

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI**

**ENGELLİ BİREYLER İÇİN GÖZ KIRPMA TABANLI İLETİŞİM
SİSTEMİ (GÖKTİS)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

TUĞÇE EZGİ AYABAKAN

ANKARA - 2020

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI**

**ENGELLİ BİREYLER İÇİN GÖZ KIRPMA TABANLI İLETİŞİM
SİSTEMİ (GÖKTİS)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

TUĞÇE EZGİ AYABAKAN

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ EMRE SÜMER

ANKARA - 2020

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı **BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**
Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde **TUĞÇE EZGİ AYABAKAN** tarafından
hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 31 /01 / 2020

Tez Adı : Engelli Bireyler için Göz Kırpma Tabanlı İletişim Sistemi (GÖKTİS)

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

İmza

Dr. Öğr. Üyesi, İbrahim Baran USLU, Atılım Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi, Emre SÜMER, Başkent Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi, Mehmet Feyzi AKŞAHİN, Başkent Üniversitesi

ONAY

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih : ../../2020



BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 04/02/2020

Öğrencinin Adı, Soyadı : TUĞÇE EZGİ AYABAKAN
Öğrencinin Numarası : 21410153
Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
Programı : BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS
Danışmanın Adı, Soyadı : DR. ÖĞR. ÜYESİ EMRE SÜMER
Tez Başlığı : ENGELLİ BİREYLER İÇİN GÖZ KIRPMA TABANLI
İLETİŞİM SİSTEMİ (GÖKTİS)

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 46 sayfalık kısmına ilişkin, 04/02/2020 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %5'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası

Onay

../ .../ 2020

Dr. Öğr. Üyesi Emre Sümer

TEŞEKKÜR

Sayın Dr. Öğr. Üyesi EMRE SÜMER'e (tez danışmanı), çalışmanın sonuca ulaştırılmasında ve karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında her zaman yardımcı ve yol gösterici olduğu için,

Tez çalışmam boyunca destekleriyle yanımda olan sevgili aileme desteklerinden dolayı teşekkürü borç bilirim.

ÖZET

Tuğçe Ezgi AYABAKAN

ENGELLİ BİREYLER İÇİN GÖZ KIRPMA TABANLI İLETİŞİM SİSTEMİ (GÖKTİS)

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

2020

Bu çalışma kapsamında önerilen göz kırpma tabanlı iletişim sistemi, bilgisayar destekli bir sistem olup çeşitli engellilik halleri bulunan insanlar için tasarlanmıştır. Engellilik hali sinir sisteminde meydana gelen hasardan dolayı uzuvlarının hareket kabiliyetini kaybeden, yalnızca göz kaslarını hareket ettirebilen kişileri kapsamaktadır.

Oluşturulan sistem, kullanıcıların yaşam kalitesini artırarak dış dünya ile daha kolay iletişim kurabilmeleri için tasarlanmıştır. Sistem yapısı göz kırpma hareketinin analizi ve özgün alfabe tasarımıyla oluşmaktadır. Analiz aşamasında göz kırpma hareketinin sıklığı ve süre parametrelerine bağlı bir girdi oluşturulması sağlanır. Bu girdi ile kullanıcı arayüzü içerisindeki özgün alfabede istenilen yöne hareket edilmesi ve seçim yapılabilmesi sağlanmaktadır. GÖKTİS için kullanıcı ihtiyaçlarına bağlı olarak tasarlanan özgün alfabede Türkçe karakterler, hazır metin seslendirme için kısa yol tuşları (Acıktım, Susadım vb.) yer almaktadır. Böylelikle kullanıcı göz kırpma hareketi ile hem istediği mesajı yazabilmekte hem de temel kısa yol işlemlerine erişim sağlayabilmektedir. Sistem dahili veya harici kamera ile dizüstü veya kişisel bilgisayarlarda, kullanıcının yüzü kameradan gözükecek şekilde konumlandırılarak çalışabilmektedir. Sistem farklı ışık koşulları, istemli ya da istemsiz göz kırpma hareketleri gibi durumlar için test edilmiş olup elde edilen sonuçların tatmin edici düzeyde olduğu gözlemlenmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Göz Kırpma Hareketi, Bilgisayar Destekli Sistemler, Göz Kırpma Hareketinin Algılanması.

ABSTRACT

Tuğçe Ezgi AYABAKAN

EYE BLINK BASED COMMUNICATION SYSTEM (EBCS) FOR DISABLED PEOPLE

Baskent University Institute of Science and Engineering

Computer Engineering Department

2020

The proposed eye blink-based communication system, which is a computer-aided system, is designed for people with various disabilities. Disability includes persons who can only move the muscles of the eye, who lost their mobility due to damage to the nervous system. The purpose of the system is to improve the quality of life of the users and to communicate with the outside world more easily. The system structure consists of the analysis of the blinking gesture and the design of a novel alphabet. In the analysis phase, an input is generated based on the frequency of the blinking gesture and the time parameter. With this input, it is ensured that movements in the desired direction and selection can be made on the alphabet through the user interface. The alphabet designed for EBCS is based on the user needs and includes Turkish characters and ready voice readout shortcut operations such as “I’m hungry”, “I’m thirsty” etc. Thus, the user can write a desired message via the blinking gesture and gain access to the basic shortcut operations. The system can be operated with a laptop camera, or an external camera, mounted on a personal computer providing that the user's face is visible from the camera. The system has been tested for different light conditions and voluntary or involuntary blinking gestures. According to the tests performed, the results obtained have been observed to be satisfactory.

KEYWORDS: Computerized communication system, eye blink detection, disabled people

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ	iii
TABLOLAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Motivasyon ve Problem Tanımı.....	1
1.2. Benzer Çalışmalar	4
1.2.1. Fisherfaces algoritması.....	8
1.2.2. Genişletme ve erozyon yöntemleri	9
1.3. Amaç, Kapsam ve Tezin Genel Yapısı	10
1.3.1. Amaç ve kapsam	10
1.3.2. Tezin genel yapısı.....	10
2. ÖNERİLEN YÖNTEM.....	12
2.1. Sistem Mimarisi.....	12
2.1.1. Göz kırpma hareketinin algılanması için veri işleme modülü.....	13
2.1.2. GÖKTİS arayüz modülü ve alfabe	13
2.2. Yöntem Adımları.....	14
2.2.1. Gözün bulunması ve göz kırpma hareketinin algılanması	14
2.2.1.1. Viola - Jones algoritması	19
2.2.1.2. Göz şablonu oluşturma yöntemleri.....	25
2.2.1.3. Normalize edilmiş çapraz korelasyon yöntemi.....	27
2.2.2. Algılanan göz kırpma hareketinin anlamlandırılması	29

2.2.3. Sisteme ait hata metriklerinin hesaplanması	31
3. VERİ KÜMESİ	33
3.1. Tasarlanan Test Senaryoları.....	33
3.2. Tasarlanan Test Senaryoları, Ek Çalışmalar ve Kullanıcı Özellikleri	34
4. DENEYSEL SONUÇLAR	35
4.1. Oluşturulan Test Senaryoları Değerlendirmeleri	35
4.2. Değerlendirme Sonuçları ve Tartışma	43
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR	47
EKLER	

EK 1: Sistem Kullanıcı Anketi

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Test kullanıcılarının yaş aralıkları.....	35
Tablo 4.2. Test kullanıcıları cinsiyet dağılımı.....	35
Tablo 4.3. Sistem göz kırpması hassasiyet oranı hesabı	36
Tablo 4.4. Birinci test için oluşturulan hata matrisi	37
Tablo 4.5. İkinci test için oluşturulan hata matrisi	38
Tablo 4.6. Üçüncü test koşulu kullanıcı sonuçları	39
Tablo 4.7. Üçüncü test için oluşturulan hata matrisi	40
Tablo 4.8. Kelimelerin kullanıcılara göre yazma süre detayları.....	41
Tablo 4.9. Yaş aralıklarına göre kelimeleri yazma süreleri.....	41
Tablo 4.10. Yaşa göre bir cümle yazılma süreleri.....	42

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Grauman tarafından yapılan çalışmanın metot adımları	5
Şekil 1.2. Göz kırpma hareketinin resim farklarının ortalaması ile algılanması	6
Şekil 1.3. OpenCv Eigenfaces örnek kodu	8
Şekil 1.4. Genişletme ve Erozyonun resim üzerindeki etkisi	9
Şekil 2.1. GÖKTİS sistem mimarisi	12
Şekil 2.2. GÖKTİS arayüz modülü ve alfabesi	14
Şekil 2.3. Göz kırpma hareketi için görüntü işleme adımları	15
Şekil 2.4. Yüz görüntüsünün bulunması ve boyutu	17
Şekil 2.5. Sahneler arasında göz şablonu hesaplanmış korelasyon değerleri	18
Şekil 2.6. Obje bulma için kullanılan dikdörtgen şablonlar	20
Şekil 2.7. Dikdörtgen şablonların yüz üzerine uygulanması	20
Şekil 2.8. İntegral görüntü uygulanması	21
Şekil 2.9. Basamaklı sınıflandırıcı yapısı	24
Şekil 2.10. Yüz geometrik özellikleri	26
Şekil 2.11. Yüz görüntüsünden seçilmiş gözler ve oluşturulmuş şablon görüntüleri	27
Şekil 2.12. Korelasyon katsayısına bağlı dağılım grafikleri	28
Şekil 2.13. Korelasyon hesabı yapılacak resim bilgileri	28
Şekil 2.14. Zamana göre korelasyon katsayısı değişim grafiği	29
Şekil 2.15. GÖKTİS uygulamasındaki sanal klavye dizilimi	31
Şekil 3.1. Oluşturulan ve doğruluğu test edilen göz şablonları	33
Şekil 4.1. Anket sorularına verilen cevap dağılımları	43

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ALS	Amiyotrofik Lateral Skleroz
DMD	Duchenne Musküler Distrofi
EmguCV	Open Source Computer Vision Library Framework
HMM	Hidden Markov Model
LBPH	Local Binary Pattern Histogram
MATLAB	Matrix Laboratory
MS	Multiple Skleroz
OpenCV	Open Source Computer Vision Library
SMA	Spinal Musküler Atrofi
SVM	Support Vector Machine
VGA	Video Graphics Array

1. GİRİŞ

1.1. Motivasyon ve Problem Tanımı

İnsan sosyal bir varlıktır ve dünya ile ilk tanıştığı andan itibaren çevresiyle bir şekilde iletişim halindedir. Bu iletişim biyolojik açıdan kişilerin beslenme, sığınma ve güvenlik gibi bireysel ihtiyaçlarının karşılanmasına hizmet eder. Bebeklik döneminde kişi ihtiyaçlarını ağlayarak anlatabilirken, zaman içerisinde insanlarla ve çevreyle iletişim için daha farklı kanalları kullanmaya başlar. Konuşmak, yazmak ya da beden dili ile iletişime geçmek bu kanallardan bazıları olarak gösterilebilir. Kişi bu kanalları kullanarak dış dünya ile iletişimini sağlarken aynı zamanda bireysel özgürlüğünün de gelişmesine ve çevreye bireysel olarak da bir fayda sağlanmasına katkıda bulunur. Ancak tüm bu belirtilen durumlar kişinin tek başına ve sesli bir kanal aracılığıyla iletişim kurması ile daha etkin bir biçimde sağlanabilmektedir. Kişi tek başına sesli bir şekilde çevresi ile iletişim kuramadığında ise kendi iletişimini sağlamak için başka bir kaynağa bağımlı hale gelmektedir. Kişinin bu iletişim kanallarının kapanmasına kas ve sinir sistemini etkileyen bazı hastalıklar neden olabilmektedir.

Bir hareketin yapılabilmesi için o hareketi sağlayacak ilgili kasların istemli bir şekilde kasılabilmesi gerekmektedir. Bu kasların kasılabilmesi için iki grup sinir hücresi görev yapmakta ve bu sinir hücrelerine özel olarak ‘motor sinirler’ adı verilmektedir. Bir hareket yapmak istendiğinde beyin ilgili bölümünde meydana gelen uyarı, birinci grup motor sinirler tarafından öncelikle omuriliğe ulaştırılır. Sonrasında, buradaki ikinci grup motor sinirler ise gelen iletiyi ilgili kasa ulaştırarak hareketin yapılmasını sağlar [1].

Bu iletimi sağlayan motor sinirlerin dejenerasyonu sonucunda bazı hastalıklar ortaya çıkmakta ve kişinin bireysel iletişim kanallarının kapanmasına sebep olmaktadır. Bu hastalıklardan bazıları, Amiyotrofik Lateral Skleroz (ALS), Multiple Skleroz (MS), Spinal Masküler Atrofi (SMA), Duchenne Musküler Distrofi (DMD)’dir.

ALS hastalığı, kas uyarımını sağlayan motor sinirlerde meydana gelen hasar neticesinde kas güçsüzlüğü ile seyreden bir hastalıktır [1]. Hastalık seyrinde kas erimesi ve omurilikte hasar meydana gelmektedir - Birinci ve ikinci grup motor sinirlerde meydana gelen hasara bağlı olarak kas ve sinir sistemi arasındaki iletişimin sağlanamaması sonucunda istemli kas kasılmaları bozulur ve hasta gücünü belirli bir oranda ya da tamamen kaybeder [1].

Hastalık nedeni tam olarak bilinmemekle birlikte genetik nedenler, viral enfeksiyonlar, otoimmün olaylar, glutamat fazlalığı, kurşun, civa ve alüminyum metallerin

intoksikasyonlarının risk faktörleri arasında bulunduğu ileri sürülmüştür [2]. ALS hastalarının gen yapısında 130'dan fazla değişiklik saptanmaktadır ve en fazla rastlanan genetik bozukluk ise süperoksit dismutaz (SOD) enziminin kodlandığı 21. kromozomda bulunan genin yapısal bozukluğudur. Glutamat sinirsel iletimde önemli bir rol oynamaktadır ancak fazlalığı ise sinir hücrelerine zarar vermekte bu durumda hastalığı dolaylı yoldan etkilemektedir. Otoimmün nedenler ise kişinin bağışıklık sisteminin sinir hücrelerini bir tehdit olarak algılaması sonucunda sinir hücrelerine saldırması ve bu hücrelerin ölümüne neden olmasıdır [1].

Bu hastalar için her başlangıç belirtisi birbiri ile aynı olmamaktadır. Kimi hastalarda kol ve bacaklarda güçsüzlük ile seyrederken kimi hastalarda ise konuşma ve yutma güçlüğü olarak kendini göstermeye başlar [1]. Ülkemizde toplam 6000-8000 ALS hastası olduğu tahmin edilmektedir, hastaların ortalama yaşları ise 50-60 yaş civarındadır. Yapılan bir araştırmaya göre ALS hastaları belirli bir kişilik profiline uymaktadır. Hastalar genellikle zeki, duygusal, mesleğinde yükselmiş ve yaratıcı insanlardır. Hastalık seyrinde kas güçsüzlüğünün kişileri hareketsiz kılmasına karşın hasta zihinsel ve entelektüel kabiliyetlerini korumaktadır [3]. Bu nedenle hastalar için iletişim daha önemli hale gelmekte ancak kişi konuşma güçlüğü çekmeye başladığı andan itibaren sesli iletişim kanalını kaybetmeye doğru gitmektedir. Bu sebeple yardımcı donanımlar ile kişinin iletişimi sağlanabilir hale getirilmelidir.

MS hastalığı, bağışıklık sisteminde meydana gelen bozukluk sonucu omurilik ve beyindeki sinirlerin etrafını saran miyelin tabakasının zarar görmesi ile oluşan bir hastalıktır. Bu tabaka merkezi sinir sistemi tarafından farklı organlara iletilen elektriksel mesajların taşınmasına yardımcı olmaktadır. Ancak zarar görmesi sonucunda iletimde aksamalar ve istemli kas hareketlerinin meydana gelmesinde sorunlar yaşanmaktadır [4]. Hastalık belirtileri plak adı verilen anormal bulguların sinir sisteminde yerleşimi ile ilişkilendirilmiştir. Örnek olarak omurilikte bulunan bir anormal bulgu kol ve bacaklarda uyuşukluklara ya da hareket kabiliyetinin sınırlandırılmasına neden olabilmektedir. Benzer şekilde konuşma ile ilgili bir sinirde meydana gelen anormal bulgu konuşma yeteneğinin kaybedilmesine sebep olabilmektedir.

Hastalık sebepleri; çevresel faktörler, etnik köken, kalıtım, genetik faktörler ve virüs etkisi olabilmektedir. Çevresel faktörlerden bazıları organik çözücülere maruz kalma ya da radyasyon etkisi olarak düşünülmektedir. Etnik kökenlerin hastalık üzerine etkisinden bahsedilirse, Kuzey Avrupa ve Kanada'nın kuzey bölgelerinde hastalık yüksek oranda görülürken, Ekvator bölgesinde düşük oranda görülmektedir. MS hastası aileden gelen

çocuklarda hastalığın görülme oranı, aynı yaş grubundaki kişilerle kıyas edildiğinde 7 – 10 kat daha fazladır [5].

Hastalığın kendi içerisinde üç evresi bulunmaktadır [4]. Bu evrelerin belirleyiciliği hastalık aktivitesi ve engellilik durumunun ilerleyişidir. Ataklarla seyreden bir MS hastalığında tam duruma yakın düzelme mevcutken progresif seyreden MS hastalığında ise engellilik durumunun sürekli hale geldiği ve düzelmenin mümkün olmadığı bir durum söz konusudur. Farklı tedavi yöntemleri ile hastalığın seyri hafifletilebilirken engellilik durumu oluşan hastalar için ise yaşam standartlarını arttırıcı palyatif çözüm yöntemleri üzerinde çalışılmaktadır.

SMA hastalığı, ALS ve MS hastalığından farklı olarak tamamen genetik faktörlerle ortaya çıkan kalıtsal bir nöro-müsküler hastalıktır [6]. Ebeveynlerin taşıyıcılık durumlarının farkında olmadan bebek sahibi olmak istediklerinde mutasyona uğramış iki genin birleşmesi sonucunda bebek SMA hastası olarak doğmaktadır.

