kurallarına göre oluşturulan bazı cümleler anlam olarak mantıksız olabilir fakat bu örnekte vurgulanmak istenen dilbilgisi kurallarına uygun cümlelerin türetilebilmesidir:

**Çizelge 3.1** Türkçe'deki kurallı (düz) cümle yapısı için bir İBD örneği.

(CÜMLE)	→	(ÖZNE)(YARDIMCI ÖĞELER)(YÜKLEM)
(YARDIMCI ÖĞELER)	→	(YARDIMCI ÖĞELER)(YARDIMCI ÖĞELER)
(ÖZNE)	→	Adam   Ahmet   O
(YARDIMCI ÖĞELER)	→	eve   okuldan   zamanında   arabayla   $\varepsilon$
(YÜKLEM)	→	gelir   gider   bekler

Bu dilbilgisine göre üretim yapıldığında aşağıdaki cümleler oluşturulabilir:

Adam gelir  
 Adam okuldan gelir  
 Adam okuldan eve gelir  
 Adam okuldan zamanında gelir  
 Ahmet gelir  
 Ahmet okuldan gelir

Üretim kuralları farklı örneklerle daha basit şekilde açıklanabilir. Eşitlik 3.5'te oluşturulan çoklu üretim kurallarına göre  $S$  üretken simgesi  $\alpha$  ya da  $\beta$  terminal simgeleri ile değiştirilebilir. Yani bu kurala göre bu dilbilgisinde boş dizi haricinde sadece  $\alpha$  ve  $\beta$  elemanları bulunmaktadır. Çoklu kurallar alt alta sıralanarak tanımlanır. Bu örnek için  $S$  hem üretken simge hem de başlangıç simgesidir.

$$\begin{aligned} S &\rightarrow \alpha \\ S &\rightarrow \beta \end{aligned} \quad (3.5)$$

$S$  üretken simgesinin sağ tarafta olduğu bir başka örnekte oluşturulan dilbilgisi kümesi  $G = [\{ S \}, \{ \alpha, \beta \}, P, S]$  ve üretim kuralları da Eşitlik 3.6'daki gibi olsun.

$$\begin{aligned} S &\rightarrow \alpha S \beta \\ S &\rightarrow \alpha S \alpha \\ S &\rightarrow \alpha \\ S &\rightarrow \varepsilon \end{aligned} \quad (3.6)$$

En fazla bir üretim işletildiğinde diziler Eşitlik 3.7'de gösterildiği gibi türetilirler:

$$\begin{aligned} S &\rightarrow \alpha S \beta \rightarrow \alpha \alpha S \beta \beta \rightarrow \alpha \alpha S \alpha \beta \rightarrow \alpha \alpha \beta \rightarrow \alpha \beta \\ S &\rightarrow \alpha S \alpha \rightarrow \alpha \alpha S \beta \alpha \rightarrow \alpha \alpha S \alpha \alpha \rightarrow \alpha \alpha \alpha \rightarrow \alpha \alpha \\ S &\rightarrow \alpha \end{aligned} \quad (3.7)$$

Üretim kurallarının çalıştırılmasıyla oluşturulan dil ise aşağıda  $L$  kümesi ile gösterilmektedir:

$$L(G) = ( \alpha \beta, \alpha \alpha, \alpha, \alpha \alpha \beta, \alpha \alpha \alpha, \alpha \alpha \beta \beta, \alpha \alpha \beta \alpha, \alpha \alpha \alpha \beta, \alpha \alpha \alpha \alpha ) \quad (3.8)$$

İBD kuralları ile bir dizinin, dil için uygun olup olmadığına karar verilir. Bu amaçla, belirlenen dile ait dizileri kabul eden otomat kullanılmıştır (Scheinberg, 1960; Hopcroft, 2008; Lioutikov ve ark., 2018; Nelson, 2019).

### 3.1.3 Aşağı Sürüklemeli Otomatlar (ASO)

ASO aslında bir sonlu otomat türüdür. En önemli farkı SDM'ye göre üzerinde yığının olmasıdır. ASO, sembol dizilerini Şekil 3.4'teki gibi yığında saklayabilir. Bu özellik ASO ya ilk giren bilgileri de hatırlama imkânı vermektedir. ASO, içerikten bağımsız dilleri bu sayede tanımlayabilmektedir. Bir başka deyişle, içerikten bağımsız dillerin hepsini tanımlayabilen tek otomat ASO'dur. Bundan dolayı İBD ve ASO birlikte kullanılmışlardır (Sipser, 2006; Hopcroft, 2008).

A simgesi ile gösterilen ASO fonksiyonu, tanımına göre yedi bileşen elemandan oluşmaktadır.

$$A = ( Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, Z_0, F) \quad (3.9)$$

ASO fonksiyonundaki elemanların tanımı aşağıdaki gibidir:

$Q$ : ASO'nun durumları

$\Sigma$ : Otomatın girdi olarak kabul ettiği alfabe kümesi

$\Gamma$ : Yığında depolanan alfabe kümesi

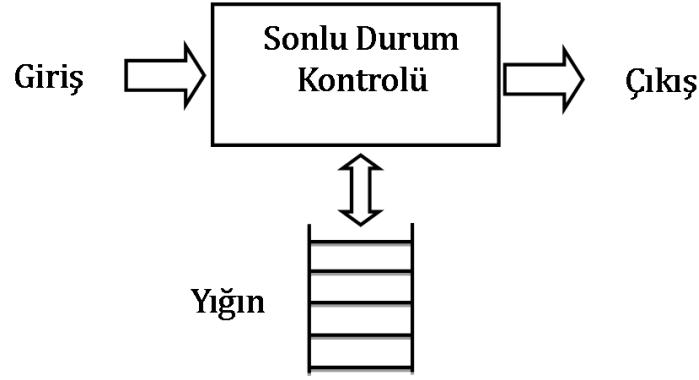
$\delta$ : Durumlar arasındaki geçişlerin kümesi

$q_0$ : Başlangıç durumu

$Z_0$ : Başlangıç simgesi

$F$ : Son durum

ASO girişine bir defada sadece bir simge alır. Mevcut duruma, girişteki simgeye ve yığının en tepesindeki simgeye göre durumlar arası geçişe karar verir. Herhangi bir durumdayken yığına bir simgeyi yazabilir veya buradan bir simgeyi silebilir. Yığına yazma yapılırken hâlihazırda yığında bulunan diğer simgeler aşağı itilir. Silme işlemi yapılırken de en son yığına kaydedilmiş olan en tepedeki simge ilk önce silme işlemine tabi tutulur.



Şekil 3.4 Aşağı Sürüklemeli Otomat'ın mekanizması

ASO'nun işleyişi örnek bir problem ile anlatılabilir.  $[0^n, 1^n \mid n \geq 1]$  ifadesine uygun girdilerin kabul edileceği bir ASO yapısını ele alalım. Bu ifadeye uygun girdilerin kümesini İBD ile oluşturulmuş bir dilbilgisi kuralıyla tanımlayalım:

$$G = [\{ S \}, \{ 0, 1 \}, P, S] \quad (3.10)$$

Üretim kuralları ise aşağıda gösterildiği gibi oluşturulabilir. Burada kullanılan “ $\varepsilon$ ” simgesi boş diziyi ifade etmektedir.

$$\begin{aligned} S &\rightarrow 0S1 \\ S &\rightarrow \varepsilon \end{aligned} \quad (3.11)$$

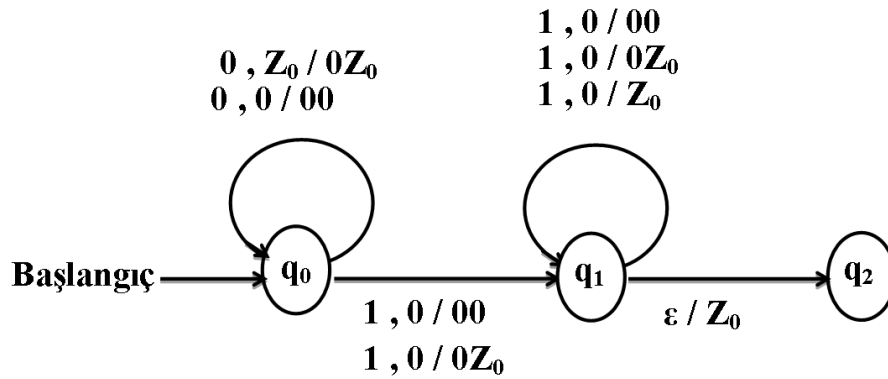
Bu üretim kuralları ile 3 kez üretim yapılırsa ASO'nun kabul edeceği şu örnek diziler oluşmaktadır ve L kümesi ile gösterilmektedir:

$$\begin{aligned} 1. \text{ Üretim: } &S \rightarrow 0S1 \rightarrow 01 \\ 2. \text{ Üretim: } &S \rightarrow 00S11 \rightarrow 0011 \\ 3. \text{ Üretim: } &S \rightarrow 000S111 \rightarrow 000111 \\ L(G) &= ( 01, 0011, 000111 ) \end{aligned} \quad (3.12)$$

Bu kurala göre giriş dizisindeki 0'ların ve 1'lerin sayısı eşit olmak zorundadır. Ayrıca 0'ların, 1'lerden önce sıralanması gerekmektedir. Diğer durumlarda ASO girdi dizisini kabul etmeyecektir. Yığında kullanılacak sembeler “ $Z_0$ ”, “0” ve “ $\varepsilon$ ” dir. “ $Z_0$ ” ise yığın için bir başlangıç simgesidir. Sistem çalışmaya başladığında yığına konur ve otomat en son duruma geçtiğinde yığında başka simge kalıp kalmadığının kontrol edilebilmesini sağlar. Başka bir amacı yoktur.

$$\begin{aligned}\Sigma &= (0, 1) \\ \Gamma &= (0, Z_0)\end{aligned}\quad (3.13)$$

ASO'daki işleyişe göre, başlangıç durumundayken otomat gelen ilk simgeyi kontrol edecektir. Bu noktada otomat artık  $q_0$  durumuna geçmiştir. Diğer girdi simgeleri 0 olarak gelmeye devam ettikçe, ASO onları yığına itmeye devam edecektir. Ancak giriş simgesi “1” olduğunda, otomat durumu  $q_1$  olarak değiştirecek ve bu durumdayken gelen her bir “1” girdi simgesi için yığından bir adet “0” çıkartacaktır. Eğer herhangi bir durumdayken “ $\varepsilon$ ” simgesi gelirse dizi gelme işlemi tamamlanmış ve boş dizi gelmiş demektir. Bu anda ASO, 0'ların sayısının, 1'lerin sayısının ve bunların sıralamasının doğruluğunu kontrol edecektir. Bunu yaparken yığının en tepesindeki simgeye bakması yeterlidir. Her gelen “1” için yığından bir adet “0” çıkartıldığından dolayı sıralama ve sayı doğruysa yığının tepesindeki simge “ $Z_0$ ” yani başlangıç simgesi olacaktır ve bu sonuçla birlikte dizinin kabul edildiğini gösteren son durum olan  $q_2$ 'ye geçilecektir. Eğer  $q_1$  durumunda çalışırken gelen simge “1” değilse ASO diziyi reddedecek ve bir sonraki gelecek diziyi kontrol etmek için başlangıç durumuna geri dönecektir. Sonuç olarak herhangi “1” simgesinin 0'lardan önce gelmesi durumunda veya bunların sayısı dizi içinde birbirine eşit değilse, ASO bu örnek problem için diziyi kabul etmeyecektir. Bu işleyiş Şekil 3.5'te örnek bir şema ile açıklanmaktadır.



Şekil 3.5 Bir Aşağı Sürüklemeli Otomat örneği

Şemadaki yayların ve okların üzerinde geçiş kuralları gösterilmektedir. Kurallardaki eğik çizginin ( / ) sol tarafı sırasıyla girdi simgesi ve hâlihazırda yığının tepesinde bulunan simgeyi temsil etmekte, sağ tarafı ise sırasıyla yığının tepesine yeni yazılacak simgeyi ve önceki adımda yığına yazılmış olan simgeyi göstermektedir.  $q_0$ ,  $q_1$  ve  $q_2$  olarak adlandırılan düğümler durumlardır.  $q_0$  durumunda en üstteki geçiş kuralını



örnek olarak açıklamak gerekirse, gelen simge “0” olduğunda yığının en tepesindeki simge sistemin başlamasını sağlayan “Z<sub>0</sub>” başlangıç simgesidir. ASO bu durumda yığına “0” ekler ve eğik çizginin sağ tarafında yığının yeni halini gösteren ilk iki simge bulunmaktadır. q<sub>2</sub> kabul anlamında olan son durumdur. Yaylar, durumları değiştirmeyen koşulları temsil etmektedirler. Oklar ise durumlar arasındaki geçişi sağlayacak girdileri göstermektedir (Hopcroft, 2008).

Her içerikten bağımsız dilbilgisinin bir belirlenimci olmayan (nondeterministic) eşdeğer ASO’su vardır. Belirlenimci olmayan ASO dışında literatürde belirlenimci (deterministic) ASO ve alternatif ASO tipleri de bulunmaktadır. Her bir durumda, bu tür geçiş eylemlerinden en fazla biri mümkün ise, o zaman otomat bir belirlenimci aşağı sürüklemeli otomat (BASO) olarak adlandırılır. Genel olarak, eğer birkaç eylem mümkün ise, o zaman otomat, genel veya belirlenimci olmayan ASO olarak adlandırılmaktadır. Bunların dışında bir tane de alternatif otomat bulunmaktadır. Aslında belirlenimci ve belirlenimci olmayan otomatlar alternatif otomatın özel durumlarıdır (Ladner ve ark., 1984).

### 3.1.4 HoloLens

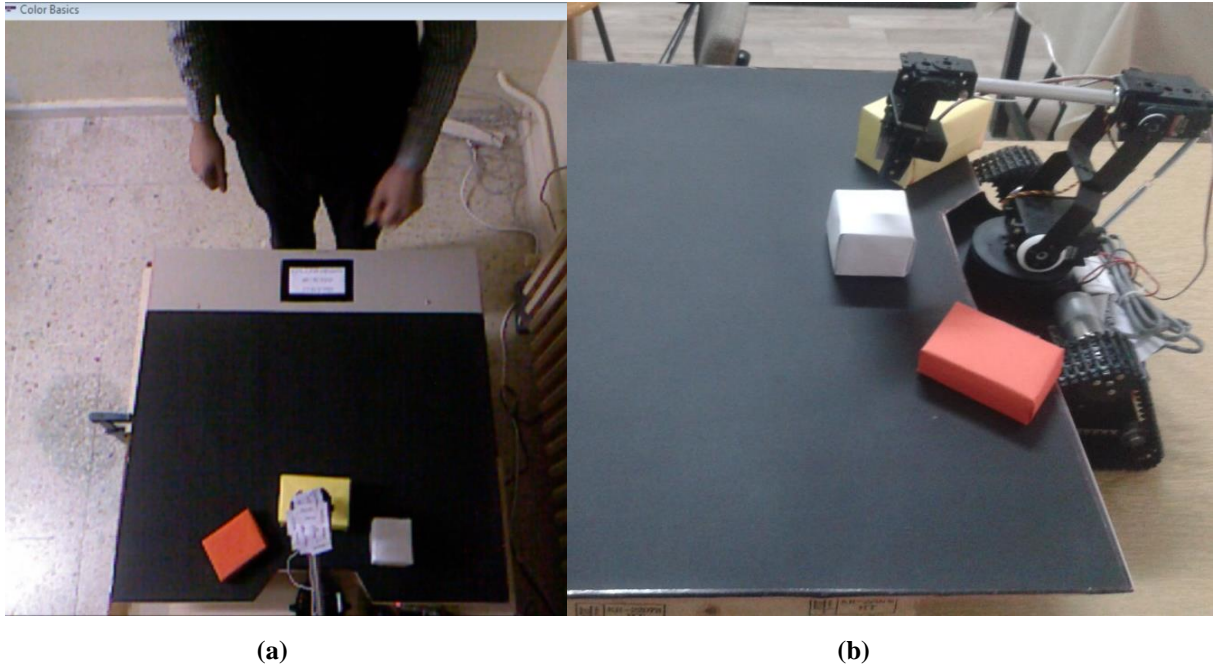
AG için üretilen cihazlar ve uygulamalar hızlı bir şekilde gelişmektedir. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen AG uygulamaları için de Microsoft’un HoloLens isimli cihazı kullanılmıştır. HoloLens, 2016 yılında piyasaya sürülen bir BGE türüdür. Etrafındaki 3 boyutlu ortamı, nesnelerin konumunu, bazı hareketleri, ortam parlaklığını ve sesleri algılamak için üzerinde bazı sensörler bulunmaktadır. Bunlar, IMU, ortam ışığı sensörü, 4 adet kamera (Ortam algılamak için), 1 adet derinlik sensörü, 1 adet 2MP HD kamera ve 4 adet mikrofon şeklindedir. Bu sensörler sayesinde katılımcıya AG ortamı sağlanmaktadır. Cihaz yaklaşık olarak yarım kilogram ağırlığındadır ve kolaylıkla kullanıcının kafasına giydirilebilir.

Unity oyun motoru tarafından HoloLens için uygulamalar geliştirmek üzere görsel bir 3 boyutlu arayüz sağlanmaktadır. Algoritmaları geliştirmek için C# veya Java programlama dillerine ihtiyaç vardır.

Microsoft’un HoloLens için bir uygulama mağazası bulunmaktadır. HoloLens gibi BGE’ler AG ortamında çok popüler hale gelmişlerdir. Microsoft dışındaki diğer birçok markanın da AG cihazlarını piyasaya sunması sayesinde rekabetçi bir pazar ortamı oluşmuştur.

### 3.1.5 Robot ile İnsana Karmaşık Bir Görevin Öğretilmesi

Bu çalışmada, rehber robot sistemini oluşturmak için bilgisayara bağlı çalışan bir robot kolu ve bir Kinect sensörü kullanılmıştır. Şekil 3.6'da görülen deney düzeneğinde siyah bir düzlem üzerinde duran üç farklı boyutta ve renkte dikdörtgen prizma kutu bulunmaktadır. En büyük kutu sarı olandır; en küçük kutu ise beyaz renktedir. Diğer orta boydaki kutu ise kırmızı renktedir.



**Şekil 3.6 (a)** Deney düzeneği ve insanın üstten görünüşü. **(b)** Siyah düzlem üzerinde robot kolu ve renkli nesnelere

İnsanlardan nesnelere, durdukları noktaya daha yakın olan işaretlenmiş beyaz alanın içine ve birbirleri üzerine doğru sırayla koymaları istenmektedir. Doğru sıralamanın nasıl olduğunu öğrenmek için kutuları seçtikçe robot kolunun yaptığı farklı hareketleri takip edip bu hareketleri anlamlandırmaları gerekmektedir. Doğru nesnelere seçildikçe robot kolunun farklı durumlara geçiş yapması sağlanarak hareketlerini değiştirmesi ve katılımcının yönlendirilmesi sağlanmaktadır.

Deney düzeneği bir bulmaca oyunu gibi olacak şekilde tasarlanmıştır. İnsan katılımcının bu bulmacayı çözmesi istenmektedir. Soru basittir; “Lütfen nesnelere beyaz bölgeye doğru bir sırayla üst üste diziniz!”. Eğer katılımcı bunu doğru yaparsa görevi

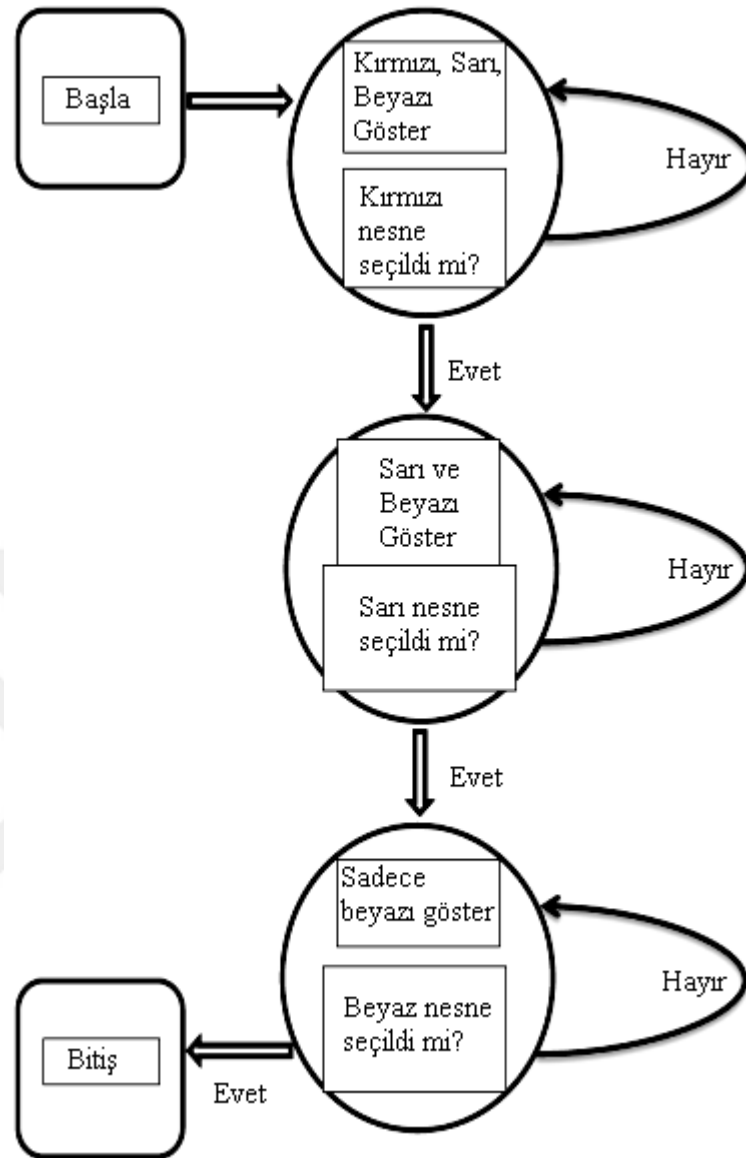
başarıyla tamamlar. Bu noktada katılımcıya ipucu verecek sadece bir robot kolu bulunmaktadır.

