



## Realization of some Turkish sign language expressions with humanoid robot

Mehmet Gül\*

Department of Computer Engineering, Faculty Engineering, Şırnak University, 73000, Şırnak, Türkiye

### Highlights:

- Turkish Sign Language
- Deep Learning
- Humanoid Robots in Education

### Keywords:

- Human-Robot interaction
- Humanoid Robot
- Turkish Sign Language
- Deep Learning

### Article Info:

Research Article  
Received: 24.03.2021  
Accepted: 24.12.2022

### DOI:

10.17341/gazimmfd.902429

### Correspondence:

Author: Mehmet Gül  
e-mail: mgul@simak.edu.tr  
phone: +90 505 755 0112

### Graphical/Tabular Abstract

In this study, a humanoid robot was developed for Turkish Sign Language learning. The working principle flow chart of the humanoid robot developed within the scope of the study is shown in Figure A.

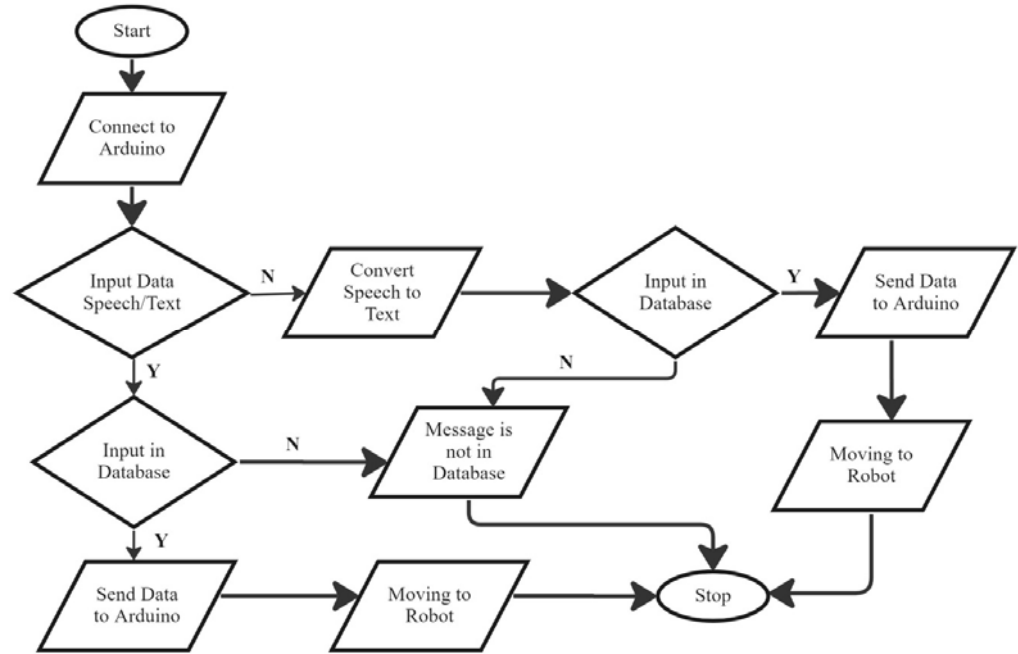


Figure A. Flowchart of EC-Tema humanoid robot working principle

**Purpose:** Development of humanoid robot for Turkish Sign Language education.

**Theory and Methods:** While there are approximately 466 million hearing and speech-impaired individuals worldwide, there are approximately 1.5 million hearing and speech-impaired individuals in Türkiye. Learning the sign language used by people with disabilities to communicate with each other or with their immediate environment at an early age is extremely important in terms of both cognitive and intellectual development and academic development. Furthermore, humanoid robots, which are an output of developing technology, have different usage areas. It can be shown to be used in education among these usage areas. It has been reported that humanoid robots have been used for educational purposes in subjects such as sign language learning, and successful results have been obtained.

**Results:** Within the scope of the study, an improvable humanoid robot for Turkish Sign Language education was developed, and a high success rate was achieved.

**Conclusion:** A humanoid robot was developed for sign language learning for the first time in Türkiye, and it will be aimed to eliminate the identified deficiencies within the scope of the study as well as to increase human-robot interaction in the follow-up study.



## İnsansı robot ile bazı Türkçe işaret dili ifadelerinin gerçekleştirilmesi

Mehmet Gül\*

Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 73000, Şırnak, Türkiye

### ÖNEÇIKANLAR

- 3D yazıcı ile insansı robot geliştirme
- Türkçe işaret dili eğitimi için insansı robot tasarlama
- Derin öğrenme metotları ile geliştirilebilir insansı robot tasarımı

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 24.03.2021

Kabul: 21.12.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.902429

### Anahtar Kelimeler:

insan-robot etkileşimi,  
insansı robot,  
işaret dili,  
derin öğrenme

### ÖZ

Dünyada yaklaşık 466 milyon işitme ve konuşma engelli, Türkiye'de ise yaklaşık 1,5 milyon işitme ve konuşma engelli bulunmaktadır. İşaret dili (SL), işitme ve konuşma engelli bireylerin kendi aralarında ve diğer bireylerle iletişim kurmak için kullandıkları dildir. El, yüz ve vücut hareketleriyle gerçekleştirilen bu dil, konuşulduğu ülkelerde ülkeden ülkeye ve bölgeden bölgeye değişebilen dinamik bir dildir. Bireyin daha küçük yaşta işaret dilini öğrenmesi, özellikle hem bilişsel ve entelektüel gelişimi hem de akademik gelişimi açısından önemlidir. Bu nedenle işaret dili öğrenimi konusunda teknolojinin kullanılmasına dönük geliştirilen bir dizi çalışma bulunmaktadır. Geliştirilen insansı robotların işaret dili öğreniminde başarılı olduğu yürütülen çalışmalarda rapor edildi. Türkiye'de İşaret dili öğrenimi için geliştirilen bir insansı robot bulunmamaktadır. Öte yandan literatürdeki güncel çalışmalar arasında Türk İşaret Dili ifadelerini içeren sınırlı sayıda hazır insansı robotlar ile çalışmalar gerçekleştirildi. Çalışma kapsamında geliştirdiğimiz insansı robot ile bazı Türk İşaret Dili ifadeleri başarıyla gerçekleştirildi.

## Realization of some Turkish sign language expressions with humanoid robot

### HIGHLIGHTS

### Article Info

Research Article

Received: 24.03.2021

Accepted: 24.12.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.902429

### Keywords:

Human-robot interaction,  
humanoid robot,  
sign language,  
deep learning

### ABSTRACT

There are about 466 million hearing and speech disabilities in the world, and there are about 1.5 million hearing and speech disabilities in Turkey. Sign language (SL) is the language that is used by hearing and speech-impaired individuals to communicate among themselves and with other individuals. This language realized with hand, face, and body gestures is a dynamic language that can vary from country to country and from region to region in the countries where it is spoken. Learning sign language at a younger age is important, especially in terms of both cognitive and intellectual development and the academic development of the individual. For this reason, there are a series of studies developed to use technology in sign language learning. The conducted studies reported the successful results of humanoid robots developed in sign language learning. It has been proven that the developed humanoid robots are successfully performed in sign language learning. There is no developed humanoid robot for sign language learning in Türkiye. On the other hand, the current studies in the literature have been carried out with a limited number of ready-made humanoid robots including Turkish sign language expressions. With the humanoid robot we developed within the scope of the study, some Turkish sign language statements were successfully realized.

## 1. Giriş (Introduction)

Gelişen teknolojinin çıktıkları arasında yer alan robotların giderek artan kullanımları ve birçok alanda boy göstermeleri, etki alanlarını da doğrudan artırmaktadır. Robotların kullanımlarına verilebilecek en yaygın örnekler arasında medikal rehabilitasyon robotları [1] ve eğitim robotları [2, 3], vb. gibi örnekler gösterilebilir. Özellikle son yıllarda insansı robotların eğitim sektörü gibi dikkat çekici bir sektörde boy gösterdiği ve bu alanda başarılı çalışmalara ait çarpıcı sonuçların rapor edildiği görülmektedir. Eğitim sektöründe yabancı dil öğrenimi için kullanılan insansı robotlardan bazılarını örnek olarak; Hazır Profesyonel Robovie R3 ve Tiro İnsansı Robotları gösterilebilir [2, 3]. İnsansı robotların eğitim sektöründe özellikle ikinci dil öğrenimi konusunda başarılı bir şekilde kullanımı, bu robotların işaret dili öğrenimi gibi amaçlar için eğitim aracı olarak kullanımlarını da gündeme getirmiştir. İşaret dili, özellikle işitme ve konuşma engelli bireyler arasında ve onlar ile yakın iletişimde bulunması gereken bireyler arasında sınırlı kalan bir dildir. Bu durum toplumda kendisini ifade etmeye çalışan bu bireylerin günlük yaşantılarında en sık karşılaştıkları sıkıntılardan biri olmuştur.

Dünya genelinde 300'den fazla işaret dili, yaklaşık 70 milyon işitme engelli birey tarafından kullanılmaktadır [4]. Bu durum Türkiye'de yaklaşık 1.5 milyon işitme ve konuşma engelli birey olarak karşımıza çıkmaktadır [5]. İletişim teknolojilerinin çeşitlenmesi ve kullanımlarının yaygınlaşması genellikle sözlü veya yazılı (işaret dili hariç) desteklemek üzerine kurgulandı. Hayatımızın her alanında artık vazgeçilmez bir unsur haline gelen iletişim teknolojilerinde son derece hızlı gelişmeler söz konusudur. Öte yandan toplumda azımsanmayacak derecede yer edinen işitme ve konuşma engelli bireyler için işaret dili uygulamaları son derece sınırlı kaldı. İşitme ve konuşma engelli bireyler gelişen iletişim teknolojilerini kullanmakta ciddi sorunlar ile karşılaşmaktadır. İşaret dili el ve yüz mimiklerinden oluşan hareket zinciri olarak da tanımlanabilir. Bu durum, işitme ve konuşma engelli bireylerin iletişim teknolojilerini ancak işaret dilini kullanabilecekleri video görüşmeler ile sınırlandırmıştır. İşaret dilinde el şekli, avuç içi yönü, hareket konum ve ifade/manuel olmayan sinyallerin oluşturduğu beş parametre bulunur. Doğru bir işaret dili ifadesi için belirtilen beş parametrenin tamamı gerçekleştirilmesi gerekmektedir. İşitme ve konuşma engelli bireylerin kullandığı işaret dili, diğer diller gibi kendi kelime dağarcığına ve gramer yapısına sahiptir. İşaret dilinin kullanıldıkları ülkelere göre farklı kullanımları olmakla beraber kullanıldıkları ülke içinde de ayrıca bölgeden bölgeye farklı kullanımları bulunur.