Hastalığın temel nedeni ön boynuz motor sinir hücrelerin de meydana gelen deformasyon sonucunda istemli kas hareketlerinin kontrolünü sağlayan sinirler için gerekli olan protein üretiminin gerçekleştirilememesidir. Sinir hücrelerinin görevini yerine getirememesi ölümcül kas güçsüzlüğüne neden olurken, istemsiz kaslar bu hastalıktan etkilenmemektedir [6].

Hastalık belirtileri kişiden kişiye farklılık göstermektedir. En çok görülen belirti kas güçsüzlüğü ve atrofisidir. Farklı tipte hastalık seyir durumları vardır ancak genel olarak, baş kontrolünü sağlayamama, dil seğirmesi, bebeklerde görülen bir hastalık olduğundan yaşıtlardan geri kalma, oturamama ve yürüme yeteneği kaybı gibi tamamen sosyal hayatı etkileyen belirtiler göstermektedir. Bunlara ek olarak solunum, yutkunma, çiğneme fonksiyonlarında bozulma gibi belirtiler de gözlemlenebilmektedir [6].

Hastalığın henüz tam olarak bir tedavisi bulunmamaktadır. Ancak belirti azaltmaya ve hastanın yaşam kalitesini arttırmaya yönelik bakımlar ve birtakım donanımlar üzerinde çalışılmaya devam edilmektedir [7].

DMD hastalığının nedeni kas için gerekli temel proteinlerden birinin eksik olmasıdır. Bu protein yokluğunda kas dokusu giderek zayıflar ve bu doku kaybının yerini yağ dokusu doldurur. Hastalık yalnızca erkek çocuklarda görülmektedir [8].

Hastalığın belirtileri genel olarak erken yorgunluk, merdiven çıkma, yokuş çıkma gibi aktivitelerde zorlanma şeklinde görülmektedir. Kalça ve omuz çevresi kaslarda başlayan zayıflama ilerler ve karın - sırt kaslarının zayıflaması sonucunda ise öne doğru eğilerek yürüme başlar [8]. Hastalar 9 - 11 yaşları arasında yürüme yeteneğini kaybederek

engelli konumuna gelirler. Sonrasında ise kol kaslarının zayıflaması ile bulgular devam eder. Bulgulara göre hastalık, 20 yaş civarında hastanın kaybı ile sonlanır.

Hastalık tedavisi için diğer hastalıklarda da olduğu gibi hastanın yaşantısını iyileştirici şekilde, yapabildiği kadar fiziksel aktivitelerini arttırıcı bakımlar bulunmaktadır. Ancak bunlar arasında en önemlisi kök hücre çalışmalarıdır [9]. Tedavinin temel amacı hastanın dejenere olmuş olan sinir hücresinin kök hücre yardımı ile tekrar oluşturulması ve sonrasında kişiye transferi ile devam eden bir tedavi yönteminin uygulanmasıdır.

Yukarıda bahsedilen hastalıklar ve iletişim konusu göz önüne alındığında kişi için hastalık hali başlı başına bir problem oluşturmaktadır. Hastalık sonucu eklenen hareket yeteneğinin kısıtlanması, iletişim problemlerinin oluşması ve hastaların bakımını sağlayan kişiler için de belirli bir oranda yaşam kalitesinin düşmesi durumu, bu tez çalışması için motivasyon kaynağı olmuştur.

Buna bağlı olarak, tez için öne sürülen problem engellilik hali sonucu uzuvlarının istemli kas hareket kabiliyetlerini kaybeden ancak yalnızca göz kaslarını hareket ettirebilen kişilerin ve bu kişilerin bakımını sağlayan hasta bakıcıların yaşam kalitesini artırarak, hastaların dış dünya ile daha kolay iletişim kurabilmesini sağlayan bir sistem oluşturulmasıdır.

1.2. Benzer Çalışmalar

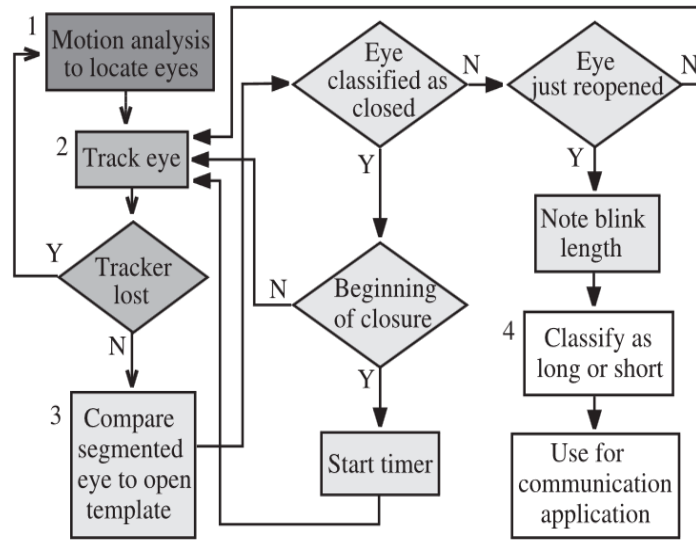
Engelli bireylerin dış dünya ile iletişim kurabilmesinin sağlanması adına literatürde çok fazla çalışma yapılmış ve bu konuda çok fazla çaba sarf edilmiştir. Bu çalışmalardan bazılarında [10], [11], [12] insan bilgisayar iletişimi ile bir bağ kurulmaya çalışılırken bazılarında [13], [14] ise donanımsal bir kontrol ile iletişimin sağlanması amaçlanmıştır.

2001 yılında Grauman ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada [10], kişinin göz kırpma hareketlerinin ve sürelerinin otomatik olarak algılanmasını sağlayan gerçek zamanlı bir sistem üzerinde çalışılmıştır. Bilgisayarla görü sisteminin geliştirilmesinin amacı, farklı sebeplerden dolayı klavye ve fare gibi donanımsal cihazları kullanamayan kişilerin, alışılmışın dışına çıkılarak bilgisayarlar ile doğal iletişim ipuçlarını kullanarak (mimikler ve göz takibi gibi) işlem yaptırabilmesidir.

Sistem dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde göz hareketleri analiz edilerek gözün konumunun bulunması, ikinci bölümde göz takibinin sağlanması, üçüncü bölümde göz kırpmanın algılanması ve uzunluk ölçümlerinin yapılması ve son olarak da elde edilen verilerin yorumlanması sağlanmaktadır. Sistemin genel yapısı Şekil 1.1.'de gösterilmiştir.

Sistem, farklı girdiler alarak engellilik derecesi farklı olan bireylerin bilgisayara erişimini sağlamaktadır. Sistem içerisinde istemli ve istemsiz göz kırpma hareketleri ayırt edilmiş, uzun istemli göz kırpma hareketleri bir fare tıklaması olarak anlamlandırılmış, istemsiz olanlar ise göz ardı edilmiştir. Sistem göz kırpma deseni ile ardışık bir dizi oluşturarak iletişim kurmaya ve kişinin anlamlı mesajlar verebilmesine olanak sağlamaktadır. Gözlerin yerleri sistem açıldığında ilk göz kırpma hareketi ile otomatik olarak belirlenmektedir. Sonraki durumlarda ise göz kırpma hareketinin takibi zaman içerisindeki korelasyon ile yapılmakta, bunun sonucunda meydana gelen değişiklikler otomatik olarak analiz edilerek gözün belirtilen sahnede açık mı kapalı mı olduğu belirlenmektedir.

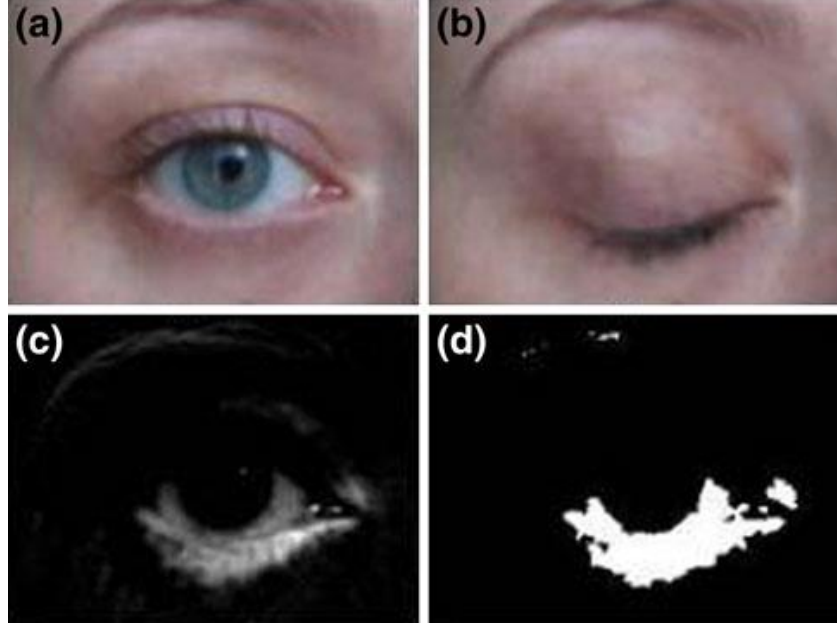
Sistem için manuel bir tanımlama, özel bir ışıklandırma ya da öncelikli olarak bir yüz algılamasının yapılması gerekmemektedir. Sistem interaktif oyunlarla test edilmiş ve sonucunda ise saniyede ortalama 28 sahnenin incelenmesi ile %95.6 oranında bir doğruluğa ulaşmıştır.



Şekil 1.1. Grauman tarafından yapılan çalışmanın metod adımları

2011 ve 2012 yıllarında yapılan çeşitli çalışmalarda [11], [12], diğer sistem ile benzer bir mantık kullanılarak istemli göz kırpma hareketlerinin anlamlandırılması sağlanmıştır. Sistem için kullanılan algoritmalar arasında otomatik yüz tanıma için Haar benzeri özellikler kullanılırken, şablon eşleştirme tabanlı bir takip ve göz kırpma hareketi algılama algoritması kullanılmıştır. Arayüz 12'si engelli olan 49 kişi tarafından test edilmiştir. Test içeriğinde bilgisayar ile iletişim kurabilmenin yanı sıra kullanıcının arayüz kullanılabilirliği hakkındaki fikirleri de alınmıştır. Kullanıcılar İngilizce ve Lehçe dillerde,

bir karakteri ortalamada 12 saniyeden az bir sürede girilebilmiş ve internet üzerinde arama yapabilmeleri sağlanmıştır. Uygulama ekstra bir ışık kaynağına sahip olmadan kişisel bilgisayar üzerinde dâhili bir web kamera ile çalışabilmektedir. Belirtilen sistem için göz kırpma hareketinin algılanma aşamaları Şekil 1.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Göz kırpma hareketinin resim farklarının ortalaması ile algılanması **a:** açık göz **b:** kapalı göz **c:** iki resmin farkı **d:** Eşik olarak belirlenen fark resmi.

Devam eden bir çalışmada ise [12] adaptif bir göz kırpma algoritması üzerinde çalışılmıştır. Bu algoritmanın ışık durumuna göre bir değişikliğe uğramaması ve temel görüntü işleme yöntemlerine uyması nedeni ile kullanışlı olduğu raporlanmıştır. Göz kırpmanın algılanmasındaki ilk adım gözün algılanmasıdır. Bu adımda maksimum büyüklükte bir yüz resmi alınarak gözlerin yerinin tespit edilmesi sağlanmıştır. Sonraki adımda ise gözlerin durumunun analiz edilmesi yer almaktadır. Sistem farklı test koşulları ile çalıştırılmış ve sonucunda %99.84 oranında bir doğruluğa ulaşmıştır. Göz kırpma hareketinin algılanması ise gerçek zamanlı uygulamaların durumuna uygun olarak 0.1milisaniye gibi bir sürede sağlanmıştır.

2015 yılında yapılan bir çalışmada interaktif bir e-posta sistemi geliştirilmiştir [15]. E-posta sistemi kişisel bilgilerin bulunduğu özgün bir ortam olduğundan gerek güvenlik açısından gerekse kullanım zorluğu sebebiyle engelli insanların kullanabileceği yetkinlikte değildir. Bu nedenle sistemde göz kırpma hareketlerinin algılanması ile engelli bireylerinde interaktif bir şekilde kullanabileceği bir sistem tasarımı üzerinde durulmuştur. Günümüzde Microsoft Outlook, Apple iMail gibi birçok karmaşık e-posta uygulaması

bulunmaktadır. Ancak bu uygulamaların dezavantajı karışık menüleri ve düşük etkileşimli olmalarıdır. Bu çalışmada güvenilir bir kullanıcı girişi ile daha interaktif ve kullanıcı dostu menülere sahip bir uygulama geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Sistem iki modülden oluşmaktadır. Modüllerden ilki, sistem güvenliğinin sağlanması adına oluşturulan bir kullanıcı girişi modülüdür. Bu modül de minimum hata oranı ve güvenilirliği sağladığından yüz tanıma metodu kullanılmıştır. Yüz tanıma yöntemi olarak, yüz ifadeleri ve ortam koşullarına en iyi şekilde adapte olan ve performanslı bir şekilde çalışabilen Fisher Algoritması kullanılmıştır. İkinci modül ise göz takibinin sağlandığı modüldür. Bu modül ile interaktif e-posta işlemleri sağlanmaktadır. Göz kırpma hareketinin algılanması ile e-posta yüklenmekte ve sonrasında ilgili e-posta işlemleri yapılabilmektedir. Bu modül için kullanılan metot, eşik tabanlı bir metottur. Bu metot gözün istemli ya da istemsiz mi kırıldığını algılayarak sistem için bir komut dizisi oluşturmaktadır. Önerilen sistem kişilerin e-postalarını daha hızlı bir şekilde kontrol etmesini ve herhangi bir araca dokunarak bu işlemin yapılmasındansa yalnızca gözlerle daha etkili bir şekilde e-posta işlemlerinin yapılmasını sağlamaktadır.

2018 yılında Hindistan'da yapılan bir çalışmada [16], ALS hastalarının konuşarak iletişim kuramamasından etkilenerek bir sistem oluşturulmuştur. Projenin amacı ALS hastaları için gerçek zamanlı bir iletişim sistemi tasarlamak ve geliştirmektir. Bir önceki çalışmalar ile benzer şekilde göz kırpma hareketinin anlamlandırılması ile bir cümle ya da bir mesajın sesli bir şekilde verilmesi amaçlanmıştır.

Sistem için önerilen metot beş basamaktan oluşmaktadır. İlk olarak resim iyileştirmesi yapılmaktadır. Bu işlem için MATLAB programlama ortamı kütüphanelerinde hazır olarak bulunan iyileştirme algoritmaları kullanılmıştır. İkinci adım ise resim üzerinde bir ön işleme çalışması yapılmasıdır. Ön işleme çalışmasındaki asıl amaç, bir sonraki resim işleme adımlarına geçilmeden önce istenmeyen bozulmaların ortadan kaldırılması ve resim verilerinin bir sonraki aşamada kullanımı için daha geçerli iyileştirmelerin yapılmasının sağlanmasıdır. Üçüncü adımda ise resim bölümlenmesi işlemi bulunmaktadır. Resmin bölümlenmesi işleminde ilgili metotlar kullanılarak resim parçaları oluşturulmaktadır. Bu işlem resim içerisindeki piksel karakteristiğine göre yapılmaktadır. Bir başka yöntem ise resim bilgisine ya da kenar durumlarına göre resmin bölümlenmesidir. Resim bölümlenme işleminden sonraki ve son adım ise genişletme ya da erozyon yöntemidir. Bu yöntem sonrasında istenilen resim elde edilerek anlamlandırılır ve sistem için bir girdi oluşturularak sistemin tepki vermesi sağlanır. Sistem içerisinde farklı

metodolojilerin üzerinden geçilmiş ve iyileştirme çalışmaları yapılarak belirtilen beş basamaklı sistem yapısı ortaya çıkarılmıştır.

1.2.1. Fisherfaces algoritması

İnteraktif bir e-posta sistemi geliştirilmesinde kullanılan [15] algoritma, Open Source Computer Vision Library (OpenCV) ve EmguCV’de kullanılan yüz tanıma algoritmalarından yalnızca birisidir. Sistemin herhangi bir yüz için kıyaslama yapabilmesi adına eğitilmesi gerekmektedir. Bu eğitime işlemi, tanınacak olan yüz için en az iki farklı açıdan çekilmiş resimlerin xml formatında bir şablon içinde tutulmasıyla sağlanabilir. Böylelikle sistem gelen veriyi şablonda kayıtlı olan veri ile kıyaslayarak doğruluk oranını arttırabilmektedir. Aynı mantık ile sistem ne kadar farklı açıdan resim ile eğitilirse doğruluğu o kadar yüksek olacaktır.

Buna bağlı olarak OpenCV’de farklı eğitim sistemleri ile çalışan üç algoritma bulunmaktadır. Bunlar, Eigenfaces, Fisherfaces ve Local Binary Pattern Histogram (LBPH) algoritmalarıdır. Eigenfaces algoritması, hafızada bulunan tüm resimlerin bir ortalamasını alır ve ortalama olarak meydana gelen resmin ortalama resim ile farkını bulur. Böylelikle her görüntü aslında diferansiyel bir görüntü olarak değerlendirilir. Fisherfaces algoritması, Eigenfaces algoritmasına kıyasla daha gelişmiş bir algoritmadır. Sebebi bir kişiye ait olan tüm fotoğrafları sınıflandırarak gelen fotoğrafın o sınıfa ait olup olmama durumuna göre değerlendirme yapmasıdır. Son olarak LBPH algoritması ise bir noktanın etrafındaki piksellerin yoğunluğuna göre oluşan örüntüler yaratır ve nesne arama işlemini bu örüntülere bağlı olarak sağlar. Şekil 1.3.’de OpenCV’de kodlanmış Eigenfaces algoritması örneği görülmektedir.

```
public string Recognise(Image<Gray, byte> Input_image, Int Eigen_Thresh = -1){
    if (_IsTrained){
        EigenObjectRecognizer.RecognitionResult ER = recognizer.Recognize(Input_image);
        if (ER == null){
            Eigen_label = "Unknown";
            Eigen_Distance = 0;
            return Eigen_label;
        }else{
            Eigen_label = ER.Label;
            Eigen_Distance = ER.Distance;
            if (Eigen_Thresh > -1) Eigen_threshold = Eigen_Thresh;
            if (Eigen_Distance > Eigen_threshold) return Eigen_label;
            else return "Unknown";
        }
    }
    else return "";
}
```

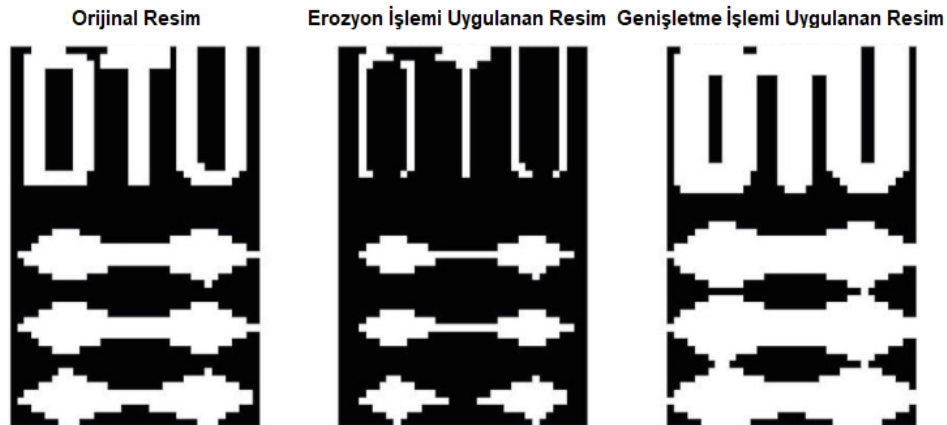
Şekil 1.3. OpenCv Eigenfaces örnek kodu

1.2.2. Genişletme ve erozyon yöntemleri

Genişletme ve erozyon teknikleri iki önemli morfolojik işlemdir. Morfolojik işlem, bir resmin şekli veya morfolojik özelliklerinden lineer olmayan operasyonlarının bütünüdür [16].

