



**GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ KULLANILARAK GÖZ KIRPMA
HAREKETLERİYLE TEKERLEKLİ SANDALYE SİMÜLATÖRÜ KONTROLÜ**

ÖMER FARUK BAKIŞ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil Nusret BULUŞ

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Alpay DORUK

2022

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ KULLANILARAK GÖZ KIRPMA
HAREKETLERİYLE TEKERLEKLİ SANDALYE SİMÜLATÖRÜ KONTROLÜ

ÖMER FARUK BAKIŞ

ORCID: 0000-0002-8384-1563

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil Nusret BULUŞ

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Alpay DORUK

TEMMUZ-2022

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ KULLANILARAK GÖZ KIRPMA HAREKETLERİYLE TEKERLEKLİ SANDALYE SİMÜLATÖRÜ KONTROLÜ

Ömer Faruk BAKIŞ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil Nusret BULUŞ

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Alpay DORUK

Görüntü işleme, bilgisayarla bütünleşik olarak birçok endüstriyel ve teknolojik uygulamalarda kullanılabilen bilgisayar çalışmasıdır. Dijital ortama aktarılan görüntülerin sayısal verileri kullanarak iyileştirilmiş veya değiştirilmiş birbirinden farklı görüntüler elde edilebilmektedir. Aynı zamanda görüntü işleme tekniklerinden faydalanılarak nesne tanıma işlemleri de gerçekleştirilebilmektedir. Görüntü işleme sistemi yüz tanıma sistemlerinde sahteciliğe karşı koruma için de kullanılabilir. Göz kırılmalarının algılanması, operatör olarak çalışan kişilerin dikkatini izleyen sistemlerde önemlidir. Bu çalışmada, görüntü işleme teknikleri kullanılarak tespit edilen yüz bölgesinden OpenCv ve Dlib kütüphaneleri kullanılarak göz ve kaş unsurları ayrıştırılıp elde edilen veriler işlenmeye çalışılmıştır. Python programlama dili ile yazılım algoritmaları oluşturulmuştur. Yapılan filtrelemeden elde edilen göz kırpma algılama işlemleri göz bölgesinde herhangi bir rahatsızlık olmayan kişiler üzerinde test edilmiştir. Farklı ışık Lüks değerlerine sahip ışık ortamlarının göz kırpılmalarına olan etkileri Arduino ile geliştirilen LDR sensörü ile hesaplanmıştır. Aynı zamanda ışık kaynağının bulunduğu açının yüz hatlarının ve göz kırpılmalarına etkileri gözlemlenmiştir. Kamera açısının ve mesafesinin göz kırpılmalarının hesaplanmasına olan etkileri hesaplanmıştır. Uzun deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin Raspberry Pi modülüne gönderilip hazırlanan algoritmalar ile tekerlekli sandalye yerine geçecek mini robotun kontrolü sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, Göz Kırpma Algılama, Sayısal Görüntü İşleme, Dlib ile Göz Algılama, Yüz Tanıma

ABSTRACT

WHEELCHAIR SIMULATOR CONTROL WITH EYE BLINK MOVEMENTS USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES

Ömer Faruk BAKIŞ

Department of Computer Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Halil Nusret BULUŞ

(if anyone) Co-Supervisor: Assist. Prof. Dr. Alpay DORUK

Image processing is a computer work that can be used in many industrial and technological applications, integrated with the computer. By using the numerical data of the images transferred to the digital environment, improved or modified images can be obtained. At the same time, object recognition processes can be performed by using image processing techniques. The image processing system can also be used for counterfeiting protection in face recognition systems. Detection of blinks is important in systems that monitor the attention of operators. In this study, the data obtained by separating eye and eyebrow elements from the face region determined by using image processing techniques, using OpenCv and Dlib libraries were tried to be processed. Software algorithms were created with the Python programming language. Blink detection processes obtained from filtering have been tested on people who do not have any discomfort in the eye area. The effects of light environments with different light Lux values on blinking were calculated with the LDR sensor developed with Arduino. At the same time, the effects of the angle of the light source on facial features and blinking were observed. The effects of camera angle and distance on the calculation of blinks were calculated. The data obtained as a result of long experimental studies was sent to the Raspberry Pi module and the control of the mini robot, which will replace the wheelchair, was provided with the prepared algorithms.

Keywords: Image Processing, Blink Detection, Digital Image Processing, Eye Detection with Dlib, Face Detection

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| İÇİNDEKİLER..... | iii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | v |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | vi |
| SİMGELER DİZİNİ | viii |
| KISALTMALAR DİZİNİ..... | ix |
| TEŞEKKÜR..... | x |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Literatür Özeti | 2 |
| 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı..... | 15 |
| 2. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 16 |
| 2.1 Görüntü İşleme Kavramı..... | 16 |
| 2.1.1 Sayısal Görüntü İşleme | 16 |
| 2.1.2 Görüntü İşleme Teknikleri..... | 17 |
| 2.1.2.1 Histogram Eşitleme..... | 17 |
| 2.1.2.2 Görüntü Eşikleme | 18 |
| 2.1.2.3 Kenar Bulma | 19 |
| 2.2 Yüz Tarama..... | 21 |
| 2.3 Göz Tespiti Yapma | 22 |
| 2.4 Yazılım Materyalleri | 22 |
| 2.5 Donanım Materyalleri | 25 |
| 2.5.1 Raspberry Pi'nin Özellikleri..... | 25 |
| 2.5.2 Arduino UNO ile Işık Sensörü Entegrasyonu..... | 26 |
| 2.6 Yüz İşaretleri..... | 26 |
| 2.7 Dlib'in Yüz İşareti Algılayıcısı | 29 |
| 2.8 Göz Kırpılmalarını Hesaplama | 31 |
| 2.9 Yapılan Test ve Analizler | 34 |
| 2.9.1 Kaş ile Göz Arasındaki Mesafe Değerlerinin Hesaplanması..... | 39 |
| 2.9.2 Işık Değerlerinin Hesaplanması..... | 43 |

| | |
|--|---|
| 3. ROBOTİK MEKANİZMANIN HAZIRLANMASI..... | 52 |
| 4. SONUÇ..... | 55 |
| KAYNAKLAR..... | 56 |
| ÖZGEÇMİŞ | Hata! Yer işareti tanımlanmamış. |



ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Çizelge 2.1. Öznitelikler İçin Hesaplanan Mesafeler (Sağbaş, E. A., vd. 2019)..... | 30 |
| Çizelge 2.2. Kamera konumuna göre göz ile kaş arasındaki uzaklık değerleri..... | 42 |
| Çizelge 2.3. Farklı ışık kaynaklarına ait renk sıcaklık değerlerinin tablo ile gösterimi | 45 |
| Çizelge 2.4. Kameranın yatay eksenindeki konumunun başarı oranları | 48 |
| Çizelge 2.5. Kameranın dikey eksenindeki konumunun başarı oranları | 49 |
| Çizelge 2.6. Gündüz vakti kapalı ortamda yapılan test verileri..... | 49 |
| Çizelge 2.7. Güneşli bir günde açık hava da yapılan test verileri | 50 |
| Çizelge 2.8. Beyaz ışık ortamında yapılan test verileri | 50 |
| Çizelge 2.9. Turuncu ışık ortamında yapılan test verileri | 50 |



ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1. RGB renk uzayı koordinat eksenleri (Sabancı ve Aydın, 2014) | 16 |
| Şekil 2.2. Gri tonlamalı bir görüntüdeki histogram denkleştirme. (Kurka ve Salazar, 2019).. | 17 |
| Şekil 2.3. Histogram ve kümülatif frekans dağılımları. (Kurka ve Salazar, 2019) | 18 |
| Şekil 2.4. Renkli ve Gri Görüntülerle Görüntü Eşikleme (Doğan vd., 2013) | 19 |
| Şekil 2.5. Orijinal Görüntü | 19 |
| Şekil 2.6. Gri Tonlu Görüntü..... | 20 |
| Şekil 2.7. Canny Yöntemi Kullanılarak Kenar Bulma | 20 |
| Şekil 2.8. Sobel Yöntemi Kullanılarak Kenar Bulma | 20 |
| Şekil 2.9. Laplace Yöntemi Kullanılarak Kenar Bulma..... | 21 |
| Şekil 2.10. Görüntü işleme ile yüz tespiti (Calinon vd., 2005) | 22 |
| Şekil 2.11. OpenCV Bileşenleri (Doğan ve vd., 2013) | 23 |
| Şekil 2.12. Python’da Kullanılan Kütüphanelerden Bazıları | 24 |
| Şekil 2.13. Raspberry Pi | 25 |
| Şekil 2.14. LDR Işık Sensörü bağlantı devresi..... | 26 |
| Şekil 2.15. Yüzdeki işaretler, bir görüntüdeki temel yüz özelliklerini etiketlemek ve tanımlamak için kullanılır. (Rosebrock, A., 2017) | 27 |
| Şekil 2.16. 68 Yüz İşareti Koordinatını Görselleştirme. (Rosebrock, A., 2017)..... | 29 |
| Şekil 2.17. HELEN veri kümesinde seçilen sonuçlar. (Kazemi, V. ve Sullivan, J., 2014)..... | 31 |
| Şekil 2.18. Gözle İlişkili 6 Yüz Noktası (Soukupová ve Čech, 2016) | 32 |
| Şekil 2.19. Raspberry Pi ile otomatik olarak tespit edilen yer işaretlerine sahip açık göz. (Soukupová ve Čech, 2016)..... | 33 |
| Şekil 2.20. Raspberry Pi ile otomatik olarak tespit edilen yer işaretlerine sahip kapalı göz. (Soukupová ve Čech, 2016)..... | 33 |
| Şekil 2.21. Denklemdaki göz en-boy oranı EAR bir video dizisinin birkaç karesi için çizilmiştir. Tek bir göz kırpma mevcuttur. (Soukupová ve Čech, 2016) | 34 |
| Şekil 2.22. Gözlerin ön bölgeden ve tam açık olma halindeki kırpılmalarının hesaplanması. 35 | |
| Şekil 2.23. Kafanın sağ tarafa 45 derecelik açı ile durumundayken gözlerin hem kameraya bakarken hem de bakılmadığı durumdaki kırpılmalarının hesaplanması..... | 35 |
| Şekil 2.24. Kafa sol tarafa doğru 45 derecelik açıda iken ve gözler kapalı konumda iken kırpılmaların hesaplanması..... | 36 |
| Şekil 2.25. Kafa bölgesi farklı açılarda iken her iki göze ait kırpılmaların sağlıklı bir şekilde algılanmasına yönelik hesaplamalar. | 36 |

| | |
|--|----|
| Şekil 2.26. Gözlük camına ışık yansıması | 37 |
| Şekil 2.27. Yüz bölgesinde bulunan tüm yüz hatları ve çene bölgesine ait analizler..... | 38 |
| Şekil 2.28. Sadece Kaş ve Göz bölgelerinin tespiti ve analizleri | 39 |
| Şekil 2.29. Kamera ile göz arasındaki mesafe 48 cm iken eşik değerleri | 41 |
| Şekil 2.30. Kamera ile göz arasındaki mesafe 38 cm iken eşik değerleri | 41 |
| Şekil 2.31.Kamera konumuna göre göz ile kaş arasındaki uzaklık değerleri..... | 43 |
| Şekil 2.32.İnsanlar tarafından algılanabilen renkli ışık spektrumu | 44 |
| Şekil 2.33. Beyaz ışıkta farklı renk sıcaklıkları..... | 45 |
| Şekil 2.34. Farklı renk sıcaklıklarında aydınlatma yapan lambalar. | 45 |
| Şekil 2.35.İşığın geliş yönlerine göre yüz hatları | 46 |
| Şekil 2.36. Yatay ve dikey açılardan gelen ışık değerlerine göre yüz hatlarının belirginliği (Konuralp, N.E., 2015) | 47 |
| Şekil 2.37. Kapalı ortamda beyaz floresan ışık kaynağı kullanılarak yapılan testler | 47 |
| Şekil 2.38.Ön cepheden ve Arka cepheden gelen güneş ışığı değerleri kullanılarak yapılan testler | 48 |
| Şekil 2.39. Ön cepheden ve Tepe cephesinden gelen turuncu ışık değerlerinin hâkim olduğu ortamda yapılan testler..... | 48 |
| Şekil 3.1. Kullanılan Python Kütüphaneleri..... | 52 |
| Şekil 3.2. Kullanılan Python, Python3 ve PIP Paketlerinin Sürümleri..... | 53 |
| Şekil 3.3.RaspberryPi DC Motor Bağlantı Şeması..... | 54 |

SİMGELER DİZİNİ



KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|----------|--|
| EAR | Eye Aspect Ratio |
| SVM | Support Vector Machine |
| OGAMA | Open Gaze And Mouse Analyzer |
| IDE | Integrated Development Environment |
| VOI | Views Of Interest |
| SPSS | Statistical Package for the Social Sciences |
| sCES | Semi-Circular Edge Shape |
| sEES | Semi-Ellipse Edge Shape |
| IWA | Individuals With Aphasia |
| AOI | Areas Of Interests |
| UGS | Urban Green Space |
| GP | Green Appearance Percentages |
| OCE | Online Capacity Expansion |
| CAS-PEAL | Chinese Academy of Sciences' Pose, Expression, Accessories, and Lighting |
| HOG | Histogram of Oriented Gradients |
| FSLSM | Felder and Silverman Learning Style Model |
| ILS | Index of Learning Styles |
| ROI | Region of Interest |
| BioID | Proximity-Dependent Biotin Identification |
| Gi4E | Gaze Interaction for Everybody |
| VIZOS | Visuospatial Zoning Survey |
| CNN | Convolutional Neural Networks |

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde ve bu tez çalışmamda gösterdiği her türlü destek, ilgi ve yardımlarından dolayı çok kıymetli danışman hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Halil Nusret BULUŞ'a ve Dr. Öğr. Üyesi Alpay DORUK'a en kalbi duygularıyla teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans ders aşamasında dersini aldığım Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi'ndeki tüm hocalarıma teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca her zaman bana destek olan, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen anneme, babama, kardeşime ve bugünlere gelmemde üzerimde emeği bulunan tüm öğretmenlerime çok teşekkür ederim.

Ömer Faruk BAKIŞ

Bilgisayar Mühendisi

1. GİRİŞ

Günümüzde teknoloji önüne geçilemez bir hızla gelişirken insan hayatına her gün birbirinden farklı buluş, yöntem ve teknikler girmektedir. Bundan birkaç sene öncesine kadar sadece bilim kurgu filmlerinde yer alan teknolojinin şu an insan hayatında yadsınamaz bir noktaya geldiği çok net bir şekilde görülmektedir. Blockchain, chatbotlar, sürücüsüz araçlar, nano teknoloji endüstrisi, sanal gerçeklik ve nesnelerin interneti gibi birçok kavramı insan hayatına giren önemli noktalar arasında sıralamak mümkündür. Bu önemli noktalardan bir tanesi de Bilgisayar Bilimlerinde popüler araştırma alanları içerisinde yer alan ve günden güne artış gösteren görüntü işleme tekniğidir.

Görüntü işleme, genel terim olarak resimsel bilgilerin manipulasyonu ve analizi demektir (Sabancı ve Aydın, 2014). Sanayi, güvenlik, jeoloji, tıp, tarım gibi çeşit alanlarda görüntü işleme tekniğinden yararlanılmaktadır. Güvenlik sistemlerinde şifre amacıyla yüz tanıma ya da iris tanıma işlemlerinin uygulanmasında; Tıp alanında, tümörlü veya hasarlı dokuların analizlerinde; Sanayide, metal plakaların doğru yöntemle kesilmesinde, iki plakanın kaynak yöntemi ile birleştirilmesi sırasında kaynak izlerinin tespitinde ve doğruluğunda; Jeolojide farklı iklim ve kıtalara ait kayaç türlerinin tespitinde ve sınıflandırılmasında; Tarımda meyvelerde renk analiz sınıflandırma, kök gelişiminin izlenmesi, yaprak alanının ölçümü, yabancı otların belirlenmesi gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Keefe 1992; Trooien & Heermann 1992; Pérez et al 2000; Dalen 2004; Jayas & Karunakaran 2005).

Görüntü işleme, verilerin yakalanıp ölçme ve değerlendirme işleminden sonra, başka bir aygıtta okunabilir bir biçimde dönüştürülmesi ya da bir elektronik ortamdan başka bir elektronik ortama aktarılmasına yönelik bir çalışma olan “sinyal işlemeden” farklı bir işlemdir (Gonzalez vd., 2005). Görüntüler belli bir hedefe yönelmiş görüntü kaynağından alınan farklı içeriklerden oluşur. Bu tip görüntüler tomografi, ultrason, elektro mikroskop, kriminal laboratuvar, biyomedikal, su altı görüntüleme, radar, astronomi, ve bilgisayar içerikli görüntülerdir. Görüntü işleme için görüntülere uygulanan ön hazırlık evresi üzerlerindeki gürültüyü (görüntü bulanıklığı, netlik, kötü görüntü) azaltmaktır. (Santaş ve Gülesin, 2011)

Bunun için görüntülere düşük, orta ve yüksek seviye içeren işlemler uygulanmaktadır. Düşük seviyedeki işlemler de giriş ve çıkış görüntülerin gerçekliği filtreleme ile sağlanır. Orta düzey seviyedeki işlemlerde ise görüntülerdeki nesnelerin tanınması ve sınıflandırılmasında bölme ve tanıma işlemleri gerçekleştirilir. Yüksek seviye işlemler görüntülerdeki nesnelere

tanımda görüntülerin analiz edilmesini içerir. Görüntülerin bilgisayar ortamında analiz edilmesiyle de, görüntülerdeki nesnelerin görüntü içeriği detaylandırılır. Bu detaylandırma aşaması ile görüntü işleme gerçekleştirilmiş olur (Jähne, 2005).

Görüntü işleme günümüzde robotik sistemlerin temelinde yer alan konuların başında gelir. Çeşitli araçlar ile dijital ortama aktarılan görüntüler birbirinden farklı ve gelişmiş programlar sayesinde çeşitli işlemlere tabii tutulmaktadır. Gerçekleştirilen işlemler sonucunda kullanıcının sistem üzerinde belirlemiş olduğu kriterlere göre sonuçlar alınmakta ve robotik sistemlerin çalışması sağlanmaktadır. Robotik sistemlerin tasarımında en önemli faktör ve tasarıma maliyet getiren özelliği gerçek zamanlı görme işlemidir. Gerçek zamanlı görmede esas olan çalışma sırasındaki esneklik ve güvenirliliktir. Robotik sistemlerin bu yapı sayesinde insandan daha hızlı işlem yapması ve daha uzun süre süreklilik içinde çalışması beklenmektedir.