İşaret dilinin, işitme ve konuşma engelli bireyler tarafından öğrenilmesi son derece önem arz etmektedir. Yapılan bir çalışmada, işitme ve konuşma engelli çocuklara sahip ebeveynler çocuklarının işaret dili öğrenmelerine kaygılı yaklaşmaktadırlar. Ebeveynler, çocuklarının işaret dilini öğrenmeleri durumunda konuşma dilini geç

öğrenecekleri kaygısını taşımaktadır. Öte yandan gerçekleştirilen çalışma kapsamında, işitme ve konuşma engelli çocukların işaret dili öğrenmeleri durumunda, çocukların gelişimsel psikolojisine katkı sunacağı ayrıca sosyal becerilerinin ve bilişsel etkinliğinin de artacağı belirtildi [6, 7]. Bir diğer çalışmada da işaret dili öğreniminin bireyin okuma becerisini ve akademik başarısını da etkilediği ispatlanmıştır [8]. Gerçekleştirilen [9] çalışmada, işaret dili öğreniminin bireyin bilişsel ve entelektüel gelişimini de olumlu yönden etkilediği ispatlanmıştır.

İnsansı robotların ikinci yabancı dil öğrenimi konusunda başarıları incelendiğinde, insansı robotlar ile bu robotlardan eğitim alan çocuklar arasında özel bir bağ olduğu gözlemlendi. Bu durum çocukların dil öğrenimine pozitif etki yaptığı belirtildi. Yürütülen çalışmada ayrıca kullanılan insansı robotların eğitim seviyesine de ciddi katkı sunduğu da rapor edildi [10]. İnsansı robotların eğitimde kullanılan diğer metotlar ile karşılaştırılmasını inceleyen bir çalışmada, insansı robotların bilgisayar tabanlı öğrenme sistemlerinden daha başarılı olduğu rapor edildi. Sonuçları rapor edilen bu çalışmalarda Nao H25 ve Robovie R3 insansı robotları kullanıldı [11, 12]. Kullanılan insansı robotlar ile tespit edilen en dikkat çekici dezavantaj robotların sınırlı kinematiğe sahip olmalarıdır.

Son yıllarda işaret dili öğrenimi konusunda insansı robotların kullanımları üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Kullanılan insansı robotların büyük çoğunluğu hazır profesyonel ve modüler programlanabilir özelliktedir. Çalışmaların bazılarında geliştirilebilir insansı robotlar üzerine çalışılmıştır. 2017 yılında işaret dili öğrenimini konu alan bir çalışma kapsamında Hindistan'da Nao H25 insansı robotu kullanıldı. Hint İşaret dili ifadeleri görüntü işleme uygulaması ile insansı robot üzerinden gerçekleştirildi [13]. 2019 yılında İspanya'da yapılan bir çalışmada 5 parmaklı TEO insansı robotu geliştirildi ve İspanyolca işaret dili (SSL) ifadeleri taklit edildi. Bu çalışmada son derece başarılı sonuçlar elde edildiği rapor edildi [14]. Malezya'da gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise Malay İşaret dili (MSL) ifadeleri incelendi. Çalışma kapsamında 3D yazıcı kullanılarak 5 parmaklı insansı robot basıldı ve MSL ifadeleri başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği rapor edildi [15]. İran'da Farsça işaret dili (PSL) üzerine yürütülen bir diğer çalışmada ise 29 serbestlik derecesine (DoF) sahip RASA insansı robotu geliştirildi. Mobil özelliğinde olan insansı robot ile ifadeler taklit edildi ve başarılı sonuçlar elde edildi [16].

Türkiye'de işaret dili bilen işitme ve konuşma engelli bireyler ile iletişime geçecek insansı robot örneği bulunmamaktadır. Öte yandan Türkçe işaret dili (TİD) üzerine yapılan bir seri çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda hazır profesyonel robotlar kullanılmıştır. 2014 yılından günümüze kadar Köse ve ark. tarafından TİD üzerine yürütülen bir dizi çalışmada çarpıcı sonuçlar elde edildi.

**Tablo 1.** Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre ülke genelinde engelli bireylerin nüfus dağılımı [5].  
(Distribution of the population of persons with disabilities across the country according to the TurkStat)

Engel grubu	Toplam Nüfus Oranı (%)	Erkek (%)	Kadın (%)	Toplam	Erkek	Kadın
Görmede zorluk yaşayanlar	1,4	1,3	1,5	1.039.000	478.000	561.000
İşitmede zorluk yaşayanlar	1,1	1,1	1,2	836.000	406.000	429.000
Konuşmada zorluk yaşayanlar	0,7	0,8	0,6	507.000	278.000	229.000
Yürümede, merdiven çıkmada / inmede zorluk yaşayanlar	3,3	2,4	4,1	2.313.000	861.000	1.452.000
Bir şeyler taşımada / tutmada zorluk yaşayanlar	4,1	3,2	5,1	2.923.000	1.136.000	1.787.000
Yaşlıtlarına göre öğrenmede / basit dört işlem yapmada / hatırlamada dikkatini toplamada zorluk yaşayanlar	2,0	1,6	2,4	1.412.000	565.000	847.000

Yapılan çalışmalarda Nao H25 ve Robovie R3 insansı robotları kullanıldı. İlk olarak 2014 yılında Köse ve ark. tarafından yapılan çalışmada Nao H25 robotu kullanıldı. 3 parmaklı Nao H25 insansı robotu ile yapılan çalışmada başarılı sonuçlar elde edildi. 2015 yılındaki devam çalışmasında 5 parmaklı Robovie R3 insansı robotu ile Nao H25 insansı robotundan elde edilen sonuçlar karşılaştırıldı. Bu çalışmada 5 parmaklı Robovie R3 insansı robotu Nao H25 insansı robotuna kıyasla daha başarılı bulundu [17, 18]. Köse vd. tarafından yapılan 2019 yılındaki son çalışmada ise Robovie R3 robotu Hidden Markov Model (HMM) ile geliştirilen uygulama ile kontrol edildi. Uygulamada el hareketleri uygulama sayesinde robota başarılı bir şekilde taklit ettirildi [19].

İşaret dilinin özellikle bilişsel gelişim açısından kanıtlanan önemi göz önüne alındığında, işaret dili eğitimi üzerine son çeyrek yüzyılda farklı çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Özellikle insansı robotların işaret dili eğitiminde kullanımı ile ilgili çalışmalar giderek popüler olmaktadır. Çalışma kapsamında TİD eğitimi üzerine derin öğrenme metotları ile geliştirilebilir insansı robot çalışması gerçekleştirildi. Bu çalışmanın daha önce yapılan TİD dil öğrenme çalışmalarından ayırt edici en belirgin özellikleri arasında; geliştirilebilir, 5 parmaklı, insansı robotun kolu gerçek insan boyutuna yakın olması ve mobil olması gibi özellikler sıralanabilir. Çalışmanın içeriği şu şekilde gelişmektedir: Geliştirilebilir İnsansı Robotun Tasarımı, İnsansı Robotun Bakımı, Kullanılan Elektronik Bileşenler ve Bütünsel Yazılım, Sonuç ve Tartışma ve Sonuç ve Gelecekte Yapılacak Unsurlar.

## 2. Geliştirilebilir İnsansı Robotun Tasarımı (Development of Humanoid Robot Design)

Çalışmada geliştirilen insansı robot 12. yy. da yaşamış ünlü mucit ve kinematik sistemlerin öncüsü olarak kabul edilen Müslüman bilim insanı İsmail El-Cezeri'nin onuruna EC-Tema olarak isimlendirildi. Kendisinin geliştirdiği çalışmalardan bazılarını örnek olarak misafirlere hizmet eden robot hizmetçi, her yarım saatte bir fil sürücüsünün filin kafasına vurması ile zamanı haber veren otomat vb. gibi çalışmalar gösterilebilir. Zamanın teknolojisinin üzerinde gerçekleştirilen bu nadide yapıtları ortaya çıkartan bu mucit, National Geographic tarafından yayında tanıtılırken kullanılan ifade de modern mühendisliğin kurucusu, hidrolik ve robot teknolojisinin öncüsü olarak tanıtılır [20].

Schmidt ve Cohn yaptıkları çalışmada yüz ifadesinin iletişim konusunda en önemli etkenlerden biri olduğunu rapor eder [21]. Calder ve Young araştırmacılarının gerçekleştirdikleri bir diğer çalışmada ayrıca yüz ifadelerinin insan bilişsel yeteneklerinin en önemli bölümünü oluşturduğunu belirtir [22]. 2021 yılında Zanwar ve arkadaşları tarafından yayınlanan bir çalışmada günümüze kadar geliştirilen birçok insansı robot çalışması karşılaştırılmış ve aralarında

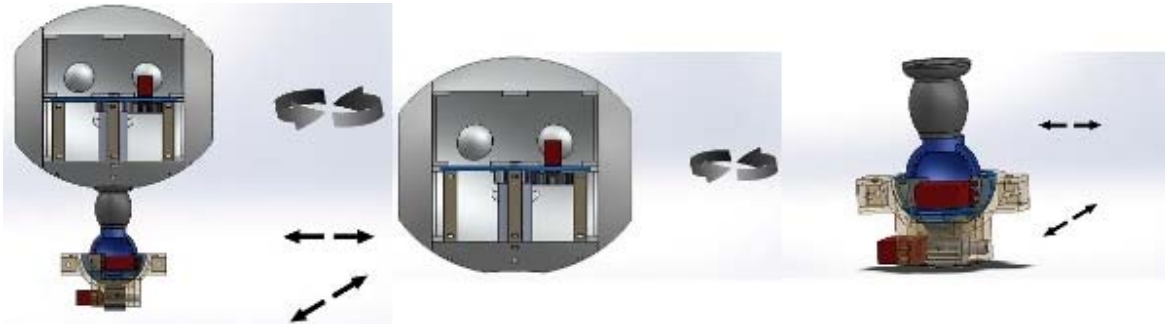
yüz ifadesi kullanan çalışmalar birbiriyle karşılaştırıldı. Gerçekleştirilen bu çalışmada ayrıca bir insansı robot yüz ve kafa modellendi ve insan yüz mimikleri başarılı bir şekilde taklit edildi. İnsansı robotlar ile bireyin etkileşimi esnasında insansı robotta var olan yüz mimikleri ve taklit yeteneği, insan-robot etkileşiminde önemli rol oynadığı rapor edildi [23]. 2005 yılından beri geliştirdikleri insansı robotlarda kullandıkları insan benzeri yüz ifadeleri ile Hanson Robotics bu alanda öncü rol oynamaktadır. Hanson Robotics tarafından geliştirilen en son insansı robot Sophia'nın 62 yüz ifadesini taklit etme yeteneği mevcuttur. Bununla beraber Sophia insansı robotunun bireyler ile iletişimi daha iyi yapabilmesi için makine öğrenimi algoritmalarından yararlandı [24].