Görev başladığında robotik kol bir nesneyi gösterir, o nesne üzerinde yarım saniye durakladıktan sonra diğer nesnenin üzerine doğru gelir ve o nesne üzerinde bekler. Bu şekilde bütün nesnelere üzerinde döngü yaparak hareket eder. Robotik kol hiçbir nesneye dokunmaz veya tutmaz. Sadece gerekli nesnenin üzerine gelir ve onu yarım saniye gösterip devam eder. Eğer katılımcı sırası gelen doğru nesneyi seçip beyaz bölgeye taşırsa, robot kolu sadece kalan nesnelere gösterir. Katılımcı yanlış nesneyi seçerse, robot kolu taşınan nesnenin boş yeri dâhil olmak üzere kalan nesnelere göstermeye devam eder. Bu şekilde, katılımcı yanlış nesneyi aldığını ve yanlış nesneyi başlangıçtaki yerine koyması gerektiğini anlamalıdır. Bu denemelerin ardından katılımcı bir sonraki olası nesneyi seçmeyi denemelidir. Katılımcı tüm nesnelere doğru sırada üst üste istifleyene kadar robot yönlendirmeye devam eder.

Deneyde altı eksenli bir robot kolu ve üç farklı dikdörtgen prizma şeklindeki kutuların kullanıldığı söylenmişti. Bu nesnelere farklı boyut ve renkte olmasının amacı katılımcıların aklında bazı tahminlerin oluşmasını sağlayabilmek içindir. Örneğin en büyük nesnenin en altta olması mantığı gibi kurgular yapılabilir ancak doğru sıralamanın bunlarla bir alakası yoktur. Bu nesnelere ve robotik kol siyah bir düzlem üzerine yerleştirmiştir. Bunların yaklaşık 1,5 metre kadar yukarısına sahnenin tamamını görebilecek şekilde bir Kinect sensör yerleştirilmiştir. Bu elemanlar bir odada bulunurken, robot kolunu kontrol etmek ve sahneyi izlemek için yan odada bir bilgisayar başında operatör bulunmaktadır. Kinect sensör bilgisayara USB arayüzü bağlantısıyla ve robot kolu da bilgisayara Bluetooth bağlantısı ile bağlanmıştır.

Bu çalışmada bir operatör yardımıyla robot kolu yarı otonom bir şekilde çalıştırılmıştır. Robot kolu için toplamda 3 farklı hareket yolunu içeren 3 farklı algoritma hazırlanmıştır. Nesnelere siyah düzlem üzerinde durduğu konum bilgilerine göre robotun duracağı konumlar tespit edilerek robotun izleyeceği hareket yolları ve durak noktaları kodlanmıştır. Operatör bütün ortamı izleyerek insanın seçtiği nesnelere göre 3 farklı algoritmadan hangisi işleme konulması gerekiyorsa onu seçmektedir.

Bir operatör diğer odadan bütün deney ortamını görebilecek şekilde gözlemlemiş ve katılımcıların hareketlerini takip etmiştir. Operatör takip ettiği katılımcı hareketlerine göre robot için hazırlanan algoritmalarından birisini seçmiştir. Bu seçme işlemi SDM yöntemiyle modellenerek Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.7** Yarı otonom sistemde operatörün robotu yönlendiren algoritmalar arasında hangisini seçeceğini gösteren çalışma mekanizması.

Bu noktadaki asıl amaç insan ile robot arasında bir etkileşimin kurularak insanın robotun hareketlerinden görevi doğru bir şekilde anlayıp sonuca ulaşabilmesidir. Bu yüzden sistemin arka planda bir operatör ile yarı otonom şekilde çalışmasının temel amacını ve sonuçlarını etkilemeyeceği düşünülmüştür.

İlk başta robot kolunun yarı otonom şekilde çalıştırılması daha sonra operatörün yerini alacak bir nesne takibi yönteminin kullanılmasıyla tam otonom hale getirilmesi planlandığından tüm bu elemanlar siyah bir düzlemin üzerine yerleştirilmiştir ve görüntülerin kaydedilerek bir veri seti oluşturulması amaçlanmıştır. Görüntüler Windows Media Video (WMV) biçiminde kaydedilmiştir. Oluşturulan bu veri seti ile

nesne takibi veya nesne tanıma üzerinde çalışmanın yararlı olabileceği düşünülmüştür. Bazıları yavaş, bazıları hızlı hareketler yapan 5'i bayan, 20'si erkek toplam 25 deneğin katılımıyla veri seti oluşturulmuştur. Veri setinde 25 farklı kişi aynı sonucu hedeflemiş ve benzer hareketleri yapmışlardır. Ancak farklı kıyafetlere, el tiplerine ve ten renklerine sahiplerdir.

Bu sistemin operatöre ihtiyaç kalmadan tam otonom şekilde çalışabilmesi için başka bir çalışma ile birleştirilmesi hedeflenmiştir. Sistemin tam otonom hale getirilmesi ise farklı bir çalışma kapsamında, seçilen nesneye göre robot kolunun hareketini belirleyen durumlar arası geçişe, görüntü işleme ile karar verecek şekilde gerçekleştirilmiştir (Aslan ve ark., 2019). Ayrıca gerçekleştirilen çalışmanın tam otonom hale getirilmesinde farklı bir bakış açısı ile niyet tahmini de denenmiştir. Kurulan deney düzeneğine Leap Motion isimli sensör eklenerek, kullanıcıların el pozisyonlarından bir veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan veri seti yapay sinir ağları ile eğitilerek, hangi nesnenin seçileceğine yönelik niyet tahmini gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, deneylerde oluşturulan veri seti üzerinde, ortadaki nesnenin seçimine yönelik niyet tahmini %95 başarıyla, sağ ve soldaki nesnelerin seçimine yönelik niyet tahmini ise %85 başarıyla gerçekleştirilmiştir (Erdoğan ve ark., 2016)

### 3.1.6 Hologram ile İnsana Karmaşık Görevin Öğretilmesi

Bu bölümde yine insanın karmaşık bir görevi öğrenmesini amaçlayan bir AG uygulaması geliştirilmiştir. Bu görevde, robot ile gerçekleştirilen çalışmaya benzer bir şekilde insandan üç farklı renk ve boyuttaki nesneleri doğru bir şekilde üst üste dizmesi istenmektedir. Katılımcı, nesneleri doğru sıraya göre dizdiğinde, alkış sesi duyularak görev tamamlanmaktadır. Katılımcıya bundan daha fazla bilgi verilmemektedir ve nesnelerin belirli sırasını hologram etmeden öğrenebilmesi için yalnız başına bırakılmaktadır. Geliştirilen algoritma ile katılımcının hareketleri izlenmekte ve doğru sıralamayı öğretmek için hologram etmenin hareketleri güncellenmektedir. Başka bir deyişle, algoritma, nesnelerin pozisyonlarını takip etmekte ve yanlış bir eylem olması durumunda insanı uyarması için hologram etmenin hareketlerini güncellemektedir. Bu karmaşık görev, kolay bir şekilde kodlanması için hiyerarşik alt görevlere ayrılmıştır. Alt görevler, bu çalışma için geliştirilen İBD tabanlı bir dilbilgisi yöntemi ile tanımlanmaktadır. Bu dilbilgisi kuralları kutuların konumlarına göre oluşturulmuştur.

Alt görevlerin sırasına göre, karmaşık görev ASO tarafından kontrol edilmektedir. Hazırlanan SDM algoritması ise ASO'nun geçiş yaptığı durumlara göre hologram etmeni kontrol etmektedir. Böylece hologram etmen, görevin insan tarafından doğru yapılıp yapılmadığı hususunda tepki verebilmektedir. Hologram etmenin bu reaksiyonları insan tarafından gözlemlenmekte ve sonuç olarak insan karmaşık bir görevi doğru bir şekilde öğrenebilmektedir.

Algoritmanın işleyişinde, öncelikle kutuların konum bilgisi alınmaktadır. Bu pozisyonların değişimine göre bir çıktı üretilmektedir. Aynı zamanda, bu çıktılar tavşan hologram yardımcının kontrol algoritması için de bir girdidir. Uygulama başlatıldıktan sonra, tavşan görünümlü hologram etmen Sol, Orta ve Sağ (L-C-R) olmak üzere üç pozisyon arasında zıplayarak dolaşmaya başlamaktadır. Bu esnada, ilk alt görev henüz tamamlanmamıştır. Görevi tamamlamak için nesnelerin doğru olan kırmızı - sarı - beyaz (r-y-w) sırasına göre katılımcı tarafından seçilerek dizilmesi gerekmektedir. İnsan ilk olarak kırmızı nesneyi seçerse ilk alt görevin tamamlandığı anlamına gelmektedir ve hologram etmenin zıplayarak gittiği yol değiştirilerek Sol ve Orta (L-C) nesneler arasında sıçraması sağlanmaktadır. İkinci alt görev de doğru tamamlandıktan sonra yani, ikinci kutu olarak sarı nesne seçildikten sonra, hologram etmen, geriye kalan beyaz (L) nesnenin etrafında zıplamaya başlamaktadır. En sonunda beyaz nesnenin seçilmesiyle karmaşık görev tamamlanmış olur.

Bu senaryonun SDM ve ASO yönetiminde gerçekleştirilebilmesi için alt görevlerin, İBD tabanlı biçimsel bir dil oluşturularak ifade edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla oluşturulan simgeler ve üretim kuralları Eşitlik 3.14'de gösterilmiştir:

$$\begin{aligned}
 \Sigma &= (r_s, y_s, w_s) & (3.14) \\
 \Gamma &= (r_s, y_s, Z_0) \\
 S &\rightarrow (X | Z) \\
 X &\rightarrow (r_s Y) \\
 Y &\rightarrow (y_s | \varepsilon) \\
 Z &\rightarrow (r_s y_s w_s)
 \end{aligned}$$

$\Sigma$  kümesinde gösterilen “ $r_s$ ”, “ $y_s$ ”, “ $w_s$ ” sırasıyla kırmızı, sarı ve beyaz nesnelerin seçildiğini gösteren alfabe simgeleridir.  $\Sigma$  kümesinde gösterilen bu simgeler, ASO tarafından kabul edilebilecek girdi simgelerdir.  $\Gamma$  kümesindeki simgeler yığına koyulabilecek simgeleri göstermektedir. “ $w_s$ ” en son gelmesi gereken ve yığına koyulmayacak bir simge olduğundan bu kümede ona yer verilmemiştir. “ $Z_0$ ” ise

başlangıçta yığına koyulan ve bitişte de doğru dizinin gelip gelmediğini kontrol etmemizi sağlayan başlangıç simgesidir.  $X, Y, Z$  ve  $S$  üretken simgeleri; “ $\epsilon$ ” simgesi ise boş simgeyi temsil etmektedir. Bu doğrultuda oluşturulan dilbilgisi kümesi  $G$  aşağıdaki gibidir:

$$G = [\{ S, X, Y, Z \}, \{ r_s, y_s, w_s \}, P, S ] \quad (3.15)$$

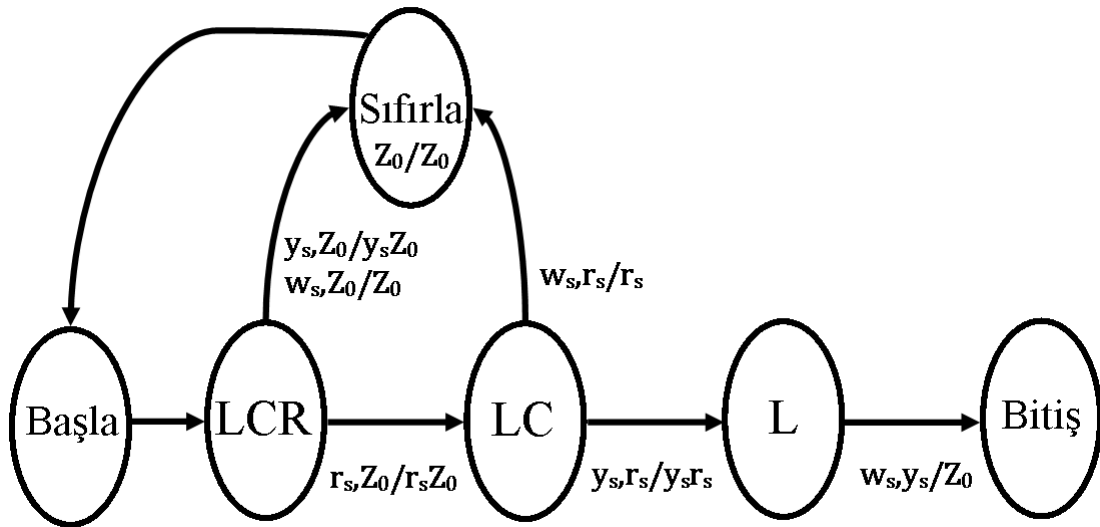
Üretim kuralları çalıştırıldıktan sonra oluşturulan dil ise aşağıda  $L$  kümesi ile gösterilmiştir:

$$L(G) = ( r_s, r_s y_s, r_s y_s w_s ) \quad (3.16)$$

ASO’yu tanımlayan küme olan  $A$  ise aşağıda gösterilmektedir:

$$A = ( \{ LCR, LC, L, Bitiş \}, \{ r_s, y_s, w_s \}, \{ r_s, y_s, Z_0 \}, \delta, q_0, Z_0, F ) \quad (3.17)$$

“ $r_s y_s w_s$ ” dizisi örneğinde olduğu gibi simgeler, dilbilgisi kuralını oluştururken belirli bir sırada kullanılmaktadır, çünkü doğru çıktıyı elde etmek için iki simge arasında farklı simgeler girmemelidir. Otomatın doğru bir şekilde çalışması için önemli nokta bu dizilerdeki simgelerin sıralamasıdır ve bu kelimeler istenen İBD kuralına uymalıdır. Bu adımlar doğru şekilde ilerletildiğinde, girişe gelen diziler ASO tarafından kabul edilerek bir durumdan diğerine geçiş sağlanır. Burada tarif edilenler ile Şekil 3.8’de gösterildiği gibi en son durum olan “Bitiş” durumuna ulaşılması sağlanır.



Şekil 3.8 Alt görevleri temsil eden durumlar ve geçiş şartlarını sağlamak için ASO girişine gelmesi gereken simgeler ile yığına bulunması gereken simgeler

ASO'daki durum geçişleri ve durumları açıklamak gerekirse, Başla, (L-C-R), (L-C), (L), (Bitiş) ve (Sıfırla) olmak üzere tanımlanan 6 durumla ifade edilmiştir. Tüm görevi başarıyla tamamlayabilmek için ASO'nun sırayla (L-C-R), (L-C), (L) ve (Bitiş) durumlarına devam etmesi gerekir. Bu durumlar hologram etmenin her durumda neyi yapması gerektiğini göstermektedir. Kabul edilmeyen durumlar oluştuğunda ise sistemin başlangıç durumuna dönebilmesi için (Sıfırla) durumuna geçilmektedir. Aslında durum adları, hologram etmenin işini açıklamaktadır. Örneğin (L-C-R) olan birinci durumda hologram tavan Sol, Orta ve Sağ konumlar arasında zıplar. Bunlar sırasıyla beyaz, sarı ve kırmızı nesnelerin başlangıç konumlarıdır. “ $r_s$ ”, “ $y_s$ ”, “ $w_s$ ” girdileri nesnelerin konum bilgisinden elde edilmektedir. Mesela kullanıcı kırmızı ve sarı nesneyi peşpeşe seçtiğinde ASO'ya sürekli olarak “ $r_s y_s$ ” dizisi gelecektir. Eğer kullanıcı kırmızı ve beyazı peşpeşe seçtiyse ASO'ya sürekli olarak “ $r_s w_s$ ” bilgisi gelecek ve kullanıcı beyaz nesneyi geri yerine koyuncaya kadar ASO “LC” durumundan sonra diziyi reddedip “Sıfırla” durumuna geçecek ve sistemin yeniden başlamasını sağlayacaktır.

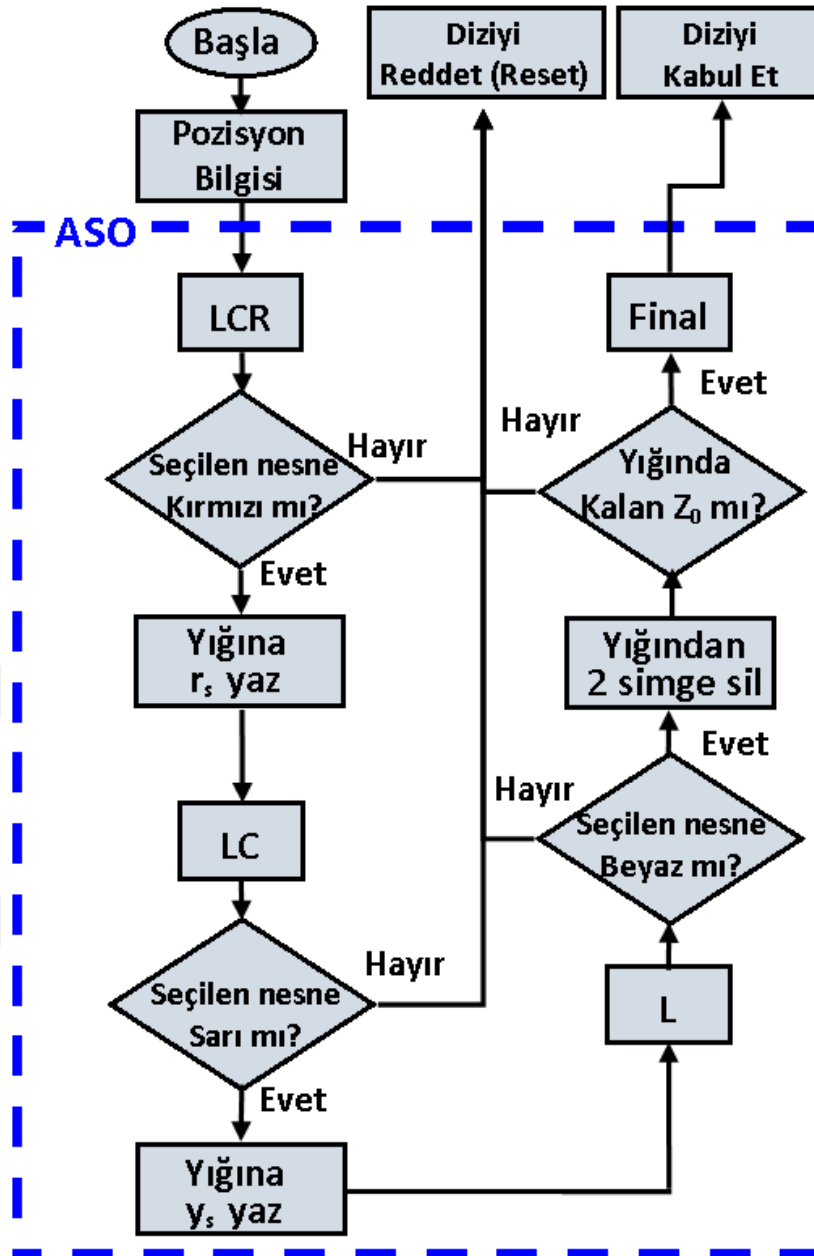
ASO'nun durumlararası geçişi olan diğer bileşeni ise durumlar arasında yürütülen koşulu ve süreci temsil etmektedir. Geçişler ile ilgili ayrıntılı bilgiler ve bazı örnek durumlar Çizelge 3.2'de verilmiştir.