Robotik sistemlerdeki görüntü işleme, video kamera ve tarayıcılar gibi görüntü yakalayıcılarla alınan cisim görüntülerinin sayısallaştırılmasıdır. Sayısallaştırılan görüntülerin uygun programlar sayesinde işlenmesi ve analiz edilmesi ile robotik sisteme uygun komutlar verilmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan programlama dilleri; Python, MATLAB, C programları ve yapay zekâ uygulamalarıdır. Bu programlar sayesinde sayısallaştırılan cisimler üzerinde renk, şekil analizi kolaylıkla gerçek zamanlı olarak yapılabilmektedir. Günümüzde halen görüntü işleme teknikleriyle ilgili çalışmalar devam etmektedir ve her geçen gün birçok yeni sistem tasarımı ortaya çıkmaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Bu bölümde, Türkçe ve farklı dillerde yüz bölgesinden gözün seçilmesi, göz hareketlerini izleme ve göz kırma analizleri ile ilgili yapılmış olan literatür çalışmalarına yer verilmiştir.

Soukupova ve Cech (2016) tarafından, yüz işaretlerini kullanarak gerçek zamanlı göz kırpmaya algılama çalışması yapılmıştır. Standart bir kameradan bir video sekansındaki göz kırpmalarını tespit etmek için gerçek zamanlı bir algoritma önerilmiştir. Dağınık veri kümeleri üzerinde eğitilen yeni dönüm noktası detektörleri, bir kamera, değişken aydınlatma ve yüz ifadeleri ile ilgili olarak bir kafa yönelimine karşı mükemmel sağlamlık sergilemektedir. Göz açıklığı seviyesini güvenilir bir şekilde tahmin etmek için işaretlerin yeterince hassas bir şekilde tespit edildiği gösterilmiştir. Önerilen algoritma bu nedenle dönüm noktası konumlarını tahmin

eder, her çerçevedeki göz açıklığını karakterize eden tek bir skaler miktarını Göz En Boy Oranı (Eye Aspect Ratio (EAR)) çıkarmaktadır. Son olarak bir Destek Vektör Makinası (Support Vector Machine (SVM)) sınıflandırıcı, kısa bir geçici pencerede EAR değerlerinin bir modeli olarak göz kırpmalarını algılamaktadır. Sonuç olarak, gerçek zamanlı bir göz kırpma algılama algoritması sunulmuştur. Regresyon tabanlı yüz işareti detektörlerinin bir göz açıklığı seviyesini güvenilir bir şekilde tahmin etmek için yeterince hassas olduğu nicel olarak gösterilmiştir. İki standart veri setinde son teknoloji ürünü, sağlam bir dönüm noktası detektörü ve ardından SVM' ye dayalı basit bir göz kırpma tespiti kullanılarak elde edilmiştir. Göz en boy oranının (EAR) geçici bir penceresini kullanan önerilen SVM yöntemi, EAR eşik değerinden daha iyi performans göstermiştir.

Patayon vd. (2021) çalışmalarında göz izleme cihazı kullanarak kanıta dayalı uyarılar üzerine karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. Bu makalede, sinyal verme ile ilerleme hızı (pacing) birleştirmenin olası etkisi araştırılmaktadır. Araştırmacılar, katılımcıların göz hareketlerini izlemek için Gazepoint göz takip cihazını ve bu çalışma için kullanılan gerekli parametreleri analiz etmek ve saklamak için Açık Bakış ve Fare Analizörü (Open Gaze And Mouse Analyzer (OGAMA))'ı kullanmıştır. Bu çalışmada 24 katılımcıyı iki gruba ayırmışlardır. Biri sinyal ile uygulanan bir uyarana, diğeri ise sinyal ve pacing ile uygulanan bir uyarana maruz kalmıştır. Her bir uyarıcı, anlaşılması için daha büyük bir bilişsel yük gerektiren bir öğrenme materyali olduğunda, verilere olası önyargıyı önlemek için araştırmacılar tarafından seçilen kısa bir Polonya tarihçesini içermektedir. Bu çalışmanın sonucunda, sabitleme (fiksasyon) sayısının ve tespit süresinin anlama testi sonucu ile pozitif bir ilişkisi olduğu gösterilmiştir. Ayrıca tek başına sinyal ile uyarılara maruz kalan öğrencinin son test puanlarının, fiksasyon sayısının ve fiksasyon süresinin anlama testi sonucu, fiksasyon sayısı ve uyarılara maruz kalan öğrencinin fiksasyon süresine göre sinyal ve ilerleme hızının önemli ölçüde farklılaştığını da göstermiştir.

Pantanowitz vd. (2021) tarafından, düzgün ve basit göz takibinin karşılaştırması için veri kümesiyle bakış izleme çalışması yapılmıştır. Öğrenci izleme verileri bir kızılötesi kamera ve başa takılan bir sistem kullanılarak toplanılmıştır. Başa takılan sistem, ilgili göz bebeğinin konumunu algılar ve fare imleci konumunu buna göre ayarlamaktadır. Veriler, göz takibini sakkadik hareketlerle (baş boşlukta sabitlenmiş olarak) yumuşak hareketlerle (kafa hareket ederken) karşılaştırmak için mevcuttur. Analiz, her iki göz izleme türü için her biri iki katılımcı için on deneme ile gerçekleştirilen iki deney içermektedir. İlk deneyde katılımcı, imleci çeşitli

boyutlarda bir hedef sınıra yerleştirmeye çalışmıştır. İkinci deneyde katılımcı, imleci en kısa sürede hedef konuma hareket ettirmeye çalışmıştır. Donanım alt sistemi, PlayStation-Eye kamera, başlık ve kızılötesi devreden oluşmaktadır. Başlık teçhizatı, PlayStation-Eye kamera ve kızılötesi devre için yapısal destek sağlamak üzere modifiye edilmiş bir kriket (spor) kaskıdır. PlayStation-Eye kamera ve kızılötesi devresini başlığa bağlamak için dövülebilir bir bakır tel kullanılmıştır. Kamera, yalnızca kızılötesi ışığı alacak şekilde değiştirilmiştir. Yazılım alt sistemi, öğrencinin hareketi algılandığında fare imlecini hareket ettirmekten sorumludur. Bu görüntü işleme için OpenCV 4.0 (açık kaynaklı bir C++ kitaplığı) ile Microsoft Visual Studio 2019 gibi bir C++ Entegre Geliştirme Ortamı (Integrated Development Environment (IDE)) kullanılarak uygulanmıştır. Fare imleci, Windows.h kitaplığı ve aynı kitaptan yakalanan ham konum verileri kullanılarak hareket ettirilmiştir.

Babic vd. (2020) tarafından, bilinmeyen trafik işaretlerine göre sürücülerin bakışlarını analiz eden bir göz izleme çalışması yapılmıştır. Trafik işaretleri, trafik kontrol planının ayrılmaz bir parçasıdır ve yol kullanıcılarına yaklaşan durum hakkında gerekli bilgileri sağlamaktadır. Bu makale, farklı ülkelerde kullanılan trafik işareti görüntülerinin anlayış düzeyini incelemeyi ve yabancı işaretlerle karşılaştıklarında katılımcıların göz hareketlerini takip etmeyi amaçlamaktadır. Tobii göz izleme gözlükleri, tanıdık ve bilinmeyen trafik işaretleri arasındaki bakış farklılıklarını izlemek için kullanılmıştır. Bulgular, işaret özelliklerinin (işaret üzerindeki bilgi miktarı gibi) ve gözlemcinin işaret anlamı hakkındaki bilgisinin göz davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Daha fazla bilgi içeren (daha fazla içerikle yüklü) ve katılımcıya aşina olmayan işaretler, sistematik olarak en uzun genel ve ortalama sabitlemeleri ve bakma süresini üretmiştir. Tanıdık olmayan trafik işaretleri için daha uzun bakış süresinin potansiyel bir trafik tehlikesi oluşturduğu göz önüne alındığında, trafik işaretlerinin standardizasyonuna olan ihtiyacı değerlendirilmiştir. Katılımcılar kişisel iletişim yoluyla ve kişisel temasın yetersiz kaldığı durumlarda mail veya iletişim kurulacak kişiyle irtibat halinde bulunan başka birisi aracılığıyla ek bağlantılar sağlanarak bir araya getirilmiştir. Test odası, Hırvatistan Zagreb Üniversitesi Ulaştırma ve Trafik Bilimleri Fakültesi Trafik Sinyalizasyon Bölümünde kurulmuştur. Çalışmanın amacı için Tobii Pro 2 göz izleme gözlükleri kullanılmıştır. Gözlükler, göz bebeğinin konumunu belirleyen dört kamera ve katılımcının önündeki alanı kaydeden bir HD kamera ile donatılmıştır. Bu aparat, daha doğal bir davranış modelinin oluşmasını sağlayan invazif olmayan özellikleri nedeniyle seçilmiştir. Çalışmaya toplam 62 katılımcı (50 Hırvat ve 12 yabancı) dâhil edilmiştir. Tüm katılımcılar 18 yaşın üzerindedir, geçerli bir ehliyete sahiptir ve

görme sisteminde önemli bir bozukluk (renk eksikliği, vb.) yoktur. Sonuç olarak, toplam 62 katılımcı testi tamamlamıştır (37 erkek ve 25 kadın). Katılımcıların çoğu 35 yaşın altında (% 74,2), yaş aralığı 18 ile 66'nın üzerinde olacak şekilde seçilmiştir ve katılımcılar deneyimli sürücülerden seçilmiştir.

De La Fuente Sua'rez (2020) tarafından, tarihi binadaki dikkat çeken yerlerin analizi için göz izleme çalışması yapılmıştır. Bu keşifsel çalışmanın amacı, bir mimari çalışmaya yönelik görsel dikkat ile onun gözlemi sırasında üretilen öznel deneyimler arasındaki ilişkileri keşfetmektir. Bir binayla ilgili öznel bir deneyim, bir mimari öğenin veya bir bütün olarak binanın bir kişiye sunulduğu belirli bir yol olarak belirtilmiştir. Öğelerin nasıl algılandıkları gibi nitelikleri ve gözlemcinin iç dünyası bu öznel deneyimde ele alınmıştır. Bu çalışmanın amacı, bir binanın insanlarda yarattığı deneyimi tanımlamak, bir güzergâhtaki binanın her görünümü sırasında katılımcının dikkatini neyin çektiğini saptamak ve bu seçilen vaka çalışmasının hangi yönlerinin onu ilgi konusu haline getirdiğini anlamaktır. Taşınabilir bir göz takip cihazı kullanılarak bir göz izleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu araç, katılımcıların Meksika'nın Monterrey kentindeki tarihi bir tren istasyonunun dışında serbestçe dolaşmalarına izin vermiştir. Binanın zıt yönlerinden başlayan rotalara sahip iki grup katılımcı, göz takip cihazını kullanırken bunu düşünmüştür. Göz takibi, dikkat nesnesi olan mimari öğelerin, gözlem uzunluklarının ve öğelerin gözlendiği bakış açılarının tanımlanmasına olanak sağlamıştır. Tarihi binanın görsel keşfine eşlik eden deneyimleri derinlemesine anlamak için sesli düşünme protokolü ve özel bir anket türü gibi diğer veri toplama teknikleri kullanılmıştır. Sonuçlar katılımcıların, ne binayı keşfetmek için kullanılan rotadan ne de bu rotanın başladığı noktadan etkilenmeyen bir süre boyunca farklı mimari unsurları gözlemlediklerini göstermiştir. Gözlem uzunlukları, muhtemelen unsurların katılımcılar tarafından görsel olarak açık bir şekilde dikkat çeken nesnelere olma derecesiyle ilgili olduğu düşünülmektedir. 28 anket katılımcısından on dördü, Tobii Pro Gözlük 2 göz takip cihazını takarak binayı keşfetmiştir (doğu veya batı rotasından her bir başlangıç noktası için yedi katılımcı). Binanın araştırılmasının ardından, gözlemcilere Görsel-Uzaysal Bölge Araştırması (Visuospatial Zoning Survey (VIZOS))'e katılmaları talimatı verilmiştir. Kalan 14 öğrenci ise sadece bina içinde dolaştıktan sonra VIZOS'u cevaplamıştır. Yüksek kaliteli mimarinin örnekleri olarak belirlenen ve güzergâh boyunca katılımcılar tarafından estetik olarak algılanan mimari unsurlar daha uzun süre gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, İlgiilenilen Görüşler (Views Of Interest (VOI))'ler 11 ila 33 saniye sürdü, 12 VOI'den geçen bir rotanın ortalama süresi 207,7 saniyedir ve atipik görünüm de dâhil olmak üzere bina etrafındaki toplam rotanın ortalama süresi 287,1

saniye olarak belirlenmiştir. Tobii Analyzer yazılımında seçilen ısı haritası hesaplama yöntemi, fiksasyon süresiyle hesaplanan mutlak süredir. Isı haritalarını hesaplamak için kullanılan yarıçap, çok daha uzun sürelerde gözlemlenen binanın ayrıntılarını görselleştirebilmek için küçük tutulmuştur.

Maran vd. (2019) tarafından, liderlerin iletişim sırasında göz kontaklarının izlenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Karizmatik liderlik, örgütsel performansı arttırmaktadır. Karizmanın kendisi, iletişim kurmak için tasarlanmış bir davranış repertuarı olarak tanımlanabilir, ancak bileşenleri belirsiz kalmaktadır. Liderlerin göze dönük bakışlarının bu tür davranışlardan biri olduğunu ve dolayısıyla karizmalarıyla bağlantılı olduğu varsayılmıştır. Göz takibini kullanarak, deneklerin takipçileri ortak bir hedefe doğru etkilemeye çalıştığı simüle edilmiş bir liderlik senaryosu sırasında bakışları izlenmiştir. İki çalışmada, takipçilerinin gözlerine yönelik bakışların sıklığını ve süresini tahmin etmek için deneklerin kendi karizmalarına ilişkin izlenimlerini bulmuşlardır. Ek olarak, daha uzun ve daha sık göze yönelik bakışlar, liderlerin izleyicilerinin gözünde konumlarının hem daha karizmatik hem de donanımlı görünmesine neden olmuştur. Bulgular, liderlerin bir izleyicinin gözlerine bakmalarının karizmalarıyla bağlantılı olduğuna dair ilk kanıt sağlamaktadır. Bir liderin karizmasını sinyal yaklaşımı merceğinden inceleyerek karizmatik liderliği oluşturan davranışlara ilişkin iç görü sunulmuştur. İlk olarak göz teması sayısı ve süresi, genel karizmanın her iki boyutu ve kişiliğin beş faktörü arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için Pearson ürün-moment korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Korelasyonlar r [± 0.10 = küçük etki; ± 0.30 = orta etki; ± 0.50 = büyük etki]. Bu ilişkileri daha ayrıntılı incelemek için doğrusal regresyon modelleri hesaplanmıştır. Veri analizleri Sosyal Bilimler İstatistik Paketi (Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)) (Versiyon 24) kullanılarak yapılmıştır. Değerler tablolar ile gösterilmiştir.

Ahmed ve Laskar (2019) tarafından, değişik geometrik yüzlerdeki göz merkezinin saptanmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır. İnsan gözü merkezlerinin tahmini, sürücü uyusukluk tespiti, göz takibi, yüz tanıma vb. gibi çeşitli bilgisayarla görme uygulamalarında önemli adımlardan biridir. Mevcut tekniklerin çoğu, gözleri yerelleştirmede başarısız olurken sadece ön yüzlerde yerelleştirilebilir kafa duruşu, ölçek ve aydınlatmadaki değişiklikler gibi karmaşık senaryolarda göz çiftleri başarılı olmuştur. Bu çalışmada, yukarıda belirtilen karmaşıklıklar altında yakalanan yüz görüntülerinde göz merkezlerini daha kesin olarak konumlandırabilen bir göz lokalizasyon yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem üç aşamadan

oluşmuştur: göz adayı tespiti, göz adayı doğrulama ve işlem sonrasıdır. Göz adayı tespitinde, olası göz adayları Yarı Dairesel Kenar Şekli (Semi-Circular Edge Shape (sCES)) ve Yarı Elips Kenar Şekli (Semi-Ellipse Edge Shape (sEES)) özellikleri olmak üzere iki yeni özellik kullanılarak çıkarılmıştır. Bu özellikler, iris ve göz kapağının yarım daire ve yarı elips kenarlarını dikkate alarak göz merkezlerini daha hassas bir şekilde konumlandırabilmektedir. Doğrulamada çıkarılan göz adayları, SVM tabanlı bir sınıflandırıcı kullanılarak doğrulanmıştır. Görüntülerin ölçek varyasyonlarını işlemek için doğrulama aşamasına bir ölçek alanı çerçevesi de dâhil edilmiştir. İşlem sonrası göz merkezleri bazı geometrik kısıtlamalar kullanılarak eşleştirilir ve ardından gerekli göz çiftini tespit etmek için modifiye bir gradyan bazlı yöntem önerilmiştir. Önerilen sistem, kafa duruşu, ölçek, aydınlatma vb. değişikliklere karşı dayanıklılığını kontrol etmek için farklı veri tabanlarında değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen yöntemin zorlu ortamlarda daha iyi doğruluk gösterdiğini ve ayrıca bazı son teknoloji yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Geometrik şekillere dayalı olarak geliştirilen sCES ve sEES özellikleri, bir yüz görüntüsündeki olası göz merkezlerini çıkarmak için kullanılmıştır. Yakınlığa Bağlı Biotin Tanımlaması (Proximity-Dependent Biotin Identification (BioID)) ve Herkes için Bakış Etkileşimi (Gaze Interaction for Everybody (Gi4E)) veritabanları üzerinde sCES ve sEES özelliklerinin performanslarını ve bunların kombinasyonunu karşılaştırmak için deneyler yapılmıştır. Ayrıca ölçek uzayı çerçevesinin önerilen yöntemdeki etkisi analiz edilmiştir. sCES ve sEES özelliğinin kombine yanıtının yüksek geri çağırma performansı sağladığı görülmüştür.

Dede ve Kelleher (2021) tarafından yapılan bu çalışmada, sağlıklı yaşlanma ve afazinin okuyucuların çevrimiçi okuma sırasında yapısal tahminler üretme kapasitesini nasıl etkilediğini ve animacy ipuçlarının bu süreci nasıl etkilediği incelenmiştir. Beyin hasarı olmayan daha genç (n = 24) ve daha yaşlı (n = 12) yetişkinler (Deney 1) ve afazili bireyler (IWA; n = 11; Deney 2) bir göz izleme deneyinde özne göreceli ve nesne göreceli cümleleri okumuştur. Cümlelerin yarısı canlı duygusal konuları içermektedir ve diğer yarısı cansız cümle konularını içermektedir. Her üç grup da söz dizimsel karmaşıklığın etkilerini azaltmak için animasyon bilgisini kullanmıştır. Bu etkiler yaşlılarda genç yetişkinlere göre daha fazla görülmüştür. Afazili Bireyler (Individuals With Aphasia (IWA)) yapısal frekansa duyarlıdır ve konu ile ilgili cümlelere göre nesneye göre daha uzun okuma süreleri görülmüştür. Önceki çalışmada olduğu gibi, yapısal karmaşıklığın etkileri IWA'nın cümleden ilk geçişinde ortaya çıkmamıştır, ancak IWA cümlelerin kritik bölümlerini yeniden okuduğunda gözlemlenmiştir. Dolayısıyla IWA, düşük frekanslı veya karmaşık cümle yapılarıyla karşılaştıklarında atipik okuma stratejileri

benimseyebilir, ancak bu yapılarla ilişkili işlem kesintilerini azaltmak için animasyon bilgisini kullanabilmektedir. Daha genç bir yetişkin, tüm cümle türlerinde şans düzeyi doğruluğu nedeniyle analizden çıkarılmıştır (96 maddeyle, iki terimli bir dağılımda şans % 42 ile % 57 arasında doğrudur). Her koşul ve okuma ölçüsü için ortalama okuma süreleri, genç yetişkinler için ve yaşlı yetişkinler için tablolar aracılığıyla sunulmuştur.