Genişletme, resim içerisindeki objelerin sınırlarına piksel eklenmesidir. Bu yöntem genellikle ikili (binary) resimlere uygulanır ancak, bazı çalışmalarda gri seviyeli resimlere uygulanabilirliğinden bahsedilmiştir. Genişletme operasyonunun ikili resimlerde ortaya çıkan temel özelliğı ön kısımda bulunan obje piksel bölgelerinin sınırlarını büyütmesidir. Böylelikle ön taraftaki piksellerin alanları büyürken bu bölgelerdeki boşluklar azalmaktadır. Genişletme işlemi genellikle girdi olarak verilen resim içerisindeki elementlerin şekillerini genişletmek için bir yapılandırma elementi kullanır. Genişletme işlemi görüntünün boyutunu değıştiren bir dönüşümdür. Skalar faktör ise görüntünün ne kadar uzadığı veya kısaldığıının ölçütüdür.

Erozyon, obje sınırlarındaki piksellerin kaldırılması işlemidir. Genişletme ile benzer olarak ikili resimlere uygulanmakta ancak gri seviyeli resimler için de uygulanabilirliği olduğı bilinmektedir. Operatörün ikili resimler üzerindeki temel etkisi, ön plandaki piksellerin sınırlarını daraltmaktır. Böylelikle genişletme ile ters olarak sınır bölgeleri küçülürken ön tarafta bulunana boşluklar büyümektedir. Erozyon işlemi girdi olarak iki veri kullanmaktadır. İlk veri erozyon işlemi yapılacak olan resimdir. İkincisi ise yapılandırmayı sağlayacak olan elementtir ve bu element koordinat noktalarını içeren bir veri setidir. Bu yapılandırma elementi, girdi olarak verilen resim üzerindeki erozyon etkisinin nasıl olacağını belirlemektedir. şekil 1.4.'te aynı resim üzerinde genişletme ve erozyon uygulamaları gösterilmiştir.



şekil 1.4. Genişletme ve Erozyonun resim üzerindeki etkisi

1.3. Amaç, Kapsam ve Tezin Genel Yapısı

1.3.1. Amaç ve kapsam

Bu tez kapsamında önerilen göz kırpma tabanlı iletişim sistemi, bilgisayar destekli bir sistem olup çeşitli engellilik halleri bulunan insanlar için tasarlanmıştır. Engellilik hali, sinir sisteminde meydana gelen hasarlardan dolayı istemli kas hareket yeteneğini kaybederek yalnızca göz kaslarını hareket ettirebilen kişileri kapsamaktadır.

Oluşturulan sistem kullanıcılarının yaşam kalitesini artırarak dış dünya ile daha kolay iletişim kurabilmeleri amaçlanarak tasarlanmıştır. Bu amaca uygun olarak kişilerin bakımını sağlayan hasta bakıcılar için, sesli mesaj özelliği ile kişilerin yanında olmasalar bile iletişim kurarak hastaların ihtiyaçlarının sağlanabilmesi amaçlanmıştır.

Tez kapsamında geliştirilen sistem, bilgisayar destekli bir iletişim sistemi olup göz kırpma hareketi prensibine dayandırılmıştır. Sistem kabiliyetleri içerisinde göz kırpma hareketi ile sanal bir klavye üzerinden mesaj yazımı yapılabilmektedir. Ayrıca, önceden tanımlanmış olan sesli kısa mesajların bulunduğu bir sanal alfabe kullanılması ile kişinin temel kısa mesajları verebilmesi sağlanmaktadır. Sağ ve sol gözün birlikte kullanılması sistemin, tek göz kırpma algılayarak çalışan diğer sistemlere kıyasla daha fonksiyonel olmasını sağlamıştır.

Tez kapsamında oluşturulan sistem uluslararası bir kongrede sunulmuştur. GÖKTİS için hazırlanan bildiride, problem tanımı, benzer çalışmalar, kullanılan yöntemler ve ön hazırlık testlerinden bahsedilmiştir. Ön hazırlık testleri sonucunda sistem doğruluğunun tatmin edici düzeyde olduğu belirtilmiştir [17].

1.3.2. Tezin genel yapısı

Engelli bireyler için Göz Kırpma Tabanlı İletişim Sistemi'nin önerildiği bu tezin ilk bölümünde (Bölüm 1.1.) çalışmanın motivasyonu ve problem tanımı ile bu problemin ortaya atılmasına sebebiyet veren hastalıklar açıklanmıştır. Önerilen yönteme benzer çalışmalar, ilgili kaynaklar ve bu çalışmaya altlık olan çalışmadaki yöntemler ise Bölüm 1.2.'de detaylı bir şekilde aktarılmıştır. Bölüm 1.3.'te ise çalışmanın amaç ve kapsamı açıklanmıştır.

İkinci bölümde problemin nasıl çözüleceğine dair önerilen yöntemin adımlarına ve bu adımlarda kullanılan yöntemlerin ayrıntılı açıklamalarına yer verilmiştir. Öncelikle problem çözümü için önerilen sistemin mimarisi ve sistem içerisindeki modül açıklamaları

anlatılmıştır (Bölüm 2.1.). Bölüm 2.2.'de sistemdeki, göz kırpmaya algılama modülünde hangi adımların uygulandığı ve bu adımlar ile ilgili açıklamalara ve sistemde bulunan alfabe modülünün hazırlanma aşamasında yararlanılan çalışmalara ve yöntemlere yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde tez kapsamında önerilen yöntemin değerlendirildiği veri kümeleri hakkında ayrıntılı bilgi ve bu veri kümelerinden örnekler verilmiştir. Kullanılan test verilerinin hangi yöntem ile hazırlandığından Bölüm 3.1.'de bahsedilmiş, örneklerle de yine aynı bölümde yer verilmiştir. Sistemin kimler üzerinde test edildiği ve test ortamının nasıl oluşturulduğundan ise Bölüm 3.2.'de bahsedilmiş, örneklerle de yine aynı bölümde yer verilmiştir.

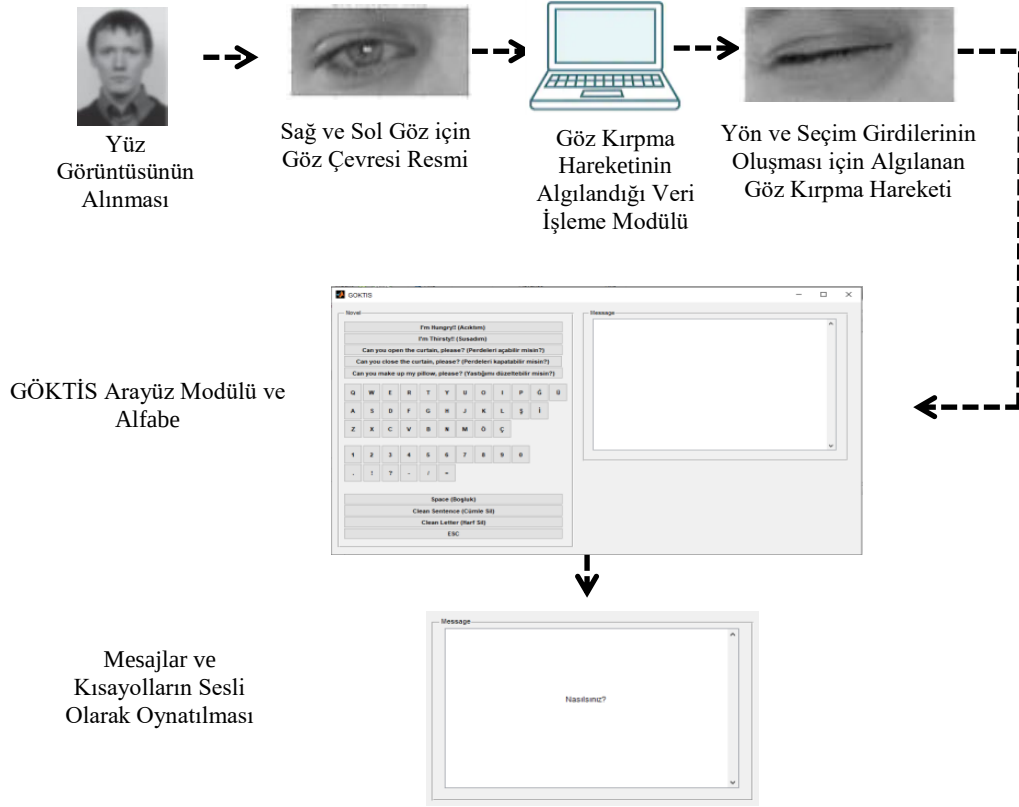
Dördüncü bölümün ilk kısmında tez çalışmalarının yapıldığı test ortamı ile ilgili sonuçlardan ve kişilerin sistem hakkında geri dönüş sağladığı kullanıcı yorumlarından (Bölüm 4.1.) bahsedilmiştir. Bölüm 4.2.'de önerilen yöntemin uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve bu sonuçlar bağlamındaki yorumlar ve tartışmalar aktarılmıştır.

Beşinci ve son bölümde tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların geliştirilmesi için planlanan gelecek çalışmalar aktarılmıştır.

2. ÖNERİLEN YÖNTEM

2.1. Sistem Mimarisi

Bu tez kapsamında tasarlanan engelli bireyler için göz kırpma tabanlı iletişim sistemi mimarisi Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. GÖKTİS sistem mimarisi

GÖKTİS sistemi genel olarak iki modülden oluşmaktadır. İlk modülde, görüntü işleme ve veri işleme yöntemleri kullanılarak bir sonuç oluşturulmakta olup, ikinci modülde ise ilk modülden çıkan sonucun girdi olarak verilmesi ile sesli veya yazılı bir uyarı ile arayüz etkileşimi sağlanmaktadır.

Sistem başladığında öncelikle veri işleme modülü ile yüz çevresi bulunmaktadır. Yüz ve göz çevresi resimlerinin çıkarımı için öncelikle Viola ve Jones algoritması [18], sonrasında ise Haarcascade sınıflandırıcıları [18] kullanılmaktadır. Belirtilen algoritma uygulamaları sonrasında şablon olarak kullanılacak resim oluşturulmaktadır. Şablon resim ve gerçek zamanlı veriler işlenerek göz kırpma hareketi analiz edilmektedir. Analiz işlemi sonucunda bir girdi oluşmaktadır. Analiz işlemi ise Korelasyon katsayısı (Correlation coefficient) değerlerinin sınıflandırılması ile yapılmaktadır. Bu girdi oluşturma işlemi,

zaman ve frekans parametrelerine bağılı olarak göz kırpmasının değeriendirilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır.

Elde edilen girdi ile GÖKTİS Arayüz modülü üzerinde imlecin hangi yönde hareket edeceği ya da herhangi bir seçim işleminin yapılıp yapılmayacağı belirlenmektedir. Sistem, yapılan testler ile arayüz kullanımı, istemli ya da istemsiz göz kırpmasının algılanma doğruluğu üzerinde test senaryoları oluşturarak sınanmıştır. Uygulanan işleme göre bireyin dış dünya ile iletişimi sağlanmış olmaktadır.

2.1.1. Göz kırpm hareketinin algılanması için veri işleme modülü

Bu modül masaüstü ya da dizüstü bilgisayara bağlanabilecek harici ya da dahili bir kamera ile çalışabilmektedir. Kameralar saniyede ortalama 30 kare işlemektedir. Bu modül, göz kırpm hareketlerinin algılanması ve analiz edilmesi için tasarlanmıştır. Otomatik olarak başlamakta ve yalnızca kişinin istemsiz göz kırpm hareketinin sıklığına bağılı olarak değışiklik göstermektedir.

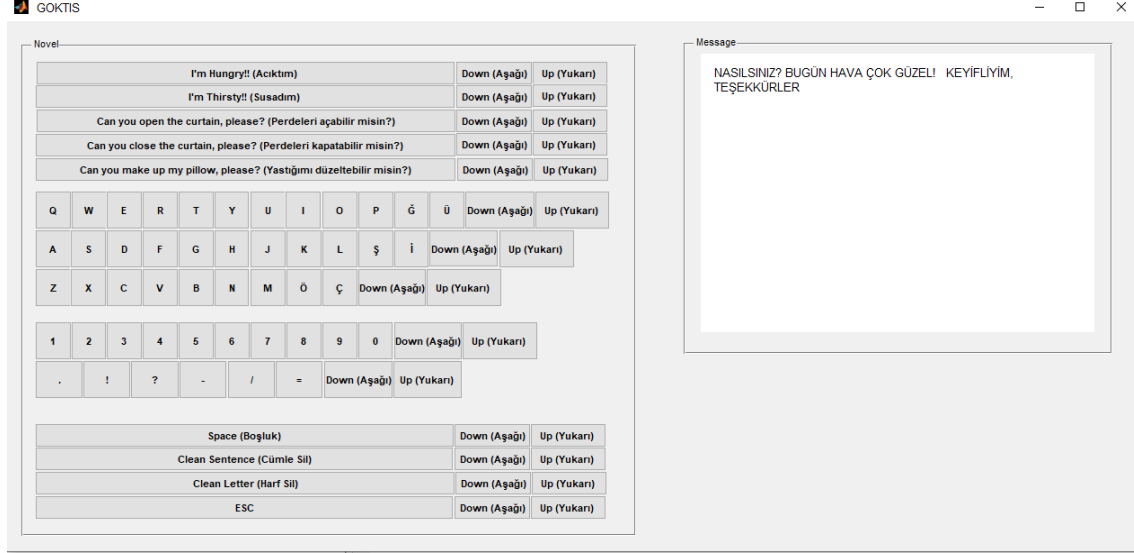
Modül, kullanıcının göz kırpması ile oluşan deseni ve zamanı kullanmakta ve bu veriler ile arayüz modülü için bir girdi oluşturmaktadır. Arayüz ise hareket yönü ya da sanal klavye üzerindeki bir seçim olarak çıktı üretmektedir.

2.1.2. GÖKTİS arayüz modülü ve alfabe

GÖKTİS arayüz modülü için tasarlanan alfabe Türkçe ve İngilizce karakterlerin tamamını içermektedir. GÖKTİS arayüz modülü ve alfabesini standart bir sanal klavyeden farklı kılan özelliğı, kişinin temel ihtiyaçlarını hızlı bir şekilde seslendirebilmesi amacıyla alfabe içerisine yerleştirilmiş ‘Susadım’, ‘Acıktım’ gibi belirteçlerin bulunduğu kısa yol tuşlarının varlığıdır. GÖKTİS arayüz modülü ve klavyesi Şekil 2.2.’de gösterilmiştir.

Arayüz kullanımı tıklanmak istenen karakterin veya kısa yol tuşunun bulunduğu satırın seçilmesi ile başlamaktadır. İki göz iki defa kısa aralıklar ile kapatılıp açıldığında sistem bu komutu bir sonraki satıra geç olarak algılamakta ve çalıştırmaktadır. Sağ ve sol göz kırpm hareketine göre ise sistem aynı satır üzerinde sağa ve sola hareket etmektedir. Eğer satır başı veya satır sonunda sağa sola hareket komutu verilirse hiçbir işlem yapılmamaktadır. İstenen karakter ya da kısa yol butonu üzerine gelinerek iki göz aynı anda bir kere kapatılıp açıldığında sistem seçme işlemi yapmaktadır. Eğer işlem bir karakter üzerinde yapıldıysa sistem mesaj kutusunun içine karakteri yazmakta ve yönlendirme işlemine kaldığı yerden devam etmektedir, eğer farklı olarak seçme işlemi

kısa yol butonu üzerinde yapıldıysa, sistem butona ait olan hazır mesajı sesli olarak oynatmaktadır. Benzer şekilde yönlendirme işlemine devam edilebilmekte ya da tekrar seçme işlemi yapılarak ses kaydı oynatılabilmektedir. Sistem içerisindeki mesaj kutusunda belirli bir karakter sınırlaması bulunmamaktadır. Silme işlemi sanal klavye üzerindeki sil butonları ile yapılmaktadır.



Şekil 2.2. GÖKTİS arayüz modülü ve alfabesi

Alfabe içerisindeki karakter dizilimi kişilerin önem sırasına göre oluşturulmuştur. Böylelikle kısa göz kırpmalı dizileri ile karaktere ulaşılması sağlanmıştır. Karakter diziliminden detaylı olarak Bölüm 2.2.2’de bahsedilecektir.

2.2. Yöntem Adımları

Sistemde mevcut olan modüller için uygulanan yöntem ve yöntem adımları aşağıdaki gibidir. Yöntem adımları, öncelikle gözün bulunması sonrasında göz kırpmalı hareketinin algılanması ve anlamlandırılması işlemlerine dayanmaktadır. Anlamlandırma sonucunda ise arayüze girdi olarak sağlanması ve arayüzde istenilen tepkinin oluşturulması adımları uygulanmaktadır.