ASO'daki süreçleri ve işlemleri anlatan blok şema, Şekil 3.9'da gösterilmektedir. İlk olarak, konum bilgisi algoritmadan elde edilmektedir. ASO içindeki geçişler, pozisyonlarda bir değişiklik olursa, oluşturulan dilbilgisi kurallarına göre etkinleştirilir. Görevin başarıyla tamamlanabilmesi için, doğru sıradaki gelen kelime dizilerinin hazırlanmış ASO tarafından kabul edilmesi gerekir. ASO işleyişi, görev tamamlanana kadar devam eder ve son duruma ulaşıldığında alkış sesi ile görevin başarıyla tamamlandığı ifade edilir.



**Çizelge 3.2** Geçişler ile ilgili ayrıntılı bilgiler ve bazı örnek durumlar. Yeşil ile gösterilenler, görevi doğru tamamlamak için gereken adımlardır. Her reset durumuna dönüldüğünde sistem sıfırlanacağı için yığın boşaltılır ve başlangıç simgesi olan  $Z_0$  eklenir.

Giriş simgesi ve bir önceki giriş simgesi / Yığındaki son iki simge	İnsan tarafından yapılan hareket	Durumlardaki değişim (Hologram etmen tarafından yapılacak hareket)	Yığındaki değişim
$r_s, Z_0 / r_s Z_0$	1. sırada kırmızı nesne seçildi	2. duruma geç	Yığına $r_s$ ekle
$y_s, Z_0 / y_s Z_0$	1. sırada sarı nesne seçildi	Diziyi Reddet ve Reset durumuna geç	Yığına $y_s$ ekle, Reset'e geçince yığını sıfırla
$w_s, Z_0 / Z_0$	1. sırada beyaz nesne seçildi	Diziyi Reddet ve Reset durumuna geç	Reset'e geçince yığını sıfırla
$y_s, r_s / y_s r_s$	Kırmızıdan sonra 2. sırada sarı seçildi	3. duruma geç	Yığına $y_s$ 'yi ekle
$w_s, r_s / r_s Z_0$	Kırmızıdan sonra 2. sırada beyaz seçildi	Diziyi Reddet ve Reset durumuna geç	Reset'e geçince yığını sıfırla
$w_s, y_s / y_s Z_0$	Sarıdan sonra 2. sırada beyaz seçildi	Diziyi Reddet ve Reset durumuna geç	Reset'e geçince yığını sıfırla
$r_s, Z_0 / r_s Z_0$	Beyazdan sonra 2. sırada kırmızı seçildi	Diziyi Reddet ve Reset durumuna geç	Yığına $r_s$ ekle, Reset'e geçince yığını sıfırla
$w_s, y_s / Z_0$	Sarıdan sonra 3. sırada beyaz seçildi	4. duruma geç ve diziyi kabul et	Yığından 2 simge sil, kalan sadece $Z_0$
$y_s, r_s / y_s r_s$	Kırmızıdan sonra 3. sırada sarı seçildi	Diziyi Reddet ve Reset durumuna geç	Yığına $y_s$ ekle, Reset'e geçince yığını sıfırla
$r_s, y_s / r_s y_s$	Beyazdan sonra 3. sırada kırmızı seçildi	Diziyi Reddet ve Reset durumuna geç	Yığına $r_s$ ekle, Reset'e geçince yığını sıfırla



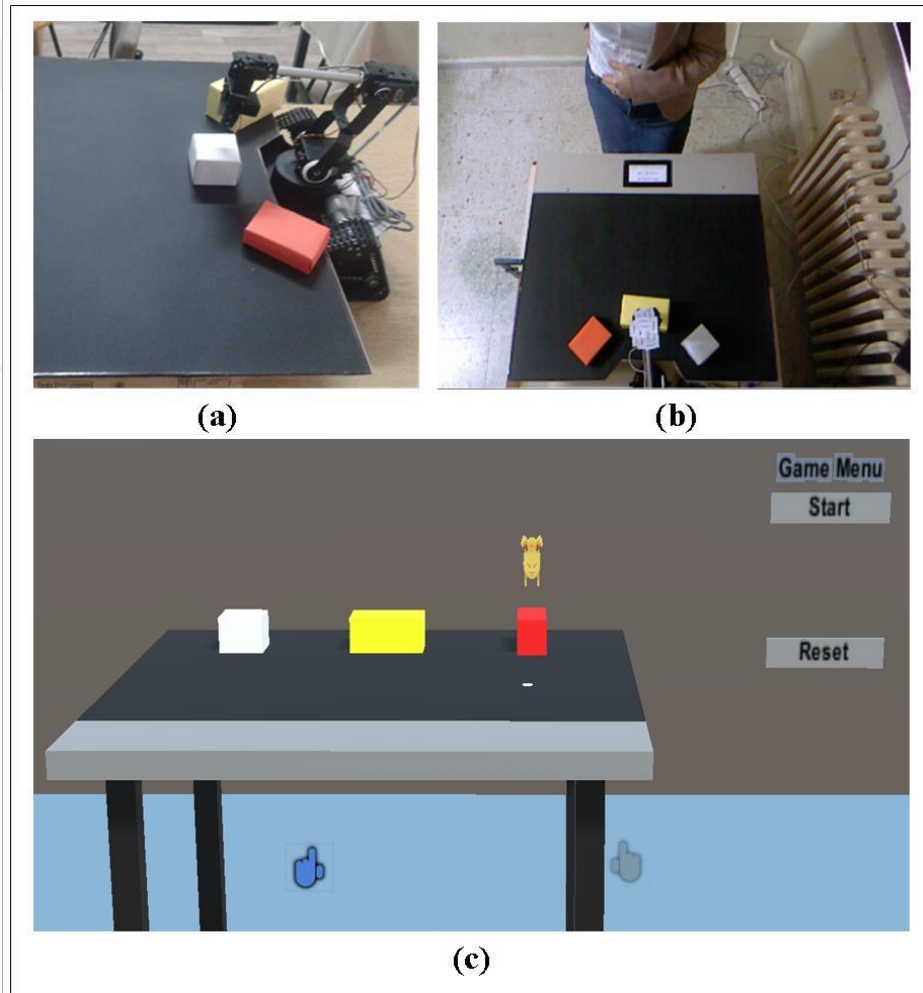
Şekil 3.9 ASO'nun işleyişi

### 3.1.7 Hologram ve Robot Etmenlerin Karşılaştırılması

Çalışmada robot ve hologram etmenler kullanılarak insana karmaşık bir görev yönlendirmelerle öğretilmiştir. İlk olarak robot etmenin kullanılacağı deneysel çalışma ortamı hazırlanmış ve robot etmen ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ise bu ortama benzer nitelikte bir AG ortamı tasarlanarak, hologram etmen ile HoloLens cihazı üzerinde çalışılmıştır. Böylece insan katılımcıların karmaşık bir görevi öğrenme sürecinin hologram veya robot öğreticilerle gerçekleştirilmesindeki başarımlar da

karşılaştırılmıştır. Araştırmalarımıza göre daha önce literatürde robot ve hologram öğreticilerin başarılarının karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yenilikçi karşılaştırma çalışmasında sadece öğreticilerin başarısı değil hazırlanan sistemlerin uygulanabilirliği, maliyeti gibi farklı konular da ele alınmıştır. Karşılaştırma hedeflediğinden dolayı hazırlanan senaryo, iki çalışmada da çok benzer şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.10).

Önerilen uygulamanın performansını hesaplamak ve önceki İRE çalışmasıyla karşılaştırmak için, AG uygulaması 25 katılımcı ile denenmiştir. Toplam 50 katılımcı deneylere katılmış, bunlardan 25'i ise robot etmeden görevi öğrenme deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Katılımcıların tümü lisans ve lisansüstü öğrencisidir.



**Şekil 3.10 a) ve b)** İnsanın robot etmeden öğrenmesi deney düzeneği. **c)** İnsanın hologram etmeden öğrenmesi deney düzeneğinin simülasyon ortamındaki görünüşü.

Robot ve hologram etmenlerle yapılan her iki deneyde de katılımcılardan nesnelere doğru sırayla üst üste dizmeleri istenmiştir. Görevin başarıyla sonlanması durumunda alkış sesini duyacakları söylenmiştir. HoloLens cihazının kullanımının tarifi dışında, katılımcılara daha fazla bilgi verilmemiştir. Her iki çalışmada da katılımcılar robotla veya hologramla yalnız bırakılmışlardır. Deneyler farklı zamanlarda ve farklı katılımcılarla gerçekleştirilmiştir.

Hologram etmen, katılımcının görevini doğru bir şekilde tamamlamasını sağlamak için katılımcının hareketlerine göre mantıklı çıktılar üretmektedir. Tavşan hologram, zıplayarak dolaştığı güzergâhını nesne konumları arasında değiştirmektedir. Her bir alt görevin tamamlanmasıyla, bu hologram hareketlerindeki değişim, katılımcının bütün görev içindeki ilerlemesinin doğru olup olmadığına dair ipucu almasına imkân vermektedir. Katılımcıların bir kısmı tavşanın tepkilerini anlayamamışlardır ve görevi tamamlamaktan vazgeçmişlerdir. Robotla yapılan deneylerde de aynı durum yaşanmıştır.

Karşılaştırma kriterlerini elde edebilmek için, AG ve eğitim konusuna odaklanan ve en çok alıntı yapılan araştırma ve inceleme çalışmaları gözden geçirilmiştir (Dunleavy ve ark., 2009; Park ve ark., 2011; Radu, 2012; Wu ve ark., 2013; Bacca ve ark., 2014; Tapus ve ark., 2019). Görevin doğru tamamlanmasının başarı oranı, insan ve etmen arasında kurulan etkileşimin başarı oranı, katılımcıların motivasyonu, sistemlerin kullanılabilirliği üzerine zorluklar, tasarlanan sistemlerin uygulanabilirliği ve algoritmaların tepki süresi bu doğrultuda elde edilen karşılaştırma kriterleri olarak sıralanabilir.

### **3.2 Boyun Ağrısının Cerrahi Olmayan Tedavisi için Gereken Temel Egzersizlerin Hologram ile Öğretilmesi ve Uygulanmasında Kullanılan Yöntemler**

Teknolojik sistemlerin fizik tedavi amaçlı yardımcı sistemler olarak kullanımında her geçen gün yeni fikirler ortaya çıkmaktadır. Fizik tedavi amaçlı AG / SG sistemleri, BGE'lerin yaygınlaşması ve gelişmesiyle günümüzde mobil hale gelmeye başlamıştır. Boyun ağrısının tedavisine yönelik yapılması gereken egzersizlerin hastalara uygulanması için geliştirilen herhangi bir AG / SG uygulamasının ya da robotun kullanıldığı uygulamanın olmaması; ayrıca hastaların günlük uygulaması için kendilerine verilen egzersiz ödevlerini düzgün bir şekilde yerine getirmemeleri ya da

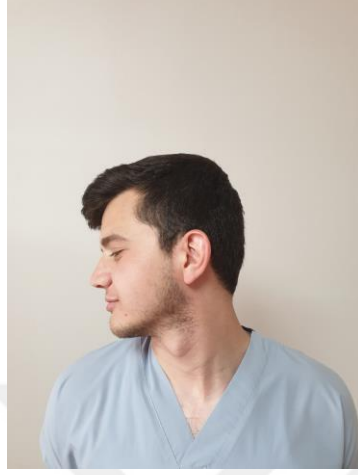
yanlış yapmaları böyle bir mobil sistemin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Boyun ağrısı tedavisinin başarılı olabilmesi için gereken egzersizlerin doğru tekrar sayısı, açı ve süre ile tatbik edilmesi gerekmektedir.

Bu amaçla geliştirilen uygulamada, HoloLens isimli AG gözlüğü ve işaretçiler kullanılmıştır. Başa giyilen bu AG gözlüğü için geliştirilen yazılım, çevreye yerleştirilen işaretçilerden faydalanarak insanların yaptığı fizik tedavi hareketlerinin doğruluğunu takip etmekte ve yanlış durumlarda hastayı hologramlar ile yönlendirmektedir. Çalışılan çevreye yerleştirilen işaretçilerin algılanmasında Vuforia isimli bir yazılım geliştirme aracındaki hazır kütüphaneler kullanılmıştır. Vuforia, HoloLens üzerindeki RGB kamera aracılığıyla alınan görüntüde işaretçileri algıladığında ya da işaretçiler görüntüleme alanından çıktığında birer çıktı üretmektedir. Bu çıktılar, geliştirilen algoritmada girdi bilgisi olarak kullanılmakta ve böylece hastanın yaptığı baş hareketlerinin algılanmasını sağlamaktadır. Uygulamayı kontrol eden genel algoritmanın oluşturulmasında SDM yöntemi kullanılmıştır. İşaretçilerin algılanmasıyla otomata gelen girdiler SDM tarafından değerlendirilip hologramların ne yapacağı belirlenmektedir. SDM yöntemi daha önceki bölümlerde de kullanıldığından ilgili bilgi zaten verilmişti. Bu bölümde daha çok HoloLens ve işaretçiler ile hastanın hareketlerinin nasıl takip edildiği, HoloLens'in dar görüş dezavantajının nasıl kullanıldığı ve boyun ağrısının cerrahi olmayan tedavisi için gereken temel egzersizler hakkında bilgi verilecektir.

### 3.2.1 Boyun Ağrısının Cerrahi Olmayan Tedavisi

Boyun ağrılarının tedavisi için kullanılan yöntemler çeşitlilik arz etmektedir. Tedavi yöntemleri, boyun ağrısının sebebine de bağlı olarak, temelde cerrahi müdahale ve cerrahi olmayan müdahale şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Cerrahi olmayan yöntemler incelendiğinde fiziksel egzersiz hareketleri, masaj, omurga manüplasyonu, akupunktur, yoga, elektroterapi ve diğerleri olarak sınıflandırılmışlardır. Bunların içindeki en etkili yöntemin de egzersiz yapmak olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Cohen ve Hooten, 2017). Uygulamada boyun kaslarının güçlendirilmesi için fizik tedavi uzmanlarının önerdiği egzersizlerden olan *Boyun Eklem Hareket Açıklığı* başlığı altında toplanan 6 temel hareket hedeflenmiştir. Şekil 3.11'de gösterilen bu hareketler, servikal sağa rotasyon (başın sağa çevrilmesi), servikal sola rotasyon (başın sola çevrilmesi), servikal sağ lateral fleksiyon (başın sağ omuza doğru yana eğilmesi), servikal sol lateral fleksiyon

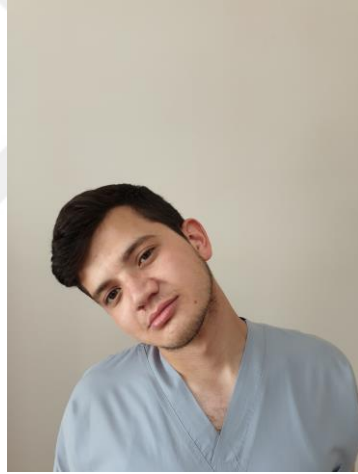
(başın sol omuza doğru yana eğilmesi), servikal fleksiyon (başın öne doğru eğilmesi) ve servikal ekstansiyon (başın arkaya doğru eğilmesi) olarak isimlendirilmektedirler (Carpenter, 1974).



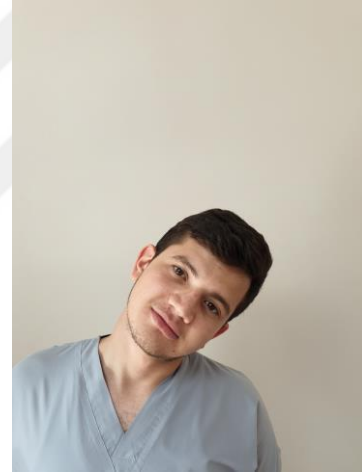
(a) Servikal sağa rotasyon



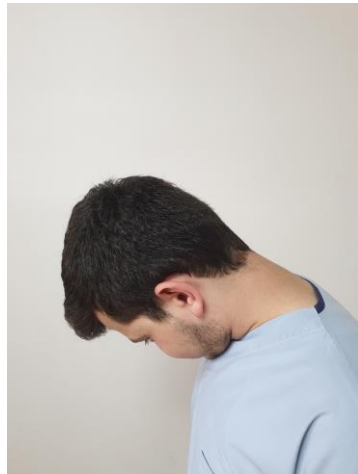
(b) Servikal sola rotasyon



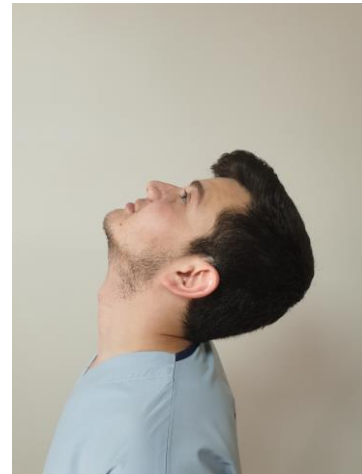
(c) Servikal sağ lateral fleksiyon



(d) Servikal sol lateral fleksiyon



(e) Servikal fleksiyon



(f) Servikal ekstansiyon

Şekil 3.11 Boyun eklem hareket açıklığı egzersizleri

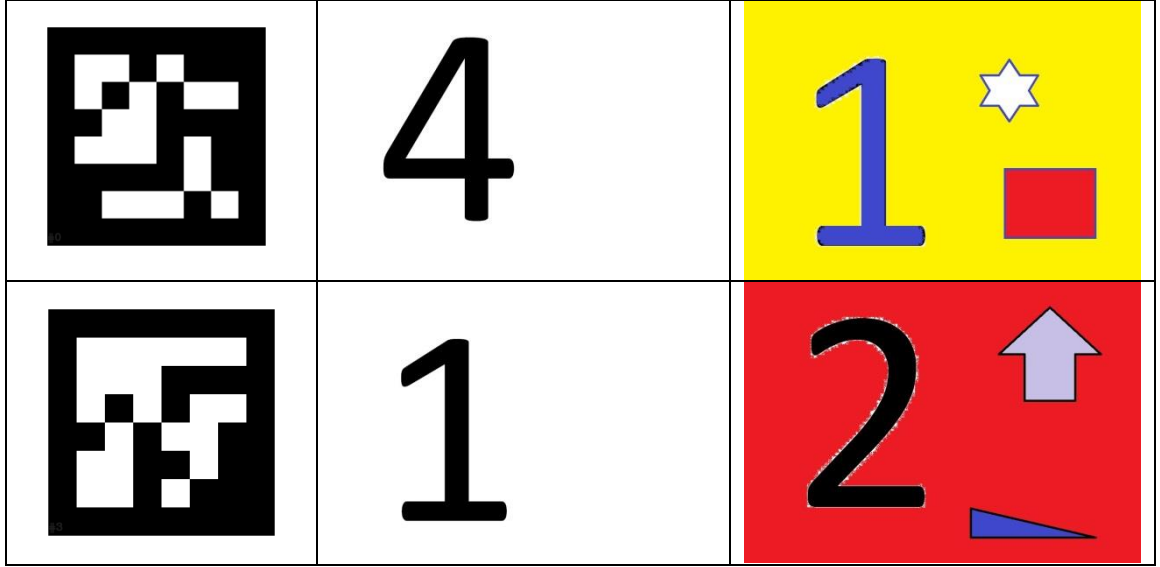
Bu hareketlerin hastaya fayda sağlayabilmesi için yapılan hareketin tekrar sayısı, hareket yapılırken başın açısı ve hareketin uygulandığı süre bakımından doğru bir şekilde tatbik edilmesi gerekmektedir. Selçuk Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Dahili Tıp Bilimleri Bölümü, Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Ana Bilim Dalı Öğretim Üyesi Doç. Dr. İlknur ALBAYRAK GEZER ile yapılan görüşmede, hastalara hareketlerin ilk 20 gün boyunca 5'er saniye süreyle ve 5 tekrar olarak günde 3 defa uygulandığı sonrasında ise hastanın durumuna göre 10 saniye ve 10 tekrara kadar çıktığı öğrenilmiştir. Başın açısı ise servikal sağa ve sola rotasyon için 85 derece, servikal sağ ve sol lateral fleksiyon için 45 derece, servikal fleksiyon için 60 derece ve servikal ekstansiyon için 75 derece şeklinde olmalıdır (Carpenter, 1974).