Huang vd. (2021) tarafından, yiyecek etiketleri için görsel aramada renk-tat uyumsuzluğunun etkisini gözlemlemek amaçlı göz izleme çalışması yapılmıştır. Tüketiciler, uyarıları yiyeceklerin veya içeceklerin rengi ve tadı gibi farklı duyuyla ilişkilendirme eğilimindedir. Ana akım gıda ürünlerinin ambalajlarına tekrar tekrar maruz kaldıktan sonra, tüketiciler belirli bir ambalaj rengini ve belirli bir lezzet etiketini ilişkilendirebilmektedirler. Önceki araştırmalar, bu ambalaj rengi-tat etiketi ilişkilerinin belirli bir aroma etiketi için görsel arama üzerindeki etkisini göstermiştir. Burada, bu davranışsal etkinin mekanizmasını araştırmak için tasarlanmış bir göz izleme çalışması sunulmuştur. Katılımcılar, bu lezzet etiketine sahip bir gıda ambalajı aramadan önce bir lezzet kelimesi ile işaretlenmiştir. Davranışsal sonuçlar, renk-tat uyumsuzluğu etkisinin bir göstergesi olarak, renk-tat uyuşmayan bir hedef bulmada daha yavaş olduklarını ortaya çıkarmıştır. Göz hareketi sonuçları, katılımcıların belirli bir tada sahip bir ambalajı ararken renge güvenebileceğini ve hedef renk tabanlı aramayla bulunamazsa kelime tabanlı aramaya geri dönebileceğini göstermiştir. Bu bulgular, ambalaj tasarımında renk-lezzet uyumluluğunun önemini ortaya koymaktadır ve tüketicilerin dikkatini mağazada veya çevrimiçi olarak çekmek için ambalaj tasarımında renk-lezzet uyumsuzluğunun nasıl kullanılacağına biraz ışık tutmaktadır. Üç katılımcının göz hareketi verileri aşırı büyük baş hareketleri nedeniyle kaydedilmemiştir ve bir katılımcı deneyi tamamlamamıştır. Bu nedenle 20 katılımcının verileri (ortalama yaş = 20,9 ± 2,3 yıl; 11 kadın) veri analizlerine dâhil edilmiştir. Genel olarak, bu 20 katılımcı% 93,72'lik yüksek bir doğruluk seviyesi elde etmiştir. Her deneysel koşul altında lezzet İlgi Alanları (Areas Of Interests (AOI)) için ortalama giriş süresi verileri Şekilde gösterilmiştir.

Li vd. (2020) tarafından, göz takibi kullanılarak belirlenen kentlerdeki yeşil alanların değerlendirilmesine yönelik göz izleme çalışması yapılmıştır. Kentsel Yeşil Alan (Urban Green Space (UGS)) bir şehirde kullanılması insanların zihinsel ve fiziksel sağlığına katkıda bulunmaktadır. Peyzaj değerlendirme ve tercih çalışmalarından insanların algılamaları ve tutumları hakkındaki bilgiler, UGS'nin planlanması ve yönetimi için önemli bir bilimsel temel oluşturmaktadır. Bu çalışmada, farklı peyzaj öğelerinin oranları ile insanların UGS çekiciliğine

ilişkin değerlendirmeleri arasındaki ilişkiyi araştırmak için göz izleme ve çevrimiçi bir anket kullanılmıştır. Şanghay'da değişen Yeşil Görünüm Yüzdeleri (Green Appearance Percentages (GP))'ler ve farklı peyzaj öğeleri (ağaçlar, su, yapay sert manzaralar vb.) İle çekilmiş fotoğraflar kullanılarak deneyler yapılmıştır. Sonuçlar, GP'nin peyzaj çekiciliği üzerindeki etkisinin, seviyesi %45'in altında olduğunda %48'in üzerindeyken olduğundan daha fazla olduğunu göstermiştir. Ağaçlar, yayalar ve görsel olarak baskın unsurlar (üst geçitler, tabelalar, koltuklar ve bir gözlemcinin dikkatini çekebilecek diğer unsurlar) dâhil olmak üzere peyzaj unsurları katılımcıların değerlendirmelerini etkilemiştir. Ağaçlara ve yayalara görsel olarak baskın unsurlardan daha fazla ilgi gösterenlerin daha yüksek bir değerlendirme yapma olasılığı daha yüksek görülmüştür. Yeşilliklerin su yüzeyine yansması, bölge sakinlerinin pratisyen hekime yönelik algısını güçlendirmiştir. Sert peyzaj, bitki örtüsünün çekiciliğini bölmüş ve peyzaj değerlendirmesini düşürmüştür. Bu çalışma, kentsel yeşil alan için çevrimiçi anketlerle birlikte göz takibini kullanmak için anlamlı bir girişim olduğunu göstermektedir. GP, UGS'de yeşillenmenin görsel etkisini ölçmek için önemli bir göstergedir. Araştırmalar, bitki örtüsünün oranı ile bölge sakinlerinin yeşillik algısı arasında pozitif bir korelasyon bulmuştur. Sonuçlar, göz hareketi verilerinin bir manzaranın görsel kalitesinin etkili ölçümlerini sağlayabileceğini ve göz hareketi analizini peyzaj değerlendirmesiyle birleştiren etkili bir yöntemi gösterdiğini göstermektedir. Göz izleme, peyzaj değerlendirmesinde nispeten yeni bir yöntemdir ve bu çalışma, peyzaj tasarımına rehberlik etmek için insanların manzara algısını anlamak için yararlılığını desteklemektedir. Bu çalışmanın sonuçlarının, şehir planlamacılarına ve tasarımcılara peyzaj unsurları ve peyzaj değerlendirmesi arasındaki ilişkileri daha iyi ve daha net bir şekilde anlamalarına yardımcı olacağı ve göz izleme verilerinin UGS planlama ve yönetim uygulamalarına dâhil edilebileceği umulmuştur.

Huang vd. (2018) tarafından, Çok görevli öğrenmeye sahip iki seviyeli kademeli Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks (CNN))'ler aracılığıyla gözlerin önemli noktalarının tespiti çalışması yapılmıştır. Göz lokalizasyonu için yapılan kapsamlı araştırmalara rağmen, gözün yer işaretlerinin tespitinin doğruluğu aydınlatma, açık ve kapalı arasındaki göz durumu dönüştürme farkından kolayca etkilenmiştir. Bu sorunları gidermek için, iki seviyeli kademeli evrişimli sinir ağları ile gözlerin yer işaretlerinin tespiti için yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Birinci seviyedeki ağ, gözün başlangıç pozisyonlarını sağlamak için yardımcı görev olarak göz durumu tahminini kullanmıştır. İkinci seviyedeki daha sığ ağ, girdi olarak tahmin edilen göz noktalarında ortalanmış küçük bölgeleri alarak göz konumlarına ince ayar yapmaktadır. Modeli eğitmek için, farklı durumlarda göze çarpan ilk veri kümesi olan

Çevrimiçi Kapasite Genişletme (Online Capacity Expansion (OCE)) veri kümesini sunulmuştur. Yöntem, OCE veri setinde ortalama %5,6 algılama hatası elde etmiştir. Diğer deneyler UBIRIS V1.0, MMU V1.0 ve MICHE-I üzerinde test edilmiştir ve bunların sonuçları, yöntemin kabul edilebilir performansını göstermiştir.

Kim vd. (2017) tarafından, Çok ölçekli iris şekli özelliğine dayalı poz varyasyonu altında bir yüz görüntüsünde göz algılama çalışması yapılmıştır. Yüz görüntüsündeki gözlerin doğru konumu, insan yüz tanıma ile ilgili birçok uygulama için önemlidir ve bilgisayarla görüşle ilgili önemli araştırma ilgisini çekmiştir. Bununla birlikte çoğu yaygın yöntem, yüzün önden pozuna dayanır ve bu pozları önden olmayan pozlara uygulamak hatalı sonuçlar verebilmektedir. Bu çalışmada, çeşitli kafa pozlarında çekilen yüz görüntülerinde gözleri konumlandırabilen bir göz algılama yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem iki aşamadan oluşmaktadır: göz aday tespiti ve göz aday doğrulama. Göz aday tespitinde çok ölçekli iris şekli özellikleri ve bütünleşik görüntü kullanılarak göz adayları elde edilmiştir. Yüz görüntülerindeki irisin boyutu, kafa pozunu değiştikçe değişmektedir ve önerilen çok ölçekli iris şekli özelliği yöntemi bu gibi durumlarda gözleri algılayabilmiştir. İntegral görüntüyü kullandığından, hesaplama maliyeti nispeten düşük olmaktadır. Çıkarılan göz adayları daha sonra, Yönlendirilmiş Gradyanların Histogramı (Histogram of Oriented Gradients (HOG)) ve hücre ortalama yoğunluk özelliklerinin bir histogramının özellik düzeyinde füzyonuna dayalı bir destek vektör makinesi (SVM) kullanılarak göz aday doğrulama aşamasında doğrulanmıştır. Çin Bilimler Akademisi'nin Duruşu, İfadesi, Aksesuarları ve Aydınlatması (Chinese Academy of Sciences' Pose, Expression, Accessories, and Lighting (CAS-PEAL)) veritabanı ve Pointing'04 veritabanını kullanarak önerilen yöntemin performansı test edilmiştir. Sonuçlar, yöntemin geleneksel Haar benzeri dedektör ve nispeten aşırı kafa poz varyasyonları altında iki hibrit göz dedektörüne göre üstünlüğünü doğrulamıştır.

Luo ve Wang (2019) tarafından, Görselleştiricileri ve sözlü anlatıcıları tanımlamada göz izleme teknolojisi: göz hareketi farklılıkları ve algılama doğruluğu ile ilgili veriler çalışması yapılmıştır. Bu makaledeki veriler, bakış yolunu ve sabitleme verilerini (sabitleme süresi, sabitleme sayıları ve her bir sabitlemede ortalama süre) analiz ederek dört metin içinde resim görüntülerken görselleştiriciler ve sözselleştiriciler arasındaki göz hareketi farklılıklarını ortaya koymuştur. Belgeler Tobii göz takipçisine aktarıldıktan sonra, yazarlar katılımcıların doğal okuma alışkanlıklarını tetiklemişlerdir, göz hareketi verilerini kaydetmişlerdir ve katılımcıları Felder ve Silverman Öğrenme Stili Modeli (Felder and Silverman Learning Style Model

(FSLSM)) göre görselleştiriciler veya sözelleştiriciler olarak tahmin etmişlerdir. Tahminleri Öğrenme Stilleri Dizini (Index of Learning Styles (ILS)) anketiyle test edilen kendi kendine rapor sonuçlarıyla karşılaştıran yazarlar, görselleştiricileri ve sözelleştiricileri tanımlamada göz izleme teknolojisini kullanmanın doğruluk sonuçlarını elde etmiştir. Veriler, farklı tarzlara sahip kişilerin doğal tercihlerini ortaya çıkarmış ve uyarlanabilir öğrenme sistemleri bireysel farklılıklar okuma alışkanlıklarında nörobilim ve bireyselleştirilmiş öğretim alanında gelecekteki çalışmalarda kullanılabilceği ileri sürülmüştür.

Kazemi, V. ve Sullivan, J. (2014) tarafından, regresyon araçları ile bir milisaniyede yüz hizalama çalışması yapılmıştır. Bu makale, tek bir görüntü için Yüz Hizalama sorununu ele almaktadır. Yüzün dönüm noktası konumlarını doğrudan seyrek bir piksel yoğunlukları alt kümesinden tahmin etmek ve yüksek kaliteli tahminlerle süper gerçek zamanlı performans elde etmek için bir regresyon ağaçları grubunun nasıl kullanılabilceği gösterilmiştir. Kare hata kaybının toplamını optimize eden ve eksik veya kısmen etiketlenmiş verileri doğal olarak işleyen bir regresyon ağaçları topluluğu öğrenmek için gradyan artırmaya dayalı genel bir çerçeve sunulmuştur. Görüntü verilerinin yapısından yararlanan uygun önceliklerin kullanılmasının verimli özellik seçimine nasıl yardımcı olduğu gösterilmiştir. Farklı düzenleme stratejileri ve aşırı uyumla mücadeledeki önemi de araştırılıp aktarılmıştır. Ek olarak, eğitim verilerinin miktarının tahminlerin doğruluğu üzerindeki etkisi analiz edilmiş ve sentezlenmiş verileri kullanarak veri artırmanın etkisi sunulmuştur.

Sağbaşı, E. A. vd. (2019) tarafından, yüz ifadesi tanıma için mesafe oranlarına dayalı öznitelik çıkarımı ve genetik algoritmalar ile seçimi üzerine çalışma yapılmıştır. Yüz ifadeleri, insanların duyguları hakkında bilgi vermesi nedeniyle sözsüz iletişimde önemli bir rol oynamaktadır ve başta eğitim, sağlık, hukuk, eğlence olmak üzere çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada yüz ifadelerine dayalı duygu tespiti sistemi geliştirilmiştir. Bu kapsamda yedi temel duygu ifadesi için (mutlu, kızgın, üzgün, iğrenme, korku, şaşırma ve nötr) toplam 9296 adet görüntü 4 erkek 3 kadın katılımcıdan alınmıştır. Elde edilen görüntüler kullanılarak öncelikle yüz işaretçilerinin konumu tespit edilmiştir. Sonrasında yüz işaretçileri arasındaki mesafe oranlarına dayalı yeni bir öznitelik çıkarma yaklaşımı ile toplamda 120 adet öznitelik çıkartılmıştır. Öznitelik seçiminde Genetik Algoritmalar kullanılmıştır. Buna ek olarak Relief, Information Gain ve Gain Ratio öznitelik seçimi algoritmalarının başarımı Genetik Algoritmaların sonucu ile karşılaştırılmıştır. Seçilen özniteliklerin sınıflandırma performansları; KNN, Bayes Ağları ve Rastgele Orman yöntemleri ile test edilmiştir. Sonuç

olarak, bu çalışmada önerilen öznelik çıkarma yöntemi ile elde edilen özneliklerin Genetik Algoritmalar kullanılarak seçilmesi ve Rastgele Orman ile sınıflandırılmasının ardından başarılı sonuçlar üretebildiği gözlemlenmiştir.

Fusek tarafından (2018) Jeodezik mesafeyi kullanarak gözbebeği lokalizasyonunu belirlemeye yönelik çalışma yapılmıştır. Sunulan makalede; özellikle sürücü uykusu hali, bakış yönü veya göz kırpması sıklığının tanınması için birçok algılama ve tanıma senaryosunda kullanılacak benzersiz ve sağlam bir insan gözü veri seti sunulmuştur. Veri seti, çeşitli yakın kızılötesi kameralar, çeşitli çözünürlükler ve çeşitli aydınlatma koşulları kullanılarak yakalanan yaklaşık 85.000 farklı göz bölgesinden oluşmaktadır. Görüntüler birçok kategoriye ayrılmıştır. Daha sonra, jeodezik mesafeye dayalı gözbebeği lokalizasyonu için yeni bir yöntem sunulmuştur. Yapılan deneyler, önerilen yöntemin bu alandaki en gelişmiş yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. Sonuç olarak, makalenin katkısının iki yönlü olduğuna inanılmaktadır. Gözbebeği merkezinin yerleştirilmesi için yeni bir yöntem sunulmuştur. Yeni yöntemi değerlendirmek için kullanılan büyük veri kümesini sunulmuştur (BioID veri kümesi ile birlikte). Deney sonuçlarına dayanarak, jeodezik mesafeye dayalı önerilen yöntemin çok umut verici algılama puanı elde ettiği sonucuna varılmaktadır. Diğer çeşitli mesafelerin de kullanılacağı belirtilmiştir.

De Oliveira vd. tarafından (2015) elektrikli tekerlekli sandalye arayüzünü desteklemek için gerçek zamanlı kaş segmentasyonu ve takip tekniği çalışması yapılmıştır. Bu makale, bir elektrikli tekerlekli sandalye için bir arabirimi desteklemek için bir kaş izleme yöntemi sunmaktadır. Bu arayüz, elle oluşturulan komutlar olmadan başın hareketini ve yüz özelliklerini de yorumlayarak tekerlekli sandalyeyi kontrol etmeyi amaçlamaktadır. Kontrol arayüzü için donanım, kendisine bağlı bir web kamerası bulunan kasktan oluşmaktadır. Kamera, kullanıcının yüzüne doğrultulmuştur ve görüntü dizisi gerçek zamanlı olarak alınıp ve işlenilmiştir. Bu makalede, motorlu bir tekerlekli sandalye için bir komut arayüzünün geliştirildiği daha geniş bir çerçevenin modülünü tanıtılmıştır. Arayüzün tamamı bilgisayarlı görü arayüzü ve tekerlekli sandalye komutlarını yürüten robotik modülden oluşmaktadır. Bu makalenin odak noktası, yalnızca boynun yukarısındaki kaslarla hareketler gerçekleştirebilen insanlar için tasarlanmış bir elektrikli tekerlekli sandalyeye komuta etmek için bir kaş segmentasyonu ve izleme tekniği önermektir. Kaş segmentasyonu ve izleme tekniği, Lab renk alanı modeli altında, o görüntünün her bir bandı için iki modlu histogramlar elde etmeyi bekleyerek, yalnızca kaş ve alın derisini içeren bir bölgenin doğru kırılmasına dayanmaktadır. Kaş segmentasyonu, L ve b bantlarından

Otsu eşiklemelerinin kesişimi ile elde edilmektedir. Bu kombinasyon iyi sonuçlar vermiştir, çünkü b bandı segmentasyonunun L bandının kötü bir segmentasyonunu telafi ettiği durumlar vardır ve bunun tersi de geçerlidir. Bu teknik, farklı cilt tonlarıyla farklı aydınlatma koşullarında test edilmiştir. İç mekân ortamları, daha fazla ışık kontrol olanakları nedeniyle dış mekânlardan daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu makale, kaş hareketleriyle verilen komutların yorumlanmasına odaklanmaktadır. Göz bölgelerinin saptanmasının ardından kaşlar, klasik Otsu eşikleme ile ikili hale getirilen CIELab renk uzayı L ve b bantlarının bir bileşimi ile bölümlere ayrılmıştır. İzleme, segmentli kaştan alınan dikey bit imzasının hesaplanması ve analizi ile yapılmıştır. Hareket ve durdurma komutlarının oluşturulması tatmin edici sonuçlar vermiştir. Kaş takibi, korku, farklı ışık koşulları ve kullanıcıların cilt tonlarında doğru ve sağlam olduğu görülmüştür. Sarışın veya albino kişilerin cilt ve kaşlar arasındaki kontrastı artırmak için kaşlarını bir çeşit işaretleyici ile koyulaştırması gerekebilir, bu da segmentasyon tekniğinin düzgün çalışmasına izin vermektedir.