2.2.1. Gözün bulunması ve göz kırpmalı hareketinin algılanması

MATLAB programlama ortamı kullanılarak yazılmış, göz kırpmalı hareketinin sahneler arasında geçişler ile algılanması için oluşturulmuş algoritma basamakları Şekil 2.3.’de gösterilmiştir.

Belirlenen algoritma, modülün göz kırpma hareketlerinin algılanması ve otomatik olarak analiz edilmesi için oluşturulmuştur. Temel olarak göz kırpmanın analiz edilebilmesi için ilk aşama kişinin gözlerinin bulunmasıdır. Gözlerin bulunması için öncelikle kişinin yüzünün bulunması gerekmektedir.



Şekil 2.3. Göz kırpma hareketi için görüntü işleme adımları

Yüz bulma işlemi zaman alıcı ve hesaplaması uzun süren bir işlem olduğundan yalnızca sistem başladığında ya da takip sırasında yüz kaybolduğunda tekrarlanmaktadır. Ek olarak, sistem gerçek zamanlı olarak çalıştığından seçilen yöntemin hızlı olması gerekmektedir. Hız ile anlatılmak istenen saniyede 30 kare işleyebilen bir mekanizma için her resimde 30 milisaniye gibi bir işlem süresinin olmasıdır. Başka bir açıdan değerlendirmek gerekirse, seçilen yöntemin hızının yanısıra doğruluğu da bir diğer önemli noktadır. Yöntem belirlenirken koşullara uyum sağlayabilen ve bunun yanında yüz bulma işleminde hata oranı düşük olan bir seçim yapılması gerekmiştir. Seçilen metot farklı ışık koşullarında, değişik mimiklerde, yüzün farklı görüntülerinde, saç ve sakal durum değişikliklerinde doğru olarak çalışabilmelidir. Belirtilen bu durumlar için sayıca çok fazla yüz tanıma algoritması bulunmaktadır. Bu algoritmalar dört ana başlık altında toplanmaktadır [26].

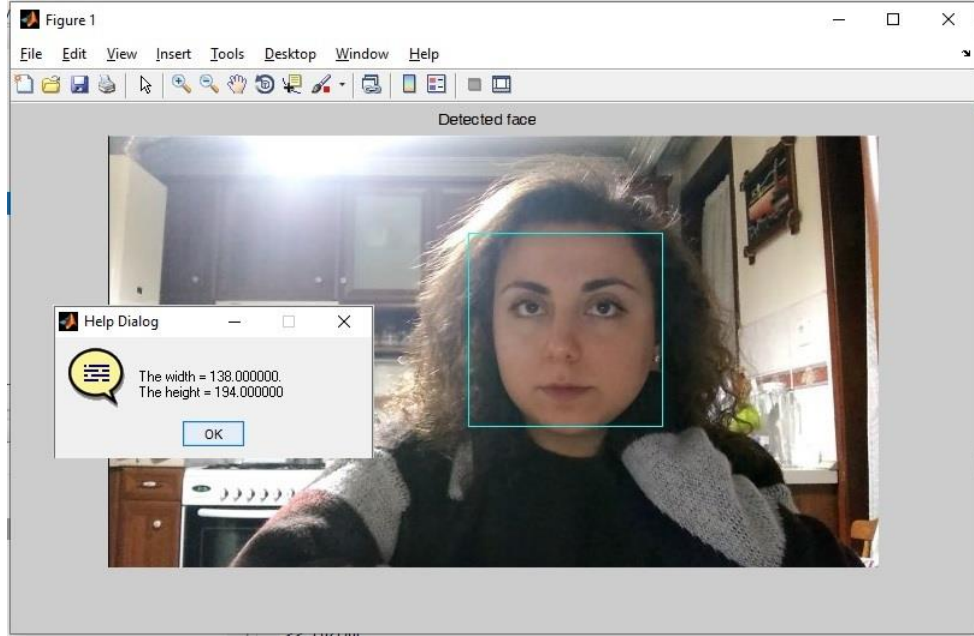
- **Bilgiye Dayalı Yöntemler:** Yüz simetrisinin belirlenmesi ve yüz özelliklerindeki geometrik ilişkilerin tanımlanabilmesi için basit kuralların oluşturulması temeline dayanmaktadır. Bu kurallar yüz üzerinde var olan özellikler arasındaki ilişkiler temel alınarak oluşturulur. Örnek olarak yüz görüntüsünün en temel özelliği, birbirine simetrik iki göz, bu iki göz ortasındaki burun ve bunların altında ise bir ağız olarak ifade edilmektedir. Gözlerin, burnun ve ağızın konumları yüzün tespit edilmesi için değişmeyen kurallar olarak kodlanabilir.

- **Özellik Tabanlı Yöntemler:** Bu yöntemler genel olarak, göz, ağız, burun ve ten rengi gibi yüzdeki belirtici nesnelerin bulunması temeline dayanan önerilen yöntemlerdir. Bu belirleyicilerin temel özelliği, yüzdeki poz, bakış açısı veya ışıklandırma koşulları değişse bile bu yapısal özelliklerin değişikliklerden etkilenmemesidir. Değişmeyen bu özellikler kullanılarak görüntüde yüz olup olmadığını bulmak adına çok sayıda metot öne sürülmüştür. Bazı yöntemlerde gözler, kaşlar, burun, saç ve ağız çizgisi gibi öznitelikler kenar algılayıcı algoritmalar ile çıkartılır. Sonrasında çıkarılan özellikler arasındaki ilişki tanımlanarak yüz olup olmadığını doğrulamak adına bir model oluşturulur [27].
- **Şablon Eşleştirme İle Kullanılan Yöntemler:** Girdi olarak verilen resim ile kaydedilen yüz deseni arasındaki korelasyon değerinin hesaplanması mantığına dayalı olarak çalışmaktadır. Belirtilen şablon bir bütün olarak tanımlanabileceği gibi, her yüz özelliği için ayrı ayrı tanımlama yapılması da mümkündür. Hesaplanan korelasyon değeri ile görüntüde yüz bulunup bulunmadığına karar verilir.
- **Model Tabanlı Yöntemler:** Nöral ağlar, Support Vector Machine (SVM) [28], Hidden Markov Model (HMM) [29] üzerinde algoritmaların eğitildiği yöntemlerdir. Oluşturulan eğitim setlerinden öğrenilen karakteristik bilgiler çoğunlukla bir dağılım modeli ya da diskriminant fonksiyonu ile ifade edilebilmektedir. Bu ifade işleminde yüz algılamadaki etkinliği sağlamak ve hesaplama işleminin verimliliğini arttırmak için boyut azaltma algoritmalarından yararlanılmaktadır. Yüz olan ve olmayan görüntüler ile ilgili karakteristik bilgilerin bulunması için makine öğrenmesine dayanan, SVM ve HMM algoritmalarından yararlanılmaktadır.

Geliştirilen algorithmada yüz bulma işlemi için yüksek performansından dolayı şablon eşleştirme tabanlı bir yöntem olan Viola - Jones algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma ile yüz bulma işlemi MATLAB içerisinde yapılan zaman ölçümü ile ortalama 0.359 saniyede gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, standart olarak sahne boyutları 360x640 olarak belirlenmiştir. Ancak belirlenen yüz bölgesine ait boyut, kişinin konumuna ve kamera karşısındaki duruşuna göre farklılık göstermektedir. Sahne içerisinde bulunan yüz görüntüsü ve ilgili boyuta ait örnek Şekil 2.4.'de gösterilmiştir.

Yüz tespiti başarılı bir şekilde gerçekleştirildikten sonra, takip eden adımda göz bölgelerinin bulunması işlemi yapılmaktadır. Bu işlemde yüz tespiti için kullanılan Haarcascade sınıflandırıcıları ile Viola - Jones algoritmasını temel alan nesne detektörleri

algoritması gözleri tespit etmek için yüz bölgesi üzerinde çalıştırılmıştır. Ancak ek olarak sistemde yüz için geometrik özelliklerden de yararlanılarak şablon resim netleştirilmeden önce bir sağlama mantığı kurulmuş ve her iki göz içinde ayrı ayrı şablon olarak kullanılacak resimler kontrol aşamasından sonra netleştirilmiştir.



Şekil 2.4. Yüz görüntüsünün bulunması ve boyutu

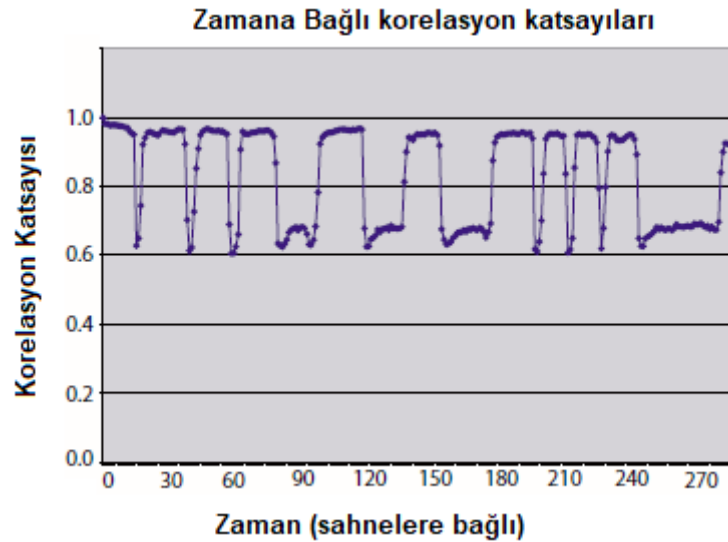
Sistem, kullanıcının gözünün açık olması ile ilgilendiğinden, eğer şablon görüntü kullanıcının gözünü kırptığı an yakalanırsa sonrasındaki işlemleri doğru algılayamayacaktır. Bu durumun önüne geçebilmek adına öncelikle gözün bulunduğu an bir zamanlayıcı tetiklenmektedir. Sonrasında az sayıda görüntü alınıp kişinin istemsiz olarak bir göz kırpma hareketi yaptıktan sonra gözünü açtığı an zamanlayıcı durdurularak şablon oluşturulmaktadır. Sistem başlangıcında kişinin normal aralıklar ile göz kırptığı varsayılmaktadır. Sonuç olarak göz şablonu oluşturma işleminde herhangi bir çevrimdışı şablona gerek yoktur ayrıca çevrimiçi olarak oluşturulan şablonlar daha önce oluşturulmuş olan şablonlardan bağımsız olarak çalışmaktadır.

Kontrol aşamasını geçerek şablon olarak kullanılması düşünülen resim ana resimden çıkartılır ve böylelikle göz takibinin sağlanması için her iki gözün açık haliyle ayrı ayrı şablon oluşturulmuş olur.

Şablon oluşturma işlemi sonrasında göz takibi ve göz kırpmanın algılanmasına yönelik basamaklar gelmektedir. Bu adımda normalize edilmiş çapraz korelasyon yöntemi kullanılmıştır.

Göz kırpmasının algılanması ve analiz edilebilmesi, bir önceki adımda kullanıcı için oluşturulmuş olan şablon ile hesaplanan korelasyon değerleri gözlemlenerek sağlanmaktadır [11]. Kullanıcının gözü göz kırpma sırasında kapalı olduğundan açık göz şablonu ile arasında hesaplanan değerde düşüş olacaktır. Benzer şekilde, göz kırpma tamamlanarak göz tamamen açıldığında hesaplanan korelasyon değerinde bir artış olacaktır. Bu düşüş ve yükselişler Şekil 2.5.'te gösterilmiştir. Şekilde gösterilen değerler göz kırpma olarak anlamlandırılarak ardışık şekilde sıralanırsa, üç kısa göz kırpma arkasına üç uzun göz kırpma ve sonrasında üç kısa göz kırpma ve son olarak bir uzun göz kırpma şeklinde bir dizilim elde edilir. Sistem içerisinde hesaplanan korelasyon değerleri ile algılanan göz kırpma hareketleri kullanıcı bağımlıdır. Bu nedenle sistem içerisinde oluşturulan şablon görüntü, sistem başladığında yenilendiğinden bir eğitim seti oluşturulmamıştır.

Kullanıcı, gözü normal bir seviyede açık olduğunda korelasyon katsayısı olarak 0.85 ile 1.0 arasında bir değer ölçülmektedir. Ancak kişi göz kırptığında bu değer 0.5 seviyelerine düşmektedir. Böylelikle açık ve kapalı göz arasındaki korelasyon katsayısı farkı 0.40 ile 0.45 civarlarında fark edilebilir bir hal almaktadır. Buna göre bu korelasyon katsayısı değeri hangi göz için düşüyse kırpılmış gözün o göz olduğu anlaşılmaktadır [11]. Sistem içerisinde eğer göz kaybedilir veya sistem kapatılırsa adımlar tekrarlanarak yeni bir şablon oluşturma ve korelasyon hesaplama işlemi yapılmaktadır.



Şekil 2.5. Sahneler arasında göz şablonu hesaplanmış korelasyon değerleri

Göz kırpmanın istemli veya istemsiz olduğunun anlaşılması için ek olarak bir zaman parametresinden faydalanılmıştır. Korelasyon katsayısı değeri düştüğünde bir zamanlayıcı

başlatılmış, değer yükselme eğilimi gösterdiğinde ise zamanlayıcı durdurulmuştur [11]. Gerçek göz kırpma hareketi ile karşılaştırıldığında ise aradaki farkın anlaşılmasını sağlayacak bir eşik değeri belirlenmiştir. Eşik değeri belirleme prosedürü olarak sahnelerin kare kare (frame by frame) analizi yapılmış ve böylece bu değerinin 200 ms olmasına karar verilmiştir.

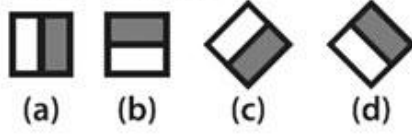
Belirlenen eşik değerinin de sisteme dahil edilmesi ile Şekil 2.3.'de belirtilen göz kırpma hareketi için görüntü işleme adımları tamamlanmış, hangi gözün kırıldığı ile ilgili bilgi sistem tarafından tespit edilmiştir. Bu bilgi bir sonraki aşama için arayüz ve alfabe modülünde hangi işlemin yapılacağına ait girdi bilgisi olarak kullanılacaktır.

2.2.1.1. Viola - Jones algoritması

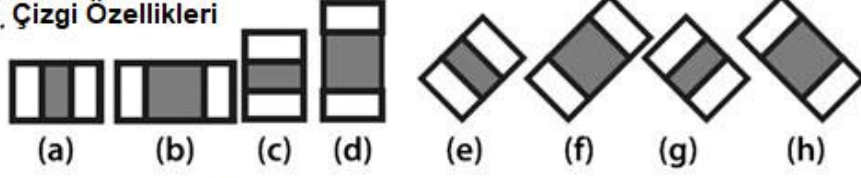
Yüz belirleme çalışmalarında literatürde yüksek performanslı olarak tercih edilen en verimli yöntem Viola - Jones algoritmasıdır. 2004 yılında Viola ve Jones yüz görüntülerinin ön cepheden algılanabilmesi için Haar dalgacık şablonları benzeri dikdörtgen özellikleri kullanan ve öğrenme algoritması temeline dayanan güvenilir ve aynı zamanda hızlı sonuç verebilen bir yüz belirleme yöntemi geliştirmişlerdir [18]. Viola ve Jones tarafından geliştirilen sınıflandırıcılar, video kareleri üzerinde gerçek zamanlı yüz tespiti imkânı sağlamaktadır. Viola - Jones algoritmasının tercih edilmesindeki başka bir önemli sebep ise yüzün ön cepheden görüntüsünün tespitinde olan başarısıdır. Algoritma, integral resim, AdaBoost öğrenme algoritması ve Haar-Cascade sınıflandırıcı algoritması ile üç temel bölümden oluşmaktadır.

Haar-Cascade sınıflandırıcıları algoritmasında Şekil 2.6.'de gösterilen şablonlar farklı boyut ve yönlerde resim üzerine uygulanır. Bu özellik prototipleri kenar, çizgi ve merkez noktasına uygulanan şablonlar olarak üç grupta incelenebilmektedir. Her şablon iki, üç veya dört siyah-beyaz dikdörtgenden oluşmaktadır.

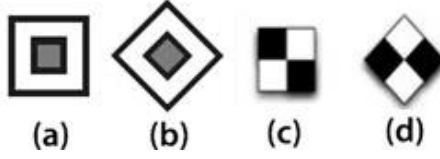
1. Kenar Özellikleri



2. Çizgi Özellikleri

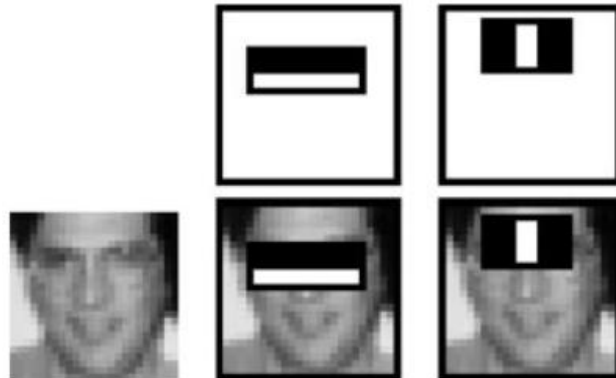


3. Merkez Odaklı Özellikler



Şekil 2.6. Obje bulma için kullanılan dikdörtgen şablonlar

Şekil 2.6.'te 1 numara ile belirtilen kenar özelliklerinde iki bölgeden oluşan şablonlar için özellik değeri, belirtilen bölgelerin kendi içindeki piksellerin toplamı arasındaki farka eşit olurken, çizgi özellikleri yani üç bölgeli özelliğin değeri dıştaki beyaz bölgenin piksel toplamının merkezde bulunan siyah bölgedeki piksellerin toplamından çıkartılması ile elde edilmektedir. Son olarak merkez odaklı, dört bölgeli, özellikler için çapraz olarak dikdörtgen çiftleri arasındaki fark ile değer hesaplanmaktadır. Belirtilen dikdörtgen özelliklerin iki ve üç bölgeli olanlarının yüz üzerine uygulanması Şekil 2.7.'da gösterilmiştir. Detaylı olarak verilen şablon için hesaplanan özellik değeri, siyah dikdörtgen altında kalan piksellerin yoğunluğunun ağırlıklı ortalaması ve tüm maskenin uygulandığı piksellerin yoğunluğunun toplamı şeklindedir.