### 3.2.2 Hololens Üzerinde İşaretçilerin Tanınması

Bu çerçevede başlanılan çalışmada literatüre uygun bir şekilde hareketlerin takip edilebilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda HoloLens için hazır kütüphanelerin bulunduğu bir işaretçi (marker) algılama ve takip algoritması kullanılmıştır. Vuforia yazılım geliştirme kiti ismiyle sunulan, geliştiriciler için ücretsiz lisansla sunulan bir kütüphanedir (PTC, 2019). Vuforia üzerindeki kodların düzenlenmesi ve geliştirilmesiyle başın döndürülmesinin takibi işi, işaretçi takibi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Vuforia kullanılırken öncelikli olarak Şekil 3.12'de örnekleri gösterilen çeşitli işaretçiler oluşturulup kütüphaneye eklenmiştir. Vuforia'ya tanıtılan bu işaretçiler HoloLens'in görüntüleme açısına girdiği ve çıktığı zamanlarda Vuforia kütüphanesindeki hazır kodlar birer çıktı üretmektedir. Bu çıktılar kullanılarak başın yeterli açıda döndürülüp döndürülmediği tespit edilmektedir.

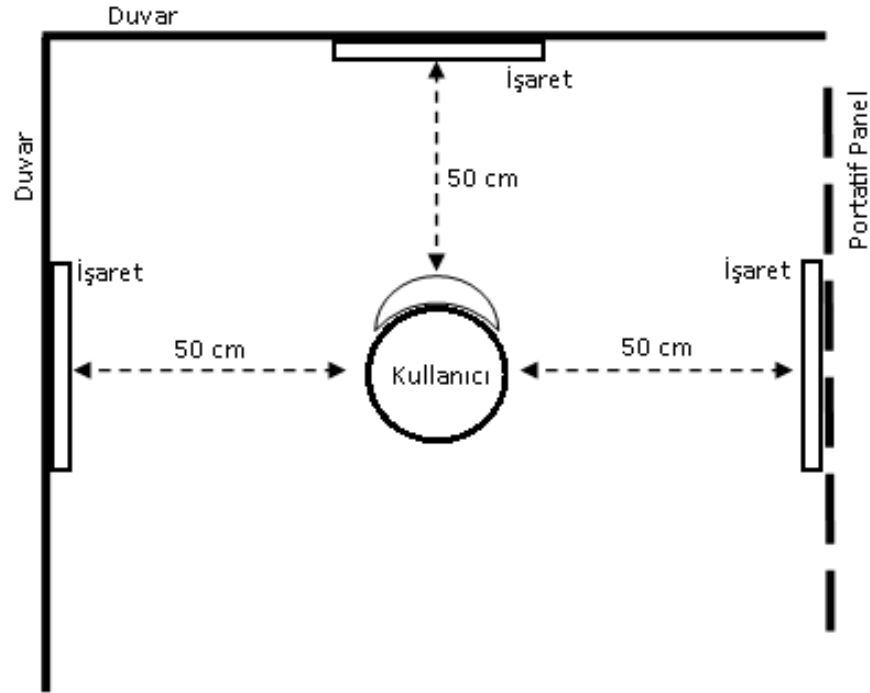
Bu sistemin çalışabilmesi için;

- 1- İşaretçilerin uygun konumlara yerleştirilmesi gerekmektedir.
- 2- Hastanın Şekil 3.13'teki gibi buna uygun bir noktada ayakta durması gerekmektedir. Hasta HoloLens'i kafasına yerleştirdikten sonra 90°'lik bir açı ile birbirine dik duran 2 duvar ve portatif panel ile kapatılmış bir bölümde pozisyon almalıdır. Hastanın işaretçilere olan mesafesinin 50 cm olması planlanmıştır.
- 3- Hasta orta noktadaki işaretçiye bakarak uygulamayı başlatmaktadır. Sonrasında hologramlar ile hasta yönlendirilmektedir.



Şekil 3.12 Kullanılan işaretçi örnekleri. En sağ sütundaki daha fazla özellik içeren işaretçiler daha kolay tanınabilmektedirler.

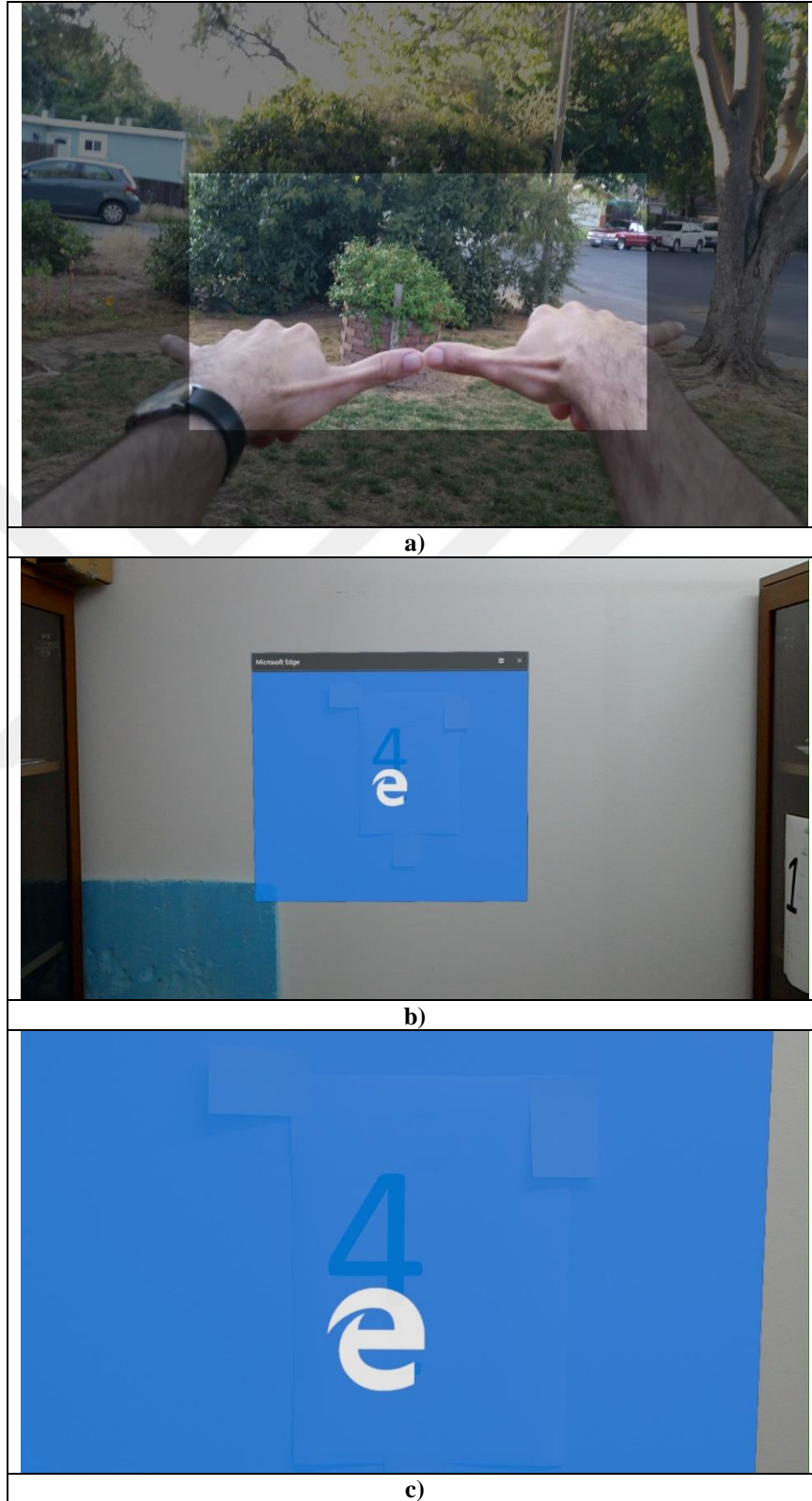
Bu noktada aslında HoloLens'in bir kısıtlaması olan dar görüş açısını faydalı bir özellik olarak kullanmaktayız. Öncelikle açıklamak gerekirse HoloLens'in görüş açısı, kullanıcının baktığı gerçek alandaki hologramların sanal olarak görülebildiği bölgedir (Şekil 3.14a). Bu bölgenin boyutları 16:9 oranında olmakla beraber cm biriminde uzunluk olarak ölçüldüğünde, bu görüş alanının çevre uzunluk değeri, HoloLens'in gerçek cisimlere olan uzaklığına ya da hologramların konumlandırıldığı uzaklığa göre değişmektedir.



Şekil 3.13 Çalışma ortamına tepeden bakış



Şekil 3.14b ve Şekil 3.14c’de gösterildiği gibi hologramlardan uzaklaştıkça görüş alanı büyümekte, yakınlaştıkça da küçülmektedir.



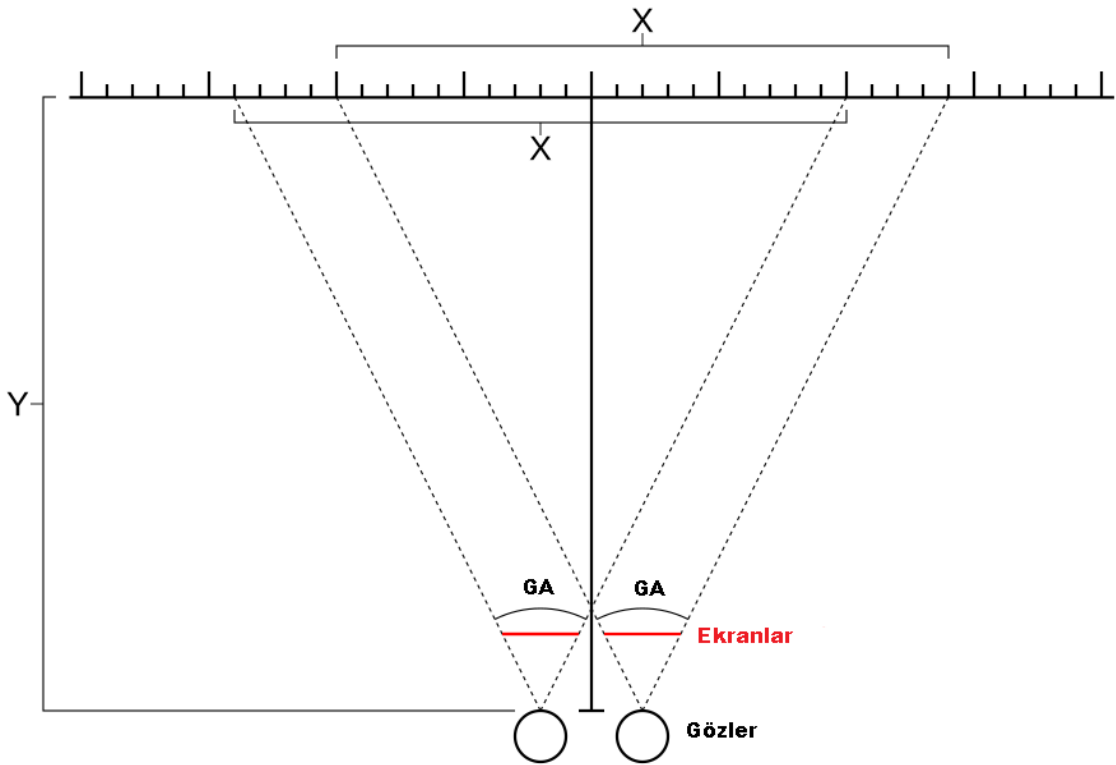
**Şekil 3.14** a) HoloLens’in görüş alanına örnek. b) Duvarda 4 numaralı işaret ve duvar üzerine konumlandırılmış sanal tarayıcı penceresi. c) Sanal pencereye yaklaştıkça görüş alanı daraldığı için bazı kısımlar kullanıcı tarafından görülemiyor (Doc-Ok.org, 2019).

Gerçekleştirilen bu çalışmada hastanın duvara 50 cm uzaklıkta bulunduğu durumda yapılan ölçümlerde görülebilen alanının boyutları yatayda 30 cm dikeyde ise 17 cm olarak tespit edilmiştir. Görülebilen Açı'yı (GA) hesaplamak için ise trigonometriden faydalanılabilir (Şekil 3.15).

Y değeri HoloLens ile sanal görüntünün oluşturulduğu yerin arasındaki mesafeyi, X değeri ise görülebilen alanın yatay düzlemdeki uzunluğunu temsil etmektedir. Gözler arasında yaklaşık 5 cm'lik bir mesafe olduğu için oluşturulan iki görüntü arasında da aynı mesafede bir fark oluşmaktadır.

$$GA = 2 \times \tan^{-1}(x/2y) \quad (3.18)$$

X değeri yaklaşık olarak 30 cm ve Y değeri de yaklaşık olarak 50 cm olduğuna göre, GA değeri  $33^\circ$  olarak hesaplanmaktadır (Doc-Ok.org, 2019).

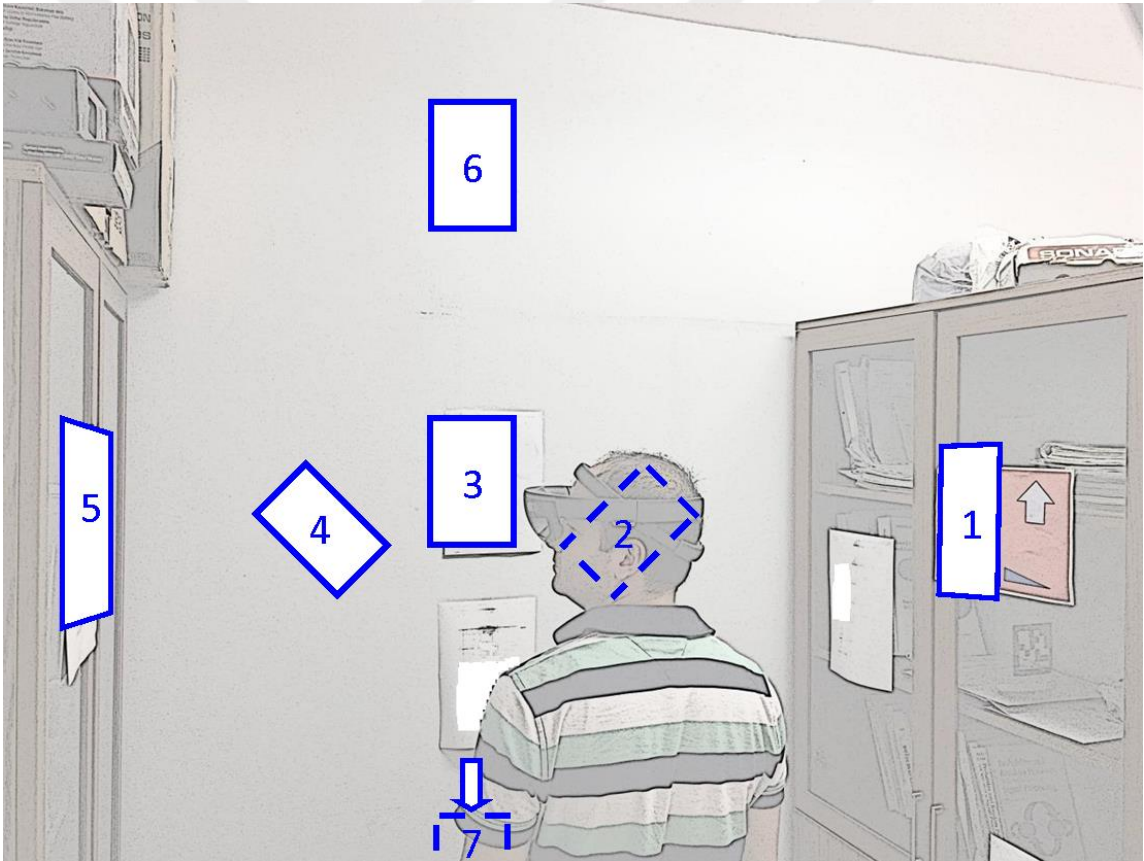


Şekil 3.15 HoloLens kullanıcısının sanal görülebilir alanını hesaplama (Doc-Ok.org, 2019).

HoloLens'in dar görüş açısından faydalanabilmek adına, takip için kullandığımız işaretçiler A4 kâğıt boyutunda (29.7 cm x 21 cm) hazırlanmıştır. 50 cm uzaktaki bir mesafeden duvardaki bir işaretçi ancak görüş alanına sığabildiği için HoloLens sadece işaretçinin karşısına geldiğinde Vuforia işaretçiyi algılayıp buna dair bir çıktı

üretebilmektedir. Bu sayede farklı işaretçileri hastanın başının bakmasını istediğimiz farklı noktalara koyup, algoritmayı buna göre hazırlayarak hastanın hareketlerini denetleyebilmekteyiz. Şekil 3.16’da işaretçilerin yerleştirildiği noktalar gösterilmektedir.

Hastanın egzersiz hareketini doğru yaptığını anlayabilmek için işaretçilerin HoloLens üzerindeki kamera tarafından görülmesi gerektiği durumlar “DOĞRU” görülmemesi gereken durumlar “YANLIŞ” olarak Çizelge 3.3’te gösterilmektedir. Örnek olarak servikal ekstansiyon yani başın geriye doğru 75° esnetilmesi hareketini incelersek, hasta başını en üstteki işaretçinin (6 numaralı) HoloLens tarafından görüldüğü ve diğer işaretçilerin görülmediği pozisyona varıncaya kadar yukarıya kaldırdığında pozisyon başarılı bir şekilde gerçekleşmiş olacaktır.



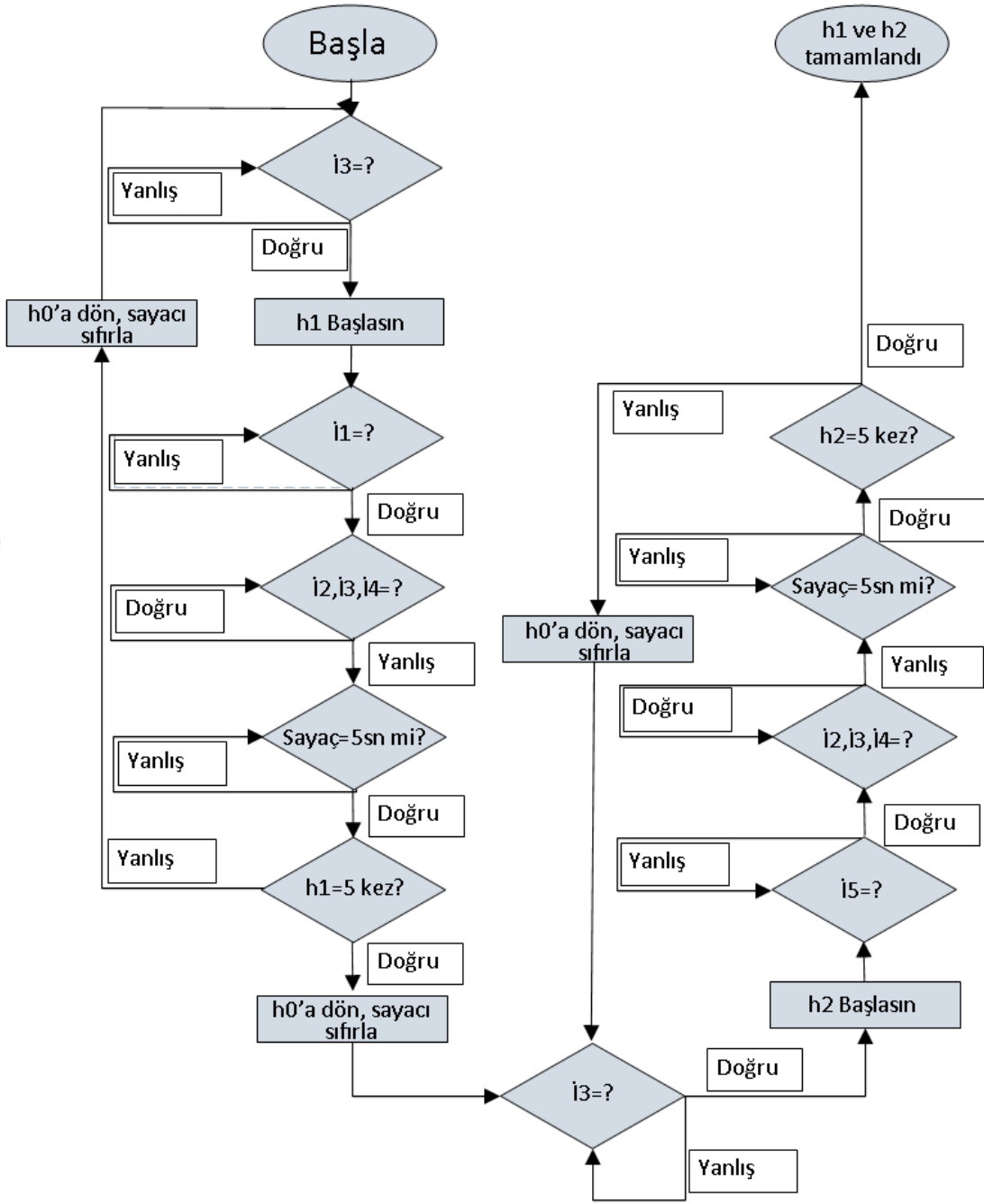
Şekil 3.16 HoloLens ile çalışan hasta ve duvara yerleştirilen işaretçiler

**Çizelge 3.3** İşaretçilerin kamerada görülüp görülmemesiyle yapılan hareketin ilişkisi. HoloLens kamerası tarafından görülmesi gereken işaretçiler “DOĞRU”, görülmemesi gerekenler ise “YANLIŞ” olarak temsil edilmektedir.