Majumder vd. tarafından (2012) otomatik kaş özellikleri gerçek zamanlı kaş hareketi için avatar algılama ve gerçekleştirme çalışması yapılmıştır. Bu makale, video sekanslarında kaş kilit noktalarının çıkarılmasına ve video klibe uygun olarak kaşın otomatik hareketlerini göstermek için bulunan kilit noktanın koordinatlarını kullanan bir avatarın gerçekleştirilmesine odaklanmaktadır. Çalışma, video kliplerden kaşların otomatik olarak segmentasyonu ve kaşların iki köşesi ve üst ve alt orta noktalar gibi temel kaş özelliklerinin kaş konturundan çıkarılması için renk tabanlı bir yöntem kullanmaktadır. Renk bazlı kaş segmentasyonu yöntemi, kaşı cilt bölgesinden ayırmak için kaş bölgesinin sahte renk düzlemini çıkarmaktadır. Çalışmanın ikinci kısmı, elde edilen kaş özellikleri kullanılarak kaş hareketleri için avatarın gerçekleştirilmesine odaklanmaktadır. Kaş bölütleme ve öznitelik çıkarma yöntemi, basit olması ve kaşla ilgili ön bilgi gerektirmemesi, ayrıca herhangi bir öğrenme yöntemi gerektirmemesi nedeniyle mevcut diğer model tabanlı yöntemlerden çok daha hızlı olduğu ifade edilmiştir. FEI yüz veri tabanından alınan yaklaşık 200 ön yüz görüntüsü ve MMI veri tabanından alınan yaklaşık ön yüz görüntülerini içeren yaklaşık 100 yüz ifadesi videosu test edilmiştir. Doğru kaş segmentli bölge, anahtar nokta tespiti sonucu elde edilmiştir. Son olarak, video klibe uygun olarak otomatik kaş hareketlerini gösteren bir avatar gerçekleştirilmektedir. Kaş temel özelliklerinin tespiti için tam otomatik bir sistem geliştirilmiştir. Kaş bölgesinden kaş çıkarmak için sözde renk tabanlı yöntem kullanılarak bir algoritma önerilmiştir. Kaşın pseudo-hue düzleminde ikili görüntü elde etmek için kullanılan uyarlamalı eşikleme yöntemi, iyi bir eşik kaş bölgesi ile sonuçlanmaktadır. En büyük kontur, orijinal kaş konturuna benzeyen

kaş konturunu vermektedir. Sonraki karelerde elde edilen anahtar özelliklerle manuel olarak işaretlenen kaş özellikleri kullanılarak bir hata analizi yapılmaktadır. Analiz sonucu, kilit nokta tespitindeki hatanın yaklaşık olarak 4 piksel mesafesi aralığında olduğunu göstermiştir.

Grauman vd. tarafından(2003) Göz kırpma ve kaş kaldırma yoluyla iletişim: video tabanlı insan-bilgisayar arayüzleri isimli çalışma yapılmıştır. Bu makalede ikili bir anahtarı etkinleştirebilen ve bir seçim komutu verebilen iki video tabanlı insan-bilgisayar etkileşim aracı tanıtılmıştır. İlk araç olarak adlandırılan "BlinkLink", kullanıcının göz kırpmasını otomatik olarak algılamaktadır ve sürelerini doğru bir şekilde ölçmektedir. Sistem, ciddi engelli kişilerin bir bilgisayara erişmesine izin vermek için alternatif bir giriş yöntemi sağlamayı amaçlamaktadır. İsteğe bağlı uzun yanıp sönmeler fare tıklamalarını tetiklerken, istem dışı kısa yanıp sönmeler göz ardı edilmiştir. Sistem, gösterge bilimsel mesajlar olarak yorumlanan uzun ve kısa yanıp sönmeler dizileri olan "göz kırpma kalıpları" nı kullanarak iletişimi sağlamaktadır. İkinci araç olan "Kaş Tıklayıcı", bir kullanıcının kaşlarını kaldırdığını otomatik olarak algılamakta ve ardından bir fare tıklamasını tetiklemektedir. Her iki sistem de kendilerini başlatabilir, gözleri kare hızında izleyebilir ve hata durumunda kurtarabilmektedir. Özel bir aydınlatma gerekemediği bildirilmiştir. Sistemler etkileşimli oyunlar ve bir yazım programı ile test edilmiştir. Sonuçlar, BlinkLink için %95,6 ve Kaş Tıklayıcı için %89,0 genel algılama doğruluğunu göstermektedir. Kullanıcılar ayrıca göz kırpma kullanarak bir tarama yazım programını test etmiştir. Deneklere "GO EAGLES" kelimesini hecelemeleri söylenmiştir. Kaş Tıklayıcı, uygun yüz kaslarını kontrol eden ve görevleri anlayan altı farklı denek tarafından doğruluğu ve bir giriş cihazı olarak kullanılabilirliği açısından test edilmiştir.

Kawato ve Ohya tarafından (2000) "göz arasını" doğrudan tespit ederek ve izleyerek baş sallama ve baş sallamanın gerçek zamanlı tespitine yönelik çalışma yapılmıştır. Bu yazıda, gözler arasındaki bir noktayı veya "gözler arası" dediğimiz noktayı doğrudan tespit edip izleyerek tek renkli bir video akışından gerçek zamanlı olarak baş sallama ve baş sallamayı algılamak için bir yaklaşım önerilmiştir. "Gözler arasında" ortalanmış belirli bir yarıçapa sahip bir daire boyunca, piksel değerinin iki döngüsü parlak kısımlar (alın ve burun köprüsü) ve karanlık kısımlar (gözler ve kaşlar) bulunmaktadır. Önerilen daire frekansının çıktısı, bu karakteristik noktalarda yerel bir maksimuma sahiptir. Gerçek "gözler arasını" diğer yüz bölümlerindeki benzer karakteristik noktalardan ayırt etmek için göz algılama ile bir doğrulama yapılmıştır. "Göz arası" tespit edildikten sonra etrafındaki küçük bir alan şablon olarak kopyalanmakta ve sistem izleme moduna girmektedir. Daire-frekans filtrelemesi ve şablon ile

birleştiginde, takip etrafa bakılarak değil, şablon kullanılarak adaylar seçilerek yapılmıştır; şablon daha sonra güncellenmiştir. Bu özel takip algoritması sayesinde sistem, “gözler arası”nı istikrarlı ve doğru bir şekilde takip edebilmektedir. Özel donanım olmadan 13 kare/sn hızında çalışmıştır. Noktanın hareketi analiz edilerek, baş sallama ve kafa sallama hareketleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak; algılama algoritmasını “gözler arası” izleme ile birleştirerek, baş sallama ve baş sallamayı algılamak için bir yöntem önerilmiştir. “Gözler arasını” verimli bir şekilde tespit etmek ve izlemek için daire frekansı filtresini önerilmiştir. Gerçek “gözler arası”nı seçmek için yerel özellikler incelenmiştir ve aday sayısını azaltmak için yerel özelliklerin kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Algoritma bir iş istasyonunda uygulanmıştır ve 13 kare/saniye hızında çalışmıştır. Baş sallama ve baş sallamanın tespit oranı, denekler aşırı derecede yan bakmadığında tatmin edici sonuçlar vermiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

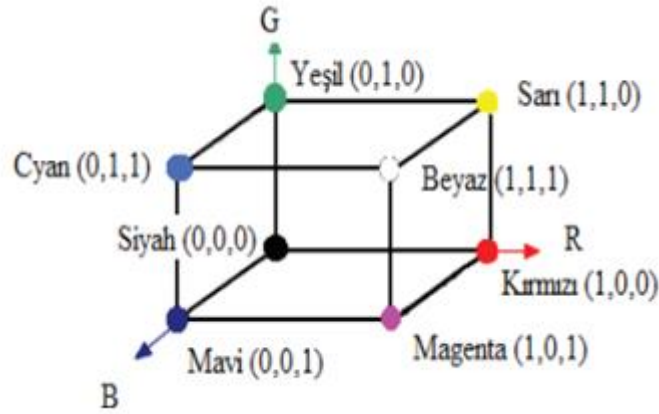
Bu çalışmada gerçek zamanlı olarak alınan veriler OpenCv ve Dlib kütüphaneleri başta olmak üzere çeşitli görüntü işleme kütüphaneleri kullanılarak oluşturulan algoritmaların Python programlama dili ile geliştirilmiş uygulaması ile işlenmiş ve analizleri sağlanmıştır. OpenCV, bir resim ya da video içindeki anlamlı bilgileri çıkarıp işleyebilmek için INTEL tarafından C ve C++ dilleri kullanılarak geliştirilmiş, açık kaynak kodlu bir “Bilgisayarla Görme” kütüphanesidir. (Doğan ve vd., 2013) Çalışmanın amacı göz ve kaş hareketlerini tespit ederek elde edilen verileri komut olarak kullanmak ve motor kontrolünü sağlamaktır. Bu sayede omurilik felci olan kişilerin kaş ve göz hareketleri ile ikinci bir kişiye ihtiyaç duymadan tekerlekli sandalyeyi kontrol edebilmeleri sağlanmaktadır. Geliştirilen sistemde, elde edilen gerçek zamanlı görüntüler LDR ışık sensörü kullanılarak farklı lüks değerlerine ait ortamlarda test edilerek başarı oranları hesaplanmıştır. Aynı zamanda ışık kaynağının bulunduğu açının yüz hatlarının özellikle de göz kırplmalarının tespitine olan etkileri gözlemlenerek doğru açı hesaplanmaya çalışılmıştır. Çalışmalar için temsili olarak mini robot kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Görüntü İşleme Kavramı

Görüntü işleme, genel terim olarak resimsel bilgilerin manipulasyonu ve analizi demektir (Sabancı ve Aydın, 2014). Sanayi, güvenlik, jeoloji, tıp, tarım gibi çeşitli alanlarda görüntü işleme tekniklerinden yararlanılmaktadır.

Gerçek renk olarak isimlendirilen görüntülerde her bir piksel üç ayrı bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler, pikselin rengini oluşturan Kırmızı, Yeşil ve Mavi (Red, Green, Blue (RGB)) olan temel renklerin ağırlıklarını göstermektedir. Resmi oluşturan her bir piksele ait 0-255 arasında kırmızı, yeşil ve mavi değerleri bulunmaktadır (Sabancı ve Aydın, 2014). RGB renk uzayı toplamalı renk karışımı yöntemiyle bir birim küpün içinde renkleri tanımlayacak şekilde tasarlanmıştır. Herhangi bir rengi bilgisayarda görüntülemek için bu üç renk belirli yoğunluklarda karıştırılmaktadır. RGB renk uzayı koordinat eksenleri kırmızı, yeşil ve mavi olan 3D bir uzay olarak düşünülebilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. RGB renk uzayı koordinat eksenleri (Sabancı ve Aydın, 2014)

2.1.1 Sayısal Görüntü İşleme

Görüntü işleme, sayısal ortama aktarılan görüntü verilerinin yakalanıp ölçme ve değerlendirme işleminden sonra başka bir aygıtta okunabilir bir biçimde dönüştürülmesi ya da bir elektronik ortamdan başka bir elektronik ortama aktarılmasına yönelik bir çalışma olan “sinyal işlemeden” farklı bir işlemdir (Gonzalez vd., 2007). Görüntüler belli bir hedefe yönelmiş görüntü kaynağından alınan farklı içeriklerden oluşmaktadır.

2.1.2 Görüntü İşleme Teknikleri

Yapılan çalışmalarda görüntü işlemede kullanım alanına ilişkin farklı tekniklerin ortaya çıktığı görülmüştür. Dolayısıyla görüntü işleme tekniklerinin temelinde yatan işlemler, farklı alanlarda kullanılacak işleme tekniklerine de kılavuz niteliği taşımaktadır. Bu bölümde bazı görüntü işleme teknikleri hakkında bilgi verilmiştir.

2.1.2.1 Histogram Eşitleme

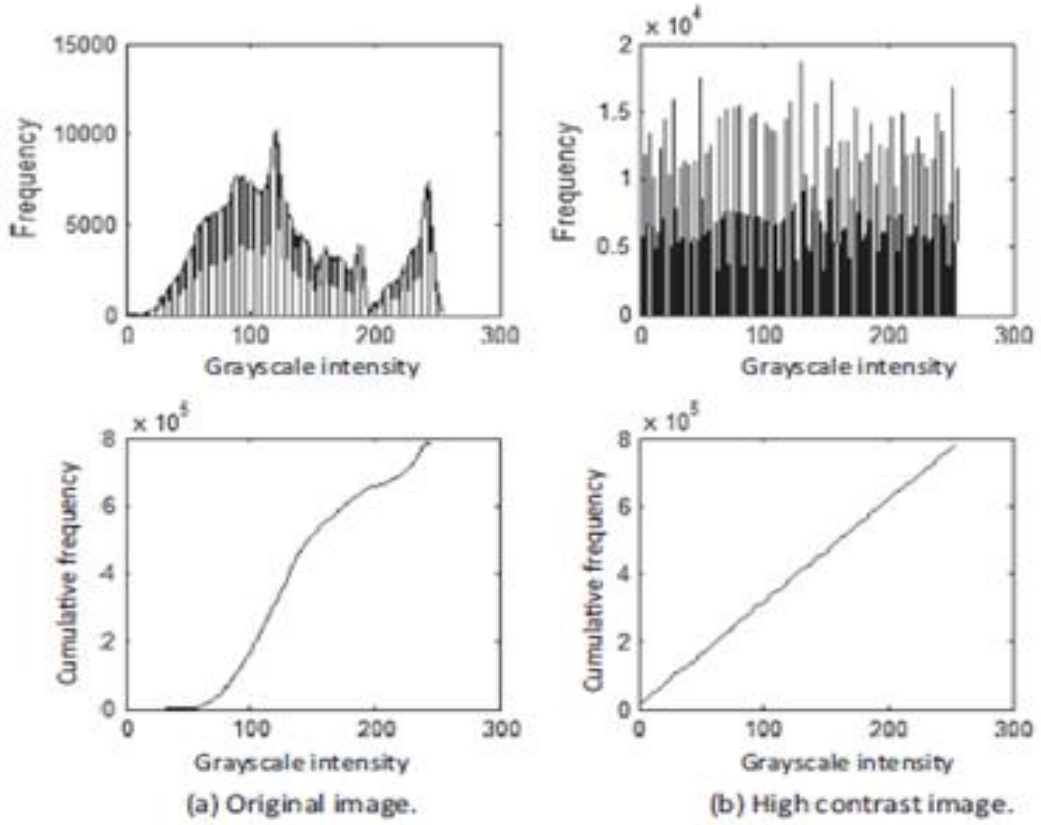
Dijital bir görüntüdeki piksel değerleri yakalanan farklı ışık yoğunluklarına göre değişkenlik göstermektedir. Yüksek düzeyli görüntü kalitesini elde etmek için piksel değerleri tercihen tüm seviyelerde yer almalıdır. Bu anlamda, bir görüntünün minimum ışık yoğunluğu ideal olarak sıfır değeri ve ayırık haritalama aralığının en yüksek değerine sahip maksimum ışık yoğunluğu ile ilişkilendirilmelidir. Eşit dağılımlı görüntü yoğunluğu aralığı, iyi bir görüntü kontrastını garanti eder. (Kurka ve Salazar, 2019)

Şekil 2.2, gri tonlamalı bir görüntünün eşitlenmesinden sonraki kontrast farkını göstermektedir. Şekil 2.3, orijinal ve eşitlenmiş görüntülerin histogramını ve birikimli frekans dağılımını göstermektedir. Renkli görüntülerde, eşitleme her bir birincil beste renginin yoğunluğuna ayrı olarak uygulanmaktadır. (Kurka ve Salazar, 2019)

Histogram Eşitleme yöntemi görsellerin değerlerini kullanarak görüntü karışıklık ve parlaklık değerlerini ayarlayarak görüntü netliğini arttırmak amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 2.2. Gri tonlamalı bir görüntüdeki histogram denkleştirme. (Kurka ve Salazar, 2019)

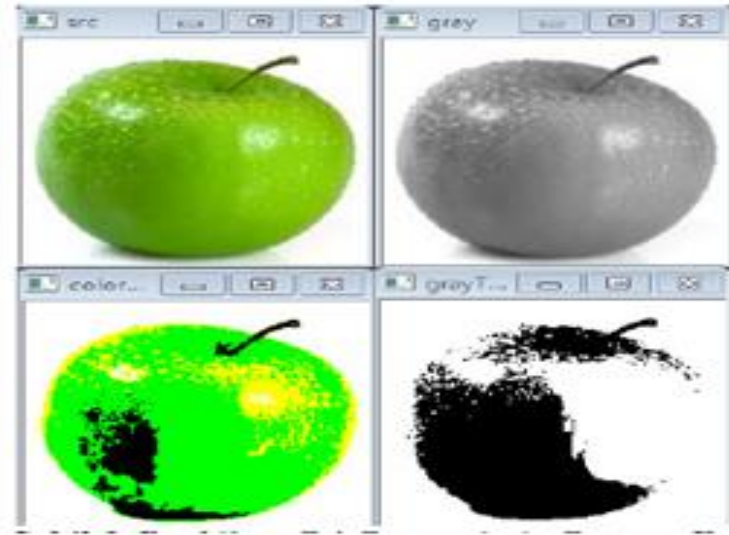


Şekil 2.3. Histogram ve kümülatif frekans dağılımları. (Kurka ve Salazar, 2019)

2.1.2.2 Görüntü Eşikleme

Bu fonksiyon genellikle renkli veya gri tonlu bir görüntüden ikili (binary) görüntü oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu yöntem ile kaynak görüntünün piksel değerleri çok büyük ya da çok küçük değerlere dönüşecek şekilde filtrelenmektedir. Çoğunlukla görüntülerdeki gürültüyü kaldırmak için kullanılmaktadır. Herhangi bir görüntüdeki nesne, piksel değerlerinden yola çıkarak arka planından ayrıştırılabilmektedir. Şekil 2.4.de eşikleme tipleri gösterilmektedir. (Doğan vd., 2013)

Görüntü Eşikleme yöntemi görsellerin siyah beyaz olarak tanımlanmasını sağlayarak görüntü üzerindeki gürültüleri azaltıp nesnelerin tespit edilmesini kolaylaştırmak amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 2.4. Renkli ve Gri Görüntülerle Görüntü Eşikleme (Doğan vd., 2013)

2.1.2.3 Kenar Bulma

Bir kaynak görüntünün kenarlarını tespit etmek için üç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar Canny, Sober ve Laplace yöntemleridir. Örneğin Canny yönteminde, görüntünün kenarları bulunur, işaretlenir ve Canny algoritması kullanılarak çıktı görüntüde gösterilmektedir. 2 adet eşik değerini parametre olarak almaktadır. Bunlardan büyük olan parametre değeri görüntüdeki en büyük kenarın başlangıç bölümünü bulmak için kullanılmaktadır. Küçük olan parametre değeri ise bu eşik değerleri arasında kalan kenarlar arasında bağlantı kurmak için kullanılmaktadır. (Doğan vd., 2013) Bu çalışmada nesnelere tespit etmek için Canny yönteminden faydalanılmıştır.