Etkili bir işaret dilinin gerçekleştirilebilmesi için fonolojik bileşenlere dikkat edilmesi gerekmektedir. İşaret dili fonolojisini oluşturan 5 bileşen bulunmakta ve bunlar sırasıyla, el formu, elin işareti oluşturur iken konumu, avuç içi, kafanın konumu ve yüz ifadesidir [25]. Bu tür can alıcı özelliklerin tamamı incelenerek listelendi ve geliştirilen insansı robotta tüm bu özellikler kullanıldı. Çalışma kapsamında geliştirilen insansı robot ile etkinliği artırılmış TİD eğitim aracı oluşturulması amaçlandı. Bu bölümde geliştirilen insansı robotun tasarım aşamaları detaylı olarak tartışıldı.

Çalışmada geliştirilen insansı robotun tüm bileşenleri 3D yazıcıdan basıldı ve sadece avuç içi ve parmaklar Thingiverse web sayfasından referans alınarak kullanıldı [26]. Kullanılan tasarımda avuç içinde 5 parmak, 5 servo motor ile kontrol edilmekte iken geliştirilen tasarımda ise 6 servo kullanılacak şekilde geliştirildi. Öte yandan insansı robotun diğer tüm bileşenleri ön kol, arka kol, omuz, göğüs ve kafa yapısı tamamen Solid Works mekanik tasarım programında hazırlandı. Çalışmada geliştirilen insansı robot 23 DoF özelliğine sahiptir. Kafa 3 DoF özelliğine sahiptir (Şekil 1). Boyun kısmının sahip olduğu 2 DoF özelliği gövde içerisinde gizlenmiş ve kafanın geri kalan 1 DoF hareketi ise kafanın içerisinde gerçekleştirilmektedir.

İnsansı robotun her bir kolunda 10 DoF özelliği bulunmaktadır. 2 DoF özelliği omuzun hareketinde kullanılır (Şekil 3), 1 DoF dirsek bölümünde kullanılır (Şekil 3), 1 DoF özelliği ön kolun hareketi amaçlı kullanılır iken geri kalan 6 DoF ise avuç içinde yer alan 5 parmağın hareketini sağlamak için kullanılır (Şekil 2). Referans alınan tasarımda başparmak için 2 servo kullanıldı ve geri kalan 4 parmak için ise 3 servo motor kullanıldı. Var olan tasarımda 2 parmak tek bir servo motor ile kontrol edildi [26]. İhtiyacın giderilmediği bu tasarımda eksiklikler tespit edildi ve geliştirilen tasarımda başparmak haricindeki diğer 4 parmak için ayrı bir kontrol atandı.

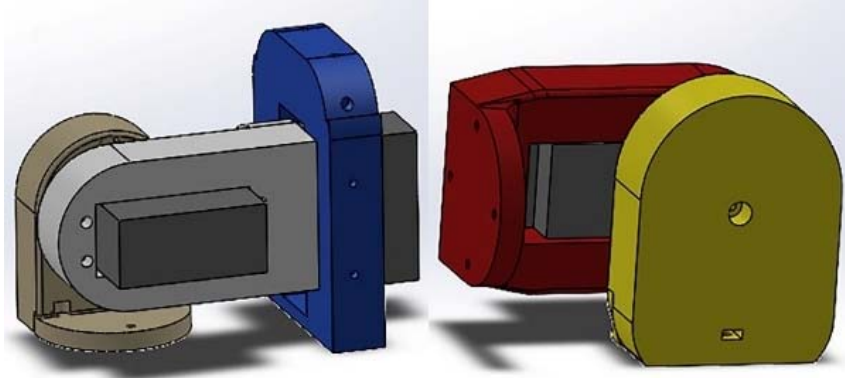
Parmakların kontrol edilmesi için servo motorların başına takılı servo boynuzlarının kullanılması gerekmektedir. Açık kaynak tasarımlar incelendiğinde kullanılan servo boynuzlarında bazı eksiklikler tespit edildi ve geliştirilen insansı robotta kullanılmak üzere gelişmiş bir



Şekil 1. 3 DoF özelliğinde olan insansı robotun kafa yapısı (sol panel), 1 DoF özelliğinde baş bölgesi (orta panel) ve 2 DoF özelliğinde boyun bölgesi (sağ panel) (The head structure of a humanoid robot with 3 DoF features (left side), 1 DoF property head structure (middle side), and 2 DoF neck structure (right side))



**Şekil 2.** SolidWorks mekanik tasarım yazılımı üzerinden geliştirilen EC-Tema insansı robotu (sol panel) ve 3D yazıcı ile basılan EC-Tema insansı robotu (sağ panel) (EC-Tema humanoid robot developed through SolidWorks mechanic design software (left side) and EC-Tema humanoid robot printed with 3D printer (right side))



**Şekil 3.** Geliştirilen 2 DoF özelliğindeki omuz (sol panel) ve geliştirilen 1 DoF özelliğindeki dirsek (sağ panel) (Developed shoulder with 2 DoF properties (left panel) and developed elbow with 1 DoF property (right panel))

servo boynuzu tasarlandı. Kullanılan servo boynuzlarının etrafına sarılı misina ipi, servo motorunun hareketi esnasında bazı durumlarda gevşeyebildiği tespit edildi. Bu durumun önüne geçebilmek için geliştirilen servo boynuzu üzerinde misina ipi en az 2 sarım sarılacak şekilde yerleştirildi (Şekil 4). Parmak tasarımında Hirose tarafından yapılan çalışmadaki prensip dikkate alındı [27]. Hirose çalışmasında, parmakları kontrol eden servo boynuzlarının üzerine tek yönde bir misina ipi kullandı. Motorun çekme kuvvetine bağlı olarak şekil değiştiren parmağın ilk konumuna gelebilmesini sağlamak amacıyla, parmağın içerisine lastik ip kullanıldı. Servo motorunun tek taraflı çekme kuvveti ile şekil değiştiren parmak, lastik ip üzerinde bir gerilme kuvveti oluşturur bu kuvvet sayesinde parmak ilk konumuna dönebilmektedir. (Şekil 5)

### 3. İnsansı Robotun Bakımı (Maintenance of Humanoid Robot)

İşaret dili eğitimleri için günümüze kadar farklı ülkelerde icra edilen çalışmaların birçoğunda hazır profesyonel robotlar kullanılmış iken

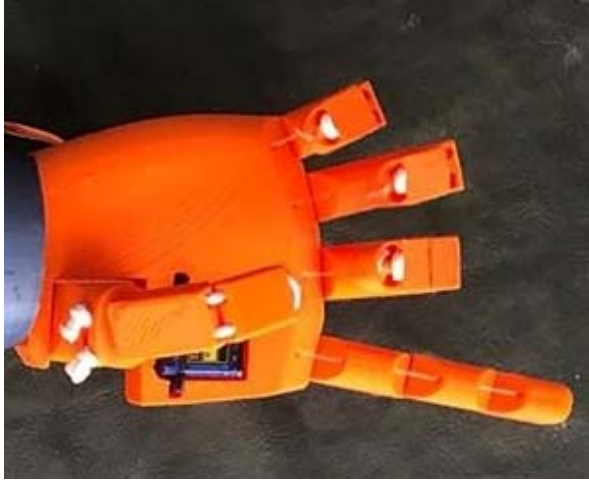
geliştirilebilir ya da 3D yazıcılardan geliştirilen insansı robot özelliklerinin sayısı yeteri kadar bulunmamaktadır. İspanya'da geliştirilen TEO insansı robotu [14], İran'da geliştirilen RASA insansı robotu [15] ve Malezya'da geliştirilen SignBot insansı robotu [16] vb. gibi robotlar, işaret dili eğitiminde yüksek performans gösterdi. Öte yandan insansı robotlar ile ilgili çalışmalar sınırlı kalmıştır. Hazır profesyonel insansı robotların işaret dili eğitimlerinde kullanılması ve elde ettikleri başarılı örnekleri yadsınmaz. Bununla beraber tasarım açısında geliştirilemez özellikleri ve sınırlı programlama özellikleri profesyonel robotların en büyük dezavantajları olarak gösterilebilir.

Diğer taraftan robotların kullanımı esnasında çalışma uzaylarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Robotların kinematik hesabının önemi de bu husustan kaynaklıdır. Çalışma uzayı içerisinde robotun muhtemel çarpışmasından kaynaklı olası yaralanmalar ya da robot bileşenlerinin kırılması, zarar görmesi vb. gibi olasılıklar tüm robotlarda dikkat edilmesi gereken son derece önemli hususlardır. Olası bir çarpışma durumunda ya da olası bir arıza durumunda

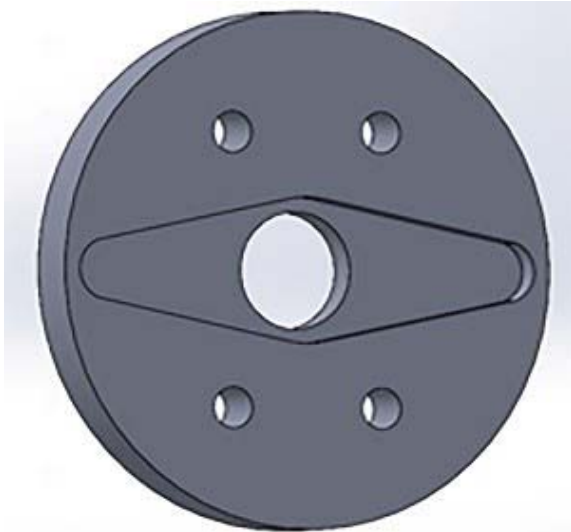
profesyonel robotların bakımı ancak yetkili servis tarafından yapılması gerekmektedir. Bu durum profesyonel robotların alımı esnasında yüksek maliyetlerinin yanı sıra bakım ve onarım maliyetleri de eklenince ciddi bir bütçe ortaya çıkartabilir.