<b>Egzersiz</b>	<b>Hareketin doğruluğunu denetleyen işaretçilerin durumu</b>	
h0: Başlangıç pozisyonu	İ3: DOĞRU	İ2, İ4: YANLIŞ
h1: Servikal Sağa Rotasyon	İ1: DOĞRU	İ2, İ3, İ4: YANLIŞ
h2: Servikal Sola Rotasyon	İ5: DOĞRU	İ2, İ3, İ4: YANLIŞ
h3: Servikal Sağ Lateral Fleksiyon	İ2: DOĞRU	İ1, İ3, İ4, İ6, İ7: YANLIŞ
h4: Servikal Sol Lateral Fleksiyon	İ4: DOĞRU	İ2, İ3, İ5, İ6, İ7: YANLIŞ
h5: Servikal Ekstansiyon	İ6: DOĞRU	İ2, İ3, İ4: YANLIŞ
h6: Servikal Fleksiyon	İ7: DOĞRU	İ2, İ3, İ4: YANLIŞ

Bahsedilen girdilere göre sistemi yönlendiren karar mekanizması SDM yöntemiyle modellenmiştir. Normal şartlar altında hastanın, her hareketi 5'er saniye ve toplamda 5 tekrar şeklinde yapacağı düşünüldüğünden tamamlanan hareketlerin sayılması gerekmiştir. Bunların sayısını tutan değişken ise yine Çizelge 3.3'te hareket isimlerinin yanında verilmiştir (h1, h2, ...). Bu sayıları tutan değişkenlerin değeri 5 değerine ulaştığında bir sonraki harekete geçilmesi gerektiği bilgisi oluşturulacaktır. Oluşturulan SDM mekanizması 1. ve 2. egzersiz hareketlerini hastaya yaptırırken, tamamlanan hareket sayıları ve gelen işaretçi verilerine göre Şekil 3.17'deki gibi işlemektedir.

Hastanın hareketlerinin denetlenebilmesi için tasarlanan algoritmada işaretçilerin algılanıp tanınmasının dışında, ses komutları, bazı video gösterimleri ve yönlendirici hologramlar kullanılmıştır. Unity ortamında kütüphaneye eklenen ses komutları Türkçe dil desteği olmadığı için İngilizce dilinde hazırlanmıştır. Türkçe komutlar da aslında kullanılabilir, fakat HoloLens'in bu komutları algılaması esnasında sorunlar çıkmaktadır. Uygulama çalıştırıldığında hastanın karşısına ilk önce sanal bir bilgi ekranı çıkmaktadır. Bu ekranda hasta, hazır olduğu zaman “Başla” komutunu söylemesi şeklinde bilgilendirilmektedir. Hasta “Başla” komutunu verdikten sonra başın sola döndürülmesi hareketi için hazırlanan algoritma başlamaktadır. Hastaya ilk önce bir video şeklinde hareket tarif edilmektedir. Aynı zamanda bilgi ekranında da başını sola döndürmesi gerektiği ve yeterince döndürdüğünde 5 saniyelik bir geri sayımın başlayacağı anlatılmaktadır. Bu esnada ok şeklinde aktif bir hologram belirlemek ve hastanın başını doğru pozisyona getirmesi için ona yön göstermektedir. Aktif hologram, sabit olmayan, hasta başını döndürdükçe hologramın da üç boyutlu ortamda pozisyonunu değiştirmesi anlamına gelmektedir.



**Şekil 3.17** Birinci ve ikinci hareketlerin yapılışı esnasındaki akış diyagramı. İ1, İ2, İ3, İ4, İ5 işaretçileri; h0, h1, h2 ise hareketleri ve bunların tekrar sayısını tutan değişkenleri temsil etmektedir.

Hasta doğru bir şekilde başını sola döndürürse sol taraftaki işaretçi algoritma tarafından tanınmakta ve geri sayıma geçilmektedir. Geri sayım süresince hasta başını o noktada sabit tutarsa “*Hareket tamamlandı*” şeklinde sesli uyarı verilip hastanın başını normal pozisyonuna yani orta noktaya getirmesi sağlanmaktadır. Orta noktaya geldiğinde hasta yine bilgi ekranı ve sıradaki video aracılığıyla yapılan bilgilendirmelere göre, hareket edip, başını sola veya sağa döndürecek ve aynı işlemler

tamamlandıktan sonra, gereken tekrar sayısına ulaşıldığında egzersizler başarıyla hastaya yaptırılmış olacaktır.

Bu bölüm ile ilgili olarak Doç. Dr. İlknur ALBAYRAK GEZER ile yapılan görüşmelerde, hastaların ard arda başını sola döndürme hareketlerini yaparken boyun kaslarının ağrı yapabildiğini böyle durumlarda ters yöndeki egzersiz hareketine geçilmesini önerdikleri öğrenilmiştir. Örneğin bir kişi başını sola 3 kere döndürdükten sonra boyun kaslarında bir ağrı oluşuyorsa sağa döndürmeye başlayabilir ve tekrar sola doğru yapması gereken 2 hareketi daha sonra tamamlayabilir. Bu kolaylığın uygulamaya adapte edilebilmesi için orta konumdaki bekleme sürelerinin ölçülmesi hedeflenmiştir. Eğer sola doğru yapılan hareket tamamlandıktan sonra sıfır pozisyonundaki bekleme süreleri giderek artıyorsa, hasta ters yöndeki hareketi yapmaya yönlendirilmektedir. Daha sonra her iki hareket grubu da 5 tekrara ulaştığında bir sonraki hareket grubuna geçilmektedir.

## 4 ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1 Robot Etmen ile İnsana Karmaşık Görevin Öğretilmesinden Elde Edilen Sonuçlar

Çalışmanın robot ile olan bölümünde 25 farklı kişiyle deneyler yapıldı ve deneyler tamamlandıktan sonra katılımcıların tamamına robot etmenin yönlendirmelerinin başarısını anlamaya yönelik sorular soruldu. Bütün katılımcılar lisans ve lisansüstü öğrencileridir. Bu katılımcılar, deneye başlamadan önce, aşağıdaki bilgilerle aynı şekilde bilgilendirildi:

- Katılımcılar kutuları yerlerinden alacak ve tanımlanmış beyaz bölgeye üst üste dizecektir.

- Belirli bir sıralama var ve hedefiniz doğru sıralamayı bulmaktır. Buna ulaşmak için çalışırken robot sizi gözlemleyecek ve robot, siz kutuları doğru bir sırayla dizene kadar bazı hareketler yapacak.

- Kutuları adım adım koymanız size kolaylık sağlayacaktır.
- Deney masasının önünde belirtilen yerde duracaksınız.

Ayrıca, deneyi tamamladıktan sonra, katılımcılardan aşağıdaki gibi bir anket doldurmaları istenmiştir:

- Deney masasının yanına ilk geldiğinizde, kutuları hangi sırayla dizmeyi düşündünüz?

- Bu sıralamayı bulmaya çalışırken herhangi bir mantık yürüttünüz mü?
- Deneyi tamamladığınızda, kutuları hangi sırayla dizdiniz?
- Deney öncesi ve sonrası sıralamalar arasında bir fark var mı? Evet cevabını

verdiyseniz, değişikliği yapmanızın nedeni neydi?

- Robotla aranızda bir etkileşim oluştu mu?

Sonuçlar Çizelge 4.1'de verilmiştir. Bazı katılımcılar bazı soruları cevaplamamıştır. Örneğin, deneyden önce kutuların nasıl dizeceklerini hatırlayamadıklarını söyleyenler olmuştur. Bu tür cevaplar tabloda yer almamıştır. Sadece 3 kişi ilk önce nesnelere şekillerine göre sıralayacaklarını düşündüklerini söylemiştir. Bu kişiler en büyüğünün en altta olması gerektiğini düşünmüşlerdir.

Çizelge 4.1 Robot etmeden öğrenme deneyinin sonuçları

	Sonuç	Deneyin tamamlanma süresi	Katılımcı robot ile etkileşime girip doğru sıralamayı robottan öğrenebildi mi?
Katılımcı 1	Doğru dizemedi	39 sn	Hayır
Katılımcı 2	Doğru dizdi	2 dk 28 sn	Hayır
Katılımcı 3	Doğru dizdi	1 dk 36 sn	Hayır
Katılımcı 4	Doğru dizdi	36 sn	Hayır
Katılımcı 5	Doğru dizdi	41 sn	Evet
Katılımcı 6	Doğru dizemedi	1 dk 34 sn	Hayır
Katılımcı 7	Doğru dizdi	4 dk 2 sn	Evet
Katılımcı 8	Doğru dizemedi	54 sn	Evet
Katılımcı 9	Doğru dizdi	1 dk 15 sn	Evet
Katılımcı 10	Doğru dizdi	2 dk 47 sn	Evet
Katılımcı 11	Doğru dizdi	1 dk 51 sn	Evet
Katılımcı 12	Doğru dizdi	3 dk 33 sn	Hayır
Katılımcı 13	Doğru dizdi	1 dk 4 sn	Evet
Katılımcı 14	Doğru dizdi	1 dk 4 sn	Evet
Katılımcı 15	Doğru dizemedi	4 dk 32 sn	Hayır
Katılımcı 16	Doğru dizdi	3 dk 42 sn	Evet
Katılımcı 17	Doğru dizdi	1 dk 15 sn	Evet
Katılımcı 18	Doğru dizdi	46 sn	Evet
Katılımcı 19	Doğru dizdi	32 sn	Hayır
Katılımcı 20	Doğru dizemedi	2 dk 50 sn	Hayır
Katılımcı 21	Doğru dizemedi	9 dk 4 sn	Hayır
Katılımcı 22	Doğru dizdi	1 dk 4 sn	Hayır
Katılımcı 23	Doğru dizdi	6 dk 10 sn	Hayır
Katılımcı 24	Doğru dizdi	2 dk 20 sn	Hayır
Katılımcı 25	Doğru dizdi	1 dk 1 sn	Evet

DeneySEL çalışmanın sonuçları, katılımcıların %76'sının nesnelerin doğru sırasını başarıyla bulduğunu göstermektedir. Katılımcıların çoğunluğu, robot kolun hareketlerinden etkilendiklerini, bazıları ise nesnelerin doğru sırasını göstermek için robot kolun algoritmasını veya mesajını anladığını söylemiştir. Çizelge 4.1'deki sonuçlara bakıldığında 6 katılımcı başarısız olmuştur. Bu katılımcılardan bazıları hemen pes etmiş bazıları ise uzun süre mücadele etmesine rağmen robotun hareketlerini anlayamamış ve görevi tamamlamadan bırakmıştır. Videoların analizinden, anketlerin incelenmesinden ve sonuçlardan, katılımcılardan 13'ünün robot ile etkileşime giremediği tespit edilmiştir. Bunlardan bazıları anketlerde robotun kendini yönlendirdiğini söylese de robotun hareketlerini anlayamadan, deneme yanılmayla veya



tesadüfen doğru sırayı bulmuşlardır. Katılımcılardan 12'sinin robot ile etkileşim içinde olduğu ve robotun hareketlerini anlayarak sonuca ulaştığı görülmüştür. Buradaki başarı oranı %48 olarak tespit edilmiştir.

Daha sonra Aslan ve arkadaşları ile gerçekleştirilen çalışmada ise yarı otonom çalışan bu sistem tam otonom hale getirilmiştir (Aslan ve ark., 2019). Bahsedilen çalışmada, burada oluşturulan görüntü veri seti üzerinde görüntü işleme yöntemi geliştirilmiştir. Ancak katılımcı açısından bakıldığı zaman sistemde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Bu da İRE açısından bakıldığında sonuçlarda herhangi bir değişikliğe yol açmamıştır.

#### **4.2 Hologram Etmen ile İnsana Karmaşık Görevin Öğretilmesi**

Bu bölümde önerilen uygulamanın performansını ölçmek ve önceki İRE çalışmasıyla karşılaştırmak için AG uygulaması 25 katılımcı ile denenmiştir. Bazı katılımcılar istenen görevi 58 saniye kadar kısa bir sürede anlayıp tamamlamışlardır, ancak bazıları da anlayamayarak görevi tamamlamaktan vazgeçmişlerdir. Hologram etmen, katılımcının görevini doğru bir şekilde tamamlamasını sağlamak için katılımcı hareketlerine göre mantıklı çıktılar üretmektedir. Tavşan hologram, her bir alt görevin tamamlanmasıyla nesne konumları arasında sıçrayarak dolaştığı güzergâhı değiştirmekte ve bu katılımcıya görevinde ilerleyişinin doğru olup olmadığına dair bir mesaj gönderilmesini sağlamaktadır.

Genellikle etmen ile etkileşim kurmada başarılı olan katılımcılar rastgele bir nesne seçmeyi deneyip ve nesneyi başlangıç konumuna geri koyup, hologram etmenin davranışlarındaki değişiklikleri gözlemleyerek hologramın ne anlattığını anlamışlardır. Katılımcıların bu hareketleri İBE'nin gerçekleştirildiğini ve bir hologram etmeden etkileşim ile bir görevin öğrenildiğini göstermektedir. Bu deney 25 farklı katılımcı ile gerçekleştirilmiş ve %88'i görevi doğru bir şekilde tamamlamıştır, ancak katılımcıların yalnızca % 24'ü hologram etmenin yaptığı rehberliği başarıyla anlayabilmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.2'de tablo halinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Hologram etmeden öğrenme deneyinin sonuçları

	Sonuç	Deneyin tamamlanma süresi	Katılımcı Hologram ile etkileşime girip doğru sıralamayı hologramdan öğrenebildi mi?
Katılımcı 1	Doğru dizdi	58 sn	Evet
Katılımcı 2	Doğru dizdi	2 dk 16 sn	Hayır
Katılımcı 3	Doğru dizemedi	2 dk 5 sn	Hayır
Katılımcı 4	Doğru dizdi	1 dk 21 sn	Hayır
Katılımcı 5	Doğru dizdi	29 sn	Hayır
Katılımcı 6	Doğru dizemedi	4 dk 51 sn	Hayır
Katılımcı 7	Doğru dizdi	2 dk 26 sn	Evet
Katılımcı 8	Doğru dizdi	34 sn	Hayır
Katılımcı 9	Doğru dizdi	1 dk 15 sn	Evet
Katılımcı 10	Doğru dizdi	2 dk 2 sn	Hayır
Katılımcı 11	Doğru dizdi	3 dk 1 sn	Evet
Katılımcı 12	Doğru dizdi	2 dk 8 sn	Hayır
Katılımcı 13	Doğru dizdi	2 dk	Hayır
Katılımcı 14	Doğru dizdi	1 dk 46 sn	Hayır
Katılımcı 15	Doğru dizemedi	2 dk 24 sn	Hayır
Katılımcı 16	Doğru dizdi	33 sn	Hayır
Katılımcı 17	Doğru dizdi	38 sn	Hayır
Katılımcı 18	Doğru dizdi	45 sn	Hayır
Katılımcı 19	Doğru dizdi	1 dk 32 sn	Hayır
Katılımcı 20	Doğru dizdi	1 dk 53 sn	Hayır
Katılımcı 21	Doğru dizdi	1 dk 56 sn	Evet
Katılımcı 22	Doğru dizdi	45 sn	Hayır
Katılımcı 23	Doğru dizdi	3 dk 6 sn	Evet
Katılımcı 24	Doğru dizdi	3 dk 12 sn	Hayır
Katılımcı 25	Doğru dizdi	1 dk 55 sn	Hayır

### 4.3 Robot ve Hologram Etmenlerden Öğrenmenin Karşılaştırılması

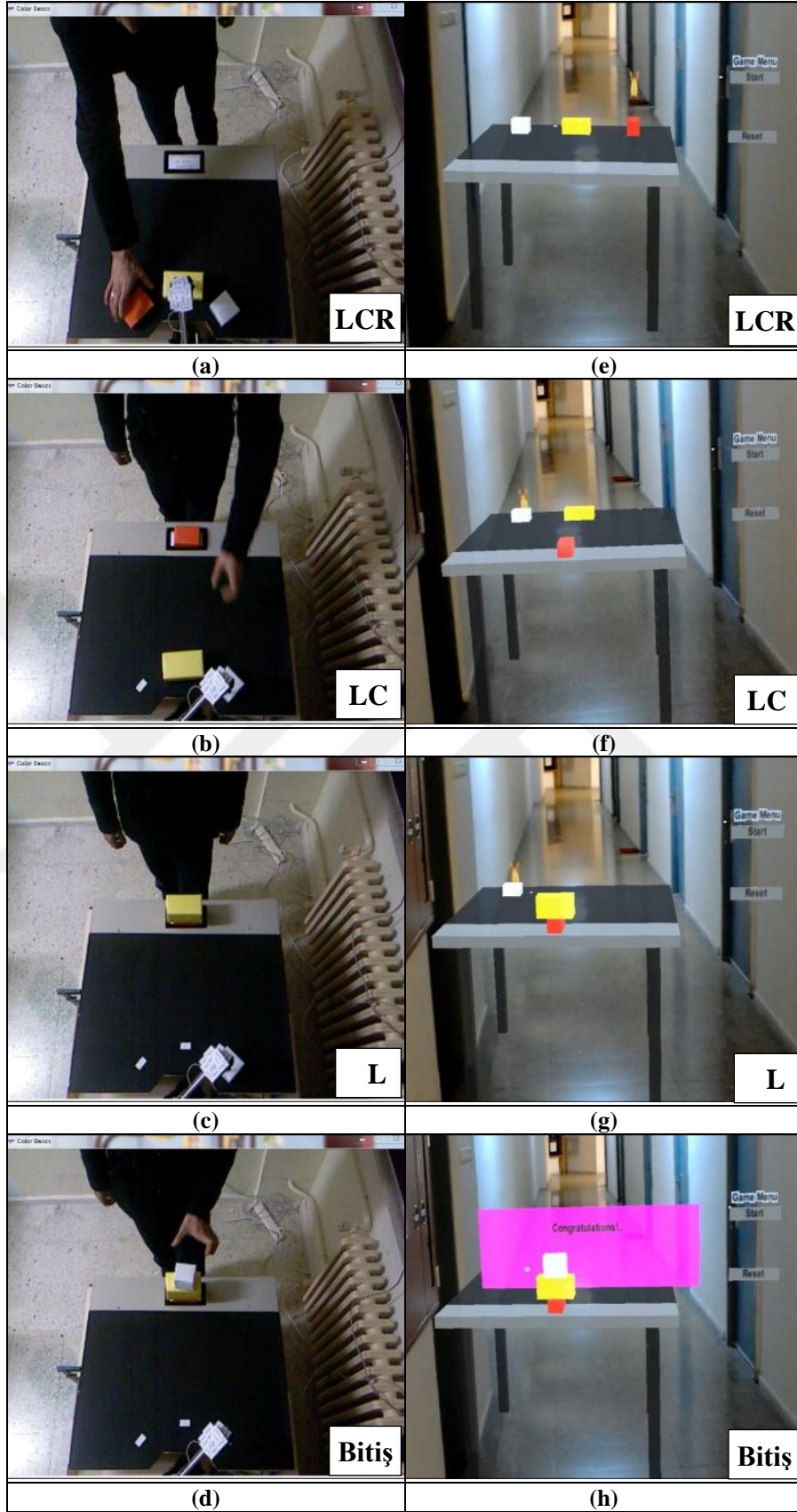
Bu bölümdeki çalışmanın ana hedefi, bir insana karmaşık bir görevi öğretmede hangi etmenin ne kadar başarılı olabildiğini ortaya çıkarmaktır. Bununla beraber bu etmenlerle gerçekleştirilen uygulama esnasında kullanılan ortamların ya da sistemlerin avantajlarının ve dezavantajlarının belirlenmesi de amaçlanmıştır. Tüm deneyler sırasında video kaydı yapılmıştır ve detaylı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca karşılaştırma amacı ile deneylerin sonunda katılımcılara bazı sorular sorulmuştur.