Şekil 2.5. Orijinal Görüntü



Şekil 2.6. Gri Tonlu Görüntü



Şekil 2.7. Canny Yöntemi Kullanılarak Kenar Bulma



Şekil 2.8. Sobel Yöntemi Kullanılarak Kenar Bulma

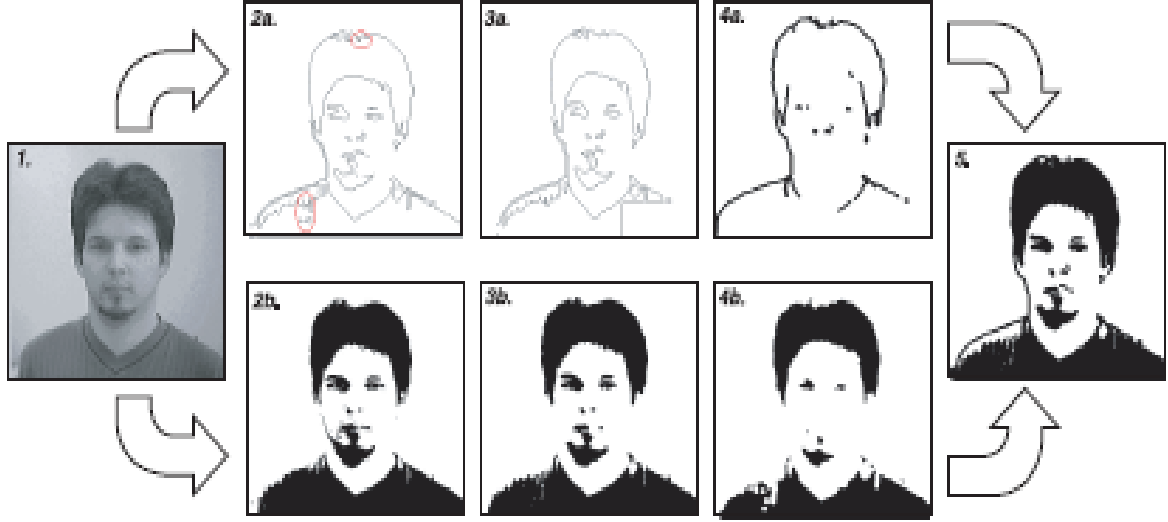


Şekil 2.9. Laplace Yöntemi Kullanılarak Kenar Bulma

Bir görüntüdeki kenarların algılanması; geometrik formların, ölçümlerin tanımlanması ve karşılaştırılması veya karmaşık bir görüntüye basitleştirilmiş bir veri yapısı sağlamak için ilgilenilen bölgeleri tanımlamanın uygun bir yolu olarak tanımlanmaktadır. Kenar algılama algoritmaları, belirli görüntü bölgelerinde piksel yoğunluğunun değişimine dayanmaktadır. Canny Kenar algoritması, dijital görüntü işlemede en popüler ve pratik kenar algılama algoritmalarından birisi olarak gösterilmektedir. (Kurka ve Salazar, 2019)

2.2 Yüz Tarama

Haar algoritması, görüntüdeki yüzleri tespit etmek için kullanılmaktadır (Viola ve Jones, 2001). Bir yüzün farklı kısımlarını (örneğin burun, gözler, kaşlar, ağız) karakterize ederken indirgeme bilgisini kullanarak izleme özelliklerine dayanmaktadır. İzleyicinin yalnızca yüzü algıladığından, özellikleri çevreleyen bir görüntü alt alanı $R1$ oluşturulmaktadır. Kullanıcının saçını ve omuzlarını portreye dâhil etmek için her iki yönde de boyutu $R1$ ' den 3 kat daha büyük olan $R1$ merkezli bir başka alt alan $R2$ tanımlanmaktadır. Birden fazla yüz algılanırsa en yakın kişi seçilecektir. $R1$ ve $R2$ daha sonra sabit bir boyuta yeniden ölçeklendirilmektedir. (Calinon vd., 2005)



Şekil 2.10. Görüntü işleme ile yüz tespiti (Calinon vd., 2005)

1.Görselde Haar yüz dedektörü tarafından çıkartılan resmin öncelikle kenar algoritmalarından faydalanılarak nesnelerin kenarları tespit edilmektedir. Daha sonra görüntü eşikleme yönteminden faydalanılarak resmin siyah beyaz dönüşümü sağlanmaktadır. 5. Görselde ise 4a ve 4b resimlerinin üst üste getirilerek birleştirilmesi ile oluşan nihai sonucun ön izlemesi belirtilmiştir. Robot önce konturları resim 4a'daki gibi çizmekte ve sonra alanları resim 4b'deki gibi doldurmaktadır. (Calinon vd., 2005)

2.3 Göz Tespiti Yapma

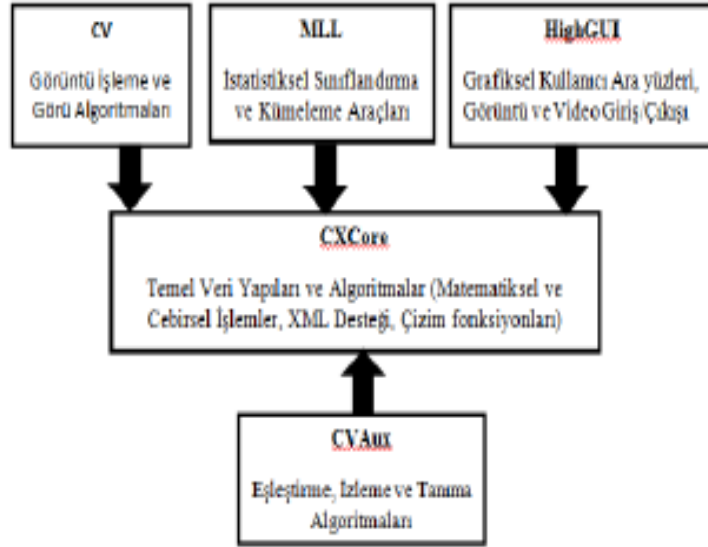
Kamera ile dijital ortama aktarılan görüntüden ilk olarak yüz bölgesi taranarak ayırt edilmektedir. Yüz tespiti yapıldıktan sonra gözleri yüz bölgesinde bulunan burun, ağız, kaşlar gibi detaylardan ayırıştırmak gerekmektedir. Viola ve Jones yaptıkları çalışmada göz bölgesinin burun çizgisinden daha koyu olduğunu belirtmişlerdir. Daha sonra koyu bölgelerin piksel değerlerinden faydalanarak göz bölgesini ayırıştırma işlemi gerçekleştirilmişlerdir (Viola ve Jones, 2001).

Bu çalışmada yüz bölgesinden göz hatları ayırıştırdıktan sonra kırılma hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan çalışma ile ilgili materyal ve yöntemler ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır.

2.4 Yazılım Materyalleri

Bu çalışmada bir görüntüdeki yüz işaretlerini tespit etmek için Python aracılığıyla Dlib ve OpenCv kütüphaneleri kullanılmıştır. OpenCv kütüphanesi, beş temel bileşenden oluşmaktadır. (Doğan vd., 2013)

Bu bileşenler Şekil 2.11’de görülmektedir. Computer Vision kelimesinin bas harfleri kullanılarak isimlendirilen CV bileşeni, temel resim işleme fonksiyonları ve Bilgisayarla Görü/Görme için kullanılan yüksek seviyeli algoritmaları bünyesinde barındıran beş temel kütüphaneden biridir. (Doğan ve vd., 2013)



Şekil 2.11. OpenCV Bileşenleri (Doğan ve vd., 2013)

Bilgisayarla Görme (Computer Vision (CV)) Bileşeni: Temelinde, görüntü işleme fonksiyonlarını ve algoritmalarını barındırır. CV, insanlarda olduğu gibi bilgisayarların da gördükleri nesnelere tanıyıp işleyebilmelerine yarayan teknolojilerle ilgilenen bilim dalıdır. Bir görüntüyü edinmek, elde edilen görüntüyü işlemek, analiz etmek ve bu analizler sonucunda çıkarılan sayısal veriler yardımıyla karar verme konularını kapsamaktadır.

Makine Öğrenimi Kütüphanesi Bileşeni (Machine Learning Library (MLL)): Makine Öğrenmesi dalı için gerekli fonksiyonları içeren istatistiksel veri barındıran bir kütüphanedir.

High GUI Bileşeni: Kütüphane içerisinde tanımlı nesnelere oluşturulduğu, resim ve videoların kaydedilip silindiği fonksiyonları içerir.

CXCore Bileşeni: Genel veri yapılarını barındıran, görüntü üzerinde çizim yapmayı sağlayan ve XML desteği sağlayan kütüphanedir.

CvAux Bileşeni: Yüz tanıma, ağız hareketlerini izleme ve şekilleri eşleştirme gibi algoritmaları içeren kütüphanedir.

Hazırlıklar Pycharm üzerinden Python dilinin 3.7 numaralı sürümü ile yapılmıştır. Güncel yazılım kullanılmadığı takdirde Dlib kütüphanesinin kullanımında sorun yaşanmaktadır. Ayrıca istenen özneliklerin belirlenmesi için yakalanan görüntüye eşikleme işlemi uygulanmıştır. Bu sayede piksel değerleri ile algoritma hazırlanmıştır. Alınan veriler donanımsal olarak RaspberryPi kartına gönderilmektedir ve bu sayede kontrol anlık olarak sağlanmaktadır.

```
from scipy.spatial import distance as dist
from imutils.video import FileVideoStream
from imutils.video import VideoStream
from imutils import face_utils
import numpy as np
import argparse
import imutils
import time
import dlib
import cv2
```

Şekil 2.12. Python’da Kullanılan Kütüphanelerden Bazıları

Yüzdeki işaretler, yüzün aşağıdaki gibi göze çarpan bölgelerini yerleştirmek ve temsil etmek için kullanılmaktadır.

- Gözler
- Kaşlar
- Burun
- Ağız
- Çene çizgisi vb.

Bu çalışmamızda birkaç önemli nokta göz önünde bulundurulup, göz işaretlerinin temellerine odaklanılmıştır. Bunlar:

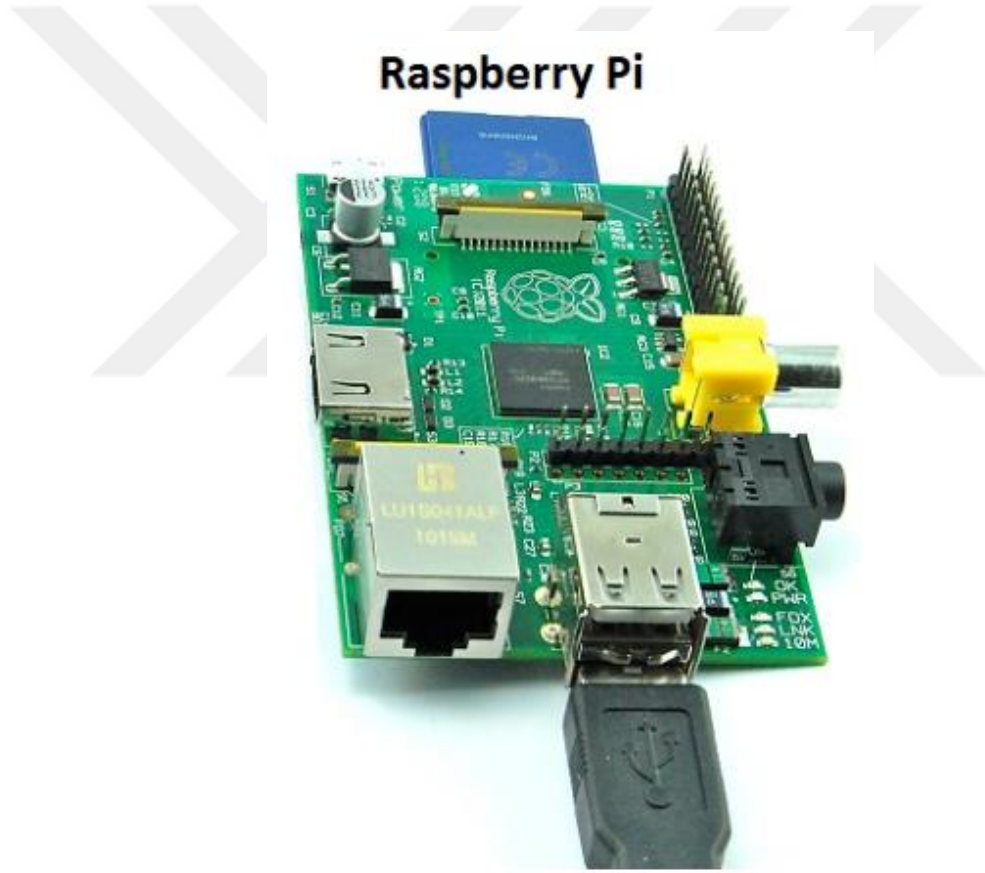
1. Yüzdeki gülme, göz kırpma, üzülme, konuşma gibi işaretler gibi mimiklerin tespitine odaklanılmıştır.
2. Dlib, OpenCV ve Python kullanarak bir görüntüden yüzdeki yer işaretleri ve mimikler kullanılarak yüzdeki ayrıntılar tespit edilmiştir.

2.5 Donanım Materyalleri

Uygulamamız geliştirilirken başta Ethernet çıkışının olması ve Python dili ile geliştirilen kodları çalıştırmaya uygun olması gibi gereksinimlerden dolayı Raspberry Pi tercih edilmiştir. Bunlar aşağıda belirtilmiştir.

2.5.1 Raspberry Pi'nin Özellikleri

- • Raspberry Pi'de 32-bit ARM tabanlı Mikroişlemci bulunmaktadır,
- • Raspberry Pi 1 Ghz saat hızına sahiptir,
- • Raspberry Pi 512 MB Ram kapasitesine sahiptir,
- • Raspberry Pi de GPU (Grafik işlemci), Ses, USB ve Ethernet çıkışı bulunmaktadır,
- • Raspberry Pi 2 kullanılmıştır.



Şekil 2.13. Raspberry Pi

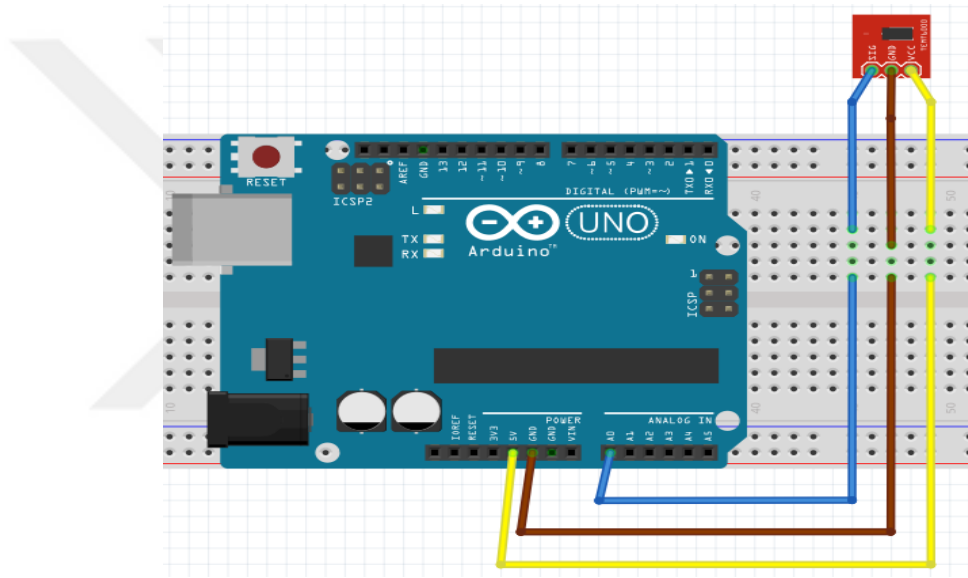
Tüm bu bilgiler ışığında, Raspberry Pi'nin daha çok gömülü sistemler ve işletim sistemi uygulamalarında elektronik devre oluşturmada uygun olduğu görülmektedir. Bu bilgiler ışığında seçim yapılmıştır.

Ayrıca donanımsal olarak; 1 adet motor kartı, 2 adet dc motor, 1 adet USB kamera, vb. kullanılmıştır.

2.5.2 Arduino UNO ile Işık Sensörü Entegrasyonu

- Arduino, 8-bit'lik Atmega Mikrokontrolcü'ye sahiptir.
- Arduino 8-16 Mhz saat hızına sahiptir.
- Arduino 2-8 KB Ram kapasitesine sahiptir.

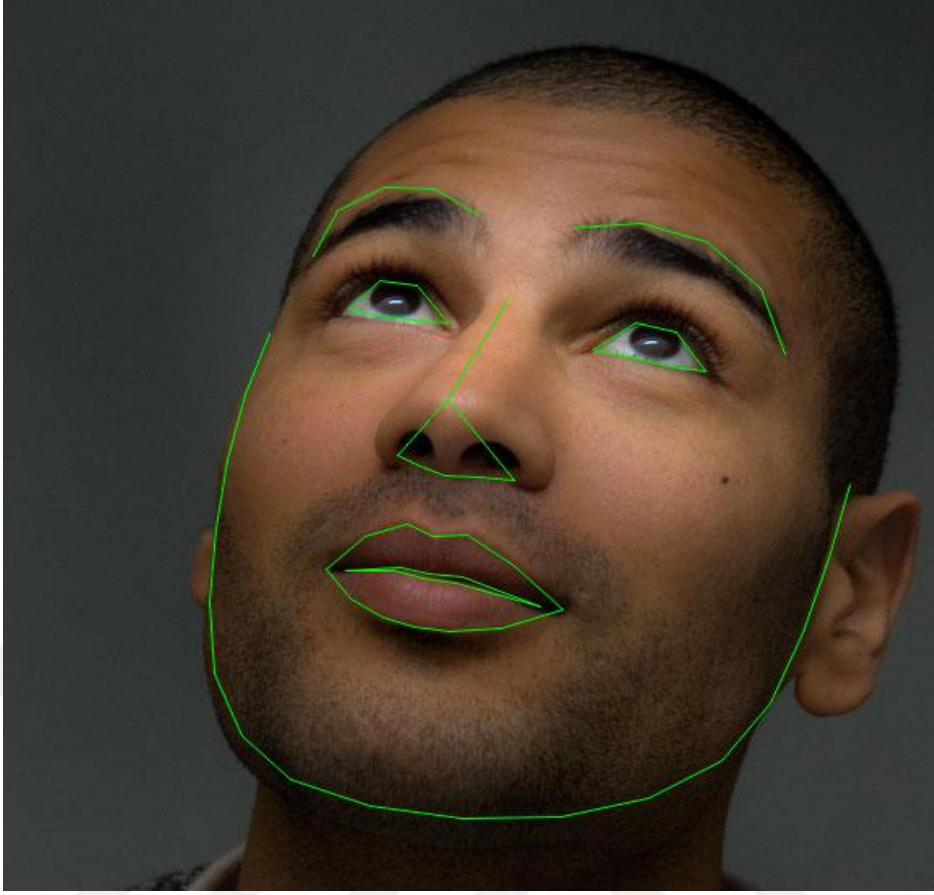
Ortamdaki ışık lüks değerlerinin göz kırplmalarına etkileri incelenirken, ortamın ışık değerlerini ölçmek için ArduinoUNO ve LDR Işık Sensörü kullanılmıştır. Hazırlanan devre şeması Şekil 2.14.te gösterilmiştir.