**Şekil 4.** SolidWorks mekanik tasarım yazılımı üzerinden tasarlanan servo boynuzu (sol panel) ve basılan servo boynuzu (sağ panel) (Servo horn designed through SolidWorks mechanical design software (left panel) and printed servo horn (right side))



**Şekil 5.** Parmakların ilk konuma gelmesine yardımcı olan lastik ip kullanımı (Use of rubber rope that helps the fingers to come to the first position)



**Şekil 6.** Geliştirilen servo boynuzu. (Developed servo horn)

Bununla birlikte geliştirilebilir insansı robotların hem tasarım hem de yazılım açısından kolay bakım ve onarım imkanları profesyonel robotlara kıyasla öne çıkan dikkat çekici özellikleri arasındadır. 3D teknolojisi ile komplike tasarımların hazırlanması, basılması ve basılan bileşenlerin maliyetinin ucuzluğu vb. gibi özellikler çalışmada insansı robotun geliştirilmesi aşamasında 3D yazıcının tercih edilmesinin en temel sebebidir. EC-Tema insansı robotun tüm mekanik bileşenleri PLA filamentli ile 3D yazıcıdan basıldı. Geliştirilen insansı robotun ön kolunda dönel hareketin sağlanması amacıyla özel bir servo boynuzu geliştirildi (şekil 6). Gerek parmakların hareketinde gerekse ön kolun dönme hareketinin sağlanmasında gerekli olan servo boynuzları ayrı ayrı tasarlanıp 3D yazıcıdan basıldı. EC-Tema insansı robotun omurgası 20x20 sigma alüminyum profilden oluşmaktadır. Omurga, robotun iki kolunu, gövde yapısını ve kafa bölümünü bir arada tutmaktadır (Şekil 2.b).

### 3.1. Kullanılan Elektronik Bileşenler ve Bütünleşik Yazılım (Used Electronic Components and Integrated Software)

Bu bölümde geliştirilen EC-Tema insansı robotunun elektronik bileşenleri ile geliştirilen bütünleşik yazılımın detayları tartışılacaktır. Özellikle geliştirilme aşamasında olan insansı robotta kolay bakım ve onarım açısından robotun kontrolünde merkezi bir bilgisayar, Arduino Uno ve 24 kanal servo kontrol kartı kullanıldı. Bütünleşik yazılım ise Python ve Arduino yazılımlarının beraber çalışması ile gerçekleştirilmektedir.

### 3.2. Kullanılan Servo Motorlar (Used Servo Motors)

Geliştirilen insansı robotta 3 farklı servo motor kullanıldı. Servo motorların tercih edilme sebebi programlanabilir özellikleridir. Aşağıdaki Tablo 2'de kullanılan servo motorların teknik özellikleri bulunmaktadır. Yüksek tork kuvvetine ihtiyaçtan kaynaklı omuz ve dirsek bölümlerinde LX5560 servo motor kullanıldı. Robot bileşenlerinin uzunluğu hareket noktası üzerine düşen kuvvet miktarını artırmaktadır. Geliştirilen insansı robotun gerçek boyutlarda bir kola sahip olması nedeni ile omuz bölgesinden hareket ettirilmesi için yüksek oranda tork kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu sebepten dolayı 60 kg-cm tork gücüne sahip LX5560 servo motoru özellikle omuz bölgesinin hareketi için tercih edildi. Omuz bölgesi kadar olmasa da dirsek ekleminin hareketi içinde yüksek tork kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır. Robotun işaret dili ifadelerini gerçekleştirir iken daha efektif ve seri hareket kazandırılması için omuz ve dirsek bölgesinde aynı güçte servo motorlarının kullanılması tercih edildi. Başparmağın avuç içine hareketinin sağlanması için SG90 mini servo motoru kullanıldı. Başparmağın ve diğer 4 parmağın eklem hareketi, ön kolun dönel hareketi ve kafa bölgesinin 3 DoF hareketinin sağlanması için MG996R servo motor kullanıldı.

### 3.3. Kullanılan Elektronik Bileşenler (Used Electronic Components)

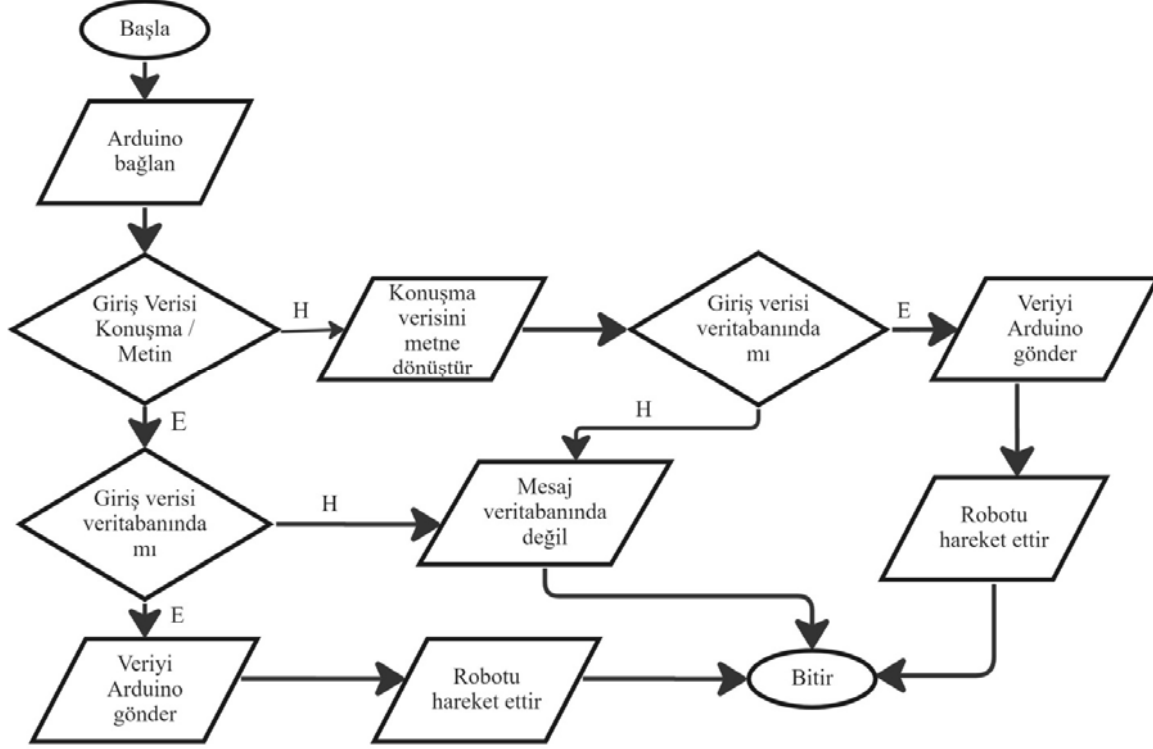
İnsansı robotun güç gereksinimi 24V gerilim ve 15A akım özelliğine sahip AC-DC güç kaynağı ile sağlanmaktadır. İşaret dili ifadelerinin gerçekleştirilmesinde farklı servo motorlarının farklı güç ve akım gereksinimlerinin ayarlanması için iki farklı voltaj regülatörü kullanıldı; LM2590 ve XL4015. Kullanılan farklı voltaj regülatörleri ile servo motorları kontrol eden kartların ihtiyaç duydukları akım ve voltaj gerilimleri ayarlanabilmektedir. Merkezi bilgisayardan gelen komutların işlenmesi amacıyla Arduino Uno kartı bu çalışmada kullanıldı. Servo motorların kontrolü için Pololu Maestro 24 kanal servo motor kontrol kartı kullanıldı. İnsansı robotun kontrol edilmesi için geliştirilen bütünleşik yazılım bir sonraki bölümde tartışıldı.

## 4. Geliştirilen Bütünleşik Yazılım (Developed Software)

EC-Tema insansı robotun işaret dili hareketlerini gerçekleştirmek için geliştirilen bütünleşik yazılım akış şeması aşağıda Şekil 7'de gösterilmektedir. Bütünleşik yazılım Python ve Arduino

**Tablo 2.** Kullanılan servo motorların karşılaştırılması (Comparison of used servo motors)

	SG90 [27]	MG996R [28]	LX5560 [29]			
Ağırlık	14.7 g	55 g	158 g			
Ölçü	22x12x31 mm	20x40x43 mm	30x65x48 mm			
Voltaj	4.8 – 6 V	4.8 V	6 V	6 V	7.4 V	8.4 V
Tork	1.8 kg-cm	9.4 kg-cm	11 kg-cm	58 kg-cm	65 kg-cm	70 kg-cm
Akım			2.5 A	3.5 A	5 A	6.2 A

**Şekil 7.** Hazırlanan bütünleşik yazılımın akış şeması (Flowchart of prepared integrated software)

yazılımlarından oluşmaktadır. Kullanıcı tarafından insansı robotun hareketi iki şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Kullanıcıya insansı robotun hareketi için konuşma seçeneği ya da yazılı metin seçeneği sunulur. Eğer kullanıcı konuşma ifadesini seçeneğini seçer ise sesli mesaj Python üzerinde çalışan ses tanıma kütüphanesi ile metne dönüştürülür. Kullanıcı tarafından ister sesli mesaj ister yazılı metin mesajı girişi yapılsın, elde edilen metin mesajı Python üzerinden PySerial ile Arduino yazılımına gönderilir. Robotun daha önce tanımlı hareketleri ile karşılaştırma yapılır ve doğru karşılık bulunur ise hareket gerçekleştirilir. Python üzerinde çalışan ses kütüphanesi olarak Google Speech Recognition (GSR – Google Ses Tanıma) seçildi. GSR kütüphanesinin seçilmesi aşağıda detaylı tartışılmaktadır.

#### 4.1. Google Ses Kütüphanesi (Google Speech Library)

Ses kütüphanelerinin başarısı konuşma metinlerinden elde ettikleri Word Error Rate (Kelime hata oranı – WER) ile ters orantılıdır. Ses kütüphanesi hata oranı ne kadar düşük ise ses kütüphanesi bir o kadar başarılıdır. Hata oranı aşağıdaki Eş. 1’de özetlenmektedir;

$$WER = \frac{S+D+I}{N} \quad (1)$$

S değişkeni konuşulan kelime sayısı, D değişkeni silinen kelime sayısı, I değişkeni eklenen kelime sayısı ve N değişkeni ise referans alınan kelime sayısıdır. 2017 yılında yapılan bir çalışmada Python

yazılımı üzerinden oluşturulan veri seti ile GSR kütüphanesi kullanılarak çok düşük hata oranı elde edildi. Elde edilen başarılı sonuçlar [31] çalışmada rapor edildi. Bir diğer çalışmada Microsoft, Google, CMU Sphinx ses kütüphaneleri karşılaştırıldı. Çalışmada elde edilen sonuçlar sırasıyla Microsoft ses kütüphanesi hata oranı 8%, Google ses kütüphanesi hata oranı 9% ve CMU Sphinx ses kütüphanesi hata oranı 37% dir [32]. 2020 yılında yapılan bir başka çalışmada Google, Microsoft ve IBM ses kütüphaneleri karşılaştırıldı. Çalışmada çevrimi yapılan ses kütüphanesi veri setini oluşturan bireylerin cinsiyetlerine göre ayrı ve ortalama çeviri süresi gibi kriterler göz önüne alındı Tablo 3.