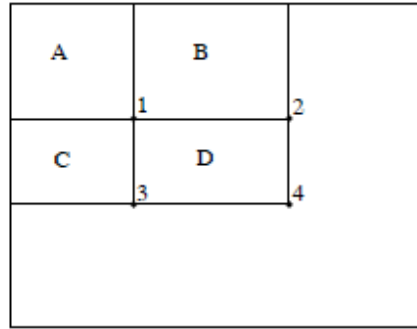


Şekil 2.7. Dikdörtgen şablonların yüz üzerine uygulanması [18]

Bu sınıflandırıcı algoritması bir video karesi içerisinde ya da dijital bir görüntüdeki belirli bir nesnenin tespit edilmesi amacı ile kullanılmaktadır. Algoritma verimliliği için ilk adım integral resmin üretilmesidir. İntegral resim $ii(x, y)$ ile ifade edilmektedir. (x, y) resmin konumlandığı noktayı ifade etmektedir. İntegral resim bilgisi Eşitlik 2.1’de verilmiştir.

$$ii(x, y) = \sum_{\substack{x' \leq x \\ y' \leq y}} i(x', y') \quad (2.1)$$

Denklemden $i(x', y')$ ifadesi girdi olarak verilen resimdir. İntegral resim (x, y) koordinatlarının üstündeki ve sol tarafına doğru olan piksellerin toplamıdır. Temel olarak elde edilen integral görüntüsünde bulunan her piksel kendisinin solunda ve üstünde bulunan tüm piksel değerlerinin toplamından oluşmaktadır.



Şekil 2.8. İntegral görüntü uygulanması [18]

Örneğin Şekil 2.8. için 1 numaralı bölgedeki integral görüntünün değeri A bölgesindeki tüm piksel değerlerinin toplamına eşitken, 2 numaralı bölgedeki integral görüntünün değeri A ve B bölgesindeki piksel değerlerinin toplamına eşit olmaktadır. Benzer olarak 3 numaralı bölgedeki integral görüntü değeri A ve C bölgelerindeki piksellerin toplamı değerinde 4. Konumdaki integral görüntü değeri ise A,B,C,D bölgelerindeki piksellerin toplam değerine eşit olmaktadır. İntegral resim alma işleminden sonra algoritma için karar verme mantığı Eşitlik 2.2 ve 2.3’de gösterilmiştir.

$$C_m = \begin{cases} 1, & \sum_{i=0}^{I_m-1} F_{m,i} > \theta_m \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (2.2)$$

$$F_{m,i} = \begin{cases} \alpha_{m,i}, & \text{eger } f_{m,i} > t_{m,i} \\ \beta_{m,i}, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (2.3)$$

Belirtilen karar verme mantığında kullanılan özelliklerden $f_{m,i}$ integrallerin ağırlıklı toplamı, aynı zamanda seçilen i . belirleyici için bir karar verme noktasıdır. $\alpha_{m,i}$ ve $\beta_{m,i}$ ise i . belirleyici ile bağlantılı bir sabittir. $\theta_{m,i}; m$. sınıflandırıcı için bir karar verme noktasıdır [19].

Viola - Jones algoritmasında integral görüntü hesabı yapıldıktan sonra, potansiyel olan özelliklerin bulunduğu geniş bir kümeden daha az sayıda olan önemli özelliklerin seçilmesi için AdaBoost öğrenme algoritması kullanılarak etkili ve basit bir sınıflandırıcı oluşturulmuştur [18]. Boosting yönteminde her döngü sağlandığında örneklerin sahip olduğu seçilme olasılıkları güncellenmektedir. Bu yöntem doğru verilen kararlardan çok, yanlış verilen kararlar üzerine odaklanılmasına neden olan bir metot olmasını sağlamaktadır. Böylelikle sistem adına daha doğru bir karar mekanizması kurmayı sağlamaktadır. Öğrenme algoritmasının kullanacağı sınıflandırıcı; eğitim veri seti, içerisinde bulunması istenen nesnelerin olduğu pozitif resimler ve bu nesnenin bulunmadığı negatif resimlerden oluşmalıdır. Pozitif resim içerisinde bulunan nesneyi tespit amacı ile Şekil 2.6.'de görülen şablonlar tüm resim boyunca kaydırılarak nesne taraması yapılır. Tüm resim içerisinde bu şablonların kaydırılarak pozitif ve negatif bölgelerin taranması çok zaman alıcı bir yöntemdir. Bu nedenle AdaBoost algoritmasından yöntem içinde yararlanılarak hızlandırma sağlanmıştır.

AdaBoost algoritması, zayıf sınıflandırıcılar ile oluşturulmuş bir küme üzerinde çalışmaktadır. Bu zayıf sınıflandırıcılar veri seti içerisindeki özelliklerden oluşmaktadır. Küme içerisindeki bu sınıflandırıcıların karar mekanizmaları her bir özellik için pozitif ve negatif örneklerin ağırlıklı ortalamasının hesaplanması ile bulunur. Hata oranı en düşük olan sınıflandırıcı kullanılarak güçlü olan bir sınıflandırıcı oluşturulur. Bu yöntem ile arama yapılan veri içerisinde yer almayan zayıf sınıflandırıcılara ait özellikler veri kümesinden elenmiş olur. AdaBoost yönteminin sözde kodu şu şekildedir [20]:

Adım 1: Veri setinde bulunan n adet örnek $\{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$ şeklinde verilsin. $y_i \in \{-1, +1\}$, $x_i \in X$ tanımlamasında x_i , her bir örneğin sınıf etiketi; y_i ise regresyon algoritmasının verdiği karardır. Pozitif örnekler için $y_i = +1$, negatifler için $y_i = -1$ olsun.

Adım 2: a pozitif örneklerin, b de negatif örneklerin sayısı olmak üzere $n=a+b$ 'dir.

Ağırlıklar $w_{1,i} = \frac{1}{2}b$, $\frac{1}{2}l$ olacak şekilde her $y_i \in \{-1, +1\}$ için ilklendir.

Adım 3: i döngü sayısı olmak üzere, her bir $t=1, \dots, i$ için:

a. Ağırlıklar normalize edilir: $w_{1,i} \leftarrow \frac{w_{1,i}}{\sum_{j=1}^n w_{1,j}}$

b. Veri setinde bulunan her bir j özniteliği için, sadece bu j özniteliğini kullanan her bir h_j sınıflandırıcısı eğitilir. Hata oranı w_t ağırlığına göre şu şekilde ölçülür:

$$\varepsilon_j = \sum_i w_i |h_j(x_i) - y_i|$$

c. En az ε_j hatasına sahip h_t sınıflandırıcısı seçilir.

d. Ağırlıklar $w_{t+1} = w_{t,i} \beta_t^{1-e_i}$ işlemi ile güncellenir.

Burada x_i doğru bir sınıflandırma yaptıysa $e_i = 0$, eğer yanlış bir sınıflandırma yaptıysa

$$e_i = 1 \text{ olur. } \beta_t = \frac{\varepsilon_t}{1 - \varepsilon_t} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Adım 4: $\alpha_t = \log\left(\frac{1}{1 - \beta_t}\right)$ olarak alındığında $h(x)$ sınıflandırıcısının son durumu Eşitlik

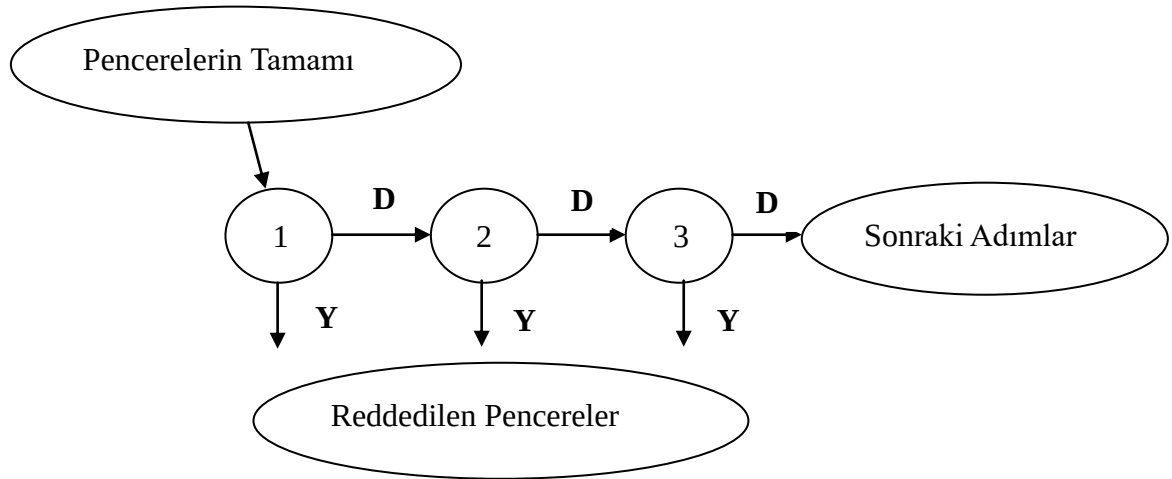
2.4 gibi olur:

$$h(x) = \begin{cases} 1, & \sum_{t=1}^I \alpha_t h_t(x) \geq \frac{1}{2} \sum_{t=1}^I \alpha_t \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (2.4)$$

AdaBoost algoritması, bir D dağılımına bağlı olarak mevcut eğitim seti içerisindeki zayıf sınıflandırıcıları belirlemektedir. Bahsedilen D dağılımı algoritmanın eğitim setinde var olan her bir örnek için oluşturduğu katsayı kümesidir. Algoritma her eğitim seti için eşit bir D dağılımı ile çalışmaya başlamaktadır. Her döngü sonrasında elde edilen performansa bağlı olarak en iyi olan zayıf sınıflandırıcı tahmin edilmektedir. En sonunda eğitim seti için belirlenen katsayı güncellenerek yeni dağılım fonksiyonu oluşturulmaktadır. Devam eden her döngüde güncellenmiş ağırlıklarla, en az hatayı

verebilecek yeni bir zayıf sınıflandırıcı seçilir. Zayıf sınıflandırıcı seçilmesinin temel amacı, önceki denemelerde yanlış sonuç çıkaran örneklerde daha az hata yapan farklı bir özelliğin bulunabilmesidir. Böylelikle farklı hatalar için özelleşmiş zayıf sınıflandırıcıların tümü birleştirilerek nihai bir sınıflandırıcı oluşur. Hedeflenen doğru tespit ve yanlış sonuç oranlarına ulaşıldığında ise özellik ekleme durdurulur. Böylelikle güçlü bir sınıflayıcı elde edilmiş olur [21].

Viola - Jones algoritmasının AdaBoost adımıdan sonraki aşamasında ise belirlenen sınıflandırıcıları art arda birleştiren bir kaskat (cascade) yapı oluşturmaktır. Bu yapıda görüntünün arka planı çıkartılarak yüz olma olasılığı yüksek olan bölgelerde yoğunluklu olarak hesaplama yapılmasına olanak tanır. Böylelikle görüntüde yüz olma olasılığı yüksek olan noktalara odaklanan detektörün hızında beklenen yönde artış sağlanmış olur [18]. Açıklanan kaskat sınıflandırıcı yapısı Şekil 2.9.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Basamaklı sınıflandırıcı yapısı

İlk sınıflandırıcıdan gelen olumlu sonuç bir sonraki sınıflandırıcıyı tetikler. Ancak bu sınıflandırıcı da yüksek tespit oranı için seçilmiş bir sınıflandırıcıdır. İlk sınıflandırıcıdan farkı ise ilk sınıflandırıcının eleyemediği yanlış artıları elemek üzerine seçilmiş olmasıdır. İkinci sınıflandırıcıdaki olumlu sonuç ise üçüncü sınıflandırıcıyı tetikler ve süreç bu şekilde devam eder. Sonrasındaki birkaç aşamadan sonra yanlış sonuç oluşturan pencereler büyük ölçüde azalır. Bir noktada çıkan negatif sonuç o pencerenin reddine sebep olur. Bu basamaklardaki sınıflandırıcılar AdaBoost algoritması ile eğitilmiş sınıflandırıcılardır.

Viola ve Jones, bu üç basamaklı çalışma ve Haar benzeri özellikleri kaskat mantığı ile hızlandırarak yüz belirleme çalışmalarında önemli bir aşama kaydetmiştir.

2.2.1.2. Göz şablonu oluşturma yöntemleri

Yüz tespitinden sonraki adım gözlerin konumlarının bulunarak şablon resmin oluşturulmasıdır. Bu işlem için iki tip yaklaşım üzerinde çalışılmıştır. Bunlar görünüm tabanlı metotlar ve geometrik özellik tabanlı metotlardır.

Görünüm tabanlı metotlar görüntü filtreleri ve şablonları ile amacına göre bütün bir yüze veya yüzdeki belirli bölgelerdeki özelliklerin tespit edilmesi ve bir vektörün çıkartılması için uygulanır. Buna bağlı olarak yüz tespitinde kullanılan Viola - Jones algoritması mantığı bu özellik üzerine kurulmuş ve göz şablonlarının çıkartılması için Şekil 2.5.'de 1.b maddesinde gösterilen şablon her göz için ayrı ayrı çalıştırılmıştır.

Geometrik özellik tabanlı yöntemlerde ise kaşlar, ağız, göz ve burun yerleşimi bulunmaktadır. Yüz geometrisini temsil eden bir özellik vektörü ve bu özellik vektörünün yüz özellik noktalarından çıkartılan formudur.

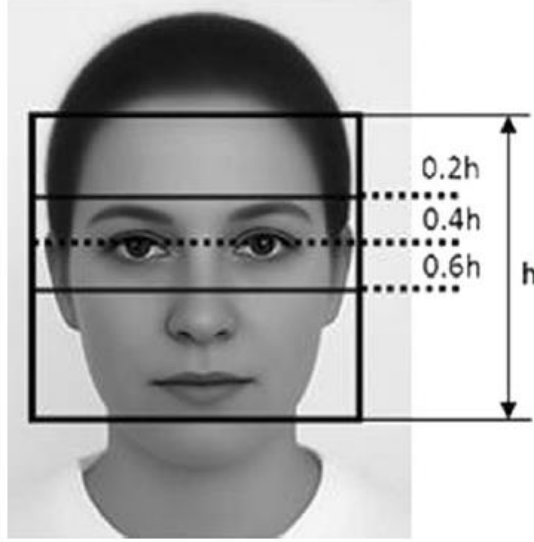
Bedensel oranlarda olduğu gibi yüz için de genel olarak doğru kabul edilen belirli oranlar vardır. İnsan yüzünde yer alan altın oranlardan bazıları [23]:

- Yüzün boyu / Yüzün genişliği,
- Dudak-kaşların birleşim yeri arası / Burun boyu,
- Yüzün boyu / Çene ucu-kaşların birleşim yeri arası,
- Ağız boyu / Burun genişliği,
- Burun genişliği / Burun delikleri arası
- Göz bebekleri arası / Kaşlar arası

Yüz ile birlikte baş bölgesindeki oranlar ise;

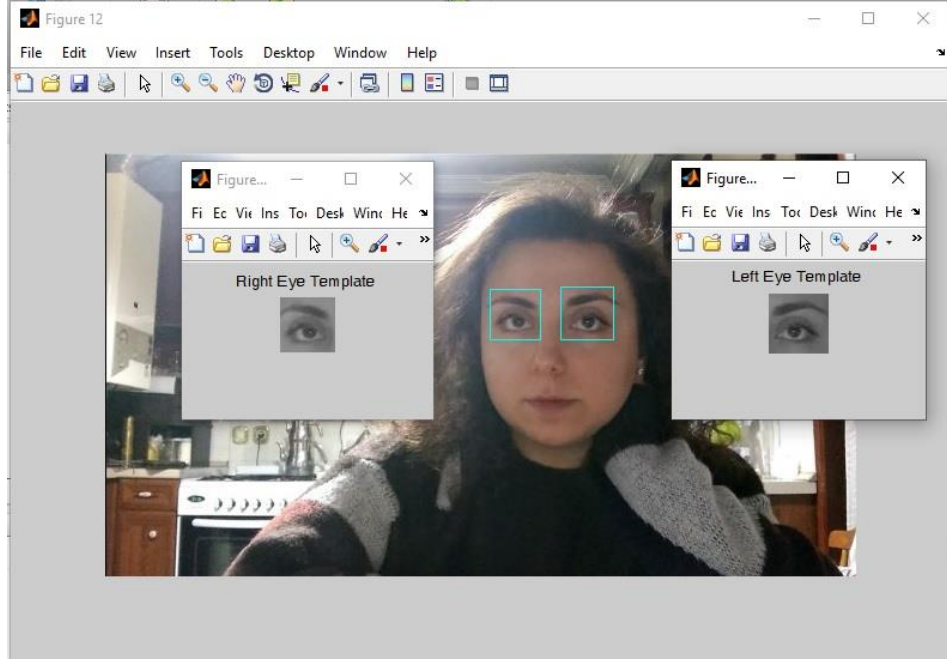
- Ağız, çene ve burun genişliği neredeyse aynıdır.
- İnsan gözleri baş yüksekliğinin tam ortasında yer almaktadır.
- İki göz arasındaki uzaklık bir gözün uzunluğu kadardır.
- Her bir gözün genişliği yüz genişliğinin 2/5 katı kadardır.