Öncelikle her iki deney ortamındaki başarılı birer örnek, görsel olarak adım adım Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Alt görevlerin isimleri kolay anlatım amacıyla her bir görüntü karesinin altında verilmiştir.

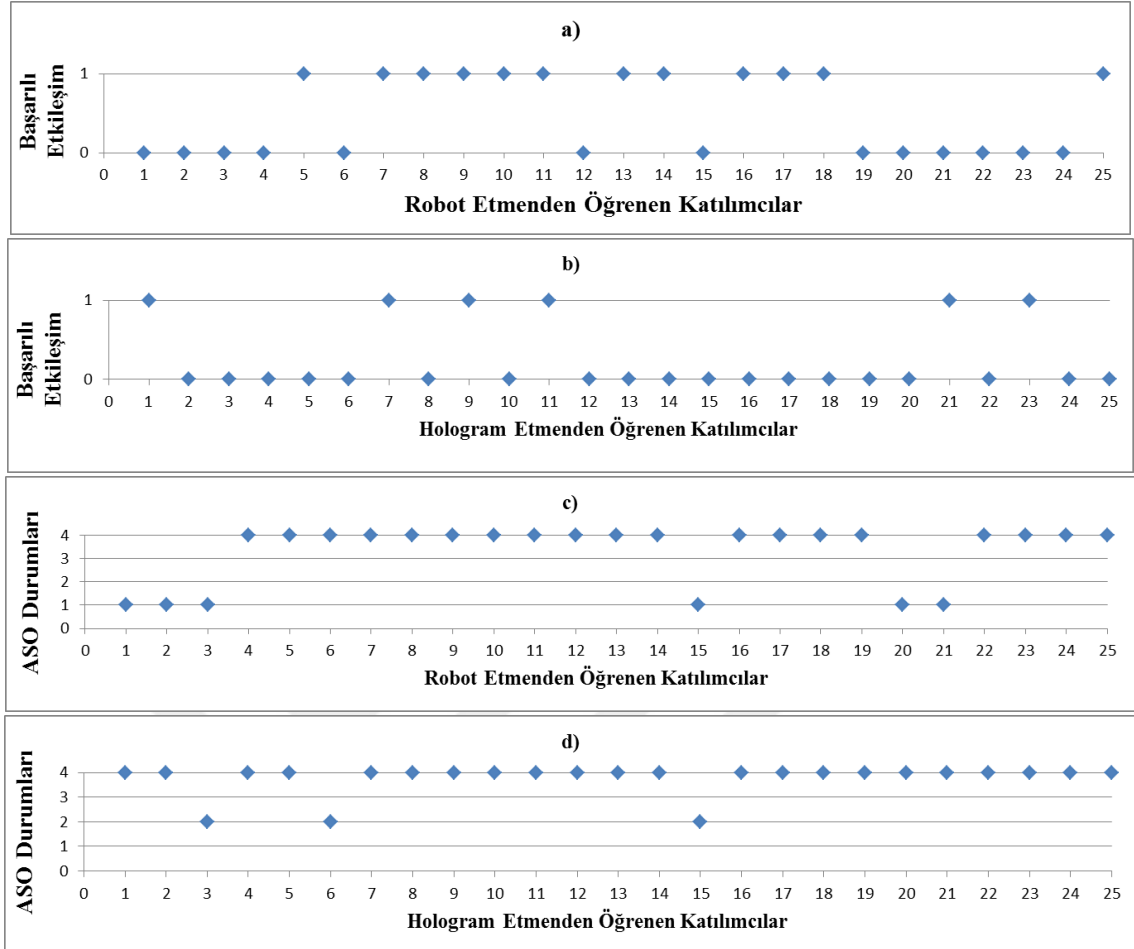
Robot etmen ile gerçekleştirilen deneylerde, görevi başarıyla tamamlayan katılımcıların oranı % 76'ydı. Bu oran hologram etmen ile gerçekleştirilen deneylerde %88 olarak gerçekleşmiştir. Rehberlik hareketlerini anlayan katılımcıların oranı ise robot öğretici için % 48, hologram öğretici için % 24 olarak sonuçlanmıştır. Bunun dışında her bir alt görev durumunu tamamlayan katılımcı sayısı da analiz edilmiştir. Şekil 4.2 (c) ve 4.2 (d)'de “LCR”, “LC”, “L” ve “Bitiş” sırasıyla 1, 2, 3, 4 olarak gösterilmiştir. Robot etmen ile yapılan deneylerde, katılımcıların % 24'ü, Şekil 4.2(c)'de gösterildiği gibi 1. durumda kalmışlardır. 1. durumda kalmaları, katılımcıların hiçbir şey yapmadıkları veya robotun hareketlerini anlamadıkları anlamına gelmektedir. Aynı zamanda bu tablo görevi öğrenmeye çalışan ve öğretici ile etkileşime giren ya da giremeyen tüm katılımcıların bir şekilde nihai duruma ulaştığını göstermektedir. Hologram öğretici ile yapılan deneylerde hiç bir katılımcı 1. durumda kalmamıştır. Ancak, katılımcıların % 12'si, Şekil 4.2 (d)'de gösterildiği gibi hologram etmen ile “LC” durumunda yani 2. durumda takılmıştır.

Her iki deneyde de, görevi başarıyla tamamlayan, ancak yönlendirici etmenin hareketlerini anlamamış olan katılımcılar, nesnelere rastgele yerleştirip deneme yanılma yoluyla doğru sıralamayı bulmuşlardır.

Grafiklere göre, görevi başarıyla tamamlayan katılımcıların oranı hologram etmen ile daha yüksektir. Ancak, öğreticiyi gözlemleyerek görevi öğrenen katılımcıların oranı, robot öğretici ile yapılan deneylerde daha iyi sonuç vermiştir. Etmenin faaliyetlerini anlama oranı, katılımcılarla yapılan görüşmelere ve görüntülerin analizlerine dayanarak yapılmıştır. Hareketleri anlayan katılımcılar öğreticinin hareketlerinin mantığını açıklamışlardır. Bu sonuçlara göre genel bir değerlendirme yapılacak olursa, sanal hologramlara göre gerçek fiziksel öğreticilerin daha fazla dikkat çeken etmenler olabileceği söylenebilir.



Şekil 4.1 (a), (b), (c), (d) Robot etmen ile başarılı bir katılımcının görev basamakları. (e), (f), (g), (h) Hologram etmen ile başarılı bir katılımcının görev basamakları.



**Şekil 4.2 (a)** Katılımcılar ile robot etmen arasındaki etkileşimin başarı grafiği. 1 sayısı robotun rehberliğini anlayan ve görevi başarıyla tamamlayan katılımcıları temsil etmektedir. **(b)** Hologram etmen ile yapılan deneylerdeki başarı grafiği. **(c)** ve **(d)** katılımcıların hangi geçiş durumuna kadar ulaşabildiklerini göstermektedir. “LCR”, “LC”, “L” ve “Bitiş” durumları, sırasıyla dikey eksendeki 1, 2, 3, 4 rakamlarıyla temsil edilmektedir.

Deneylerde kimseye görevi tamamlamak için bir süre sınırlaması konmamıştır. Ancak robot deneylerinde katılımcıların % 24’ü, hologram deneylerinde ise %12’si doğru sonucu bulamamış ve tamamlamadan görevlerini bırakmışlardır.

İki çalışmanın karşılaştırması amacıyla katılımcılara bazı sorular yöneltilmiştir. İlk sorular, katılımcının öğretici etmeni tanıyıp tanımadığını ve onun eylemlerini anlayıp anlamadığını öğrenmek için sorulmuştur. Verilen cevaplara ve görüntülerin analizlerine göre, katılımcıların çoğunun en alttaki nesnelerin daha büyük boyutta olmaları gerektiğini düşünerek fiziksel görünümüne göre sıralamaya çalıştıkları görülmüştür. Bunun dışında, katılımcıların herhangi bir kullanım zorluğu ile karşı karşıya kalmaması için tüm katılımcılara HoloLens cihazının nasıl kullanılacağı hakkında yaklaşık 2 dakika kadar kısa bir bilgilendirme yapılmıştır. HoloLens için aksesuar olarak “Clicker” isimli fare benzeri giriş aygıtı hologram deneylerinde

kullanılmıştır. Bu tedbirler sayesinde katılımcıların hepsi, deneylerde HoloLens'i kullanırken zorluk yaşamadığını belirtmiştir.

Ayrıca katılımcıların HoloLens ile deneyi yapmak için çok istekli oldukları görülmüştür. Hiç kimse hologramla deneye katılmayı reddetmezken, birkaç kişi robot ile yapılacak deneye katılmayı reddetmiştir. Uygulanabilirliğin de bu sonucun elde edilmesinde önemli bir rolü olduğu düşünülmektedir. Çünkü robot deneylerinde katılımcıların robotun kurulduğu odaya gitmeleri gerekmiştir. Öte yandan HoloLens'in mobil bir cihaz olması ve katılımcıların başka bir odaya ya da bölüme gitmelerine gerek kalmaması bu konuda avantaj sağlamıştır. Bazı araştırmalar, etmenlerin bir katılımcıyla etkileşime girerken, insan etkileşim hızlarında tepki vermesi gerektiğini göstermektedir. Bu noktada hiçbir katılımcı şikâyetle bulunmamıştır. Bir başka deyişle her iki çalışmada da, gerçekçi etkileşim oranlarının sağlanmasına özen gösterilmiştir.

Görüntü analizlerine ve katılımcılarla yapılan görüşmelere göre detayları yukarıda ifade edilmiş olan özet bir tablo Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.3** Robot ve hologram etmenler ile yapılan deneylerin sonuçlarının, literatürden elde edilen ve her iki ortamda karşılığı bulunan metriklere göre karşılaştırma tablosu

Ölçütler	Bulgular	
	Robottan Öğrenme	Hologramdan Öğrenme
<b>Görevin başarı ile tamamlanması</b>	76%	88%
<b>Öğretici etmenlerin hareketlerinin anlaşılması (Etmen ile insan arasındaki etkileşim)</b>	48%	24%
<b>Katılımcıların motivasyonu</b>	2 kişi katılmayı reddetti	Kimse katılmayı reddetmedi
<b>Kullanım zorlukları</b>	Kimse şikâyet etmedi	Kimse şikâyet etmedi
<b>Uygulanabilirlik</b>	Eğer deney düzeneğinin yeri değiştirilecekse kurulum için zaman gerekiyor	Mobil bir cihaz ile kolay fakat katılımcılara ön bilgilendirme yapılması gerekiyor
<b>Algoritmaların tepki süreleri</b>	Kimse şikâyet etmedi	Kimse şikâyet etmedi

#### 4.4 Boyun Ağrısının Cerrahi Olmayan Tedavisi için Gereken Temel Egzersizlerin Hologram ile Öğretilmesi ve Uygulanması Çalışmasında Elde Edilen Sonuçlar

Deneylere katılan toplam 30 kişi, 15'er kişilik 2 gruba ayrılmıştır. İlk 15 kişiden oluşan deney grubunun boyun ağrısına yönelik egzersizleri HoloLens cihazı ile yapması sağlanmıştır. Bu gruptaki katılımcıların yaş ortalaması 48,4'tür. En genci 34 en yaşlısı ise 70 yaşında olan bu gruptaki katılımcıların 1 tanesi okuma yazma bilmezken, 6'sı ilkokul, 1'i ortaokul, 5'i lise, 2'si lisans mezunudur.

İkinci 15 katılımcının oluşturduğu kontrol grubu ise bu egzersizleri cihaz olmadan geleneksel yöntem ile uygulamışlardır. Bu gruptaki katılımcıların yaş ortalaması ise 52,8'dir. En genci 30 en yaşlısı ise 70 yaşında olan bu gruptaki katılımcıların 1'i okuma yazma bilmezken, 3'ü ilkokul, 6'sı lise ve 5'i lisans mezunudur. Bu egzersizlerin yapılması için oluşturulan örnek çalışma alanı ve egzersiz yapan bazı katılımcılara ilişkin görüntüler EK-1'de sunulmuştur.

Kamera ile kayıt altına alınan çalışmalar incelenerek, hareketleri hatalı uygulayan katılımcılar tespit edilmiştir. Şekil 4.3'te katılımcıların boyun ağrısının tedavisine yönelik egzersizleri uygularken egzersiz türlerine göre yaptıkları hata sayıları gösterilmiştir. Grafiklerin sol tarafındaki K1 – K15 numaralı katılımcılar HoloLens cihazı ile birlikte çalışan katılımcılar, sağ tarafta kalan K16 – K30 numaralı katılımcılar ise geleneksel şekilde herhangi bir cihaz olmadan çalışan katılımcıları göstermektedir. Mavi renkli sütunlar katılımcının toplam 10 harekette yaptığı açılı hatası sayısını, kırmızı renkli sütunlar süre hatası sayısını, yeşil renkli sütunlar ise tekrar sayısı bakımından yaptıkları hata sayısını göstermektedir.

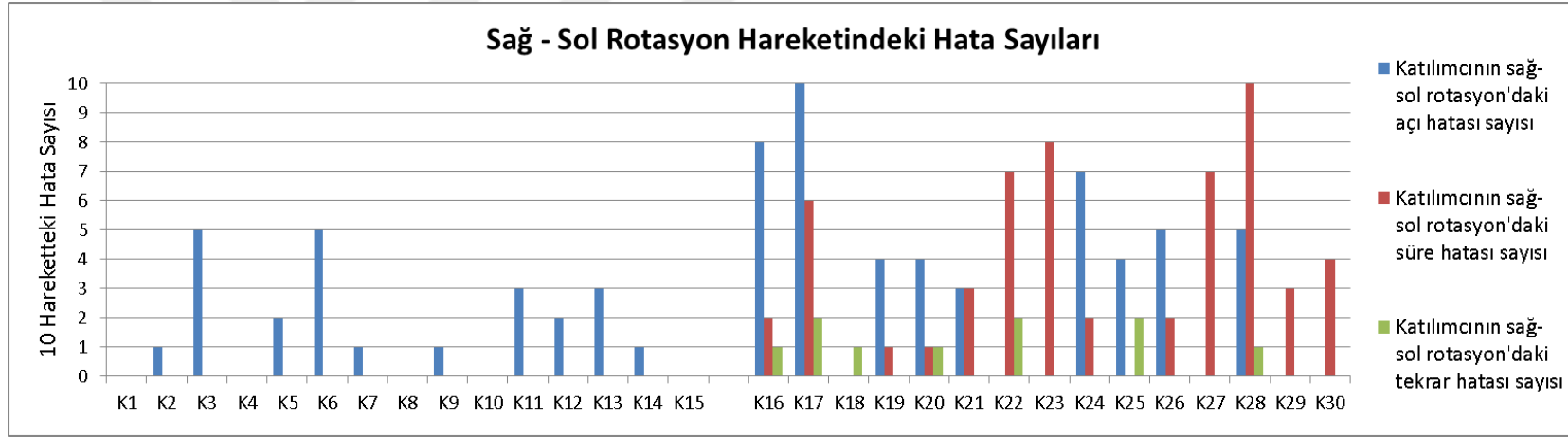
Grafikler incelendiğinde cihaz olmadan çalışan katılımcıların her bir harekette başını döndürdükten sonra beklemesi gereken 5 saniyelik süreye genellikle riayet etmediğini göstermektedir. Bazı katılımcılar başını döndürdüğünde 5 saniye bekleyip ondan sonra normal pozisyona dönülmesi gerektiği söylendiği halde hızlı bir şekilde 5'e kadar sayarak bekleme süresinde 1 - 2 saniyelik eksikliğe neden olmuşlardır. Her egzersiz hareketi 5'er tekrar yapıldığından, toplam 30 hareketteki tüm egzersizlerde yapılan süre hataları değerlendirildiğinde; kontrol ve deney grubundaki katılımcılar göz önüne alınırsa katılımcı başına düşen ortalama hata adedi 5.47'dir. Cihazla çalışan katılımcılar hiç süre hatası yapmazken, cihazsız çalışan katılımcılarda bu ortalama katılımcı başına 10.93 adettir. Bir katılımcının toplamda 30 hareket yaptığı

değerlendirilerek yüzdeler oran hesaplanırsa, cihazsız çalışan katılımcılarda ortalama süre hatası oranı %36.4'tür.

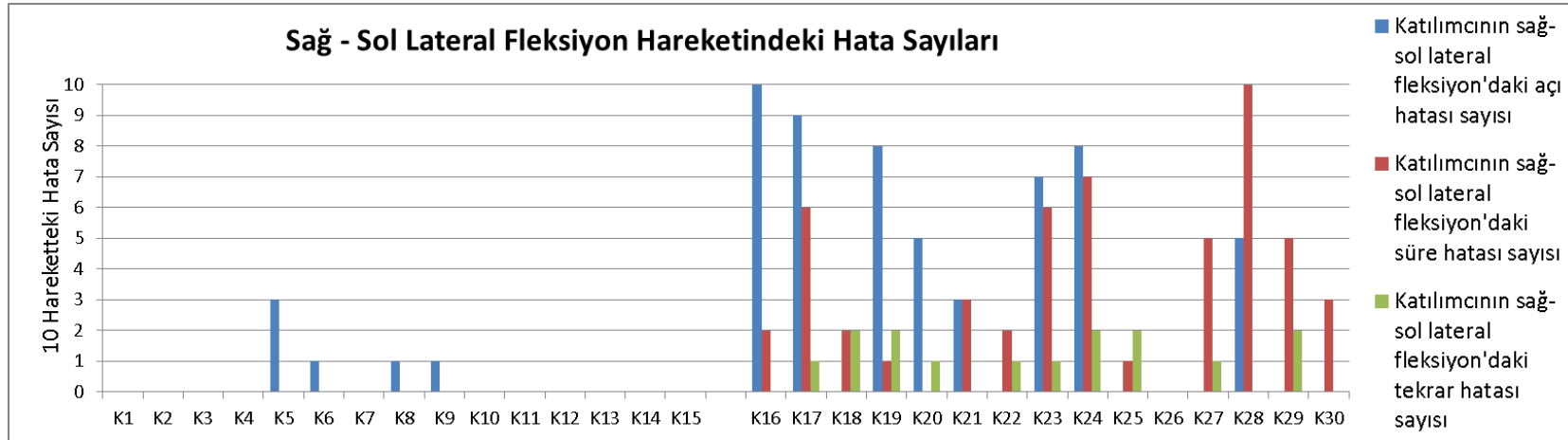
Cihaz olmadan çalışan bazı katılımcılar aynı hareketi 5 defa uygulayıp bir sonraki harekete geçmesi gerektiği halde eksik ya da fazla tekrar yaparak bu konuda da egzersizleri hatalı tatbik etmişlerdir. Tüm katılımcılardaki ortalama tekrar sayısı hatası katılımcı başına 1.2 adet olarak tespit edilmiştir. Cihazla çalışan katılımcılar hiç tekrar sayısı hatası yapmazken, cihaz olmadan çalışan ve tekrar sayısı hatası yapan katılımcıların ortalama hata değeri 2.4'tür. Cihaz olmadan çalışan katılımcılarda ortalama tekrar sayısı hatası oranı %8'dir.