Yukarıdaki Tablo 3’te yer alan verilere bakıldığında GSR’den elde edilen başarı, diğer ses kütüphanelerine kıyasla son derece yüksektir. Tartışılan çalışmalarda da belirtildiği üzere Python yazılımı üzerinden GSR kullanımı diğer diğer ses kütüphanelerine kıyasla son derece başarılı sonuçlar elde edildiği aşikardır. Bu durum dikkate alınarak hazırlanan bütünleşik yazılımda GSR kütüphanesi tercih edildi. Ses işleme 4 aşamadan oluşmaktadır. Aşağıda ses işleme sürecinde kullanılan 4 aşama tartışılmaktadır.

#### 4.2. Ses Ön İşleme (Pre-Processing)

Konuşma sinyalinin ilk aşamada ses tanıma (ST) ile yakalanması ve ardından bir örneklem frekansının çıkartılması gerekmektedir. Bir sinyalin yeniden oluşturulması için Shannon örnekleme teoremine göre bant genişliği sınırı kullanılabilir. 8 kHz’ kadar frekanslar doğru

olarak üretilir [34]. Öte yandan telefon şebekesi üzerinden iletilen verilerin 3.7 – 5 kHz olduğu varsayıldığında, 8 kHz frekansının üretilmesi ST için yeterlidir. Gürültü giderme işlemlerinden sonra ST 100 Hz'nin altındaki frekans değerlerini yüksek geçiş filtresi kullanarak azaltır. Ön işlemin önemli bir kısmı kayıttan alıcının sesinin başlangıcına kadar olan bölümleri olarak hesaba katılır.

#### 4.3. Öznitelik Çıkartma (Feature Extraction)

Tek tip zaman dilimleri kullanılarak ortaya çıkartılan akustik gözlemler öznitelik çıkarma işlemi sırasında yapılmaktadır. Zaman diliminde kısas alınan sinyal çerçeve uzunluğu 25 ms'dir. Çok boyutlu fonksiyonel vektör akustik ölçümler üzerinde hesaplanır ve vektörün spektral alanına Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanır. Sesin kaydedildiği mikrofonlar farklı olsa bile ses kalitesi lineer filtre efektleri kullanılarak artırılır. Bu işlem için Cepstral Ortalama Çıkarma (CMS) metodu kullanılır [35].

#### 4.4. Kod Çözme (Decoding)

Akustik sinyalin temsil ettiği vektörlerin kelime dizileri ile eşleştirildiği hesaplama sürecine kod çözme denir. Bu işlem için üç ana bloğa ihtiyaç duyulur. Her kelime veya fonem için Gizli Markov Modeli (HMM), fonem dizileri ile kelime listesi sözlüğü ve kelime olasılığı veya metnin dizilerinden oluşan bir metin şablonunu içeren akustik model bulunur [36]. Eğer kod çözme işleminde başarı oranı artırılması istenilir ise dil modeli kullanılmalıdır [37]. Kod çözme sürecinde, sabit dilbilgisi veya kelime ve olasılıklarından oluşan n-gram modeli kullanılır.

#### 4.5. Son İşlem (Post-Processing)

Ses tanıma sürecinin son aşamasını teşkil eden bu aşamada ilk üç aşamadan geçen konuşma ifadesi Viterbi aramaya uygulanır ve n'nin en iyi listesi oluşturulur. Bu sıralamada en yüksek sonuçların tanımlanmasının tutarlılığını artıran ek bilgi kaynakları kullanılır ve puanlama tekrarlanır. Hesaplama ve bellek için unigram veya bigram modellerinden çok daha fazla kaynağa ihtiyaç duyulur. Çoğunlukla kod çözme işleminde bi-gram modeli ve yeniden hesaplamada ise tri-gram modeli ile bi-gram modeli birleştirilir.

Konuşma tanıma sürecini aşağıdaki Şekil 8'de özetlemektedir. Mikrofon üzerinden alınan ses verisi sırayla aşağıdaki işlemlerin her birinden geçerek metne dönüştürülür.

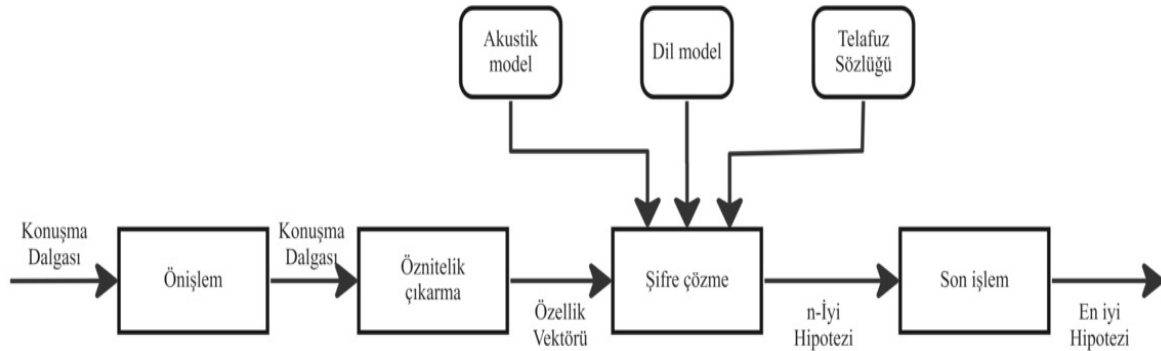
### 5. Geliştirilen Ec-Tema İnsansı Robotun Muadilleri ile Karşılaştırılması (Comparison of The Developed Ec-Tema Humanoid Robot With Counterparts)

[2, 3] çalışmalarında Robovie R3 ve Tiro insansı robotları ile yabancı dil eğitimi başarılı bir şekilde icra edildi. [11, 12] çalışmalarında ise Nao H25 ve Robovie R3 insansı robotların, eğitimde kullanılan metotlar ile kıyaslaması gerçekleştirildi. Sonuç olarak insansı robotların bilgisayar tabanlı öğrenme sistemlerinden daha başarılı sonuçlar sağladığı rapor edildi. Hindistan'da Nao H25 insansı robotu ile gerçekleştirilen bir diğer çalışmada da işaret dili sembolleri çalışıldı [13]. Yapılan çalışmada da başarılı sonuçlar rapor edildi. Türkçe İşaret dili üzerine yapılan bir dizi çalışma da yine hazır profesyonel robotlar kullanıldı. Köse vd. yaklaşık son 15 yıldır gerçekleştirdikleri bir dizi çalışmada kullanılan hazır profesyonel insansı robotlar ile çarpıcı sonuçlar rapor edildi. 2014 yılında yapılan bir çalışmada Köse vd. 3 parmaklı Nao H25 insansı robotu ile çalışıldı. 2015 yılında gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise Nao H25 insansı robotu ile 5 parmaklı Robovie R3 insansı robotu karşılaştırıldı. Gerçekleştirilen sıralı çalışmalarda başarılı sonuçlar elde edildiği rapor edilirken 2015 yılında yapılan çalışmada en dikkat çekici sonuç, 5 parmaklı Robovie R3 insansı robotun Nao H25 insansı robotuna kıyasla TİD ifadelerini simgelemekte daha başarılı olduğu belirtilmesi idi. 2019 yılında Köse vd. tarafından HMM kullanılarak uygulama geliştirildi. Geliştirilen uygulama ile Robovie R3 insansı robotu başarılı bir şekilde kontrol edildi [17-20].

Yapılan tüm bu çalışmalarda ortak olan en büyük unsur, hazır ve profesyonel robotların kullanılmasıdır. Öte yandan 2019 yılında İspanya'da gerçekleştirilen bir çalışmada TEO adı verilen 5 parmaklı geliştirilebilir, tasarımı özgün bir insansı robot geliştirildi. Geliştirilen insansı robot ile SSL ifadeleri başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği rapor edildi [13]. Malezya'da gerçekleştirilen bir diğer çalışmada 3D yazıcı kullanılarak bir insansı robot geliştirildi ve MSL işaret dili ifadeleri başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği rapor edildi. Geliştirilen

**Tablo 3.** Ses kütüphanelerinin karşılaştırılması [32\*] (Comparison of speech library)

Ses kütüphanesi teknolojisi	Cinsiyet			Ortalama dönüşüm süresi (mS)
	Erkek	Kadın	Genel toplam	
Google	96.566 %	97.94 %	97.116 %	6101,6 (22,6 %)
Microsoft	90.893 %	90.722 %	90.825 %	9205,6 (34 %)
IBM	91.056 %	89.258 %	90.337 %	11744,6 (43,4 %)
Genel toplam	92.838 %	92.64 %	92.759 %	9017,3 (100 %)



**Şekil 8.** Ses tanıma işlemi süreci (Process of speech recognition) [37]



insansı robotta 5 parmak olması ifadelerin gerçekleştirilmesindeki önemli etmenlerden biri olduğu rapor edildi [15]. [16] çalışmada ise PSL işaret dili ifadeleri başarılı bir şekilde gerçekleştirildi. RASA adı verilen geliştirilen insansı robotta 29 serbestlik derecesi bulunmakla beraber mobil özelliktedir. 2016 yılında gerçekleştirilen bir diğer çalışmada NINO adı verilen insansı robot ile Tayvan işaret dili ifadeleri başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği rapor edildi [39]. 2021 yılında yapılan bir diğer çalışmada ise Bangla işaret dili ifadeleri geliştirilen insansı robot ile başarılı bir şekilde gerçekleştirildi [40].

Yapılan çalışma kapsamında geliştirilebilir, mobil, iki kollu, her elde 5 parmaklı insansı robot olarak geliştirildi. EC-Tema adı verilen insansı robot ile elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler bir sonraki bölümde detaylı bir şekilde verilmektedir. Bu bölümde makale kapsamında ele alınan insansı robotların EC-Tema geliştirilen insansı robot ile karşılaştırılması yapılacaktır (Tablo 4).