Belirtilen yüz geometrisi özellikleri temel olarak Şekil 2.10.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Yüz geometrik özellikleri [11]

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen her iki yöntem de uygulanmıştır. Özelliklerin çıkarımı için öncelikle görünüm tabanlı olan ve yüz tespiti için de kullanılan Haar sınıflandırıcılar kullanılarak gözler bulunmuştur. Bir Haar sınıflandırıcı özelliği bulunduğunda siyah renkli bölgedeki piksellerin ortalama değerinden beyaz renkli bölgedeki piksellerin ortalama değeri çıkartılarak eşik değeri ile karşılaştırma yapılmıştır. Sonrasında yüzdeki geometrik oran bilgilerinden yararlanılarak gözlerin tespiti sağlanmıştır. Bu tespit işleminde iki göz arasındaki mesafede ve gözlerin baş yüksekliğine göre olan konumundan yararlanılmıştır. Bu işlemin MATLAB üzerinde zamansal ölçümü yapılarak 0.625 saniyede tamamlandığı belirlenmiştir. İşlem sonucunda elde edilen şablon görüntüleri Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Yüz görüntüsünden seçilmiş gözler ve oluşturulmuş şablon görüntüleri

2.2.1.3. Normalize edilmiş çapraz korelasyon yöntemi

Belirtilen yöntem iki resim ya da iki sinyal arasındaki benzerliğin hesaplanabilmesi için oluşturulmuş bir yöntemdir. Uygulamalarda hesaplanan fark ya da oran +1 değerine yakınsa bu sinyal ya da resimlerin birbirine çok benzer olduğu kabul edilmektedir.

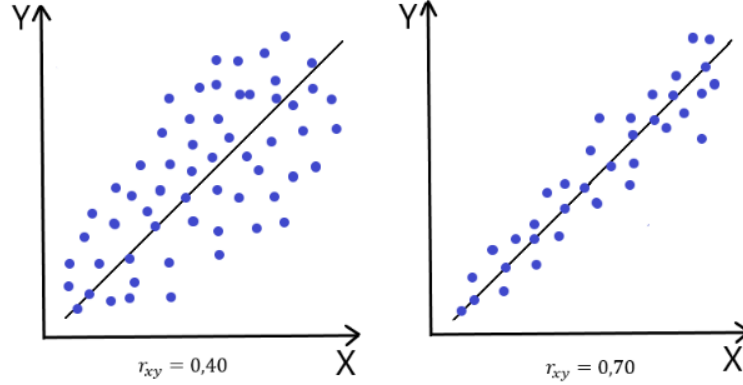
Korelasyon katsayısı lineer ilişkileri açıklamaktadır. Değer aralığı olarak +1 ve -1 aralığında modellenmektedir. Korelasyon katsayısı +1 olan bir durumda tüm noktalar bir doğru üzerinde bulunmaktadır. Bu x ve y'nin birbirine pozitif yönde bağımlı olduğunu göstermektedir. Korelasyon katsayısının -1 olması durumunda ise tüm noktalar yine bir doğru üzerine dizilmektedir ancak bu durumda x ve y birbirine negatif yönde bağımlı olmaktadır. Bu bağımlılık x değeri artarken y değerinin azalmasıdır. Korelasyon katsayısının 0 olması durumunda ise bir ilişkiden bahsedilmemektedir.

Bu değerlere göre tam uyum ile anlatılmak istenen korelasyon katsayısının +1 olması durumunda oluşturduğu 'best fitting' doğrusu ise, ara değerler için nokta dağılımı dikkate alınmaktadır. Dağılım Şekil 2.12.'da gösterilmiştir. Buna bağlı olarak iki değişken arasındaki ilişkinin korelasyon katsayısı ile derecelendirmesi yapılırsa;

- 1.00 → Tam benzerlik
- 0.80–1.00 → Çok yüksek oranda benzerlik
- 0.60–0.80 → Yüksek benzerlik
- 0.40–0.60 → Orta derecede benzerlik

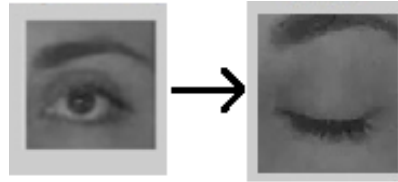
- 0.20–0.40 → Az benzerlik
- 0.00–0.20 → Çok az benzerlik

şeklinde bir derecelendirme yapılmıştır.



Şekil 2.12. Korelasyon katsayısına bağlı dağılım grafikleri

Hesaplama yapılmadan önce uygulanan normalizasyon işleminin amacı, aralarındaki oran ya da farkı 1'e yakın olan sinyallerin bu değişikliklerinin korelasyon değerine olan etkisini yok etmektir. Bu işlem resimlerdeki ortam ışıklandırmasından ya da farklı sebeplerden dolayı meydana gelen zıtlık farklılıklarından oluşan görüntü farklılıklarının nesne tanıma veya şablon eşleştirme işlemine engel olmasını önlemektir. Korelasyon hesabının yapılacağı örnek resimler Şekil 2.13'de gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Korelasyon hesabı yapılacak resim bilgileri

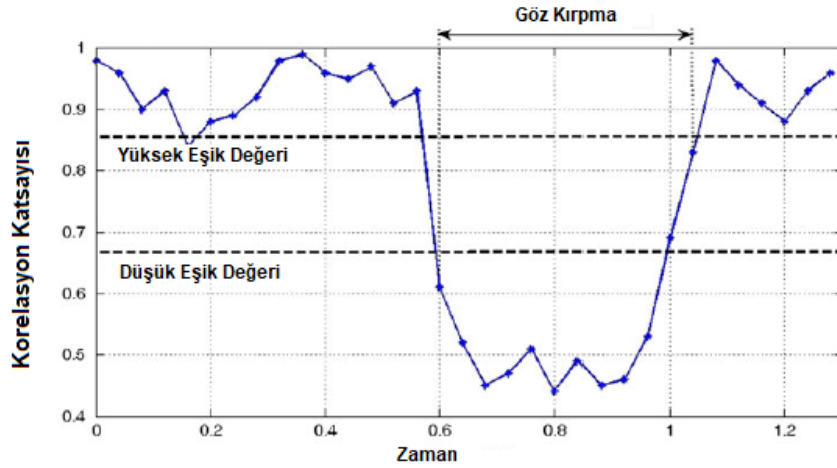
Temel olarak sistemde yapılan işlem, elde edilen şablon resim ile kameradan alınan yüz görüntüsü içerisindeki göz resminin bulunmaya çalışılmasıdır. Öncelikle şablon resmin piksel değerleri ortalaması bütün piksel değerlerinden çıkarılır, bu değer piksel değerlerinin standart sapmasına bölünür. Bu şekilde resim normalize edilmiş olur. Sonrasında şablon olarak belirlenen resim, ana resim üzerinde dolaştırılır ve her noktada şablon resim ile ana resimde bu şablon altında kalan alan arasındaki normalize edilmiş çapraz korelasyon değeri hesaplanır. Hesaplama işlemi, öncelikle ana resimdeki şablon altında kalan alanın normalize edilmesi, sonrasında aynı hizadaki pikseller ile çarpılması

ve bu çarpımların toplanması şekilde yapılmaktadır. Belirtilen hesaplama yönteminin formülize edilmiş hali Eşitlik 2.5’de gösterilmiştir [11].

$$R(x', y') = \frac{\sum_{x', y'} [T'(x', y') I(x + x', y + y')]}{\sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2 \sum_{x', y'} I(x + x', y + y')^2}} \quad (2.5)$$

Eşitlik 2.5’de R korelasyon katsayısı, T şablon resim, I orijinal resim x ve y ise piksel koordinatlarıdır.

Yöntem sonucu olarak şablon resim için ana resimdeki eşleştirilen her noktada bir korelasyon değeri elde edilmiş olur. Ana resimdeki hangi noktalarda korelasyon değeri büyük ise o noktanın şablon ile eşleşen yer olma olasılığı o kadar yüksek olmaktadır. Göz kırıldığında ortaya çıkan grafiksel değişiklik Şekil 2.14.’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Zamana göre korelasyon katsayısı değişim grafiği

2.2.2. Algılanan göz kırpması hareketinin anlamlandırılması

Açıklanan algoritma adımları ile bulunan istemli göz kırpması hareketi geliştirilen kullanıcı arayüzünde tetikleyici bir rol üstlenir. Arayüz MATLAB GUIDE özelliği kullanılarak tasarlanmış olup kamera ile kullanıcı arasındaki mesafe maksimum 150 cm olmalıdır. Aksi halde sistemin tepki verme yeteneği azalmaktadır.

Tasarlanan kullanıcı arayüzü istemli göz kırpması hareketleri ile yönetilmektedir. İstemsiz ve kısa süreli göz kırpmalarının ortalama süresi yaklaşık 100ms olarak ölçülmüştür. Buna göre, göz kırpması hareketleri uzun (istemli) ve kısa (istemsiz) göz kırpmaları olarak sınıflandırılmıştır. İstemli ve istemsiz göz kırpmalarının karışmaması ve

istemli göz kırpmaların istemli gibi algılanarak sistemi yanlış yönlendirmemesi için 200 ms'den büyük olan göz kırpmalar asıl sistem girdisi olarak kabul edilmiş ve bu girdiler ile kullanıcı arayüzü üzerine işlem yapma yeteneği sağlanmıştır.

Önerilen kullanıcı arayüzü Windows işletim sistemi için tasarlanmış ve şu özelliklere sahip olarak geliştirilmiştir:

- Arayüz içerisinde belirlenen bir mesaj kutusuna istenilen uzunlukta mesaj yazabilme.
- Sanal klavye üzerinde hareket yeteneği ve fare özelliklerini gösterebilme.
- Sanal klavye üzerine eklenmiş tuşlar ile sesli hazır komutları oynatabilme.

Kullanıcı arayüzü üzerinde geliştirilen temel öge sanal klavyedir. Arayüz belirli butonların etkinleştirilmesi işlemini göz kırpma hareketleri ile sağlamaktadır. Eğer göz kırpma sistem tarafından algılanırsa, üzerinde bulunan butona ait işlem yapılmaktadır.

Kişinin arayüz üzerinde işlem yapacağını sisteme bildirmesi gerekmektedir. Bildirme işlemi için özel bir komut oluşturulmuş, bu komut kişinin iki gözünü de üç kez aynı anda uzun süreli kapatıp açması ile ilişkilendirilmiştir. Bu komut alındığında sistem arayüz kullanımının başlatılacağını anlamaktadır. Benzer şekilde sanal klavye üzerinde bulunan ESC tuşu veya iki kez sağ gözün kırılması ile sistem göz kırpma algılamayı duraklatmaktadır. Kişi sistemi tekrar kullanmak istediğinde başlangıç komutunu vererek sistemi aktif hale getirmelidir.

Bu kontrol komutu algılandığında sistem ilk satırda komutları uygulamak için hazır şekilde beklemektedir. İşlem yapılması için kişi öncelikle yazmak istediği karakterin ya da çalmak istediği sesin bulunduğu satıra ya da sütuna ulaşmalıdır. İki göz aynı anda iki kez açılıp kapatıldığında satır atlama komutu verilmiş olur. Sağ ve sol göz kırpma hareketi sağa ve sola yönlendirme olarak anlamlandırılırken, iki göz aynı anda bir kere kapatılıp açıldığında ise arayüz üzerinde imlecin bulunduğu işlem gerçekleştirilir.

Oluşturulan alfabe dizilimi Şekil 2.15.'de gösterilmiştir. Alfabetik klavye kullanılması sistemde Latin harfler kullanılarak yazılacak tüm mesajların uygulanabilirliğini sağlamaktadır. Ek olarak, sesli kısa yollar da öncelikle Türkçe ses ve ardından da İngilizce ses alınması ile çok dilli bir yapı haline getirilmiştir. Alfabede kullanılan sesli kısa yol butonlarının hasta yakınları ve hastalar ile konuşarak öncelik sırasına sokulması ve konumlandırılması planlanmıştır. Böylelikle, karakterler ve kısa yollar daha kısa ardışık göz kırpmalar ile daha kısa sürede seçim yapılabilmesini sağlanmıştır.

I'm Hungry!! (Acıktım)											Down (Aşağı)		Up (Yukarı)		
I'm Thirsty!! (Susadım)											Down (Aşağı)		Up (Yukarı)		
Can you open the curtain, please? (Perdeleri açabilir misin?)											Down (Aşağı)		Up (Yukarı)		
Can you close the curtain, please? (Perdeleri kapatabilir misin?)											Down (Aşağı)		Up (Yukarı)		
Can you make up my pillow, please? (Yastığımı düzeltebilir misin?)											Down (Aşağı)		Up (Yukarı)		
Q	W	E	R	T	Y	U	I	O	P	Ğ	Ü	Down (Aşağı)		Up (Yukarı)	
A	S	D	F	G	H	J	K	L	Ş	İ	Down (Aşağı)		Up (Yukarı)		
Z	X	C	V	B	N	M	Ö	Ç	Down (Aşağı)		Up (Yukarı)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Down (Aşağı)		Up (Yukarı)			
.	!	?	-	/	=	Down (Aşağı)		Up (Yukarı)							
Space (Boşluk)											Down (Aşağı)		Up (Yukarı)		
Clean Sentence (Cümle Sil)											Down (Aşağı)		Up (Yukarı)		
Clean Letter (Harf Sil)											Down (Aşağı)		Up (Yukarı)		
ESC											Down (Aşağı)		Up (Yukarı)		

Şekil 2.15. GÖKTİS uygulamasındaki sanal klavye dizilimi

2.2.3. Sisteme ait hata metriklerinin hesaplanması

Yapılacak testlere bağlı olarak sistemin göz kırpma hassasiyetinin belirlenmesi için doğru ve yanlış pozitif sayılarından yararlanılarak oluşturulan matematiksel formül kullanılmıştır. Hassasiyet bilgisi için yapılan hesaplama Eşitlik 2.6'da gösterilmiştir [25].

$$Hassasiyet = \left(\frac{\text{Dogru Pozitiflerin Sayisi}}{\text{Dogru Pozitiflerin Sayisi} + \text{Yanlis Pozitiflerin Sayisi}} \right) \quad (2.6)$$

Formül içerisinde kullanılan doğru pozitiflerin sayısı, kişilerin göz kırpma hareketi yaptığı ve bunun sistem tarafından doğru olarak algılandığı durumları ifade ederken, yanlış pozitiflerin sayısı kişilerin göz kırpma hareketi yapmadığı halde sistem tarafından yanlış algılanarak göz kırpma hareketi olarak anlamlandırdığı verilerin sayısıdır.

Hata metriklerinin hesaplanabilmesi için tasarlanan ve uygulanan testlerden elde edilen doğru pozitif (TP), doğru negatif (TF), yanlış pozitif (FP) ve yanlış negatif (FN)

değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu değerlerin elde edilme mantığı Bölüm 4.1.'de açıklanmıştır. Belirtilen değerler kullanılarak sisteme ait Doğruluk (Accuracy), Hata Oranı (Error Rate), Duyarlılık (Sensitivity) ve Hassasiyet (Presicion) bilgileri hesaplanmış olup ilgili formüllere sırasıyla Eşitlik 2.7, Eşitlik 2.8, Eşitlik 2.9 ve Eşitlik 2.10'da yer verilmiştir.

$$\text{Doğruluk (Accuracy)} = (TN + TP) / \text{TOPLAM} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} \text{Hata Oranı (Error Rate)} &= (FN + FP) / \text{TOPLAM} \\ &= 1 - \text{DOĞRULUK} \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\text{Duyarlılık (Sensitivity)} = TP / (TP + FN) \quad (2.9)$$

$$\text{Hassasiyet (Presicion)} = TP / (FP + TP) \quad (2.10)$$

3. VERİ KÜMESİ

3.1. Tasarlanan Test Senaryoları

Tez kapsamında önerilen yöntemin değerlendirme ve test aşamalarında kullanılmak için beş farklı test senaryosu ve iki farklı ortam koşulu oluşturulmuştur. İlk olarak sistemin ana çıkış noktası olan göz kırpmasının algılanma doğruluğu üzerine bir test yapılmıştır.

Öncelikle kullanıcılardan kısa bir şekilde ve sürekli olarak göz kırpmaları istenmiştir. Her dizi sistem tarafından gerçek zamanlı olarak işlenmiştir. İşlenen ve şablon olarak kullanılan resimler ve göz kırpmalarına ait log dosyasındaki bilgiler kaydedilmiş ve sistem tarafından oluşturulan veri manuel olarak incelenerek doğruluğunun tespiti sağlamıştır. Kaydedilmiş görüntülerden bazıları Şekil 3.1.'de gösterilmiştir. Resim boyutları kameraya yakınlık uzaklık, kişinin göz büyüklüğüne göre değişmektedir.



Şekil 3.1. Oluşturulan ve doğruluğu test edilen göz şablonları

Basit olarak algılama doğruluğu sonucu alındıktan sonra, sistemin istemli ve istemsiz göz kırpmalarını sınıflandırmadaki başarısının bulunabilmesi için bir test koşulu hazırlanmıştır. Bu testte her kullanıcıdan kısa-uzun-kısa, uzun-kısa-kısa ve uzun-uzun-uzun şeklinde oluşturulan ardışık dizilerine uygun şekilde göz kırpmaları istenmiştir. Uygulanan testlerde hiçbir parametre değiştirilmemiştir. Bu testin amacı kısa ve uzun göz kırpması için belirlenen 200 ms'nin her kullanıcı için uygun olup olmadığının araştırılmasıdır.

Belirtilen doğruluk testlerine ek olarak, bilgisayar ile iletişim için göz kırpmaların daha etkin bir şekilde nasıl kullanılabileceği konusunun araştırılması için farklı bir test koşulu hazırlanmıştır. Bu koşul temel olarak sistemin başlatılması, kullanıcının yalnızca ilk butonda bulunan sesi çalması ve iki kez uzun şekilde sağ göz kırpmaları sistemin duraksatılması aşamalarını içermektedir. Bu aşamada yapılması istenen iki göz için üç uzun göz kırma hareketi – iki göz için bir uzun göz kırpması hareketi – sağ göz için iki uzun göz kırpması hareketidir. Bu yöntem ile temel olarak sistemin kullanımını sağlayacak basit komutların oluşumunun ne kadar kullanışlı olacağı hakkında fikir edinilmesi sağlanmıştır.

Bir sonraki test aşamasında ise kişilerin göz kırpmaya hareketleri ile kelime yazmaları istenmiştir. Bu testte kullanıcılara aynı satırdaki harfleri kullanarak “ADİL” kelimesini, iki satırda bulunan harfler ile “AİLE” kelimesini ve en son üç satırda bulunan harfler ile ‘TABİ’ kelimesini aralarında boşluk olmadan yazmaları istenmiştir. Bu test ile tespit edilmek istenen ise aynı uzunluktaki harf sayısına sahip kelimelerin klavye üzerinde gezinme işlemi ile ne kadar sürede yazıldığının tespit edilmesidir.