Şekil 2.14. LDR Işık Sensörü bağlantı devresi

2.6 Yüz İşaretleri

Yüz bölgesinde ağız, burun, kaşlar, gözler vb. gibi duyu organları bulunmaktadır. Görüntü işleme ile yüz bölgesi tespit edildikten sonra yüz hatlarının da ayrı ayrı tespitinin yapılması gerekmektedir. Yüz hatları kişiden kişiye değişiklik gösterdiği için özellikle güvenlik sistemlerinde yüz tanıma yöntemi ile güvenlik kontrolü sağlayan sistemlerde önemi daha da artmaktadır. Kullanım amacına uygun olarak yüz hatları ayrıştırılıp kullanılabilir. Bu çalışmada göz ve kaş hareketleri ile bir kontrol sistemi oluşturulmaktadır. Bu sebepten dolayı amaca uygun olarak göz hatlarına odaklanılmaktadır.



Şekil 2.15. Yüzdeki işaretler, bir görüntüdeki temel yüz özelliklerini etiketlemek ve tanımlamak için kullanılır. (Rosebrock, A., 2017)

Yüzdeki işaretlerin algılanması, şekil öngörü sorununun bir alt kümesidir. Bir girdi görüntüsü ve normalde ilgilenilen nesneyi belirten bir İlgi Alanı (Region of Interest (ROI)) verildiğinde, bir şekil öngörücü şekil boyunca önemli ilgi noktalarını yerelleştirmeye çalışır. Yüzdeki işaretler bağlamında amacımız, şekil tahmin yöntemlerini kullanarak yüzdeki önemli yüz yapıları içerisinde göz bölgesini çıkarmak ve daha sonra kırılmaları tespit etmektir.

Yüzdeki işaretlerin tespiti bu nedenle iki aşamalı bir işlemdir:

- **Adım # 1:** Görüntüdeki yüzü yerelleştirme.
- **Adım # 2:** Yüz ROI(Region of Interest – ilgi bölgesi)'sindeki temel yüz yapılarını tespit etme.

Yüz algılama (1. Adım) birkaç yolla gerçekleştirilebilir. Bunun için; OpenCV'nin yerleşik Haar kademeleri kullanılabilir veya özellikle yüz algılama görevi için önceden eğitilmiş bir HOG(Odaklı histogram) + Doğrusal SVM nesne detektörü uygulanabilir. Bunların yanında yüz yerelleştirme için derin öğrenme tabanlı algoritmalar da yüz algılama probleminin çözümü için kullanılabilir.

Her iki durumda da, görüntüdeki yüzü algılamak için kullanılan gerçek algoritmaların yerine önemli olan, bazı yöntemlerle görüntüdeki yüzün koordinatlarını ya da diğer bir deyişle yüz sınırlayıcı kutuyu elde etmemizdir.

Yüz bölgesi göz önüne alındığında, 2. Adım olan yüz bölgesindeki temel yüz yapılarını tespit etme yöntemini kullanılabilir.

Çeşitli yüz işareti detektörleri vardır. HVC-P2 B5T-007001 sensörü bunlardan birine güzel bir örnektir.

İnsan Görme Bileşenleri (Human Vision Components (HVC)- B5T-007001-010); yüz tanıma, anlık olarak yüz ifadelerini algılama ve aynı zamanda yüz ifadelerinin tahmini gibi benzersiz yetenekler ile donatılmış bir görüntü sensörüdür.

Ancak tüm yöntemler esasen aşağıdaki yüz bölgelerini yerelleştirmek ve etiketlemek için kullanılmaktadır:

- Ağız
- Sağ kaş
- Sol kaş
- Sağ göz
- Sol göz
- Burun
- Çene

Dlib kitaplığında bulunan yüz işareti dedektörü, Kazemi ve Sullivan tarafından yazılan “One Millisecond Face Alignment with an Ensemble of Regression Trees” çalışmasının bir uygulamasıdır(Kazemi ve Sullivan, 2014).

Bu yöntem aşağıdakileri kullanarak başlar:

1. Bir görüntüdeki etiketli yüz işaretlerinden oluşan bir eğitim seti. Bu görüntüler, her yüz yapısını çevreleyen bölgelerin belirli iki boyutlu koordinatlarını belirterek manuel olarak etiketlenir.

2. Öncelikle, daha çok özel olarak giriş piksel çiftleri arasındaki uzaklık mesafe olasılığı.

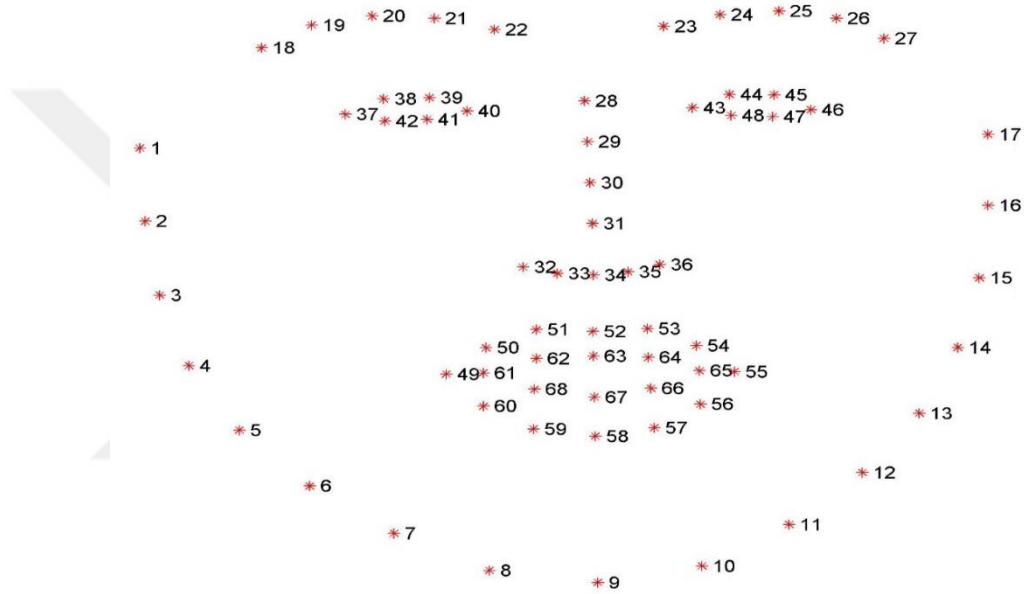
Bu eğitim verileri göz önüne alındığında, bir regresyon ağaçları topluluğu, yüzün dönüm noktası konumlarını doğrudan piksel yoğunluklarının kendisinden tahmin etmek için eğitilir

(yani, “özellik çıkarımı” gerçekleşmez). Sonuç olarak, yüksek kaliteli tahminlerle gerçek zamanlı olarak yüzdeki yer işaretlerini tespit etmek için kullanılabilen bir yüz işareti detektörü oluşmuş olur.

2.7 Dlib'in Yüz İşareti Algılayıcısı

Dlib kitaplığındaki önceden eğitilmiş yüz işareti detektörü, yüzdeki yüz yapılarına eşlenen 68 noktanın koordinatlarının konumunu tahmin etmek için kullanılmaktadır.

68 koordinatın indeksleri aşağıdaki görüntüdeki gibi görselleştirilebilir:



Şekil 2.16. 68 Yüz İşareti Koordinatını Görselleştirme. (Rosebrock, A., 2017)

Bu notlar, Dlib yüz işareti tahmincisinin eğitildiği 68 noktalı iBUG 300-W veri kümesinin bir parçasıdır (Rosebrock, A., 2017).

İncelenen 68 yüz işaretcisinin koordinatları tespit edilmiştir ve belirlenen koordinatlar arasındaki Öklid uzaklıkları hesaplanmıştır. İki nokta arasındaki doğrusal uzaklığa Öklid Uzaklığı denilmektedir. n boyutlu Öklid uzayında $P = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_n)$ ve $Q = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_n)$ noktaları arasındaki Öklid uzaklığı şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\sqrt{(p_1 - q_1)^2} + \sqrt{(p_2 - q_2)^2} + \dots + \sqrt{(p_n - q_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (2.1)$$

İki boyutta uzaklık: İki boyutlu bir düzlemde yer alan, $P = (p_m, p_n)$ ve $Q = (q_m, q_n)$ noktaları için Öklid uzaklığı şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\sqrt{(p_m - q_m)^2} + \sqrt{(p_n - q_n)^2} \quad (2.2)$$

Belirlenen koordinatlar daha önceden yapılmış çalışmalarda seçilmiş yüz ifadesi tanımada önemli olacak mesafelerdir. Bunlar Çizelge 2.1.'de sunulmuştur. Yüz işaretçilerine dayalı olarak çıkarılan öznitelikler, hesaplanan mesafelerin birbirine oranlanması ile elde edilmiştir. Bu bağlamda 16 mesafe birbiri ile oranlanarak toplamda 120 adet öznitelik elde edilmiştir. (Sağbaş, E. A., vd. 2019)

Çizelge 2.1. Öznitelikler İçin Hesaplanan Mesafeler (Sağbaş, E. A., vd. 2019)

| Sıra | Fiziksel Anlamı | İlgili Noktalar |
|------|------------------------------|-----------------|
| D1 | Ağız Genişliği | 49-55 |
| D2 | Ağız Yüksekliği | 52-58 |
| D3 | Göz Genişliği | 37-40 |
| D4 | Göz Yüksekliği | 38-41 |
| D5 | Kaş-Göz Arası Mesafe | 25-47 |
| D6 | Burun-Ağız Üstü Arası Mesafe | 34-52 |
| D7 | Çene-Ağız Arası Mesafe | 9-58 |
| D8 | İki Göz Çukuru Arası Mesafe | 40-43 |
| D9 | Burun-Çene Arası Mesafe | 9-34 |
| D10 | Yüz Genişliği | 6-12 |
| D11 | İki Göz Arası Mesafe | 37-46 |
| D12 | İki Kaş Arası Mesafe | 22-23 |
| D13 | Burun Uzunluğu | 28-34 |
| D14 | İki Kaş Uzunluğu | 18-27 |
| D15 | Burun-Ağız Altı Arası Mesafe | 34-58 |
| D16 | Çene-Ağız Üstü Arası Mesafe | 9-52 |

HELEN veri setinde eğitilebilen 194 noktalı model de dâhil olmak üzere, yüz işareti detektörlerinin başka çeşitlerinin de mevcut olduğuna dikkat etmek önemlidir. Hangi veri kümesinin kullanıldığına bakılmaksızın, aynı Dlib çerçevesinden giriş eğitim verileri üzerinde bir şekil öngörücüsü eğitmek için yararlanılabilir. Bu, yüzün dönüm noktası algılayıcılarını veya kendi özel şekil belirleyicilerini eğitmek istediğinizde daha kullanışlı olacaktır.



Şekil 2.17. HELEN veri kümesinde seçilen sonuçlar. (Kazemi, V. ve Sullivan, J., 2014)

Bir milisaniyede tek bir görüntüden yüzdeki 194 yer işaretini tespit etmek için rasgele düzenlenmiş regresyon ağaçları topluluğu kullanılmıştır. (Kazemi, V. ve Sullivan, J., 2014)

Karar ağaçları, regresyon ve sınıflama modelleri olmak üzere iki ağaç yapısı formundadır. Karar ağacı regresyonunun görevi bağımsız değişkenleri bilgi kazancına göre aralıklara ayırıp daha sonra işlem sırasında bu aralıktan bir değer sorulduğunda cevap olarak bu aralıktaki ortalamayı bildirmesidir.

Omurilik felci olan kişiler boyun bölgesinin aşağısında kalan kaslarını olağan olarak kullanamamaktadırlar. Göz kaslarının sağlıklı olduğu düşüncesinden yola çıkarak göz hareketleriyle bir komut sistemi oluşturulmaktadır. Bu sayede bu kişiler sınırlıda olsa tekerlekli sandalye kontrollerini sağlayabileceklerdir.

2.8 Göz Kırpılmalarını Hesaplama

Genellikle bazı göz birleşimlerini içeren gözün açılıp kapanmalarını hesaplamak için geleneksel görüntü işleme yöntemlerinden farklı olarak bazı çalışmalar yapılmıştır (Soukupová ve Čech, 2016).

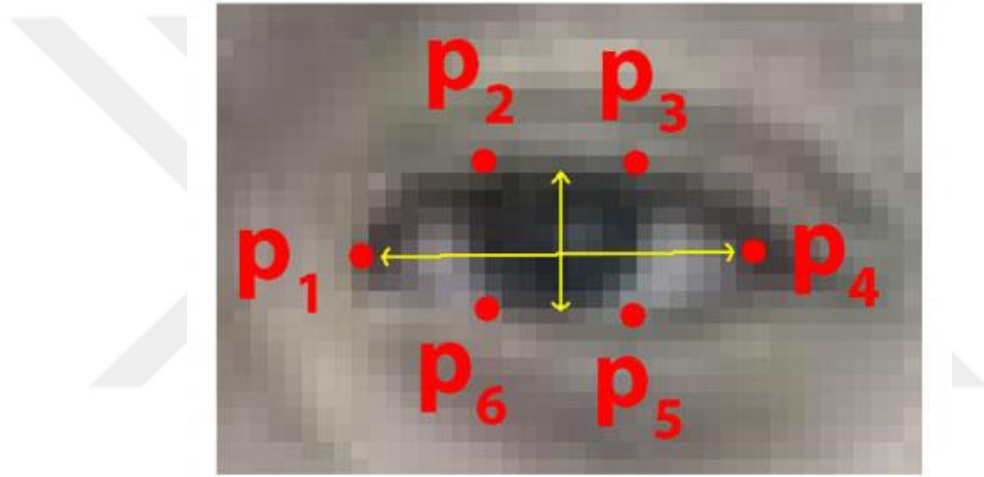
1. Göz lokalizasyonu hesaplama.

2. Gözlerin beyazlarını bulmak için eşik değerlerini çıkarma.

3. Gözlerin "beyaz" bölgesinin bir süre kaybolup kaybolmayacağını belirlenmesi (göz kırpması olduğunu gösterir).

Göz en-boy oranı(EAR), gözlerin yüzdeki yer işaretleri arasındaki mesafelerin oranına dayalı çok basit bir hesaplamayı içeren çok daha zarif bir çözüm sağlamaktadır.

Göz kırılmalarını tespit etmek için sadece iki takım yüz yapısı ile ilgilenilmiştir. Bunlar sağ ve sol gözdür. Her bir göz yapısı, gözün sol köşesinden başlanarak temsili olarak oluşturulan altı koordinat noktası ile temsil edilmektedir.



Şekil 2.18. Gözle İlişkili 6 Yüz Noktası (Soukupová ve Čech, 2016)

Bu resme dayanarak, kilit nokta ele alınmalıdır. Bu koordinatların genişliği ile yüksekliği arasında bir ilişki vardır.

Her video karesi için, göz noktaları belirlenir. Gözün yüksekliği ve genişliği arasındaki göz en boy oranı (EAR) hesaplanır. Göz en boy oranı denklemi aşağıda gösterilmiştir (Soukupova ve Cech, 2016).

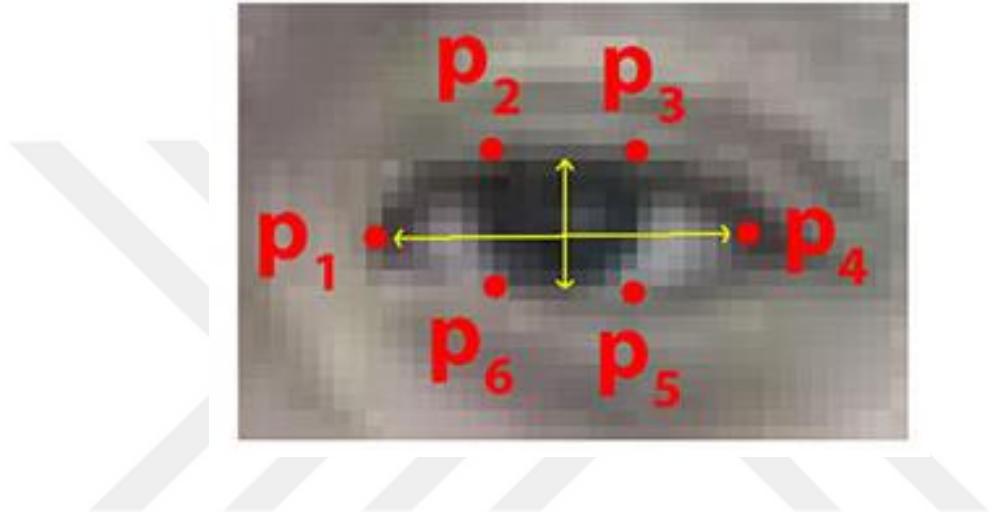
$$EAR = \frac{\|p_2 - p_6\| + \|p_3 - p_5\|}{2\|p_1 - p_4\|} \quad (2.3)$$

Buradaki p_1, \dots, p_6 , Şekil 3.18. 'de gösterilen 2D dönüm noktası konumlarıdır.