Tablo 4'te yapılan bazı çalışmalara ait bilgiler verilmektedir. Bu çalışmaların bazılarında hazır ve profesyonel insansı robotlar kullanılmaktadır. Geliştirilen EC-Tema insansı robotu mobil olmak ile beraber montaj bileşenlerinin tamamı 3D yazıcı kullanılarak basıldı. Ülkemizde işaret diline dönük insansı robot çalışmaları sınırlı sayıda ve özellikle hazır ve profesyonel robotlar ile yapılmaktadır. Köse ve arkadaşları tarafından yaklaşık son 15 yılda gerçekleştirilen TİD ifadelerinin sembolizasyonuna dönük çalışmalarda hazır ve profesyonel robotlar kullanıldı. Gerçekleştirilen bir dizi çalışmada başarılı sonuçların alındığı rapor edildi. Geliştirilebilir insansı robotlar, hazır ve profesyonel robotlara kıyasla birtakım avantajları bulunmaktadır, bu özellikler;

- Telif hakkının olmaması,
- Programlanmasının daha kolay gerçekleştirilebilir olması,
- Tasarımın özgün olması ile istenildiğinde gerekli değişikliklerin yapılabilmesi,
- Maliyetin düşük olması,
- Kinematik ve DoF özelliklerinin geliştirilebilir, programlanabilir olması

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen EC-Tema insansı robot ile TİD ifadelerinin gerçekleştirilmesinin Köse ve arkadaşlarından öne çıkan en önemli özellikleri yukarıdaki özellikler olarak sıralanabilir. Bununla birlikte robot teknolojisinin her geçen gün gelişmeye devam ederken özellikle ülkemizde bu alanda yeteri kadar çalışma

gerçekleştirilmediği yapılan çalışmalarda tespit edildi. Gerçekleştirilen çalışma kapsamında, geliştirilen EC-Tema insansı robotun önemi bu açıdan bir kez daha gözler önüne serilmektedir.

## 6. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

İşitme engelli bireylerin yaşadıkları ülke içinde bile birbirinden aynı ifadeyi farklı şekillerde sembolize etmeleri kendi aralarında yaşadıkları muhtemel sorunlardan biri olagelmıştır. Bu tür durumlarda iletişimin sağlıklı yapılabilmesi için başvurulan son yöntem anlatılmak istenilen kelimenin harfler ile anlatılmasıdır. Parmak hareketlerine dayalı harflerin sembolizasyonu özellikle kinematik açıdan en zor gerçekleştirilebilen işaret dili simgeleri arasındadır. Örneğin “Ö”, “Ü” ve “Ş” vb. gibi bazı harflerin sembollerinde parmak şıklatmanın gerekliliği ilgili harfin sembolizasyonunu daha da güçleştirmektedir. Çalışmanın içeriğinde sadece Türkçe’de yer alan harfler tek başına simgelenmediği ayrıca 0-10 arasında 11 sayının ve 10 temel ifade sembolize edildi. Çalışmada sembolize edilen toplam 50 ifade ve bu ifadelerle ilgili elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıda detaylı bir şekilde incelenmektedir.

Çalışma kapsamında yer alan 50 ifadenin gerçekleştirilmesi için Millî Eğitim Bakanlığı tarafından 2015 yılında basılan Türk İşaret Dili Sözlüğü referans alındı. Çalışma kapsamında Türkçe’de yer alan 29 harf ifadesi, 0-10 arasında 11 sayı ifadesi ve günlük hayatta kullanılan 10 ifade belirlendi. Toplamda 50 ifade insansı robot ile gerçekleştirildi. Bu bölümde her üç grup için elde edilen sonuçlar detaylı olarak tartışılmaktadır. Çalışmaya ülkemizde uygulanan Covid-19 salgın tedbirleri kapsamında ancak 8 işitme ve konuşma engelli birey katılabilir. Çalışma kapsamında EC-Tema insansı robotunun gerçekleştirmiş olduğu hareketler kayıt altına alındı ve Google anket üzerinden her bir hareketin başarılı gerçekleştirilip, gerçekleştirilemediği katılımcılara soruldu.

İlk olarak aşağıdaki Tablo 5’te gösterildiği üzere Türkçe’de yer alan 29 harf için elde edilen sonuçlar ayrı ayrı not edildi ve elde edilen başarı yüzdeleri her bir ifadenin altında belirtildi. Gerçekleştirilen 29 harf ifadesi içinde 4 ifade 8 katılımcı tarafından anlaşılmadığı tespit edildi. 29 harf ifadesi içerisinde yer alan 3 harf ifadesi 8 katılımcı arasında sadece 1 kişi tarafından doğru yapıldığı belirtildi. 29 harf ifadesi içerisinde yer alan 4 harf ifadesi 8 katılımcı arasında sadece 2 kişi tarafından doğru yapıldığı belirtildi. 29 harf ifadesi içerisinde yer alan sadece 1 harf ifadesi 8 katılımcı arasından 3 kişi tarafından kabul

**Tablo 4.** EC-Tema insansı robotu ile incelenen diğer insansı robotların karşılaştırılması.  
(Comparison of EC-Tema humanoid robot and other humanoid robots studied)

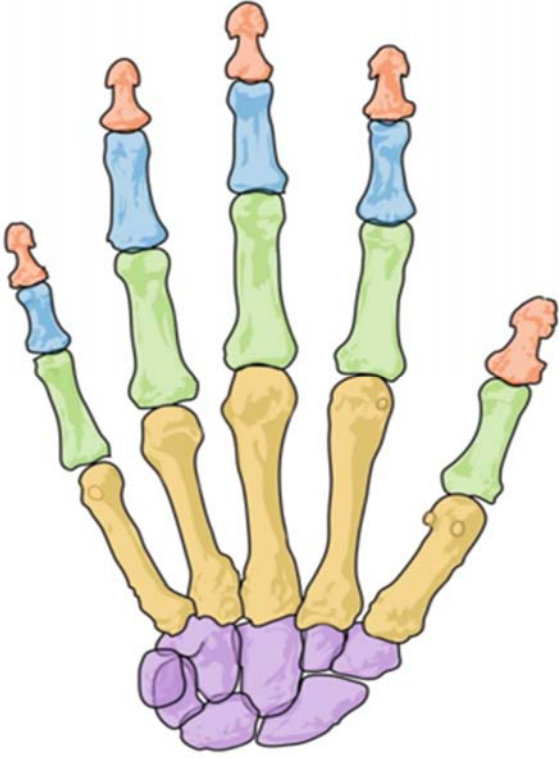
İnsansı Robot	Parmak Sayısı	DoF	Türü
Nao H25 [11, 13]	3	25	Profesyonel
Robovie R3 [2, 12]	5	17	Profesyonel
Tiro [3]	-	8	Profesyonel
TEO [14]	5	28	Geliştirilebilir
– (Malay işaret dili için geliştirilen insansı robot) [15]	5		Geliştirilebilir
RASA [16]	5	29	Geliştirilebilir
NINO [39]	5	28	Geliştirilebilir
– (Bangla işaret dili için geliştirilen insansı robot) [40]	5	43	Geliştirilebilir
EC-Tema	5	23	Geliştirilebilir

**Tablo 5.** Gösterimi yapılan TİD harfleri (Representation of TSL letters)

	A	B	C	Ç	D	E	F	G	Ğ	H	I	İ	J	K	L	M	N	O	Ö	P	R	S	Ş	T	U	Ü	V	Y	Z
E	8	5	7	0	1	3	8	0	7	8	8	7	2	1	8	8	7	8	5	2	2	0	0	8	5	2	7	7	1
H	0	3	1	8	7	5	0	8	1	0	0	1	6	7	0	0	1	0	3	6	6	8	8	0	3	6	1	1	7
%	100	62,5	87,5	0	12,5	37,5	100	0	87,5	100	100	87,5	25	12,5	100	100	87,5	100	62,5	25	25	0	0	100	62,5	25	87,5	87,5	12,5

doğru yapıldığı belirtildi. Geri kalan 29 harf ifadesi içerisindeki 17 harf ifadesi 8 katılımcı arasında en az 5 kişi tarafından doğru yapıldığı belirtildi. Harflerin gösteriminden elde edilen başarı oranı, eğer en az bir kişi tarafından doğru kabul edilen ifadeler referans alınır ise %86,2 olarak ortaya çıkmaktadır. Eğer en az 2 kişi tarafından doğru kabul edilen ifadeler referans alınır ise %75,9 olarak ortaya çıkmakta iken eğer en az 3 kişi tarafından doğru kabul edilen ifadeler referans alınır ise 62% başarı oranı elde edilir.

Harflerin yer aldığı 1. grupta yer alan bazı ifadelerin anlaşılmasını ve bazı ifadelerin ise yeterli kadar kabul görmemesinin en önemli nedeni birçok insanın robotta olduğu gibi EC-Tema insanı robotunda da eksik olan bilek ve parmak fleksiyonlarından kaynaklanmaktadır. Aşağıdaki Şekil 9'da bir insan elinde yer alan falanj kemikleri ve avuç içinde yer alan toplam 27 eklem gösterilmektedir. Parmakların hareketi 27 eklem tarafından gerçekleştirilir iken bu eklemlerin hareketini ise 30 kas ve tendonlar sağlamaktadır [39]. Avuç içinde yer alan Flexor Digitorum Profundus ve Flexor Digitorum Superficialis kasları parmakların çok farklı şekillere bürünmesine yardımcı olur. Bu kaslar sayesinde el mimikleri kullanılır iken çok farklı ifadeler oluşturulabilmektedir. Öte yandan geliştirilen EC-Tema insanı robotunda sadece dirsek fleksiyonu bulunmaktadır. Bilek fleksiyonu bulunmayan insanı robotta, parmak fleksiyonu ise yeterli miktarda değildir.



Şekil 9. Avuç ve parmaklarda yer alan falanj kemikleri [39]  
(Phalanx bones in palm and fingers)

Yukarıda belirtilen fleksiyon eksikliğinden kaynaklı ilk grupta yer alan 29 harf ifadesinde bazı ifadeler anlaşılmadı, bazı ifadeler ise yeterli miktarda kabul görmedi. Özellikle TİD dilinde yer alan “P” harfinin gerçekleştirilmesi için falanj kemiklerinin ve onları kontrol eden kas ve tendonların neredeyse tüm özellikleri kullanılmaktadır. Ayrıca “R” harfinin icra edilmesi de “P” harfinin ne kadar başarılı ifade edildiği ile doğru orantılıdır. “R” harfinin ifadesi için “P” harfinin ifadesinin yanına sol işaret parmağı getirilir ve ifade gerçekleştirilir. Bununla birlikte özellikle “İ”, “Ö”, “Ü” ve “Ş” gibi ifadelerin gerçekleştirilmesi aşamasında parmak şıklatması yapılması gerekmektedir. Parmak şıklatması için özellikle baş ve orta parmağın fleksiyonları etkin bir şekilde kullanılır (Şekil 10).