En son test aşamasında ise kullanıcılardan, “Günaydın. Nasılsınız?” cümlesini yazmaları istenmiştir. Bu test koşulu ile kullanıcıların temel bir cümleyi ortalama ne kadar sürede yazabildikleri ve yaşa göre yazma sürelerinin değişiklik gösterip göstermediği belirlenmek istenmiştir.

3.2. Tasarlanan Test Senaryoları, Ek Çalışmalar ve Kullanıcı Özellikleri

Test verisi ve sistem doğruluğu için kullanıcı ile kamera arasındaki mesafenin 60 ila 120 cm arasında olması düşünülmüştür. Tasarlanan sistem 16 sağlıklı birey üzerinde test edilmiştir. Test edecek kişilerin 21 ila 58 yaşları arasında olması sağlanmıştır. Test sürecinde kişisel bilgisayar üzerindeki USB 2.0 Video Graphics Array (VGA) UVC web kamerası kullanılmıştır. Ortam olarak; evde yapılan testlerde arkadan gelen bir aydınlatıcı kullanılmış olup ofis ortamında ise gün ışığı altında testler yapılmıştır. Her yaş aralığındaki kullanıcıya tasarlanan beş test senaryosu uygulanmıştır.

Hazırlanan test koşullarına ek olarak kullanıcılara sistem tasarımı ve kullanımı ile ilgili 10 soruluk bir anket düzenlenmiştir. Anket içeriği EK 1’de verilmiştir. Bu anket ile eklenebilecek özellikler, sistemin avantajlı ve dezavantajlı yönleri ve sistem içi iyileştirmeler gibi çeşitli geribildirimler alınmıştır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Oluşturulan Test Senaryoları Değerlendirmeleri

Önerilen yöntem kapsamında sistemin test edilmesi için 21-58 yaş aralığında bir kullanıcı grubu oluşturulmuştur. Test kullanıcılarına ait yaş bilgileri Tablo 4.1.'de, kullanıcıların cinsiyette göre dağılımı ise Tablo 4.2.'de detaylandırılmıştır. Farklı yaş aralıklarından ve farklı cinsiyetlerden seçim yapılmasının sebebi, geliştirilen yeni teknolojiye ayak uydurabilme kabiliyetinin ölçülmesi ve ek olarak yaş ve cinsiyet farkından kaynaklı fiziksel bir etkinin olup olmayacağının araştırılmak istenmesidir. Örneğin artan yaş ile göz kırpma refleksinde süre ya da sıklık olarak bir değişiklik olup olmadığının gözlemlenmek istemesidir.

Tablo 4.1. Test kullanıcılarının yaş aralıkları

	Kişi Sayısı	Yaş Aralığı
	1	21-23
	3	24-28
	5	30-40
	4	41-50
	3	51-58
TOPLAM	16	21-58

Bu kullanıcılar üzerinde yapılan testlere göre göz kırpma sıklığı ile ilgili belirgin bir farklılık ölçümlenmemiştir. Yapılan araştırmalara göre göz kırpma sıklığı cinsiyete ve yaşa bağlı olarak değişmektedir [24]. Sağlıklı bireylerde 0 – 6 yaş aralığında 30 saniyede bir istemsiz olarak göz kırpma görülürken, yetişkin bireylerde bu sayı 6 saniyede bir olarak değişmektedir.

Tablo 4.2. Test kullanıcıları cinsiyet dağılımı

Cinsiyet	Sayı
Kadın	8
Erkek	8

Sağlıksız bireyler göz önüne alındığında ise Parkinson hastaları için bu değer in sağlıklı bireylere göre daha düşük olduğu bilinmektedir. Benzer şekilde yetişkin bireyler için belirli bir şeye odaklanarak bakıldığında göz kırpma sıklığı dakikada 3 ila 4 mertebesine kadar düşebilmektedir. Bu durumlar göz önüne alındığında test kullanıcıları yetişkin bireyler arasından, cinsiyet olarak eşit dağılımda ve sağlıklı bireylerden seçildiği için sistems el fark oluşturacak bir etkiye sebep olmamıştır.

İlk test adımında Bölüm 3.1’de bahsedilen şekilde kullanıcılardan gözlerini sürekli olarak doğal bir şekilde 10 kez arka arkaya göz kırpmaları istenmiştir. Bu test ile sistemin göz kırpma algılama hassasiyet değeri ölçülmeye çalışılmıştır.

Eşitlik 2.6’ya göre yapılan test değ erlendirmesi Tablo 4.3.’te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Sistem göz kırpma hassasiyet oranı hesabı

Yaş Aralıkları	Kişi Sayısı x Dizi Uzunluğu	Elde Edilen Dizi Uzunluğu	Doğru Pozitif	Yanlış Pozitif	Hassasiyet
21-23	1x10 = 10	11	10	1	0.90
24-28	3x10 = 30	28	28	0	1
30-40	5x10 = 50	53	50	3	0.94
41-50	4x10 = 40	39	39	0	1
51-58	3x10 = 30	27	27	0	1

Test durumda 16 kişinin 10 kere göz kırpması sonucunda her kişiye ait 10 değ erli bir dizi oluşması gerekmektedir. Ancak bazı kullanıcılar için dizi uzunluğu 10 değ erden fazla olurken bazı kullanıcılar için bu değ erden az çıkmıştır. Buna bağ li olarak, sistemde göz kırpma olmayan ama göz kırpma gibi algılanan durumların (yanlış pozitiflerin) yakalandığı ve bazı doğru negatiflerin (göz kırpma olduğu halde göz kırpma değ ilmiş gibi algılanan durumların) de olduğu değ erlendirilmiştir. Test sonucunda toplam 6 göz kırpma kaçırılmış, 4 tane ise fazladan göz kırpma olarak değ erlendirilmiştir. Belirlenen yaş aralıklarının sistemde göz kırpma doğruluğu üzerinde bir etkisine rastlanmamıştır. Bu sonuca göre belirtilen test koşulu için oluşturulan hata matrisi Tablo 4.4.’de gösterilmiştir. Oluşturulan hata matrisinde TP değ eri, yapılan göz kırpma hareketinin sistem tarafından algılandığı

durumların sayısını belirtilirken, TN değeri ise kişinin göz kırpmasına rağmen sistem tarafından algılanmadığı durumların sayısını belirtmektedir.

Tablo 4.4. Birinci test için oluşturulan hata matrisi

		Tahmin		
		Yanlış	Doğru	TOPLAM
Gerçek	Yanlış	TN 6	FP 4	10
	Doğru	FN 0	TP 160	160
	Toplam	6	164	170
Doğruluk (Accuracy)		$(6+160) / 170 = 0.976 \rightarrow \sim 0.98$		
Hata Oranı (Error Rate)		$(0+4) / 170 = 0.02$ $1 - 0.98 = 0.02$		
Duyarlılık (Sensitivity)		$160 / (160+0) = 1$		
Hassasiyet (Precision)		$160 / (4+160) = 0.975$		

Algılanan göz kırpmalar için Tablo 4.3.’de elde edilen hassasiyet değerlerinin yaş dağılımına göre ağırlıklı ortalaması, Tablo 4.4.’deki hata matrisi ile hesaplanan hassasiyet değeri ile aynı olup her iki değer de 0.975 olarak bulunmuştur.

Yapılan testlerin ikinci aşamasında sistem için seçilen 200 ms eşik değerinin doğruluğu ve bunun yanı sıra her kullanıcının bu eşik değerine uyumlu olup olmadığı konusu üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca sistemin istemli istemsiz göz kırpmaları değerlendirilmesindeki yeteneği üzerinde durulmuştur. Test içinde kullanıcılardan ardışık olarak uzun ve kısa göz kırpmaları hareketleri yapmaları istenmiştir. Bunun için kısa-uzun-kısa, uzun-kısa-kısa ve uzun-uzun-uzun şeklinde kısa diziler belirlenmiştir. Test verileri kullanıcılar test yaparken toplanmış, herhangi bir klasör içerisine kaydedilmemiştir. Her kullanıcı her dizi için ayrı ayrı oturum yapmıştır. Oturumlar sonucunda yaş aralıklarından bağımsız olarak sistemin göz kırpmaları tespit edebildiği görülmüştür. Matematiksel veriler ile diziler arasından “uzun-uzun-uzun” şeklinde olan dizi yalnızca bir kullanıcı için “uzun-uzun” şeklinde algılanmış üçüncü komut algılanamamıştır. “Kısa-uzun-kısa” dizisinin durumu 3 kullanıcı için kısıdan sonra uzun komuta geçiş aşamasında sorun oluşturmuş ve bu 3 kullanıcı için “kısa-kısa” olarak algılanmıştır. Son olarak “uzun-kısa-kısa” dizisinde ise 2 kullanıcı da uzundan kısaya geçilirken “kısa-kısa” şeklinde algılama

sorunları olmuştur. Yapılan test sonucunda $16 \times 3 = 48$ kez oturum yapılmıştır. 48 oturum için uzun ve kısa komutların tamamının doğru algılandığı bir durumda, $4 \times 48 = 192$ kısa ve $5 \times 48 = 240$ uzun göz kırpmasının algılanması beklenmektedir. Ancak hatalı oturumlar sonucu 1 göz kırpmasının algılanmaması ve 4 uzun göz kırpmasının yanlış algılanarak kısa sayılması ile belirtilen değerler 234 ve 192 olarak elde edilmiştir. Bu değerlere göre ikinci test aşaması için oluşturulan hata matrisi Tablo 4.5.'de gösterilmiştir. Tablo içerisinde bulunan TP değeri için uzun göz kırpma yapıldığı ve bu uzun göz kırpmasının sistem tarafından algılandığı durumların sayısı belirtilirken, TN değeri için uzun göz kırpma yapıldığı ancak uzun olarak algılanmadığı durumların sayısı belirtilmiştir.

Tablo 4.5. İkinci test için oluşturulan hata matrisi

		Tahmin		
		Yanlış	Doğru	TOPLAM
Gerçek	Yanlış	TN 5	FP 0	5
	Doğru	FN 192	TP 234	426
	Toplam	197	234	431
Doğruluk (Accuracy)		$(5+234) / 431 = 0.55$		
Hata Oranı (Error Rate)		$(192+0) / 431 = 0.45$ $1-0.55 = 0.45$		
Duyarlılık (Sensitivity)		$234 / (234+192) = 0.55$		
Hassasiyet (Precision)		$234 / (0+234) = 1$		

Bu test için $16 \times 3 = 48$ kez oturum yapılarak toplamda 6 oturum için sorun olduğu göz önüne alındığında sistem için doğruluk oranı %87 olarak hesaplanmıştır. Belirtilen oran nispeten yüksek olarak değerlendirildiğinden belirlenen 200 ms eşik değerinin her kullanıcı için uygun olduğu kabul edilmiştir.

Üçüncü aşamada yapılan test için sistem kullanım durumu belirlenmek istenmiştir. Bu test koşulunda kullanıcıların her birinden sistemi başlatmaları, ilk butondaki sesi çalmaları ve sistemi duraklatmaları istenmiştir. İstenen komutların sisteme verilmesi için diğer koşullardan farklı olarak sağlanması gereken koşul iki gözün de aynı anda kırıldığı belirlenmesi koşuludur. Bu aşamada yapılması istenen;

- Sistemin başlatılması için → İki göz beraber üç uzun göz kırma hareketi

- İlk butondaki sesi çalmak için → İki göz beraber bir uzun göz kırpma hareketi
- Sistem duraklatmak için → Sağ göz için iki uzun göz kırpma hareketidir.

Bu teste bağlı olarak kullanıcıların her birinden toplamda istemli olarak 6 kez göz kırpmaları istenmiştir. Bu 6 göz kırpmadan 4'ü çift göz için 2'si ise yalnızca sağ göz içindir. Testin değerlendirilme koşulu kullanıcıların toplamda minimum 6 göz kırpma hareketi ile verecekleri üç komut için toplamda kaç kez göz kırptıkları hesap edilmiştir. Kullanıcılardan yalnızca 1 tanesi 6 kez göz kırpmasına rağmen sistemi başlatmayı başaramamıştır. Kullanıcılardan 1 tanesinde istemsiz yapılan bir göz kırpma hareketi seçme olarak algılanarak ses iki kez çalınmış ve kullanıcılardan 2 tanesinde ise çalma işlemi için birinde 2 birinde 3 kez aynı komut tekrarlanmıştır. Tablo 4.6.'de belirtilen test kullanıcı bazlı tüm durumları bulunmaktadır. Doğru yapılan işlem sayıları tek satırda gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Üçüncü test koşulu kullanıcı sonuçları

Kullanıcı	Olması Gereken Göz kırpma Sayısı	Yapılan Göz Kırpma Sayısı	İşlem Durumu	İşlem Durumuna Göre Sistem Başarı Oranı
1-12	12x6=72	72	Tamamlandı	%100
13	6	6	Sistem başlatılamadı	%0
14	6	7	Ses iki kez çalındı ama süreç tamamlandı	%99.83
15	6	8	Ses bir kez çalındı, fazladan iki göz kırpma yapıldı ama süreç tamamlandı	%99.66
16	6	9	Ses bir kez çalındı, fazladan üç göz kırpma yapıldı ama süreç tamamlandı	%99.5

Tablo 4.6.'da belirtilen durumlara bağlı olarak başarı oranı hesaplama işlemi örneklenecek olursa; Kullanıcı #13 6 defa göz kırpma hareketi yapmasına rağmen sistemi başlatamadığı için başarı oranı %0 olarak hesaplanırken, Kullanıcı #16 için, yapılan fazladan 3 göz kırpmanın, yapılması gereken 6 göz kırpma hareketine oranının 100'den çıkarılması ile bu değer %99.5 olarak hesaplanmıştır. Test sonucunda kişinin komutlar arasında geçirdiği bekleme süresinin önemli olduğu görülmüştür.

Üçüncü test koşulu için oluşturulan hata matrisi Tablo 4.7.'de gösterilmiş, sisteme ait hata metrik değerleri ise tablo üzerinde belirtilmiştir. Hata matrisinde TP değeri olarak göz kırpm hareketinin yapıldığı ve sistem tarafından algılandığı durumların sayısı belirtilirken, TN değeri için kişinin göz kırpm hareketi yaptığı ancak sistem tarafından algılanmadığı durumların sayısı belirtilmiştir.

Ayrıca, sistemin çalışmasını sağlayan temel komutlar üzerinde çift göz için göz kırpm komutu ile birlikte yapılan bu test sonucunda çıkan doğruluk oranı sistem açısından tatmin edici bir değerdir.

Tablo 4.7. Üçüncü test için oluşturulan hata matrisi

		Tahmin		
		Yanlış	Doğru	TOPLAM
Gerçek	Yanlış	TN 11	FP 1	12
	Doğru	FN 0	TP 90	90
	Toplam	11	91	102
Doğruluk (Accuracy)		$(11+90) / 102 = 0.99$		
Hata Oranı (Error Rate)		$(0+1) / 102 = 0.009 \rightarrow \sim 0.01$ $1-0.01 = 0.99$		
Duyarlılık (Sensitivity)		$90 / (90+0) = 1$		
Hassasiyet (Precision)		$90 / (1+90) = 0.989 \rightarrow \sim 0.99$		

Sonraki test koşulu sistem kullanımındaki süre ile ilgili hazırlanmış bir koşuldur. Temel olarak kullanıcının satırlar arasında gezerken geçirdiği sürenin yanı sıra istediği karaktere ulaşana kadar geçen süre miktarı ve bu sürenin yaş aralıklarına göre dağılımının görülmesi hedeflenmiştir. Bu işlem için kullanıcılara tek satırda, iki satırda ve üç satırda yazabileceği AİLE, ADİL ve TABİ kelimeleri verilmiş ve bu kelimeleri aralarında boşluk olmadan yazmaları istenmiştir. Ayrıca klavye üzerindeki A harfine gelmek için verilmesi gereken komutlar için geçen süre göz ardı edilerek yalnızca harfler arası gezinme sürelerine önem verilmiştir. Yazma süreleri ile ilgili deneysel sonuçlar Tablo 4.8.'te derlenmiştir. Tablo 4.9.'da ise özet tablo oluşturulmuştur.

Tablo 4.8. Kelimelerin kullanıcılara göre yazma süre detayları

Yaş Aralığı	Kişiler	ADİL	AİLE	TABİ
21-23	Kullanıcı 1	11sn	22sn	44sn
24-28	Kullanıcı 2	13sn	20sn	45sn
	Kullanıcı 3	15sn	21sn	48sn
	Kullanıcı 4	12sn	19sn	42sn
30-40	Kullanıcı 5	15sn	22sn	41sn
	Kullanıcı 6	14sn	26sn	49sn
	Kullanıcı 7	10sn	20sn	41sn
	Kullanıcı 8	12sn	25sn	43sn
	Kullanıcı 9	10sn	27sn	49sn
41-50	Kullanıcı 10	12sn	22sn	40sn
	Kullanıcı 11	11sn	20sn	42sn
	Kullanıcı 12	16sn	21sn	39sn
	Kullanıcı 13	18sn	35sn	50sn
51-58	Kullanıcı 14	15sn	27sn	49sn
	Kullanıcı 15	12sn	42sn	80sn
	Kullanıcı 16	13sn	38sn	87sn

Tablo 4.9. Yaş aralıklarına göre kelimeleri yazma süreleri

Yaş Aralığı	ADİL	AİLE	TABİ
21-23	11sn	22sn	44sn
24-28	13.3sn	20sn	45sn
30-40	12.2sn	24sn	44.6sn
41-50	14.25sn	24.5sn	42.75sn
51-58	13.3sn	35.6sn	72sn

Tablo 4.9.’da verilen değerlere göre beklenen şekilde tüm yaş grupları için harfleri tek satırda bulunan kelime en kısa sürede, iki satırda bulunan kelime biraz daha uzun bir sürede ve üç satırda bulunan kelime ise en uzun sürede yazılan kelime olmuştur. Yaş gruplarına göre test durumu incelendiğinde ise 41-50 yaş grubu en uzun sürede yazılabilecek kelimeyi diğer yaş gruplarına göre en kısa sürede yazan grup olmuştur. Bu sonuca göre, önerilen sistemin bazı değişiklikler göz önüne alınmaksızın kullanıcının yaşından bağımsız bir şekilde kullanılabilceği görülmüştür.