Her iki grupta da başın döndürülme açısını hatalı uygulayan katılımcılar olmuştur. Egzersizleri yaparken sadece başlarını döndürmeleri gerekirken vücudunu da döndürerek bu noktada hatalı egzersiz yapmışlardır. Deneylerdeki tüm katılımcıların ortalama açı hatası sayılarına bakıldığında bu değerin katılımcı başına 5.46 adet olduğu görülmektedir. Cihazla çalışan katılımcıların ortalama açı hatası sayısı 2.73 adet, cihaz olmadan çalışanlarda ise 8.2 adettir. Bu hata sayıları yüzde olarak hesaplandığında, cihazla çalışanlarda ortalama %9.1, cihaz olmadan çalışanlarda ise ortalama %27.3 olarak elde edilmektedir. Elde edilen veriler Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

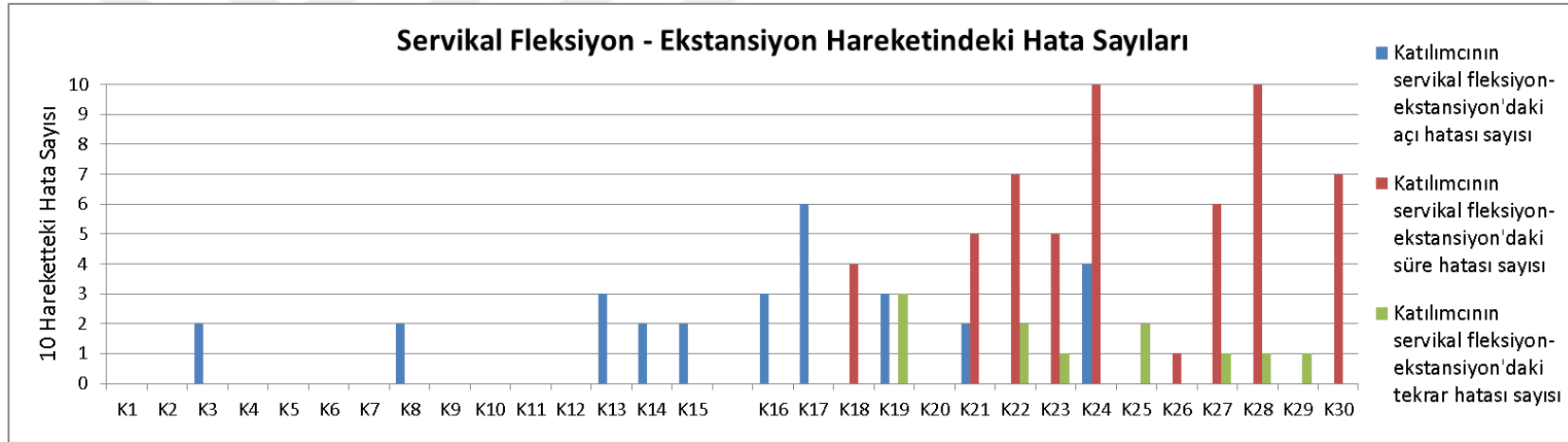




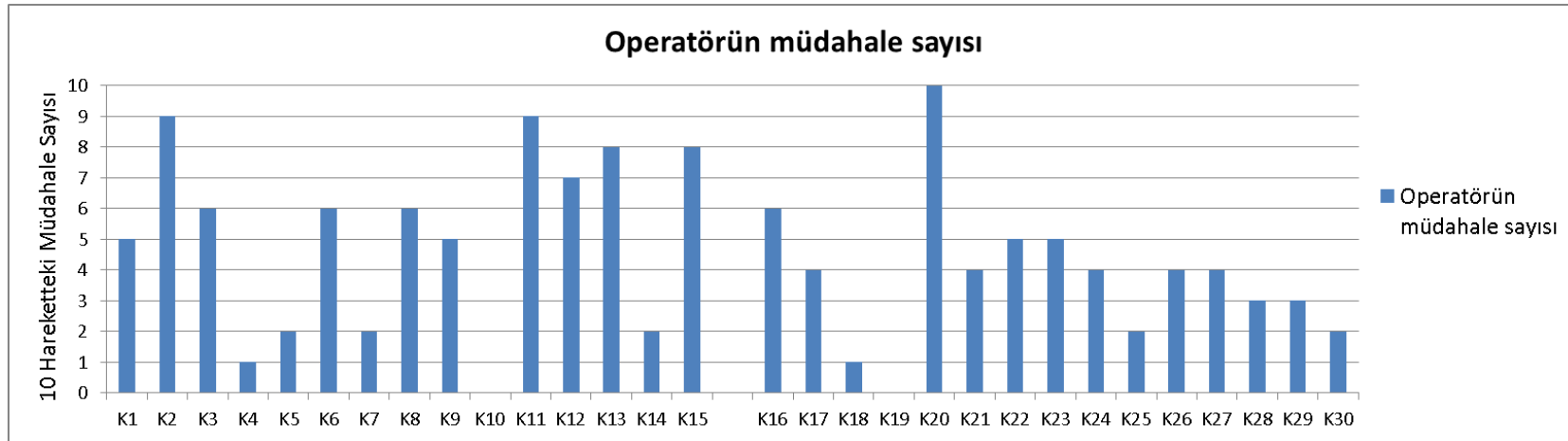
(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 4.3** (a) Katılımcıların sağ – sol rotasyon hareketlerindeki hata sayıları. (b) Katılımcıların sağ – sol lateral fleksiyon hareketlerindeki hata sayıları. (c) Katılımcıların servikal fleksiyon – ekstansiyon hareketlerindeki hata sayıları. (d) Operatörün katılımcılar egzersizi yaparken müdahale ederek yaptığı düzeltme sayıları

Çizelge 4.4 Fizik tedavi hareketlerinde yapılan hata sayıları karşılaştırma tablosu

Sağ / Sol Rotasyon Hareket Grubu (Toplam 10 harekette yapılan hata sonuçları)	Deney Grubu		Kontrol Grubu	
	15 Kişinin Toplamı	Kişi Başı Ortalama	15 Kişinin Toplamı	Kişi Başı Ortalama
Süre Hatası	0	0	56	3.7
Tekrar Sayısı Hatası	0	0	10	0.7
Açı Hatası	24	1.6	50	3.3

Sağ / Sol Lateral Fleksiyon Hareket Grubu (Toplam 10 harekette yapılan hata sonuçları)	Deney Grubu		Kontrol Grubu	
	15 Kişinin Toplamı	Kişi Başı Ortalama	15 Kişinin Toplamı	Kişi Başı Ortalama
Süre Hatası	0	0	53	3.5
Tekrar Sayısı Hatası	0	0	15	1
Açı Hatası	6	0.4	55	3.7

Servikal Fleksiyon / Ekstansiyon Hareket Grubu (Toplam 10 harekette yapılan hata sonuçları)	Deney Grubu		Kontrol Grubu	
	15 Kişinin Toplamı	Kişi Başı Ortalama	15 Kişinin Toplamı	Kişi Başı Ortalama
Süre Hatası	0	0	55	3.7
Tekrar Sayısı Hatası	0	0	11	0.7
Açı Hatası	11	0.7	18	1.2

Tüm Egzersiz Boyunca Yapılan Hata Oranı (Tüm 30 harekette yapılan hatalar toplamı)	Deney Grubu		Kontrol Grubu	
	15 Kişinin Toplamı	Kişi Başı Ortalama	15 Kişinin Toplamı	Kişi Başı Ortalama
Süre Hatası	0	%0	164	%36.4
Tekrar Sayısı Hatası	0	%0	36	%8
Açı Hatası	41	%9.1	123	%27.3
Müdahale	76	%16.9	57	%12.7

Çalışılan katılımcı grubunun yaş ortalamasının yüksek olması ve eğitim seviyelerinin düşük olması nedeniyle, bazı noktalarda katılımcılara egzersizleri yaparken hatalarını düzeltmeye yönelik müdahalelerde bulunulmuştur. Bazı katılımcılara ise cihazın kullanımına yönelik yardımcı müdahalelerde bulunulmuştur. Tüm müdahale sayıları toplanıp 30 katılımcı için ortalama hesaplandığında, katılımcı başına ortalama 4.43 adet müdahale şeklinde gerçekleşmiştir. Cihazla çalışan katılımcılar için katılımcı başına ortalama müdahale sayısı 5.1 adet iken, cihaz olmadan çalışan katılımcılar için 3.8 adet şeklinde gerçekleşmiştir. Bu müdahale sayıları katılımcı ve egzersiz başına yüzde olarak hesaplandığında, cihazla çalışanlarda %16.9, cihaz olmadan çalışanlarda %12.7 olarak elde edilmiştir.

## 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Sunulan tez çalışmasının temel gayesi, yüksek düzeyde karmaşık görevlerin insana, robot ve hologram etmenler ile öğretilmesi için temel bir çalışmanın gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla yeni bir deney düzeneği tasarlanmış ve üretilmiştir.

Robot etmen ile yapılan deneyler 25 kişinin katılımıyla başarıyla gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar elde edilmiştir. Karmaşık görevin alt görevlere bölünüp, SDM'nin uyarlanmasıyla basitleştirilerek tamamlanan alt görevlerin takibinin kolaylaştırılması çalışmanın ana fikrini oluşturmaktadır. Bu sayede sosyal etkileşim, konuşma, sportif aktiviteler ve denetleme görevleri gibi çok daha karmaşık hareketlerden ya da bölümlerden oluşan görevler insana bir robot tarafından basit bir şekilde öğretililecektir.

Ayrıca, gerçekleştirilen deneyler sırasında, nesne tanıma ve takibi konuları üzerine çalışmaların yapılabileceği düşünülerek bir veri oluşturulmuştur. Ancak, çalışmada gerçekleştirilen sistem yarı otonom bir sistem olmasına rağmen insan katılımcılar tarafından bakıldığında tam otonom bir sistemden bir farkının olmamasından dolayı etkileşim yönünden elde edilen sonuçların değişmeyeceği düşünülmektedir.

Karmaşık bir görevin insana etkileşim ile öğretilmesinde farklı bir öğretici etmen olarak hologramdan faydalanılmıştır. Hologram etmen ile yapılan deneyler ise yine 25 farklı katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. İlk defa bu çalışmayla birlikte, AG ortamı için karmaşık olarak kabul edilen tüm görev alt görevlere bölünmüş, İBD temeline göre bir dil şeklinde geliştirilerek ASO aracılığıyla da ne kadarının tamamlandığı kontrol edilmiştir. Bu sayede tıpkı robot etmenler gibi hologram etmenlerin de karmaşık görevleri insan katılımcılara öğretebilecekleri ispatlanmıştır.

Bu iki deneysel çalışmada, iki farklı ortamdaki etmenler, literatürde gerçekleştirilmiş eğitim temelli çalışmalardan elde edilen metriklere göre ilk defa bu tez çalışmasında karşılaştırılmış ve öğretme konusundaki avantajları ile dezavantajları ortaya konulmuştur (Dunleavy ve ark., 2009; Park ve ark., 2011; Radu, 2012; Wu ve ark., 2013; Bacca ve ark., 2014). Sonuçlar açıkça göstermektedir ki hologram etmenden öğrenmenin başarı oranı robot etmenden öğrenmenin başarı oranına göre çok daha düşüktür. Robot etmenin yönlendirmelerini anlayabilenlerin oranı %48, hologram etmenin yönlendirmelerini anlayabilenlerin oranı ise %24 olarak gerçekleşmiştir.

Burada bahsedilen başarı oranı insan ve etmen arasında kurulan etkileşimden elde edilmiştir. Katılımcı, etmenin hareketlerini yorumlayarak bir sonraki adımını belirlediyse etkileşimin başarılı bir şekilde gerçekleştiği kabul edilmiştir.

Robot etmenin hologram olana göre daha başarılı olması katılımcıların AG ortamında bilişsel olarak aşırı yüklenmesine bağlanmıştır. Çok açıktır ki AG ortamdaki hologram ve diğer sanal nesnelere, katılımcının konsantrasyonunu yani gerçek probleme odaklanmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Sanal içeriğin geliştirilmesi ya da modifikasyonu belki bu olumsuz etkiyi azaltabilir ancak seçilen sanal karakterin sonuçları tamamiyle değiştirebileceği söylenemez. Çalışmada tavşan karakterinin seçilmesi zıplayarak nesnelere arasında dolaşma senaryosuna uygun olmasından dolayıdır. Deneyle katılımcılar genellikle ilk önce bu sanal karaktere dikkatlerini odaklamışlardır. Bazı katılımcılar doğru sıralamayı bulabilmek için tavşan karakterin gözlerinden, kulak hareketlerinden ya da mimiklerinden bir ipucu yakalamaya çalıştıklarını ifade etmişlerdir. Diğer tarafta ise robot kolundan böyle bir mimik ya da ifade yoluyla ipucu elde etmek hiçbir katılımcının aklına gelmesinin beklenmeyeceği bir durumdur. Bu durum literatürdeki AG ortamı üzerine yapılan bazı çalışmalarda dikkatin tünellenmesi olarak açıklanmıştır (Radu, 2012).

Bu sonuçların elde edilebilmesi için katılımcılara benzer şekilde çalışan deney ortamları sunulmuş ve benzer problemi çözmeleri istenmiştir. İki çalışma arasındaki tek büyük fark ortamdır. Şüphe yok ki AG ortamı günümüzde çoğu insan için yabancı bir teknolojidir. Bu çalışmaya katılan katılımcıların tamamı ilk defa bir AG uygulaması ile karşılaşmışlardır. Belki gelecekte insanlar, hologramları artık günlük yaşamlarında sıklıkla kullandıkları vakit, dikkatlerini hologramlara ya da sanal nesnelere değil de bunların ne ifade etmek istediklerine vereceklerdir.

Bazı çalışmalar da AG uygulamaları için benzer sonuçları açıklamışlardır. Wu ve arkadaşlarının 2013 yılında yaptıkları bir çalışmada, öğrencilerin AG ortamındayken aynı anda birkaç görevle ilgilenmeleri gerektiği ve bu teknolojilere alışkın olmadıkları açıklanmıştır. Bunun da eğitimde AG uygulamalarının bir dezavantajı olduğu vurgulanmıştır (Wu ve ark., 2013)

Bunların dışında iki ortam kullanılabilirlik açısından incelendiğinde birbirinden çok uzak olmadıkları tespit edilmiştir. Her iki ortamda da katılımcıların çoğu görevleri tamamlamayı başarmışlardır ve cihazların kullanımı ve anlaşılması konusunda herhangi bir şikâyetle bulunmamışlardır.

Deneylerde kullanılan HoloLens isimli cihazın mobil bir cihaz olması, uygulanabilirlik açısından incelendiğinde diğer prize bağlı çalışan robot – kamera düzeneğine göre bazı avantajlar ve dezavantajlar getirmiştir. Bazı insanlar robot düzeneğin kurulu olduğu laboratuvara gidip deneye katılmayı, mesafe ve süre kaybı sorunundan dolayı reddetmişlerdir. Bu açıdan bakıldığında mobil BGE avantajlı konumdadır. Mobilite, çeşitli uygulamalar düşünüldüğünde kolaylık sağlamaktadır. Ancak bu husus pil konusunda problem oluşturmaktadır. BGE ile arka arkaya çok sayıda deney yapılamamakta ve belirli bir süre sonunda şarj etme ihtiyacı oluşmaktadır.

HoloLens cihazının bir başka kısıtlaması da görüntüleme açısının oldukça dar olmasıdır. Büyük sanal nesnelere yakından bakıldığında ortamdaki nesnelere bazı bölümleri bütünüyle görülemez. AG ortamındaki deneylerde gerçek masa, gerçek nesnelere ve sanal etmenin kullanılması planlanmıştı fakat katılımcı deney masasına dokunabileceği kadar yakından HoloLens ile baktığı zaman bazı nesnelere ve masanın bazı bölümlerini göremeyecekti. Bu da sanal tavşan etmenin bazı hareketlerini görememesine yol açarak deneyin doğru yapılmasını engelleyecekti. Dolayısıyla yapılan deneylerde sanal masa ve sanal nesnelere kullanılması ve bunların katılımcıdan biraz daha uzağa yerleştirilmesi gerekmiştir. AG ortamına göre tamamen sanal ortamın tercih edilmemesinin sebebi de katılımcının gerçek ortamdaki tamamen uzaklaşmamasının istenmesinden dolayıdır.

Bunların dışında algoritmaların hazırlanması, deney düzeneğinin oluşturulması için harcanan süre ve yapılan maliyet hesaplandığında iki sistemin de birbirine çok fazla üstünlük sağlamadıkları görülmüştür. Çizelge 5.1’de literatürdeki bazı çalışmaların sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 5.1** Literatürdeki farklı teknolojik ortamlarda yapılan bazı öğretme / yönlendirme amaçlı karşılaştırma çalışmalarının sonuçlarının karşılaştırılması

Araştırmacı ve Yayın Yılı	Deney Konusu	Katılımcılar	Kullanılan Etmenler / Yöntemler	Elde Edilen Sonuçlar
Cerezo ve ark. 2019	İngilizce Konuşma Pratiği	İspanya'daki 70 Anaokulu Öğrencisi	Kontrol Gr.: Geleneksel Yöntemler (Kitap vs.) Deney Gr.1: Mobil Uygulama Deney Gr.2:Hologram İçerikli Mobil Uygulama	-Deney Gr. 2'nin ortalama başarı puanı, 10 üzerinden ortalama 3.95 puan artışı sağlamıştır. -Deney Gr. 1 ortalama 3.48 puan artışı sağlamıştır. -Kontrol Gr. ortalama 3.05 puan artışı sağlamıştır.
Wang ve Rau 2018	Etmenlerde Cisimleşmenin İnsanın Karar Vermesine Etkisi	30 yaşın Altındaki 60 Katılımcı	4 Farklı Ortamdaki Robot / Katılımcılara Soru Çözerken Robotlar Tavsiye Vermektedir. 1. Fiziksel Robot ile 2. Sanal Varoluş ile 3. SG Ortamında Robot ile 4. AG Ortamında Robot ile	-Fiziksel robot ort. 0.55 defa insanın kararını değiştirebilmiştir. -SG Ortamındaki Robot 0.52 defa değiştirebilmiştir. -AG Ortamındaki Robot 0.41 defa değiştirebilmiştir. -Sanalvaroluş ile etkileşime giren robot 0.36 defa değiştirebilmiştir.
Tez çalışması 2019	Öğretimde Teknolojik Etmenlerin Başarısı ve Birbirlerine Göre Avantajları	50 Lisans ve Lisansüstü Öğrenci. (Robot ve Hologram Deneyleri İçin 25'er kişi)	Robot ve Hologram Etmenler ile Karmaşık Bir Görevin İnsana Öğretilmesi	-Robot etmeni başarıyla anlayabilenlerin oranı %48. -Hologram etmeni başarıyla anlayabilenlerin oranı %24.

Ayrıca tez çalışmasında hologram etmen ile hastalara fizik tedavi hareketinin öğretilmesi gerçekleştirilmiştir. Hologram etmen ile fizik tedavi egzersizlerinin hastalara öğretilmesi ve tatbik ettirilmesi ile ilgili çalışmanın sonuçlarına bakıldığında, bilgisayar sistemlerinin insanlara göre daha kararlı çalıştığı sonuncuna ulaşmaktayız. Rouse'un 1977 yılındaki makalesinde de belirttiği gibi İBE yaklaşımının hem performans açısından hem de insanın sistemdeki rolü açısından yararları olduğu görülmektedir. Temel olarak, bilgisayar görevleri yerine getirmeye çalışırken hangi iş seçilirse yapılmaktadır. Bilgisayarlarda ego yoktur. Asla çok çalışmış ya da az çalışmış şeklinde hissetmezler. Böylece, insan karar vericisinin sistemdeki kendi rolünü tanımlamasına ve durum değiştiğinde bu tanımlamayı değiştirmesine olanak tanımaktadır (Rouse, 1977).

Gerçekleştirilen tez çalışmasında da Rouse'un çalışmasında yapılan tespitlere benzer sonuçlar elde edilmiştir. BGE olmadan çalışan katılımcıların hareket süresini olması gerektiğinden kısa tutabildiği, başını döndürmesi gereken açıyı yetersiz ölçüde tutabildiği görülmüştür. Ancak önerilen sistemin kullanıldığı çalışmalarda bilgisayarın herhangi bir esnekliğe izin vermediği ve egzersizlerin daha doğru yapıldığı görülmektedir.

Bu çalışmayla birlikte ilk defa BGE'nin kullanıldığı mobil bir cihazdaki hologramlar ile bir insana, bir takım fizik tedavi hareketlerini nasıl ve ne kadar süreyle yapacağı öğretilmiş ve bazı hareketleri doğru yapıp yapmadığı da denetlenerek hareketlerin doğru şekilde yapılması sağlanmıştır. Özellikle yaşlı hastalarda karşılaşılan fizik tedavi hareketlerinin evde düzensiz uygulanmasını ya da hareketlerin yanlış uygulanmasını düzeltebilecek bir metot geliştirilmiştir.

Sonuçlara bakıldığında deney grubundaki (BGE kullanan) katılımcıların, egzersizlerin uygulanma süreleri ve tekrar sayıları bakımından hiç hata yapmaması önerilen sistemin faydalarını ortaya koymaktadır. Bu mobil cihazın, literatürdeki daha önce yapılmış Kinect veya benzeri sensörlerin kullanıldığı fizik tedavi çalışmalarına göre kurulum maliyeti ve süresi gibi konularda avantaj sağlaması da sağladığı katkılar arasında sayılabilir. Literatürdeki bazı AG ortamındaki fizik tedavi çalışmalarının sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Önerilen sistemin geliştirilip ticari bir ürüne dönüştürülmesi sayesinde boyun ağrısının tedavisi için verilen egzersizlerin uygulanmasında kolaylık sağlanacağı ve böylece hastaların fizyoterapist randevusu alıp sıra beklemesine gerek kalmayacağı düşünülmektedir.