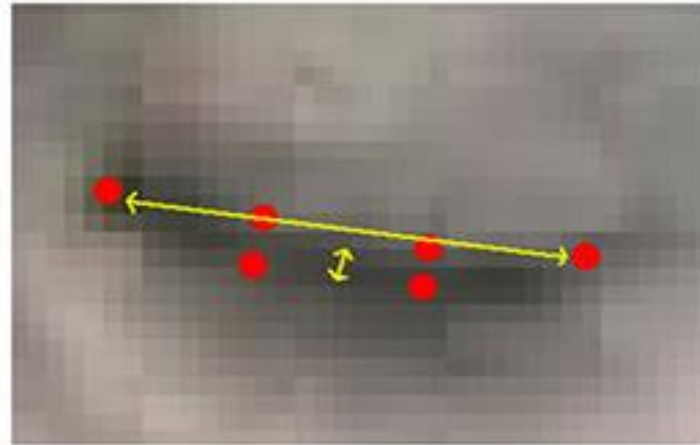
EAR, bir göz açıkken çoğunlukla sabittir ve bir gözü kapatırken sifıra yaklaşmaktadır. Kısmen kişiseldir ve baş pozunu duyarlıdır. Açık olan gözün en-boy oranı, bireyler arasında

küçük bir varyansa sahiptir ve görüntünün tek tip bir ölçeklendirilmesine ve yüzün düzlem içi rotasyonuna tamamen değişmez. Göz kırpması her iki göz tarafından eşzamanlı olarak gerçekleştirildiğinden, her iki gözün EAR ortalaması alınır. Video dizisi üzerindeki bir EAR sinyalinin bir örneği Şekil 2.21.de gösterilmektedir (Soukupova ve Cech, 2016).

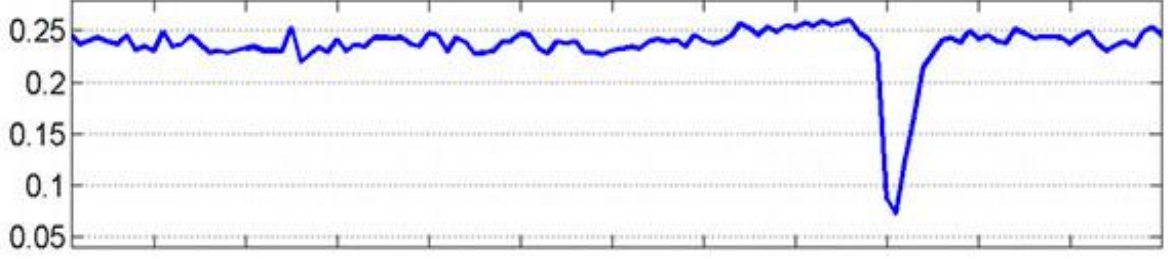
Bu basit denklemi kullanarak, görüntü işleme tekniklerinden kaçınılabilir ve bir kişinin göz kırpması kırpmadığını belirlemek için gözün dönüm noktası mesafelerinin oranından yararlanılarak fonksiyonlar oluşturulabilir.



Şekil 2.19. Raspberry Pi ile otomatik olarak tespit edilen yer işaretlerine sahip açık göz. (Soukupová ve Čech, 2016)



Şekil 2.20. Raspberry Pi ile otomatik olarak tespit edilen yer işaretlerine sahip kapalı göz. (Soukupová ve Čech, 2016)



Şekil 2.21. Denklemdeki göz en-boy oranı EAR bir video dizisinin birkaç karesi için çizilmiştir. Tek bir göz kırpma mevcuttur. (Soukupová ve Čech, 2016)

Şekildeki değerleri daha fazla açıklamak gerekirse Şekil 2.19.: Göz açıkken gözün yer işaretlerinin görselleştirilmesi belirtilmiştir. Şekil 2.20.: Göz kapalı konumdayken gözün önemli noktaları belirtilmiştir. Şekil 2.21.: Zaman içinde göz en-boy oranının grafiği çizilmiştir. Göz en-boy oranındaki düşüş bir göz kırpmayı göstermektedir.

Şekil 2.19.'da, tamamen açık bir gözümüz bulunmaktadır. Buradaki göz en-boy oranı büyük (r) olacak ve zaman içinde nispeten sabit olacaktır. Bununla birlikte, kişi gözünü kırptığında (sağ üstte), göz en-boy oranı önemli ölçüde azalır ve sifıra yaklaşır.

Şekil 2.21.'de, bir video klip için zaman içinde göz en-boy oranının bir grafiğini çizilmiştir. Görüldüğü gibi, göz en-boy oranı sabittir, ardından hızla sifıra yakın düşmektedir, sonra tekrar artmaktadır, bu da tek bir göz kırpmanın gerçekleştiğini göstermektedir.

2.9 Yapılan Test ve Analizler

Kameradan anlık olarak gelen görüntüler Eşikleme yöntemiyle piksel değerlerine dönüştürülmektedir. Bir resmi, 1 ve 0'larla ifade edilen ikili görüntüye ya da diğer bir deyişle bir resmi, sahip olduğu piksel değerlerine göre siyah-beyaz olarak yeniden tanımlamaya Eşikleme denilmektedir. 1 piksel 0,01 cm ve 1 cm ise 100 px etmektedir. Bu sayede daha önceden yapılan analizler ve hesaplamalarla elde edilen bulgular doğrultusunda verilerin işlenip komut olarak gönderilmesi kolaylaşmaktadır. Göz çevresinin analizleri yapıldıktan sonra göz kapağının kirpik bölgesindeki renk tonuna ait değerlerin daha farklı olmasından dolayı bu verilerin göz kırpılmalarını hesaplamada bize büyük katkı sağlayacağı kanısı oluşmuştur. Yapılan analizler ve çalışmalar sonrasında görüntü işleme ile elde edilen veriler kodlara dönüştürülmüştür. Denemelerin ilk aşamasında öncelik gözleri yüz bölgesinden ayırt etmek olmuştur. Sonrasında her iki göz bölgesindeki değerler aracılığıyla matematiksel hesaplamalar

yapılmış ve göz kırplımları da hesaplanmaya başlanılmıştır. Bu aşamaya ait görseller Şekil 2.22, 2.23, 2.24’de gösterilmektedir.



Şekil 2.22. Gözlerin ön bölgeden ve tam açık olma halindeki kırplımlarının hesaplanması.

Aynı zamanda kameraya düz açı ile bakıldığında iki göz arasındaki uzaklık değeri de belirtilmiştir.



Şekil 2.23. Kafanın sağ tarafa 45 derecelik açı ile durumundayken gözlerin hem kameraya bakarken hem de bakılmadığı durumdaki kırplımlarının hesaplanması.



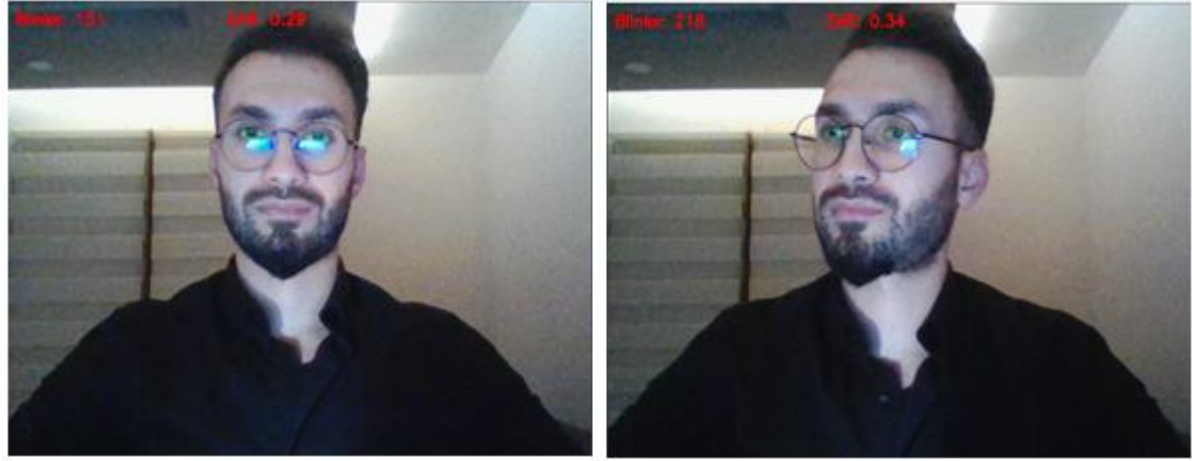
Şekil 2.24. Kafa sol tarafa doğru 45 derecelik açıda iken ve gözler kapalı konumda iken kırılmaların hesaplanması.

Çalışmaların bir sonraki aşamasında amaca uygun olarak her iki gözün tek kırılma olarak hesaplanmasının önüne geçmek olmuştur. Bu bağlamda göz koordinatlarından yola çıkılarak göz bölgesi sağ ve sol göz olarak ayrılmış ve her bir gözün kırılması ayrı ayrı hesaplanmıştır. Göz bölgesi ikiye ayrıldıktan sonra kırılmaların kafanın çeşitli açı durumlarında doğru bir şekilde algılanıp hesaplanması analiz edilmiştir. Bu aşamaya ait görseller Şekil 2.25.de gösterilmiştir.



Şekil 2.25. Kafa bölgesi farklı açılarda iken her iki göze ait kırılmaların sağlıklı bir şekilde algılanmasına yönelik hesaplamalar.

Sağlıklı bir şekilde her iki göz bölgesinin farklı açılarda dahi birbirinden ayrı olarak tespit edilip algılanması sağlanmıştır. Ancak göz yapısının farklı olduğu durumlarda, göz bölgesine gelen ışık değerlerinin farklı olması gibi durumların kırılmaları hesaplamada yanlışlıklara neden olduğu gözlemlenmiştir. Saydam gözlük ile yapılan denemelerde de yine ışığın geliş ve yansıma açılarından dolayı yanlış hesaplamaların olduğu gözlemlenmiştir. Test aşamasına ait görseller Şekil 2.26.de gösterilmiştir.



Şekil 2.26. Gözlük camına ışık yansıması

Bu çalışmadaki görüntü işleme tekniğinde ağırlıklı olarak eşikleme yöntemi kullanılmıştır. Bu sebeple göz bölgesine, kırılmaların tespiti için kullanılan kirpik uçlarına ait değerlere yakın olan başka bir cisim yaklaştırıldığında da sapmaların olduğu gözlemlenmiştir.

Tüm bu hata oranlarını en aza indirmek için göz kırıldığı zaman yüz bölgesinde bulunan kaşların hareketleri izlenilip analiz edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonrasında sağ ve sol gözün ayrı ayrı kırılması durumlarında aynı zamanda kaşlarda da bir hareket ve değişimin olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgulardan yola çıkarak doğruluk oranını arttırmak amacıyla kaş ve göz birlikte algılanması için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarıma ait görseller Şekil 2.27. ve Şekil 2.28.da gösterilmiştir.



Şekil 2.27. Yüz bölgesinde bulunan tüm yüz hatları ve çene bölgesine ait analizler.

Yüz bölgesinde bulunan tüm hatlar ve çene bölgesi ayrı ayrı analiz edilmiştir. Kafa bölgesinin farklı açı durumlarında bulunması da göz önünde bulundurularak şekillerin algılanma durumları kontrol edilmiş ve algılanan bölgeler farklı renk değerleri ile belirtilmiştir.



Şekil 2.28. Sadece Kaş ve Göz bölgelerinin tespiti ve analizleri

Amaca uygun olarak sadece gözler ve kaşların birlikte alınmasına yönelik analizler yapılmıştır ve değişik açılardan kontrolleri sağlanmıştır.

2.9.1 Kaş ile Göz Arasındaki Mesafe Değerlerinin Hesaplanması

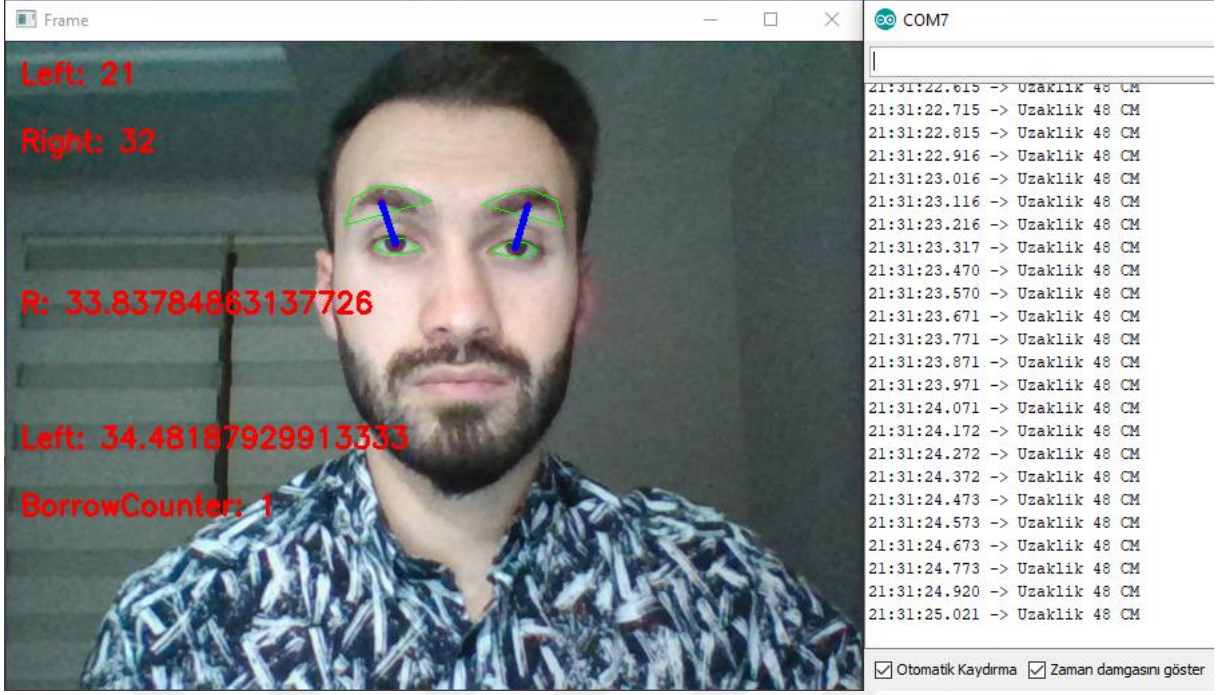
Kaş bölgesine ait değerler ilk önce ayrı olarak taranıp çıkarılmıştır. Kaş bölgesinin doğruluk oranları arttırıldıktan sonra göz ve kaş birlikte alınmaya başlanmıştır. Ancak göz kırılma durumunda kaş bölgesinin az bir belirginlikle hareket ettiği gözlemlenmiştir. Yapılan testler sonucunda da göz kırılmasını hesaplamaya katkısının yok denecek kadar az olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda çok az olasılık olmasına rağmen bazı bireylerde kaş bölgesine bulunan tik rahatsızlığından kaynaklanan anlık hareketlerinde kırılma sayısının doğru bir şekilde hesaplanmasına engel olacağı göz önünde bulundurularak kaş bölgesi göz kırılmasını hesaplamadan çıkarılmıştır.

Tüm yüz hatlarının özellikle de kaş ve göz bölgesini tespit ettikten sonra elde edilen bulguların daha faydalı nasıl olabileceği üzerine düşünülmüştür. Daha önceden kırılmaları iyileştirmek amacıyla tespit edilen ancak meydana gelen çeşitli olasılıklar sebebiyle vazgeçilen kaş bölgesinin başka bir amaç doğrultusunda kullanılabileceği kanısına varılmıştır. Bu amaç doğrultusunda yapılan detaylı çalışmalar ile kaş hareketlerinin tekerlekli sandalye kontrolünü sağlayan komut dizisine büyük bir rahatlama getireceği düşünülmüştür. Önceden göz hareketlerini içeren veriler ile çeşitli hareket komutları gönderilmesi düşünülmüştür. Bu komutlar; ileri gitme, durma, yeniden harekete geçme, sağa ve sola dönme gibi bir takım yönergeler dizisinden oluşmaktaydı. Tekerlekli sandalyenin hareket verimliliğini geliştirdikçe göz hareketlerine yüklenen kırılma sayısının arttığı ve karmaşıklaştığı görülmüştür. Bu

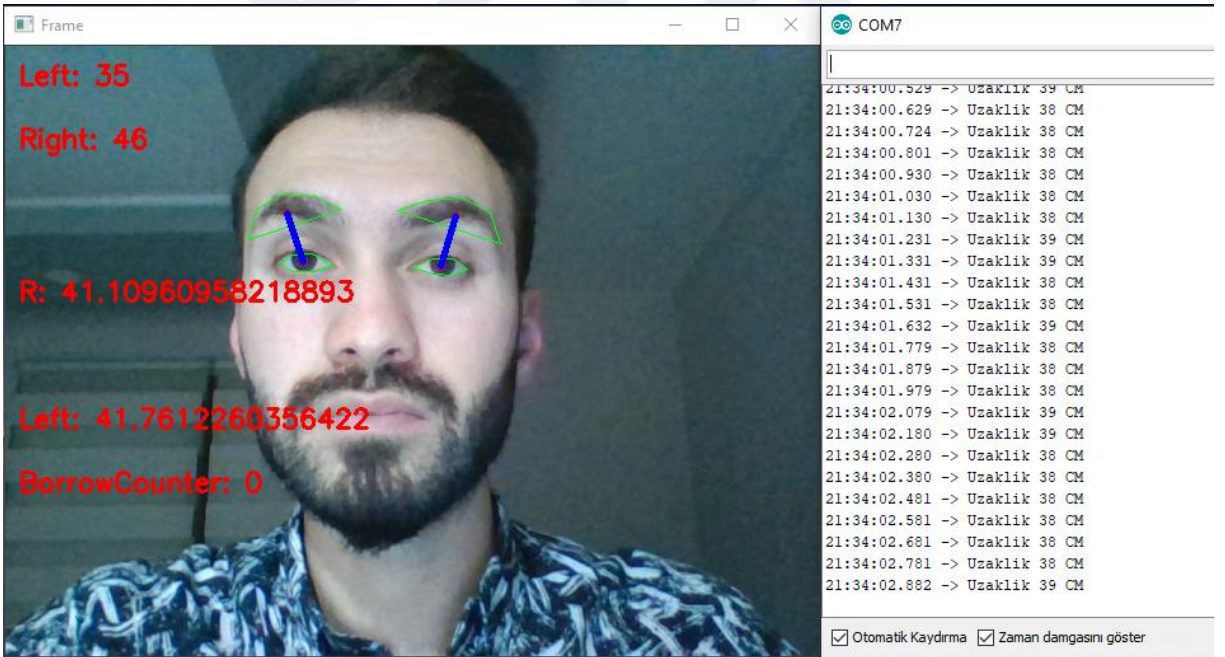
karmaşıklıkların hareket kolaylığı sağlamada büyük engel olabileceği görülmüş ve komut dizisi optimizasyonunu sağlamada verimliliği düşüreceği düşünülmüştür. Bu bulgulardan yola çıkarak her iki kaş bölgesinin birlikte olacak şekilde alınmasına karar verilmiştir. Tek bir bütün olarak alınan kaş hareketleri ile komut sayısına bağlı olarak ileri gitme, durma ve yeniden harekete geçme motor hareketleri sağlanmaya çalışılmıştır. Böylelikle göz üzerindeki işlem fazlalığı da azaltılmış ve uygulamanın başlangıçtaki kompleks durumundan daha rahat ve uygulanabilir duruma geçtiği görülmüştür.