Aşağıdaki Tablo 6'da 0 ile 10 arasında yer alan 11 sayı ifadesinde tüm ifadeler başarılı bir şekilde kabul gördü. Gösterimi yapılan 11 sayı ifadesinde “7” sayısının gösterimi yapılırken 8 katılımcıdan 3 kişi doğru yapıldığını kabul eder iken, “6” sayısının gösterimi yapıldığında ise bilek fleksiyonunun eksikliğinden kaynaklı 8 katılımcıdan 4 kişi ifadenin doğru gerçekleştirildiğini kabul etti. “0” sayısının gösterimi katılımcılar arasında sadece biri tarafından kabul görmez iken geri kalan 11 sayı içinde yer alan 8 sayı ifadesinin tamamı doğru gerçekleştirildiği kabul edildi. Sayıların gösteriminden yüksek başarı oranı elde edildi. Çalışmaya katılan katılımcıların en az 3'ünün doğru kabul ettiği ifadeler referans alınır ise başarı oranı 100% olarak karşımıza çıkmaktadır.

Aşağıdaki Tablo 7'de yer alan 10 ifadenin gerçekleştirme başarı oranı belirtildi. Tablo 7 incelendiğinde “Merhaba” ifadesi gerçekleştirildiğinde katılımcılar arasında sadece biri tarafından doğru kabul edildi. “Ders” ifadesi gerçekleştirildiğinde katılımcılar arasında sadece 2 kişi tarafından doğru kabul edildi. “Sıcak” ve “Nasılın? / İyiyim” ifadeleri gerçekleştirildiğinde sadece 3 katılımcı tarafından doğru kabul edildi. Geri kalan 6 ifadenin tamamı en az 5 katılımcı tarafından doğru kabul edildi. Kullanılan ifadelerin başarı oranı da son derecede yüksektir. Katılımcılar arasında en az bir kişinin kabul ettiği ifade referans alınır ise başarı oranı 100% dür. Eğer katılımcılar arasında 10 ifade içerisinde en az 2 kişinin doğru kabul ettiği ifadeler referans alınır ise başarı oranı 90% iken en az 3 kişinin doğru kabul ettiği ifadeler referans alınır ise başarı oranı 80% dir.

Özellikle parmak fleksiyonun eksikliği “Nasılın? / İyiyim” ifadesinin gerçekleştirilmesinde çok bariz bir şekilde tespit edilmektedir. Aşağıdaki Şekil 11'de gösterildiği üzere “Nasılın? / İyiyim” ifadesi insanı robotun eksik parmak fleksiyonu tarafından ancak kısmen yapılabilmektedir. Gösterimi yapılan 50 ifadenin tamamında karşılaşılan en büyük sorun parmaklarda ve bilekte yetersiz fleksiyonun bulunmasıdır. İnsan parmaklarındaki eklemleri farklı açılarda değiştirebilir. Özellikle falanj kemikleri, kaslar ve tendonlar sayesinde birçok farklı şekle bürünebilir. Çalışmada geliştirilen insanı robot 3D yazıcıdan basıldı ve robotun serbestlik derecesi ise 23 DoF'tur. EC-Tema insanı robotun gerçek boyutlarda iki kolu, 5 parmağı ve karikatürize edilmiş yüz ifadesi bulunmaktadır. EC-Tema insanı robotu daha önce TİD dili ile ilgili gerçekleştirilen diğer çalışmalarda kullanılan hazır profesyonel insanı robotlardan, Nao H25 ve Robovie R3 vb. gibi, ayırt edici özellikleri arasında sıralanabilir.



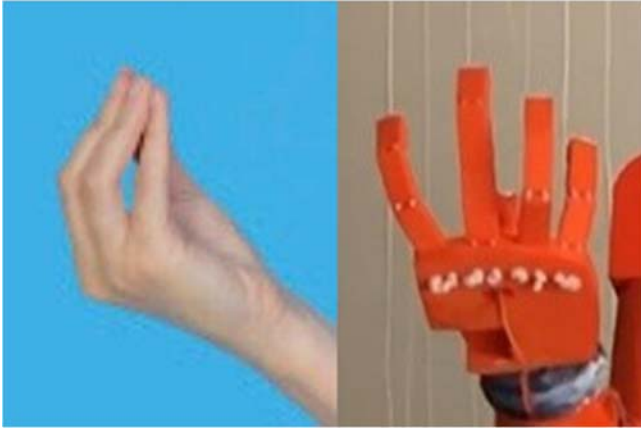
Şekil 10. TİD gösterimi yapılan harflerden bazıları (Some of letters represented in TSL)

**Tablo 6.** Gösterimi yapılan TİD sayıları (Represented numbers in TSL)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	7	8	8	8	8	8	4	3	8	8	8
H	1	0	0	0	0	0	4	5	0	0	0
%	87,5	100	100	100	100	100	50	37,5	100	100	100

**Tablo 7.** Gösterimi yapılan TİD yer alan bazı ifadeler (Represented some of TSL expressions)

	Nasılısın / İyiyim	Merhaba	Sevmek	Sıcak	Soğuk	Telefon	Ders	Gitmek	Gelmek	Elektrik
E	3	1	5	3	6	5	2	7	6	5
H	5	7	3	5	2	3	6	1	2	3
%	37,5	12,5	67,5	37,5	75	62,5	25	87,5	75	62,5



**Şekil 11.** TİD “Nasılısın? / İyiyim” ifadesi (sol panel) ve insansı robot tarafından gerçekleştirilen ifade (sağ panel)  
(The definition of “How are you?” / “I am fine” in TSL (left side) and expression represented through humanoid robot (right side))

- Özgün tasarım,
- Bakımı ve tamiri hazır/profesyonel robotlara kıyasla son derece kolay,
- Maliyet açısından daha hesaplı
- Derin öğrenme metodları ile yazılımı geliştirilebilir / güncelleştirilebilir

EC-Tema insansı robotun gösterimlerinden elde edilen başarılı sonuçların ve çalışmanın bir sonraki aşamasında yapılacak gelecek aşamaları bir sonraki bölümde tartışıldı.

## 7. Sonuçlar (Conclusions)

Bir önceki bölümde EC-Tema insansı robotunun gösterimlerinden elde edilen sonuçlar ayrıntılı bir şekilde tablolar halinde verilerek tartışıldı. Ülkemizde tüm dünyada olduğu gibi covid-19 salgın tedbirleri kapsamında alınan sıkı tedbirlerden kaynaklı eğitim veren okulların birçoğu kapalı olduğundan çalışmanın sonuçları sınırlı sayıda işitme ve konuşma engelli bireyler üzerinden test edilebildi. Katılımcıların yaş ortalaması 32,8 dir, katılımcılar arasında en genç birey 28 yaşında ve en yaşlı birey ise 44 yaşındadır. Katılımcıların tamamı işitme ve konuşma engelli olmakla beraber Türkçe işaret dilini öğrenim gördükleri eğitim hayatında öğrenmişler. Katılımcıların eğitim seviyeleri sırasıyla 2' si orta okul, 2'si lise ve 4'ü ise üniversite mezunudur.

Gösterimi yapılan 50 ifade arasında sadece 4 ifade tamamen anlaşılmadı. Bunun nedeni ise insansı robotta bulunan yetersiz fleksiyon özelliğidir. Kabul edilen 46 ifade içerisinde sadece 4 ifade

8 katılımcının biri tarafından doğru olarak kabul edilirken 5 ifade sadece 8 katılımcının 2'si tarafından doğru kabul edildi. Doğru kabul edilen 46 ifade arasındaki 3 ifade, 8 katılımcı arasında 3 kişi tarafından doğru kabul edildi. Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında eğer en az bir kişi tarafından doğru kabul edilen ifadelerin sayısı referans alınır ise çalışmanın başarı oranı 92% dir. Eğer en az 2 kişi tarafından doğru kabul edilen ifadelerin sayısı referans alınır ise çalışmanın başarı oranı 84% tür. Eğer en az 3 kişi tarafından doğru kabul edilen ifadelerin sayısı referans alınır ise çalışmanın başarı oranı 74% tür.

Katılımcılara gösterimi yapılan ifadeler sorulmadan önce Google anket üzerinden ilk olarak insansı robotlar ile herhangi bir karşılaşmaları olup olmadığı soruldu. Bir diğer soruda ise işaret dilinin insansı robotlar ile gösterimi hakkında daha önce herhangi bir izlenimlerinin olup olmadığı soruldu. İlk bölümde sorulan soruların tamamında insansı robotlar ile ilgili katılımcıların daha önce herhangi bir karşılaşmaları olmadığı, işaret dilinin robotlar ile öğrenilmesi hususunda en ufak bir tecrübelerinin olmadığı belirtildi. Anketin sonunda insansı robot hakkında katılımcılara izlenimleri sorulduğunda katılımcıların tümünün insansı robotu son derece başarılı bulduklarını belirttiler.

Özellikle hazır/profesyonel robotlara kıyasla geliştirilen EC-Tema insansı robotun hem tasarım hem de yazılım açısından geliştirilmeye açık olması, bakım ve onarımın daha kolay yapılabilmesi gibi özellikleri ön plana çıkmaktadır. EC-Tema insansı robotun üretim maliyeti \$ 1000'dan azdır. Etkili bir işaret dili ifadesini gerçekleştirmek için bireyin el ve yüz mimiklerini efektif bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Özellikle daha önceki çalışmalarda kanıtlanmış ve etkili sonuçların elde edildiği belirtilmiş insansı robotların özellikleri EC-Tema'ya aktarıldı: karikatürize edilmiş robot yüz ifadesi, gerçek boyutlarda robot kolu ve 5 parmak özelliği gibi.

Bu çalışmada elde edilen birikimlerden yola çıkarak devam çalışmasında aşağıdaki hususlar geliştirilmeye çalışılacaktır;

- Bilek ve parmak fleksiyonunun geliştirilmesi
- Karikatürize edilmiş yüz ifadesi yerine yüz mimiklerinin taklit edilmesi – kaş, göz kapağı, ağız-dudak hareketi vb. gibi.