Yapılan çalışmalar kapsamında en son belirlenen test koşulu ise sistemdeki sanal klavyenin tüm özellikleri kullanılarak belirli bir cümle yazma çalışmasıdır. Kullanıcılardan “Günaydın. Nasılsınız?” cümlesini yazmaları istenmiş, böylece 21 karakterli bir cümlenin ortalama ne kadar sürede yazılacağı tespit edilmeye çalışılmıştır. Test sonucunda yaş aralıklarına göre elde edilen süre ölçümlerinin özeti Tablo 4.10.’da belirtilmiştir.

Tablo 4.10. Yaşa göre bir cümlenin yazılma süreleri

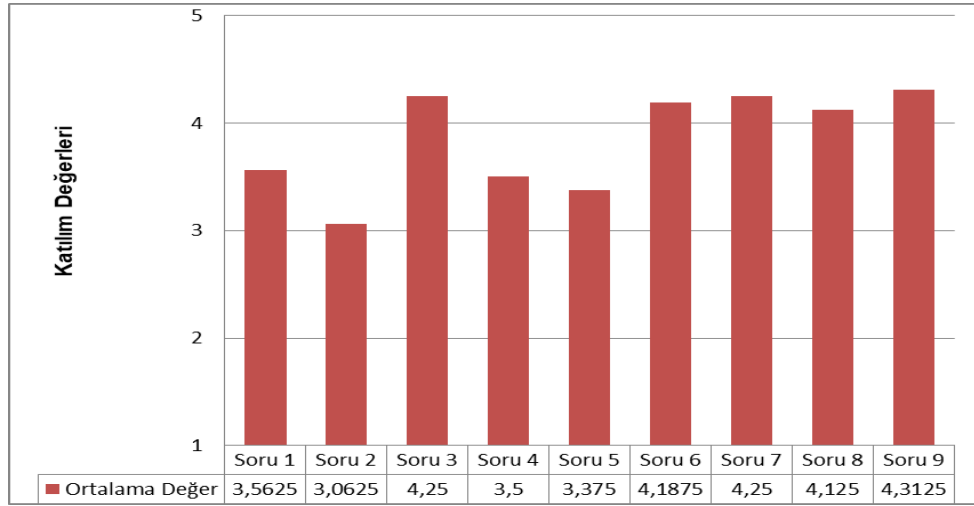
Yaş Aralığı	“Günaydın. Nasılsınız?”
21-23	92sn
24-28	93.7sn
30-40	92.4sn
41-50	90.8sn
51-58	127.2sn

Tüm klavye özelliklerinin kullanıldığı son test sonucunda sisteme giriş yaparken en çok zorlanan kullanıcılar 51-58 yaş aralığındakiler olmuştur.

Test ortamlarından bahsedilecek olursa, benzer ışıklandırma ve uzaklık parametreleri ile test koşulları sağlandığından ortamın yapılan testler üzerinde etkisi olmadığı görülmüştür.

Tüm testlerin tamamlanıp kullanıcıların sistem kabiliyetlerini öğrenmesinden sonra EK 1’de bulunan mini anketin kullanıcılar tarafından doldurulması istenmiştir. Anket soruları, hareket yeteneğini kaybetmiş kişilere sistemin sağlayacağı avantajları ve kullanım özelliklerini sorgulaması için iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup sorular anketin 1-3 arasındaki, ikinci grup sorular ise 4-9 arasındaki soruları kapsamaktadır. Kullanıcılardan her soruya bir puan vermeleri istenmiştir. Puan aralıkları 1 (Kesinlikle Katılmıyorum) – 5

(Kesinlikle Katılıyorum) şeklinde belirlenmiştir. Kullanıcıların sorulan 9 soru için verdikleri tüm cevapların ortalamaları Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Tüm sorular incelendiğinde kullanıcıların çoğunlukla katıldığı soru, sistemin göz kırpmaya algılama yeteneğinin geliştirilmesine yönelik olan sorudur. En az katıldıkları soru ise sistemin ihtiyaçları beklenilenden daha kısa sürede aktarabileceği yönündeki sorudur. Ancak, kullanıcılar ile konuşularak edinilen bilgiye göre bu konuda kararsız kalınmasının sebebi, bir mesajın iletimi ya da oluşturulması için ne kadar süre gerektiğinin kestirilememesidir. Elde edilen anket sonuçlarına göre; tüm kullanıcıların geliştirilen sistem ile ilgili düşünceleri pozitif yöndedir. Ancak, ek olarak klavye özelliklerinin eklenebilmesi, açma ve kapama komutlarının farklılaştırılması, göz kırpmaya algılama kabiliyetinin geliştirilmesi gibi iyileştirmelerin yapılmasının önemli olduğu görüşünde birleşmiştir.



Şekil 4.1. Anket sorularına verilen cevap dağılımları

4.2. Değerlendirme Sonuçları ve Tartışma

Yapılan anket ve elde edilen test sonuçlarına göre sistemin cinsiyet ve yaş farkı gözetmeksizin tüm kullanıcılar için uygun olduğu görülmüştür. Kullanıcılar açısından göz kırpmaya algılama ve anlamlandırma ile ilgili hissedilen negatif bir etki olmamıştır. Sesli butonların çeşitlendirilebileceği konusunda geri bildirimler alınırken karakter dizilimi için bir sorunla karşılaşılmamıştır.

Sistem arayüzü üzerinde gezinmeyi sağlayabilecek alternatif buton eklenmesi gibi bir kabiliyetin kullanımı kolaylaştıracağı yönünde bir takımlar yorumları yapılmıştır. Ayrıca

sistemin açılması ve duraklatılması ile ilgili farklı komut dizilerinin anlamlandırılabilceği vurgulanmıştır.

Bunlara ek olarak, sistemin her birey için uygunluğu üzerinde durulmuş ancak kullanıcıdan kaynaklı olarak sol gözü kırpamama konusu iin bir alternatif çözüm oluşturulması gerektiği gözlemlenmiştir.

Sistemi diğer çalışmalardan daha kolay hale getiren bir diğer faktör ise sistem açıldığında otomatik olarak yüzü bularak göz şablonlarını çıkarmasıdır. Testler için seçilen 120 cm'lik kamera mesafesi sistemin uzaklığa bağlı olarak performansının değerlendirilebilmesi için belirlenmiştir. Bu değerin seçilmesinin sebebi mesafe arttığında algılanan şablon resimlerin boyutları ve doğruluk oranının düşmesidir. Mesafedeki bu artış, testlerin ve sistemin stabil halini kaybetmesine sebep olmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada engelli bireyler için oluşturulan alternatif bir iletişim aracı sunulmuştur. GÖKTİS bilgisayar destekli bir sistem olup, engelli bireyler ve onlara bakan kişilerin yaşam kalitesini arttırmayı amaçlamaktadır. Bu sistem ile hastanın bakımını üstlenen kişiler sürekli hastanın yanında bulunmadan, sistemin sağladığı sesli haberleşme sistemi ile iletişim kurabilecek ve hastadan haberdar olması sağlanacaktır.

Sistem iki modülden oluşmaktadır. Bunlar; i) Göz kırpma hareketinin algılanması için veri işleme modülü ve ii) GÖKTİS arayüz ve alfabe modülleridir. Sistem göz kırpma hareketi ile çalışmaktadır, bu durumda hastanın gözleri ile iletişim kurabileceği anlamı çıkarılmaktadır. Sistemin en önemli avantajı istemli ve istemsiz göz kırpma hareketlerinin ayrımını yapabilmesidir. Engelli bireyler için tasarlan çoğu insan-bilgisayar etkileşimli sistemde ekstra bir donanımın kişinin üzerine bağlanması ya da takılması gerekmektedir. Ancak önerilen sistem için böyle bir zorunluluk olmamakla birlikte yalnızca mütevazı bir web kamera ile sistemin çalışabilirliği sağlanmıştır.

Sistem engelli bireyler üzerinde test edilemese bile sağlıklı bireyler üzerindeki sonuçların tatmin edici düzeyde olduğu görülmüştür. Sistemin göz kırpma algılamasındaki hassasiyeti umut verici seviyededir.

Yapılan anket çalışmasında ise kullanıcılar için arayüz tasarımında iyileştirmeler, gezinme alternatiflerinin fazlalaştırılması ve daha çok sesli kısa yolların olması gerekliliği üzerinde durulmuştur.

İleride yapılabilecek çalışmalardan en önemlisinin, yazılan mesajın sesli bir şekilde okunma kabiliyetinin GÖKTİS sistemine kazandırılması olacağı düşünülmektedir. Ek olarak, kişinin göz kırpma hareketlerinin gezinme komutu olarak algılanmasının yanı sıra, sistem üzerinde klavyede satır ve sütun bazında yanıp sönme ile yalnızca kişinin seçim kabiliyetini kullanarak istediği işlemi yapabilmesi de önemli bir geliştirme adımı olarak düşünülmektedir. Ayrıca, gelecek çalışmalarda sistem kabiliyetleri arasına eklenecek olan akıllı klavye ve sözcük tamamlama özelliğinin sistemin kullanım kolaylığını belirgin bir şekilde arttıracığı düşünülmektedir. Aynı zamanda bu özellikler ile sistemde en çok kullanılan kelimeler belirlenerek sistemin mesaj yazma yeteneği daha etkin bir şekilde kullanılmış olacaktır. Bu nedenle, belirtilen özelliklerin sisteme kazandırılması sistem verimini arttıracak bir adım olarak düşünülmektedir. Ek olarak, hasta bireyler üzerinde yapılması planlanan testler ile sistemin gerçek kullanıcıları tarafından yapılan yorumlar ve

performans değerlendirmeleri sistemin ileriye dönük yapılacak çalışmalarında yol gösterici olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Dr. M. Kaplan. “ALS hastalığı nedir, neden olur? Belirtileri ve tedavi yöntemleri.” medikalAkademi.com.tr. <https://www.medikalakademi.com.tr/als-amiyotrofik-lateral-skleroz-nedir-neden-olur-belirtileri-ve-tedavisi/> (Son erişim:21 Aralık 2019).
- [2] Prof. Dr. F. Koç, Prof. Dr. E. Tan. “Amiyotrofik Lateral Sklerozda Tedavi.” Türk Nöroloji Derneği. <https://www.noroloji.org.tr/menu/99/amiyotrofik-lateral-sklerozda-tedavi> (Son erişim: 21 Aralık 2019).
- [3] “Türkiye’de ALS MNH Hastalığı.” ALS MNH Derneği. <https://www.als.org.tr/turkiye-de-als-mnh-hastaligi> (Son erişim: 24 Aralık 2019).
- [4] Uzm. Dr. İ. Ö. Ertürk. “Multiple Skleroz (MS) Hastalarının Yorgunlukla Mücadelesi.” Bayındır Sağlık Grubu. [https://www.bayindirhastanesi.com.tr/blog/multipl-skleroz-\(ms\)-hastalarinin-yorgunlukla-mucadelesi-366](https://www.bayindirhastanesi.com.tr/blog/multipl-skleroz-(ms)-hastalarinin-yorgunlukla-mucadelesi-366) (Son erişim: 24 Aralık 2019).
- [5] Nöroloji Bölümü. “MS Hakkında Bilmeniz Gerekenler.” Memorial. <https://www.memorial.com.tr/saglik-rehberleri/ms-hastaligi/> (Son erişim: 24 Aralık 2019).
- [6] Nöroloji Bölümü. “Spinal Muskuler Atrofilerin Teşhisi Nasıl Yapılır?” SMA Grubu. <http://smagrubu.net/sma-nedir/teshis> (Son erişim: 24 Aralık 2019).
- [7] Lodos Topluluğu. “SMA (Spinal Muskuler Atrofi).” ODTÜ Lodos Topluluğu. <http://lodostoplulugu.com/lodos-cocuklari/sma/> (Son erişim: 24 Aralık 2019).
- [8] Prof. Dr. Ö. Yılmaz. “Duchenne Musküler Distrofi (DMD).” KUKAS (Kas Hastalıkları Kayıt Sistemi). <https://www.kukas.info/tr/dmd-hakk%C4%B1nda> (Son erişim: 24 Aralık 2019).
- [9] Prof. Dr. P. Serdaroğlu, Prof. Dr. H. Topaloğlu. “Duchenne Kas Distrofisi (DMD) ve Kök Hücre.” Türk Nöroloji Derneği. <https://www.noroloji.org.tr/menu/101/duchenne-kas-distrofisi-dmd-ve-kok-hucre> (Son erişim: 24 Aralık 2019).

- [10] K. Grauman, M. Betke, J. Gips, G.R. Bradski, "Communication via eye blinks – detection and duration analysis in real time," *2001 IEEE Computer Society Conference*, 2001, vol.1, pp. I-1010 - I-1017.
- [11] A. Królak, P. Strumillo, "Eye-blink detection system for human–computer interaction," *Universal Access in the Information Society*, 2011-2012, vol.11, pp. 409-419.
- [12] G. Mohammadi, A. Sarrafzadeh, J. Shanbehzadeh, "Real – Time video based eye blink detectio," *International MultiConference of Engineers and Computer Scientists* 2012, vol I.
- [13] M. Haak, S. Bos, S. Panic and L. Rothkrantz, "Detecting stress using eye blinks and brain activity from eeg signals," *Proceeding of the 1st Driver Car Interaction and Interface*, 2009.
- [14] P. Casale, O. Pujol and P. Radeva, "Human activity recognition from accelerometer data using a wearable device," *Pattern Recognition and Image Analysis*. 2011, Springer, pp. 289–296.
- [15] A.V.K, G. Darsan, "Interactive email system based on blink detection," *Advances in Computing, 2015 International Conference Communications and Informatics (ICACCI)*, 2015, pp. 1274 - 1277.
- [16] C. Sumana, N. Amulya Meda, H. Prithvi, V. Sahana, S. Sindhura, "Human eye blink detection system," *An International Journal Perspectives in Communication, Embedded-Systems and Signal-Processing (PiCES)*, 2018.
- [17] T.E. Ayabakan, E.Sümer, "Eye blink based communication system (EBCS) for disabled people," *6th International Multidisciplinary Studies Congress, Engineering Sciences Proceeding Book*, 2019, vol.1, pp.115-120.
- [18] P. Viola, M. J. Jones, "Robust real-time face detection," *International Journal of Computer Vision*, 2004, cilt.57, no.2, pp. 137-154.
- [19] U. Ayvaz, H. Gürüler, "Bilgisayar kullanıcılarına yönelik duygusal ifade tespiti," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 2017, Cilt.10, Sayı. 2.

- [20] Y.E Tetik, “Gürültülü ortamlarda konuşma tespiti için yeni bir öznelik çıkarım yöntemi,” *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Fırat Üniversitesi, Elazığ*, 2011.
- [21] G. Özmen, “Kübik bezier eğrileri ile yüz ifadesi tanıma,” Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, Türkiye, 2012.
- [22] P. Viola, M. Jones, “Rapid object detection using a boosted cascade of simple features,” *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2001.
- [23] B.Kurt, “Bilgisayar ile psikolojik durum değerlendirmesi,” Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, Türkiye, 2007
- [24] Dr. M. E. Ocak, *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, Mart 2017, s.136.
- [25] Ö. Soysal, “İçerik Tabanlı Görüntü Erişiminde Öznelik Füzyonu,” Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye, 2006.
- [26] M. H. Yang, D. J. Kriegman ve N. Ahuja, ”Detecting faces in images: A survey,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, Cilt 24, No.1, pp.34-58.
- [27] S. Bayrakdar, D. Akgün, İ. Yücedağ, “Yüz ifadelerinin otomatik analizi üzerine bir literatür çalışması,” *SAÜ Fen Bil Der.*, 2016, Cilt:20, Sayı.2, s. 383-398.
- [28] B. Anand, P. Shah, “Face Recognition using SURF features and SVM classifier,” *International Journal of Electronics Engineering Research*, 2016, vol:1, pp: 1-8
- [29] S. Magdy, T. Mahmoud, M. Ibrahim, “Face Recognition based on Hidden Markov Model and Canny OperatorsGraphics,” *Vision and Image Processing Journal*, 2017, Vol:17.

EKLER

EK 1 : SİSTEM KULLANICI ANKETİ

Bu anket formu Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi’nde yürütülmekte olan “ENGELLİ BİREYLER İÇİN GÖZ KIRPMA TABANLI İLETİŞİM SİSTEMİ (GÖKTİS)” başlıklı yüksek lisans tez çalışması için yapılmaktadır. Sizlerden edinilecek bilgiler tamamen bilimsel amaçlı kullanılacaktır. Katkılarınız bizim için önemlidir. Şimdiden değerli katkılarınızdan dolayı teşekkür ederiz.

Tuğçe Ezgi Ayabakan
Başkent Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

1- Lütfen size uygun cevabı işaretleyiniz.

KİŞİSEL BİLGİLER						
1	Cinsiyetiniz	Erkek ()	Kadın ()			
2	Yaşınız	21-23 ()	24-28 ()	30-40 ()	41-50 ()	51-58 ()

2- Lütfen testini gerçekleştirdiğiniz sistem için aşağıdaki yargılara katılım düzeyinizi belirtiniz.

SORU NO	Sistemin hareket kabiliyetini kaybetmiş kişilere sağlayacağı avantajlar	Kesinlikle Katılmıyorum	Katılmıyorum	Fikrim Yok	Katıyorum	Kesinlikle Katıyorum
1	Temel ihtiyaçlar için eklenmiş sesli butonlar yeterlidir.	()	()	()	()	()
2	Kullanıcı ihtiyacını beklenilenden kısa sürede aktarabilmektedir.	()	()	()	()	()
3	Sistemin kullanımı her birey için uygun hale getirilmiştir.	()	()	()	()	()
Sistemin kullanım özellikleri						
4	Sistemin açılması için seçilen komut kullanıma uygundur.	()	()	()	()	()
5	Sistemin duraklatılması için seçilen komut kullanıma uygundur.	()	()	()	()	()
6	Sistemin kullanımı için klavyeye ek özellik eklenmelidir.	()	()	()	()	()
7	Arayüz üzerinde iyileştirmeler yapılmalıdır.	()	()	()	()	()
8	Sistem göz kırpma anlamlandırma kabiliyetine sahiptir.	()	()	()	()	()
9	Göz kırpma algılamanın geliştirilmesi gerekmektedir.	()	()	()	()	()
10	Eklenmek İstenen Düşünceler					