**Çizelge 5.2** Literatürdeki AG ortamında yapılan bazı fizik tedavi çalışmalarının sonuçlarının karşılaştırılması

Araştırmacı ve Yayın Yılı	Deney Konusu	Katılımcılar	Kullanılan Etmenler / Yöntemler	Elde Edilen Sonuçlar
Mostajeran ve ark. 2019	Evde Yaşlılara Denge Eğitimi	Yaşları 60 – 84 Arası Değişen 52 Yaşlı Birey	BGE Giyilerek Sanal Koç ile Hareketlerin Gösterilmesi ve Kinect ile Takip Edilmesi. Anket Yapılması	-Anket sonuçlarına göre yaşlı bireyler sıra beklemek yerine sanal koçu tercih etmektedirler.
Da Gama ve ark. 2016	Omuz Çıkığı Terapisi	33 Omuz Çıkığı Hastası	Kinect ile Takip Edilen Hastaların TV'deki Görüntüleri Üzerinde AG Uygulaması ile Egzersiz Yapıtırılması	-Doğru egzersiz yapma oranı %69.02'den %93.73'e çıkartılmıştır. -Egzersiz tekrarlama oranı %34.06'dan %66.09'a çıkartılmıştır.
Tez Çalışması 2019	Hologram Etmen ile Boyun Ağrısı Tedavisi için Egzersizlerin Hastalara Öğretilmesi ve Uygulanması.	30 Orta Yaş Üstü Katılımcı	HoloLens isimli BGE ve Çevreye Yerleştirilen İşaretçiler Kullanılarak. Kontrol Grubu: Cihaz Olmadan Çalışan 15 Kişi. Deney Grubu: Cihaz ile Çalışan 15 Kişi	-Kontrol grubu hareketlerin %36.4'ünde süre hatası, %8'inde tekrar sayısı hatası, %27.3'ünde açı hatası yapmıştır. -Deney grubu hareketlerde hiç süre ve tekrar sayısı hatası yapmamıştır (%0). Ancak %9.1 oranında açı hatası yapmışlardır.

## 5.2 Öneriler

Robot ya da hologram etmen ile insana görevlerin öğretilmesi çalışmasının geliştirilebilmesi için niyet tahminine yönelik ek çalışmalar gerçekleştirilebilir. Bunların geliştirilmesiyle birlikte üretim hatlarında ya da çalışma ortamlarında iş güvenliğine ve

iş verimliliğine yönelik günlük hayatta kullanılacak sistemler oluşturulabilir. Çünkü gerçek yaşamda insanların güvenliğini sağlamak için bazı noktaların önceden tahmin edilmesi hayati önem taşımaktadır.

Bunun yanı sıra zaten çalışmanın temel amacında da olduğu gibi eğitim ve öğretim alanında kullanılacak benzer uygulamalar geliştirilebilir. Bu uygulamalar geliştirilirken sonuç kısımlarında bashedilen sanal içeriğin düzenlenmesine yönelik çıktılardan faydalanılabilir.

Bunların dışında önerilen hologram ile fizik tedavi çalışması sayesinde hastaların yaptıkları çalışmalar kayıt altına alınarak, hastaların ne kadar düzenli ve doğru şekilde çalıştıkları denetlenebilir. Ayrıca bu sistem ile hasta gruplarının tedaviye bağlılığı konusunda araştırma çalışmaları yapılabilir. Önerilen sistem, geliştirilip ticari ürüne dönüştürülerek hastaların yaşamlarını kolaylaştırabilir.

## KAYNAKLAR

- Adams, R. J., Lichter, M. D., Krepkovich, E. T., Ellington, A., White, M. ve Diamond, P. T., 2014, Assessing upper extremity motor function in practice of virtual activities of daily living, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 23 (2), 287-296.
- Al-Issa, H., Regenbrecht, H. ve Hale, L., 2012, Augmented reality applications in rehabilitation to improve physical outcomes, *Physical Therapy Reviews*, 17 (1), 16-28.
- Asada, M., MacDorman, K. F., Ishiguro, H. ve Kuniyoshi, Y., 2001, Cognitive developmental robotics as a new paradigm for the design of humanoid robots, *Robotics and Autonomous Systems*, 37 (2-3), 185-193.
- Aslan, M. F., Durdu, A., Sabancı, K. ve Erdogan, K., 2019, An approach for learning from robots using formal languages and automata, *Industrial Robot: the international journal of robotics research and application*.
- Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S. ve MacIntyre, B., 2001, Recent advances in augmented reality, *IEEE computer graphics and applications*, 21 (6), 34-47.
- Azuma, R. T., 1997, A survey of augmented reality, *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6 (4), 355-385.
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R. ve Graf, S., 2014, Augmented reality trends in education: a systematic review of research and applications.
- Billard, A., Robins, B., Nadel, J. ve Dautenhahn, K., 2007, Building Robota, a mini-humanoid robot for the rehabilitation of children with autism, *Assistive Technology*, 19 (1), 37-49.
- Bozgeyikli, L., Bozgeyikli, E., Rajj, A., Alqasemi, R., Katkooori, S. ve Dubey, R., 2017, Vocational Rehabilitation of Individuals with Autism Spectrum Disorder with Virtual Reality, *ACM Trans. Access. Comput.*, 10 (2), 1-25.
- Brooks, D., Chen, Y.-p. ve Howard, A. M., 2012, Simulation versus embodied agents: Does either induce better human adherence to physical therapy exercise?, *2012 4th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)*, 1715-1720.
- Card, S. K., Moran, T. P. ve Newell, A., 1980, The keystroke-level model for user performance time with interactive systems, *Communications of the ACM*, 23 (7), 396-410.
- Card, S. K., 1983, *The psychology of human-computer interaction*, Crc Press, p.
- Carpenter, M. B., 1974, Core text of neuroanatomy, *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 53 (5), 247.
- Cerezo, R., Calderón, V. ve Romero, C., 2019, A holographic mobile-based application for practicing pronunciation of basic English vocabulary for Spanish speaking children, *International Journal of Human-Computer Studies*, 124, 13-25.
- Chen, Q., Georganas, N. D. ve Petriu, E. M., 2008, Hand gesture recognition using haar-like features and a stochastic context-free grammar, *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 57 (8), 1562-1571.
- Cohen, S. P. ve Hooten, W. M., 2017, Advances in the diagnosis and management of neck pain, *Bmj*, 358, j3221.
- Da Gama, A. E. F., Chaves, T. M., Figueiredo, L. S., Baltar, A., Meng, M., Navab, N., Teichrieb, V. ve Fallavollita, P., 2016, *MirrARbilitation: A clinically-related*

- gesture recognition interactive tool for an AR rehabilitation system, *Computer methods and programs in biomedicine*, 135, 105-114.
- Dantam, N. ve Stilman, M., 2013, The motion grammar: Analysis of a linguistic method for robot control, *IEEE Transactions on Robotics*, 29 (3), 704-718.
- Dillmann, R., 2004, Teaching and learning of robot tasks via observation of human performance, *Robotics and Autonomous Systems*, 47 (2-3), 109-116.
- Doc-Ok.org, 2019, HoloLens and Field of View in Augmented Reality, <http://doc-ok.org/?p=1274>: [17 Haz].
- Dunleavy, M., Dede, C. ve Mitchell, R., 2009, Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning, *Journal of science Education and Technology*, 18 (1), 7-22.
- Erdoğan, K., Durdu, A. ve Yilmaz, N., 2016, Intention recognition using leap motion controller and Artificial Neural Networks, *2016 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, 689-693.
- Fasola, J. ve Mataric, M. J., 2010, Robot exercise instructor: A socially assistive robot system to monitor and encourage physical exercise for the elderly, *19th International Symposium in Robot and Human Interactive Communication*, 416-421.
- Feil-Seifer, D. ve Mataric, M. J., 2011, Socially assistive robotics, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 18 (1), 24-31.
- Ferber, J. ve Weiss, G., 1999, Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence, Addison-Wesley Reading, p.
- Franklin, D. W., Milner, T. E. ve Kawato, M., 2007, Single trial learning of external dynamics: What can the brain teach us about learning mechanisms?, *International Congress Series*, 67-70.
- Franklin, S. ve Graesser, A., 1996, Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents, *International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*, 21-35.
- Gams, A., Petrič, T., Do, M., Nemeč, B., Morimoto, J., Asfour, T. ve Ude, A., 2016, Adaptation and coaching of periodic motion primitives through physical and visual interaction, *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 340-351.
- Goodrich, M. A. ve Schultz, A. C., 2008, Human-robot interaction: a survey, *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 1 (3), 203-275.
- Green, A. ve Eklundh, K. S., 2003, Designing for learnability in human-robot communication, *IEEE Transactions on industrial electronics*, 50 (4), 644-650.
- Hinaut, X., Petit, M., Pointeau, G. ve Dominey, P. F., 2014, Exploring the acquisition and production of grammatical constructions through human-robot interaction with echo state networks, *Frontiers in neurorobotics*, 8, 16.
- Hopcroft, J. E., 2008, Introduction to automata theory, languages, and computation, Pearson Education India, p.
- Jack, K., McLean, S. M., Moffett, J. K. ve Gardiner, E., 2010, Barriers to treatment adherence in physiotherapy outpatient clinics: a systematic review, *Manual therapy*, 15 (3), 220-228.
- Kanda, T., Hirano, T., Eaton, D. ve Ishiguro, H., 2004, Interactive robots as social partners and peer tutors for children: A field trial, *Human-Computer Interaction*, 19 (1-2), 61-84.
- Kaufmann, H. ve Schmalstieg, D., 2002, Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality, *ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications*, 37-41.

- Kawamura, K. ve Iskarous, M., 1994, Trends in service robots for the disabled and the elderly, *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'94)*, 1647-1654.
- Kouris, I., Sarafidis, M., Androutsou, T. ve Koutsouris, D., 2018, HOLOBALANCE: an Augmented Reality virtual trainer solution for balance training and fall prevention, *2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 4233-4236.
- Ladner, R. E., Lipton, R. J. ve Stockmeyer, L. J., 1984, Alternating pushdown and stack automata, *SIAM Journal on Computing*, 13 (1), 135-155.
- Layng, J. M., 1995, The Creation and Varied Applications of Educational Holograms.
- Lee, C.-H., Kim, Y. ve Lee, B.-H., 2014, Augmented reality-based postural control training improves gait function in patients with stroke: Randomized controlled trial, *Hong Kong Physiotherapy Journal*, 32 (2), 51-57.
- Lee, K., Su, Y., Kim, T.-K. ve Demiris, Y., 2013, A syntactic approach to robot imitation learning using probabilistic activity grammars, *Robotics and Autonomous Systems*, 61 (12), 1323-1334.
- Li, J., 2015, The benefit of being physically present: A survey of experimental works comparing copresent robots, telepresent robots and virtual agents, *International Journal of Human-Computer Studies*, 77, 23-37.
- Li, S. ve Lee, D.-H., 2017, Learning daily activity patterns with probabilistic grammars, *Transportation*, 44 (1), 49-68.
- Licklider, J. C. R., 1960, Man-computer symbiosis, *IRE transactions on human factors in electronics* (1), 4-11.
- Lioutikov, R., Maeda, G., Veiga, F., Kersting, K. ve Peters, J., 2018, Inducing Probabilistic Context-Free Grammars for the Sequencing of Movement Primitives, *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 1-8.
- Martin, L. R., Williams, S. L., Haskard, K. B. ve DiMatteo, M. R., 2005, The challenge of patient adherence, *Therapeutics and clinical risk management*, 1 (3), 189.
- Merians, A. S., Jack, D., Boian, R., Tremaine, M., Burdea, G. C., Adamovich, S. V., Recce, M. ve Poizner, H., 2002, Virtual reality-augmented rehabilitation for patients following stroke, *Physical therapy*, 82 (9), 898-915.
- Mostajeran, F., Katakakis, N., Ariza, O., Freiwald, J. P. ve Steinicke, F., 2019, Welcoming a Holographic Virtual Coach for Balance Training at Home: Two Focus Groups with Older Adults, *Accepted for Proceedings of IEEE Virtual Reality (VR)*.
- Mousavi Hondori, H. ve Khademi, M., 2014, A review on technical and clinical impact of microsoft kinect on physical therapy and rehabilitation, *Journal of medical engineering*, 2014.
- Nelson, R. C., 2019, Context-Free Grammars, [https://www.cs.rochester.edu/~nelson/courses/csc\\_173/grammars/cfg.html](https://www.cs.rochester.edu/~nelson/courses/csc_173/grammars/cfg.html): [15 May].
- Nemoto, Y., Egawa, S., Koseki, A., Hattori, S., Ishii, T. ve Fujie, M., 1998, Power-assisted walking support system for elderly, *Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Vol. 20 Biomedical Engineering Towards the Year 2000 and Beyond (Cat. No. 98CH36286)*, 2693-2695.
- Nourbakhsh, I. R., Kunz, C. ve Willeke, T., 2003, The mobot museum robot installations: A five year experiment, *Proceedings 2003 IEEE/RSJ International*

- Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2003)(Cat. No. 03CH37453)*, 3636-3641.
- Ortiz-Gutiérrez, R., Cano-de-la-Cuerda, R., Galán-del-Río, F., Alguacil-Diego, I., Palacios-Ceña, D. ve Miangolarra-Page, J., 2013, A telerehabilitation program improves postural control in multiple sclerosis patients: a Spanish preliminary study, *International journal of environmental research and public health*, 10 (11), 5697-5710.
- Park, E., Kim, K. J. ve Del Pobil, A. P., 2011, The effects of a robot instructor's positive vs. negative feedbacks on attraction and acceptance towards the robot in classroom, *International Conference on Social Robotics*, 135-141.
- PTC, 2019, Vuforia Engine.
- Pulido, J. C., González, J. C., Suárez-Mejías, C., Bandera, A., Bustos, P. ve Fernández, F., 2017, Evaluating the child-robot interaction of the naotherapist platform in pediatric rehabilitation, *International Journal of Social Robotics*, 9 (3), 343-358.
- Qi, S., Huang, S., Wei, P. ve Zhu, S.-C., 2017, Predicting human activities using stochastic grammar, *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 1164-1172.
- Radu, I., 2012, Why should my students use AR? A comparative review of the educational impacts of augmented-reality, *2012 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 313-314.
- Robins, B., Dautenhahn, K., Te Boekhorst, R. ve Billard, A., 2004a, Effects of repeated exposure to a humanoid robot on children with autism, In: *Designing a more inclusive world*, Eds: Springer, p. 225-236.
- Robins, B., Dautenhahn, K., Te Boekhorst, R. ve Billard, A., 2004b, Robots as assistive technology-does appearance matter?, *RO-MAN 2004. 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (IEEE Catalog No. 04TH8759)*, 277-282.
- Rouse, W. B., 1977, Human-computer interaction in multitask situations, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 7 (5), 384-392.
- Ryoo, M. S. ve Aggarwal, J. K., 2006, Recognition of composite human activities through context-free grammar based representation, *2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06)*, 1709-1718.
- Saunders, J., Nehaniv, C. L. ve Dautenhahn, K., 2006, Teaching robots by moulding behavior and scaffolding the environment, *Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on Human-robot interaction*, 118-125.
- Sayed, N., Zayed, H. H. ve Sharawy, M. I., 2011, ARSC: Augmented reality student card an augmented reality solution for the education field, *Computers & education*, 56 (4), 1045-1061.
- Scheinberg, S., 1960, Note on the Boolean properties of context free languages, *Information and Control*, 3 (4), 372-375.
- Shibata, T. ve Tanie, K., 2000, Influence of a priori knowledge in subjective interpretation and evaluation by short-term interaction with mental commit robot, *Proceedings. 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2000)(Cat. No. 00CH37113)*, 169-174.
- Sidner, C. L., Kidd, C. D., Lee, C. ve Lesh, N., 2004, Where to look: a study of human-robot engagement, *Proceedings of the 9th international conference on Intelligent user interfaces*, 78-84.
- Sipser, M., 2006, *Introduction to the Theory of Computation*, Thomson Course Technology Boston, p.

- Sutherland, I. E., 1968, A head-mounted three dimensional display, *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*, 757-764.
- Sveistrup, H., 2004, Motor rehabilitation using virtual reality, *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 1 (1), 10.
- Tapus, A., Bandera, A., Vazquez-Martin, R. ve Calderita, L. V., 2019, Perceiving the person and their interactions with the others for social robotics—a review, *Pattern Recognition Letters*, 118, 3-13.
- Thellman, S., Silvervarg, A., Gulz, A. ve Ziemke, T., 2016, Physical vs. virtual agent embodiment and effects on social interaction, *International Conference on Intelligent Virtual Agents*, 412-415.
- TÜBA, T. B. A.-. 2013. Türkçe Bilim Terimleri Sözlüğü  
Ankara.
- Van der Loos, H. M., Wagner, J. J., Smaby, N., Chang, K., Madrigal, O., Leifer, L. J. ve Khatib, O., 1999, ProVAR assistive robot system architecture, *Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 99CH36288C)*, 741-746.
- Vidal, E., Thollard, F., De La Higuera, C., Casacuberta, F. ve Carrasco, R. C., 2005a, Probabilistic finite-state machines-part I, *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 27 (7), 1013-1025.
- Vidal, E., Thollard, F., De La Higuera, C., Casacuberta, F. ve Carrasco, R. C., 2005b, Probabilistic finite-state machines-part II, *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 27 (7), 1026-1039.
- Visser, A., Sturm, J. ve Groen, F., 2006, Robot companion localization at home and in the office, *Proc. 18th Dutch-Belgian Artificial Intelligence Conference, BNAIC*, 347-354.
- Vo, N. N. ve Bobick, A. F., 2014, From stochastic grammar to bayes network: Probabilistic parsing of complex activity, *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2641-2648.
- Vovk, A., Patel, A. ve Chan, D., 2019, Augmented Reality for Early Alzheimer's Disease Diagnosis, *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, LBW0212.
- Wainer, J., Feil-Seifer, D. J., Shell, D. A. ve Mataric, M. J., 2007, Embodiment and human-robot interaction: A task-based perspective, *RO-MAN 2007-The 16th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 872-877.
- Wang, B. ve Rau, P.-L. P., 2018, Influence of Embodiment and Substrate of Social Robots on Users' Decision-Making and Attitude, *International Journal of Social Robotics*, 1-11.
- Werry, I., Dautenhahn, K., Ogden, B. ve Harwin, W., 2001, Can social interaction skills be taught by a social agent? The role of a robotic mediator in autism therapy, *International Conference on Cognitive Technology*, 57-74.
- Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y. ve Liang, J.-C., 2013, Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education, *Computers & education*, 62, 41-49.

**EKLER****EK-1 Oluşturulan Örnek alışma Alanı ve Egzersiz Uygulayan Bazı Katılımcılara Yönelik Görüntüler**









## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Kemal ERDOĞAN  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Konya, 15 Ekim 1985  
**Telefon** : +90 533 473 6815  
**Faks** : -  
**E-Posta** : kemalerdogan5@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Dolapoğlu Anadolu Lisesi, Selçuklu, Konya	2003
Üniversite	: Gaziantep Üniversitesi, Şahinbey, Gaziantep	2010
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2013
Doktora	: Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2019

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010-2011	KTO Karatay Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2011-2017	Selçuk Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2017-2018	Ohio State Üniversitesi	Misafir Araştırmacı
2018-	Konya Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

### UZMANLIK ALANI

İnsan Robot Etkileşimi,  
Artırılmış Gerçeklik

### YABANCI DİLLER

#### İngilizce:

ÜDS 2010 : 86.25  
 KPDS 2012 : 80  
 YökDil 2019 : 93.75

### YAYINLAR

Yilmaz, N., **Erdogan, K.** ve Boyali, O. N., 2013, Determining Damaged Regions that Occur on the Printhead of High Speed Thermal Transfer Printers, *International Conference on Computer Research and Development, 5th (ICCRD 2013)*  
**Erdogan, K.**, Yilmaz, N., 2014, Shifting Colors to Overcome Not Realizing Objects Problem due to Color Vision Deficiency, InProc. of the Second Intl. Conf. on Advances in Computing, Electronics and Electrical Technology-CEET 2014.

- Erdoğan, K.**, Korkmaz, M., Durdu, A., Yılmaz, N. ve Topal, S., 2015, Formation Morphing of Multi-Robots Using Graph Theory: Fugitive Chasing, *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*.
- Erdoğan, K.**, Durdu, A. ve Yılmaz, N., 2016, Intention recognition using leap motion controller and Artificial Neural Networks, *2016 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, 689-693. (**Doktora tezinden yapılmıştır**)
- Erdoğan, K.**, Kömür, H., Durdu, A. ve Ceylan, R., 2018, Human Robot Interaction to Guide a Person, *2018 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, 1-4. (**Doktora tezinden yapılmıştır**)
- Aslan, M. F., Durdu, A., Sabancı, K. ve **Erdoğan, K.**, 2019, An approach for learning from robots using formal languages and automata, *Industrial Robot: the international journal of robotics research and application*. (**Doktora tezinden yapılmıştır**)
- Erdoğan, K.**, 2019, Redesign of Development Board for Engineering Education, *2<sup>nd</sup> International Conference on Technology and Science*. (**Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır**)