Çalışma kapsamında ele alınan 50 TİD ifadesi ve bu ifadelerle ilgili elde edilen başarı sonuçları bir önceki bölümde detaylı bir şekilde tartışıldı. İşaret dili ifadeleri arasında en temel ifadeler harfler ve sayılardır. Çalışmada ilk olarak TİD'de yer alan harfler ve 11 sayı sembolize edildi. Geliştirilen insansı robotun öncelikle eğitim alanında eğitici araç, ve daha sonra diğer tüm kamusal alanlarda iletişim aracı olarak kullanılması öngörülmektedir. Öte yandan geliştirilen EC-Tema insansı robotta karşılaşılan zorluklar not edildi ve bu zorlukların üstesinden gelinmesine dönük çalışmalar devam

edeceği hedeflenmektedir. Bununla birlikte ülkemizde ilk kez geliştirilen insansı robotun tasarım parçaları 3D yazıcı gibi dayanımı zayıf olan baskı malzemelerinin dışında dayanımı daha güçlü bileşenler ile tekrar montajlanması planlanmaktadır. Çalışmanın tasarım açısından geliştirilecek unsurlarının başında insansı robotun kafa yapısı olacak ve yüz ifadeleri geliştirilip insansı mimikler kazandırılacaktır.

Çalışma kapsamında geliştirilen EC-Tema insansı robotunun geliştirilebilir olması, işaret dili ifadelerinin başarılı gösterimi bu çalışmanın devam ettirilebilirliği konusunda bizlere umut vermiştir. Geliştirilen insansı robot eğitimde kullanılabilir bir eğitim aracı, sağlıkta – özellikle rehabilitasyon gibi etkileşimli ihtisaslarda- ve diğer birçok kamu alanında işitme engelli bireylerin kullanımına sunulabilir. EC-Tema insansı robot ülkemizde kendi imkanlarımız ile geliştirilen, tasarımı özgün, geliştirilebilir özellikteki ilk insansı robot olma özelliğini taşımaktadır. EC-Tema insansı robotun geliştirilmesi sürecinde tespit edilen eksikliklerin giderilmesi ve dahi geliştirilmesi, üstelik insan yüzü mimiklerinin kazandırılması için yük kaslarının yerini tutacak aktüatörlerin kullanılması gibi çalışmaların devam çalışmaları olarak yapılması planlanmaktadır. Türkiye’de ilk kez TİD öğrenimi için geliştirilebilir insansı robot geliştirildi. Çalışma kapsamında geliştirilebilir insansı robotun bazı eksiklikleri not edildi ve çalışmanın devam aşamasında, insansı robotun mimik hareketlerinin geliştirilmesi, bilek ve parmak fleksiyonlarının güçlendirilmesi ve ayrıca derin öğrenme metotları ile insan-robot etkileşiminin artırılması hedeflenmektedir.

#### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma, Şırnak Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından “E-57185274-050.06-11744” sayılı “Türkçe İşaret Dili İfadelerini Gerçekleştiren İnsansı Robot Geliştirme” adlı proje tarafından desteklenmiştir .

#### Kaynaklar (References)

1. Teke B.M., Yılmaz C., Stewart platform based robot design and control for passive exercises in ankle and knee rehabilitation, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 36 (4), 1831-1846, 2021.
2. Ishiguro H., Ono T., Imai M., Maeda T., Kanda T., Nakatsu R., Robovie: An Interactive Humanoid Robot, Ind. Rob., 28 (6), 498–504, 2001.
3. Han J., Kim D., R-Learning Services for Elementary School Students with a Teaching Assistant Robot, In Proceedings of the 4th ACM/IEEE international conference on Human robot interaction - HRI '09, ACM Press: New York-USA, 2009.
4. Dünya Sağlık Örgütü. <https://www.who.int/deafness/estimates/en/>. Yayın tarihi Ekim 7, 2019. Erişim tarihi Mart 21, 2021.
5. Türkiye Cumhuriyeti Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Engelli ve Yaşlı İstatistik Bülteni. <https://www.ailevecalisma.gov.tr/media/42250/istatistik-bulteni-2020-mart.pdf>. Yayın tarihi Ocak 1, 2020. Erişim tarihi Ocak 1, 2021.
6. Courtin C., The Impact of Sign Language on the Cognitive Development of Deaf Children: The Case of Theories of Mind, J. Deaf Stud., Deaf Educ. 5 (3), 266–276, 2000.
7. Marschark M., Hauser P.C., How Deaf Children Learn: What Parents and Teachers Need to Know (Perspectives on Deafness), Oxford University Press, 1st edition, 49 (11), 49-6411-49–6411, 2012.
8. Freil B.L., Clark M.D., Anderson M.L., Gilbert G.L., Musyoka M.M., Hauser P.C., Deaf Individuals’ Bilingual Abilities: American Sign Language Proficiency, Reading Skills, and Family Characteristics. Psychology (Irvine), 02 (01), 18–23, 2011.
9. Mayberry R.I., Cognitive development in deaf children: The interface of language and perception in neuropsychology, Handbook of neuropsychology, 8 (Part II), 71-107, 2002.
10. Besio S., Dini S., Ferrari E., Robins B., Critical factors involved in using interactive robots for play activities of children with disabilities, In 9th European Conference for Advancement of Assistive Technology in Europe, San Sebastian-Spain, 20, 505-509, 2007.
11. Janssen J.B., van der Wal C.C., Neerinx M.A., Looije R., Motivating Children to Learn Arithmetic with an Adaptive Robot Game, In Social Robotics, 153–162, 2011
12. Nalin M., Baroni I., Kruijff-Korbayova I., Canamero L., Lewis M., Beck A., Cuayahuitl H., Sanna A., Children’s Adaptation in Multi-Session Interaction with a Humanoid Robot, In 2012 IEEE RO-MAN: The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, IEEE, 2012.
13. Baranwal N., Singh A.K., Nandi G.C., Development of a Framework for Human–Robot interactions with Indian Sign Language Using Possibility Theory, Int J of Soc Robotics, 2017.
14. Gago J.J., Victores J.G., Balaguer C., Sign Language Representation by TEO Humanoid Robot: End-User Interest, Comprehension and Satisfaction, Electronics, 8, 57, 2019.
15. Al-Khulaidi R.A., Akmeliawati R., Azlan N.Z., Bakr N.H.A., Fauzi N.M., Development of robotic hands of signbot, advanced Malaysian sign-language performing robot, Advances in Robotics Research, 2, 3, 183-199, 2018.
16. Meghdari A., Alemi M., Zakipour M., Kashanian S.A., Design and Realization of a Sign Language Educational Humanoid Robot, Journal of Intelligent & Robotic Systems, 95 (3), 17, 2019.
17. Kose H., Akalin N., Uluer P., Socially Interactive Robotic Platforms as Sign Language Tutors, International Journal of Humanoid Robotics, 11, 1, 1450003, 2014.
18. Köse H., Uluer P., Akalin N., Yorgancı R., Özkul A., Ince G., The Effect of Embodiment in Sign Language Tutoring with Assistive Humanoid Robots, Int J of Soc Robotics, 7, 537–548, 2015.
19. Gürpınar C., Uluer P., Akalin N., Köse H., Sign Recognition System for an Assistive Robot Sign Tutor for Children, International Journal of Social Robotics, 2019.
20. National Geographic, Medieval robots? They were just one of this Muslim inventor's creations, <https://www.nationalgeographic.com/history/magazine/2020/07-08/ismail-al-jazari-muslim-inventor-called-father-robotics/>, Yayın tarihi Temmuz 30, 2020. Erişim tarihi Ocak 19, 2021.
21. Schmidt K.L., Cohn J.F., Human facial expressions as adaptations: Evolutionary questions in facial expression research, American journal of physical anthropology, 116, S33, 3–24, 2001.
22. Calder A.J., Young A.W., Understanding the recognition of facial identity and facial expression, Nature Reviews Neuroscience, 6, (8), 641–651, 2005.
23. Faraj Z., Selamet M., Morales C., Torres P., Hossain M., Chen B., Lipson H., Facially expressive humanoid robotic face, HardwareX 9, 2021.
24. Hanson Robotics, Why human-like robots?, <https://www.hansonrobotics.com/>, Yayın tarihi 2019. Erişim tarihi Ocak 19, 2021.
25. Valli C., Lucas C., Mulrooney K.J., Villanueva M., Linguistics of American Sign Language: An Introduction, Fifth Edition, Completely Revised and Updated, Gallaudet University Press, Washington DC-USA, 2011.
26. Thingiverse, Humanoid Robotic Hand, <https://www.thingiverse.com/thing:2269115>, Yayın tarihi Nisan 24 2017. Erişim tarihi Mart 1, 2020.
27. Hirose S., Umetani Y., The development of soft gripper for the versatile robot hand, Mech. Mach. Theory, 13 (3), 351–359, 1978.
28. SG90 mini servo motor datasheet, Electronicos Caldas, [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/SG90\\_Tower-Pro.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/SG90_Tower-Pro.pdf), Yayın tarihi Nisan 24 2017. Erişim tarihi Aralık 1, 2020.
29. MG996R servo motor datasheet, Electronicos Caldas, [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R\\_Tower-Pro.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf), Yayın tarihi Nisan 24 2017. Erişim tarihi Aralık 1, 2020.
30. LX5560 servo motor, Fei Xiang RC Model Wholesale Shop, <http://www.lxrcmodel.com/details.asp?prodid=3506&classId=>, Yayın tarihi Nisan 24 2017. Erişim tarihi Aralık 1, 2020.
31. WER algorithm, Martin-Thoma, <https://martin-thoma.com/word-error-rate-calculation/>, Yayın tarihi Mart 24 2018. Erişim tarihi Aralık 12, 2020.
32. Képuska V., Bohouta G., Comparing Speech Recognition Systems (Microsoft API, Google API And CMU Sphinx), Int. Journal of Engineering Research and Application, ISSN: 2248-9622, 7, 3, 20-24, 2017.

33. Aguilar-Chacon J.E., Segura-Torres D.A., Evaluation methodology for Speech To Text Services similarity and speed characteristics focused on small size computers, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 844. 012039, 2020.
34. Jerri A.J., The shannon sampling theoremits various extensions and applications: A tutorial review. Proceedings of the IEEE, 65 (11), 1565–1596, 1977.
35. Westphal M., The use of cepstral means in conversational speech recognition, In: EUROSPEECH, 1997.
36. Rainer E., Gruhn W.M., Nakamura S., Statistical pronunciation modeling for non-native speech processing, In: Springer Science and Business Media, 2011
37. Tanigaki K., Yamamoto H., Sagisaka Y.A., hierarchical language model incorporating class-dependent word models for oov words recognition, In: INTERSPEECH, 2000.
38. Soudamalla S.K., Implications of Conversational AI on Humanoid Robots, (Master), Technische Universität Chemnitz, Chemnitz, 2020.
39. Lo S.Y., Huang H.P., Realization of sign language motion using a dual-arm/hand humanoid robot, Intel Serv Robotics, 9, 333–345, 2016.
40. Nihal R.A., Broti M.N., Deowan S.A., Rahman S., Design and Development of a Humanoid Robot for Sign Language Interpretation, SN Computer Science, 2, 220, 2021.