Kaş hareketlerini belirli bir komut olarak algılayabilmek için; göz ile kaş bölgesi arasındaki mesafe hesaplanmıştır. Bu işlem doğrultusunda “Hull” komutu kullanılarak kaş bölgesinin çerçevesi çıkarılmıştır. “Hull” komutu objelerin dış katmanını belirleme işlemi için kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise kaşların dış çerçevesini belirginleştirmek için kullanılmıştır. Sonrasında göz bebeği tespiti yapılarak kaş bölgesi ile arasındaki mesafe hesaplanmıştır. Bu uzaklık değerlerini komut olarak hesaplayabilmek için kaş ile gözbebeği arasındaki uzaklığın alt ve üst eşik değerleri hesaplanmıştır. Eşik değerleri belirlendikten sonra üst eşik değeri odak noktası olarak kullanılmıştır. Uzaklık değeri belirlenen eşik değerine eşit veya üstünde ise “count” değeri her defasında bir arttırılmış ve belirli bir komutun kontrolünde kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalar ve testler sırasında kamera ile yüz arasındaki mesafenin değişmesi aynı zamanda belirlenen eşik değerini de değiştirdiği belirlenmiştir. Omurilik felci olan hastaların hareket kabiliyetlerinin kısıtlı olması göz önünde bulundurularak kafa bölgesi sabit tutulmuş kamera donanımının konumları değiştirilerek test edilmiştir. Yapılan testler doğrultusunda çeşitli uzaklık noktalarına ait alt, üst ve eşik değerleri belirlenip bazı değerler tablo ile gösterilmiştir. Test aşamalarına ait çeşitli konumlardaki görseller aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.29. Kamera ile göz arasındaki mesafe 48 cm iken eşik değerleri



Şekil 2.30. Kamera ile göz arasındaki mesafe 38 cm iken eşik değerleri

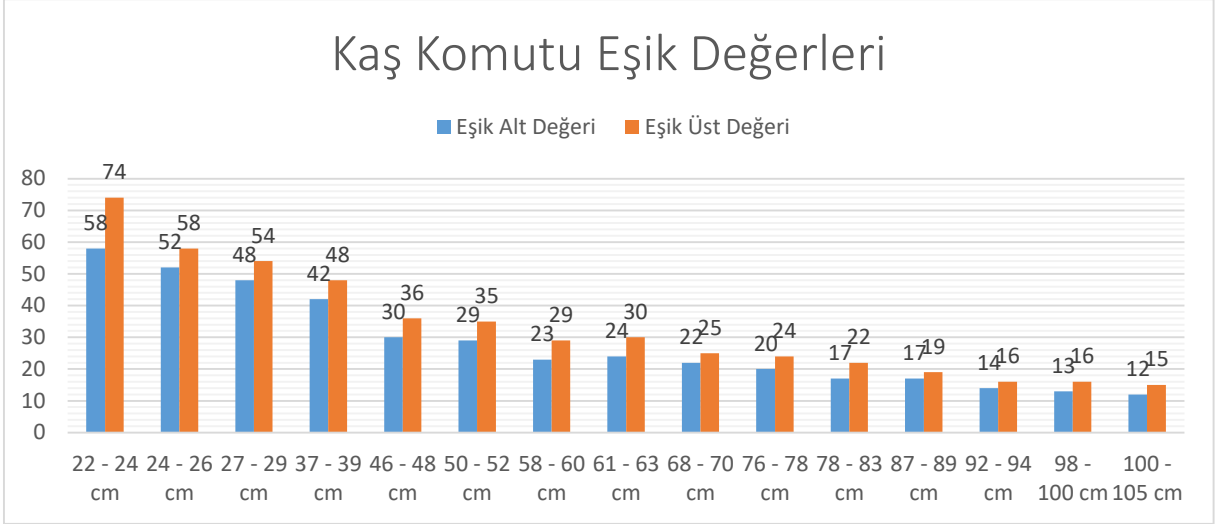
Kamera donanımının olası konumlandırılmaları düşünülerek çeşitli ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler ile kameranın konumu değiştikçe göz ile kaş arasındaki uzaklık da değişmektedir. Bu değişimler göz önüne alınarak çeşitli mesafelere ait eşik değerleri çıkarılmıştır. Eşik alt değeri kaş normal durumdayken göz ile kaş arasındaki uzaklığı, eşik üst değeri de kaş yukarı doğru kaldırıldığında göz ile arasında meydana gelen uzaklığı ifade etmektedir. Bu veriler

kullanılarak eğer uzaklık değeri eşik üst değerine eşit veya üzerinde ise komut olarak bir yönlendirme sağlanmıştır.

Testler sırasında hassas veriler elde etmek amacıyla ArduinoUNO ile HC-SR04 Ultrasonik Mesafe Sensörü kullanılmıştır. Bu sayede hesaplanan veriler anlık olarak kayıt edilmiştir. Kamera donanımının çeşitli konumlarına ait yapılan ölçüm değerleri aşağıdaki Çizelge 2.2.'de ve Şekil 2.31.'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Kamera konumuna göre göz ile kaş arasındaki uzaklık değerleri

| Uzaklık/cm | Eşik Alt Değeri | Eşik Üst Değeri |
|------------|-----------------|-----------------|
| 22 – 24 | 58 | 74 |
| 24 – 26 | 52 | 58 |
| 27 – 29 | 48 | 54 |
| 37 – 39 | 42 | 48 |
| 46 – 48 | 30 | 36 |
| 50 – 52 | 29 | 35 |
| 58 – 60 | 23 | 29 |
| 61 – 63 | 24 | 30 |
| 68 – 70 | 22 | 25 |
| 76 – 78 | 20 | 24 |
| 78 – 83 | 17 | 22 |
| 87 – 89 | 17 | 19 |
| 92 – 94 | 14 | 16 |
| 98 – 100 | 13 | 16 |
| 100 - 105 | 12 | 15 |



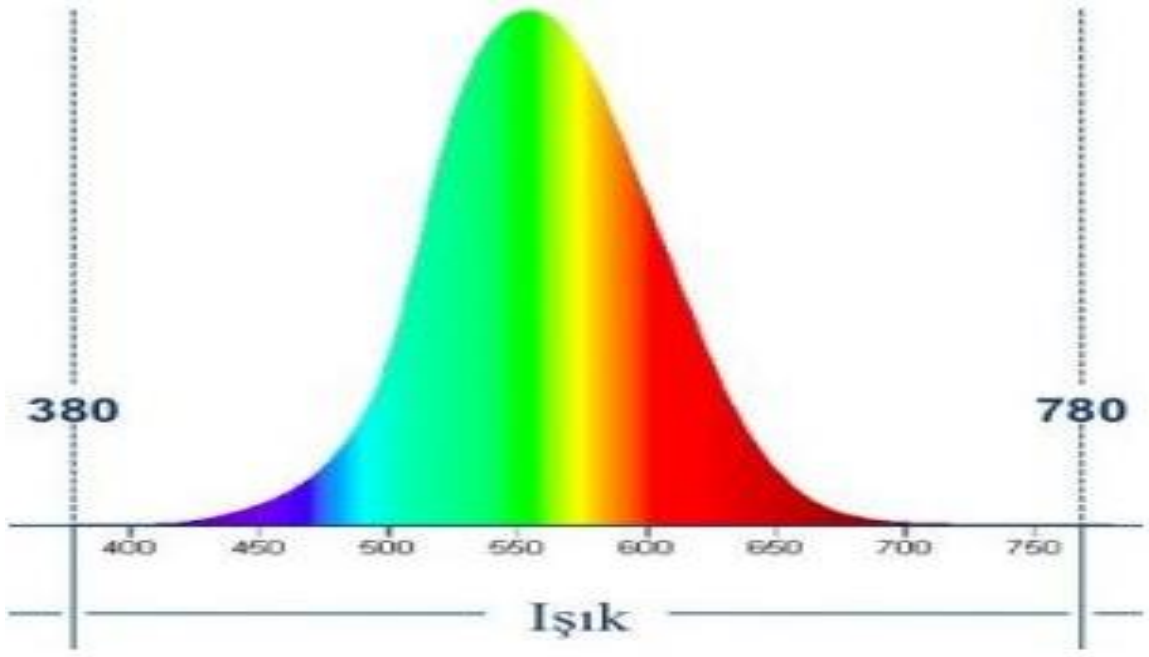
Şekil 2.31. Kamera konumuna göre göz ile kaş arasındaki uzaklık değerleri

2.9.2 Işık Değerlerinin Hesaplanması

Görüntü işleme ile nesne tespiti yapılırken karşılaşılan en önemli zorluklardan biri de ölçülmek istenen nesne hatlarının yeterli belirginlikte olmasıdır. Aksi takdirde sağlıklı bir tarama yapılmış sayılamaz. Bu noktada hat belirginliği açısından ışığın önemi biraz daha artmaktadır. Görüntü işleme ile yüz tarama özellikle de göz, kaş gibi önemli hatların tespitinde ışığın rengi, tonu, sıcaklığı ve şiddeti oldukça önem büyük arz etmektedir.

Bir kaynaktan yayımlanan, ya doğrudan ya da kendisi ışık kaynağı olmayan bir cisimle etkileştikten sonra algılanan bir ışığın göz üzerindeki izlenimlerinden kaynaklanan duyuma renk denilmektedir. (Aydınlatma.org., 2016)

Aslında renk kavramı tamamen ışığın içinde gizlidir. "Renk", "Beyaz" veya "Karanlık". Hepsini ışıkla tanımlamak mümkündür. Örneğin kırmızı ışığı yansıtan nesnelere kırmızı, bütün ışıkları yansıtan nesnelere beyaz, ışıkları yutan (yansıtmayan) nesnelere de siyah olarak algılarız. Bir başka deyişle siyah, "ışık yok" demektir. Aslında doğada beyaz ışık yoktur, algılayabildiğimiz renkli ışık spektrumu vardır (Şekil 2.20.). Biz 380 nm ile 780 nm dalga boyundaki ışıkların (mor, mavi, yeşil, sarı, kırmızı) toplamını beyaz ışık olarak algılarız. Siyah renk ise "ışık yok" demektir. Başka bir deyişle siyah olarak algıladığımız cisimden göze yansıyan ışık yoktur.



Şekil 2.32. İnsanlar tarafından algılanabilen renkli ışık spektrumu

Renk sıcaklığı, ışığın ortamda yarattığı ışık rengi ambiyansıdır. Birimi Kelvin'dir. Renk sıcaklığını, ışık kaynağının verdiği toplam ışık içerisindeki renkli ışıkların oranları belirlemektedir. Örneğin güneşli havalarda -gökyüzündeki atmosferin etkisiyle- ışığın mavi bileşenleri artmakta ve Kelvin değeri yükselmektedir. Akkor ve halojen lambalarda kırmızı ve sarı bileşenleri baskın olduğunda Kelvin değeri düşmektedir. Renk sıcaklıklarında değerlendirme şu şekildedir:

- Gün ışığı (6500 Kelvin ve üzeri)
- Soğuk beyaz (5300-6500 Kelvin arası)
- Ilık beyaz (3300-5300 Kelvin arası)
- Sıcak beyaz (3300 Kelvin ve altı)



Şekil 2.33. Beyaz ışıkta farklı renk sıcaklıkları

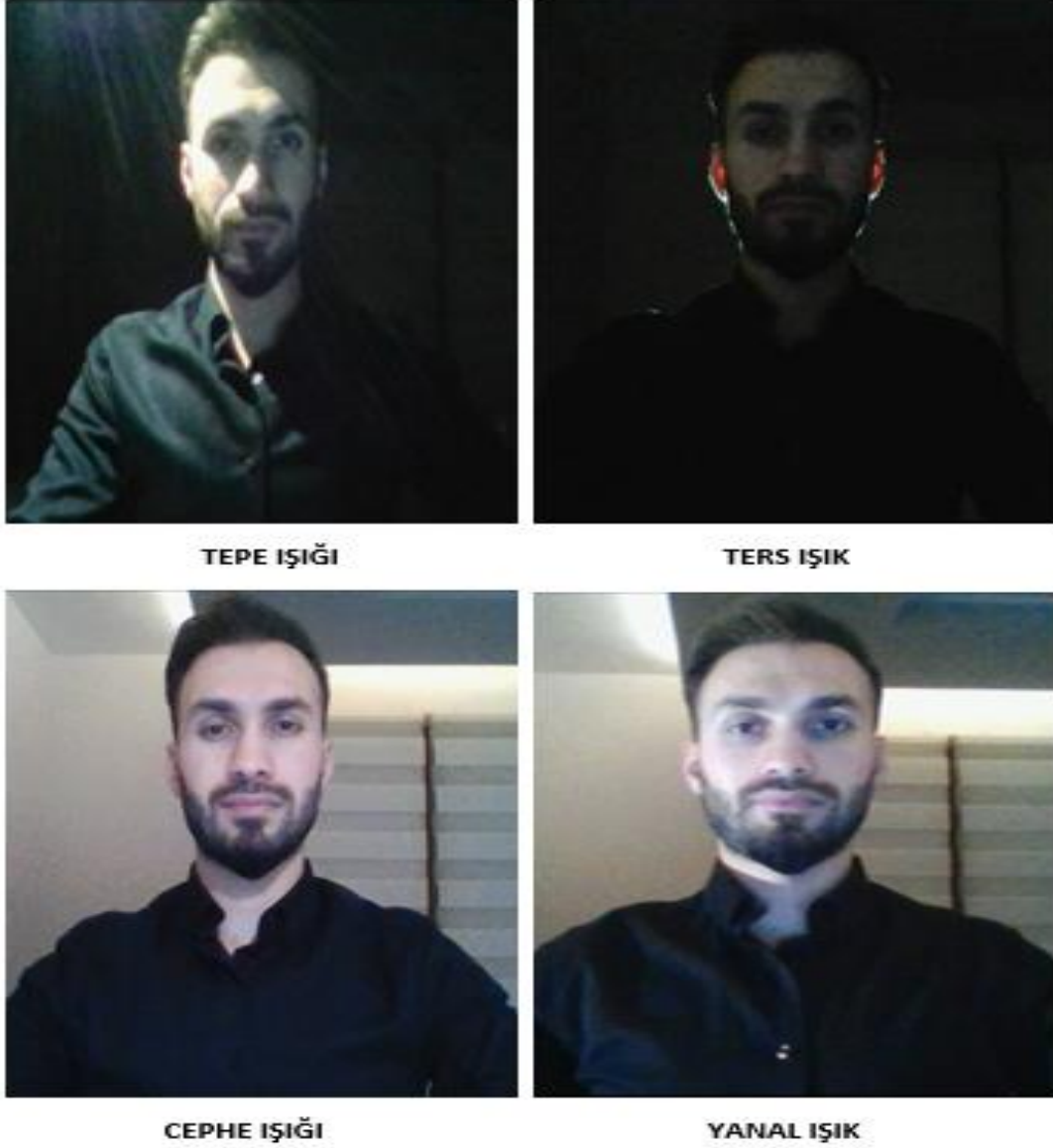
Çizelge 2.3. Farklı ışık kaynaklarına ait renk sıcaklık değerlerinin tablo ile gösterimi

| Renk Sıcaklığı | Işık Kaynağı |
|----------------|-----------------------|
| 1000 - 2000 | Mum Işığı |
| 2500 - 3500 | Akkor Işık Kaynakları |
| 3000 - 4000 | Gün Batımı ve Doğumu |
| 4000 - 5000 | Floraslan Lambalar |
| 5000 - 5500 | Elektronik Flaş |
| 5000 - 6500 | Açık Hava |
| 6500 - 8000 | Parçalı Bulutlu Hava |
| 9000 - 10000 | Gölge/Kapalı Hava |



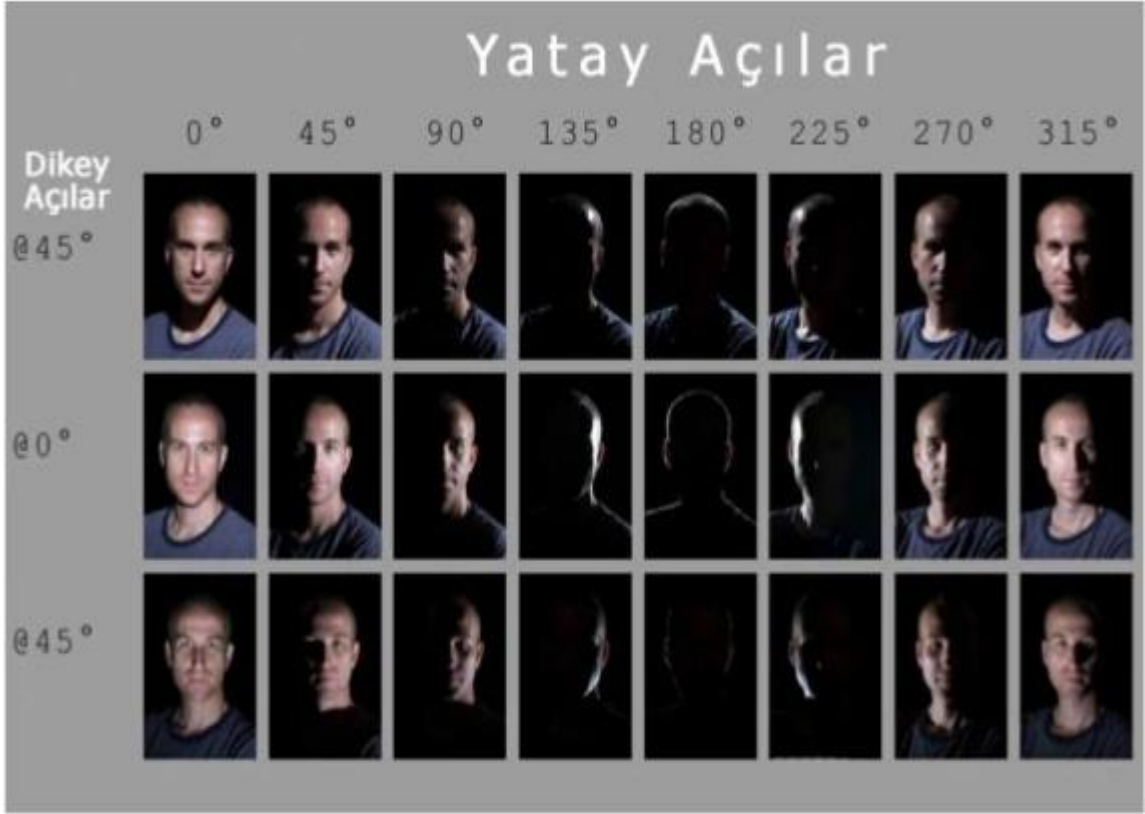
Şekil 2.34. Farklı renk sıcaklıklarında aydınlatma yapan lambalar.

Ortamda bulunan ışık değeri ne kadar önemli ise yüz bölgesine gelen ışık değerlerinin önemi de bir o kadar fazladır. Eğer yüz hatlarını belirleyecek kadar yeterli düzeyde ışık değeri mevcut değilse verimli bir şekilde işlem yapılamaz. Aynı zamanda yüz bölgesini aydınlatan ışığın geliş yönü de önem göstermektedir. Şekil 2.35.de ışığın geliş yönüne göre yüz hatlarının belirginliği gösterilmiştir.



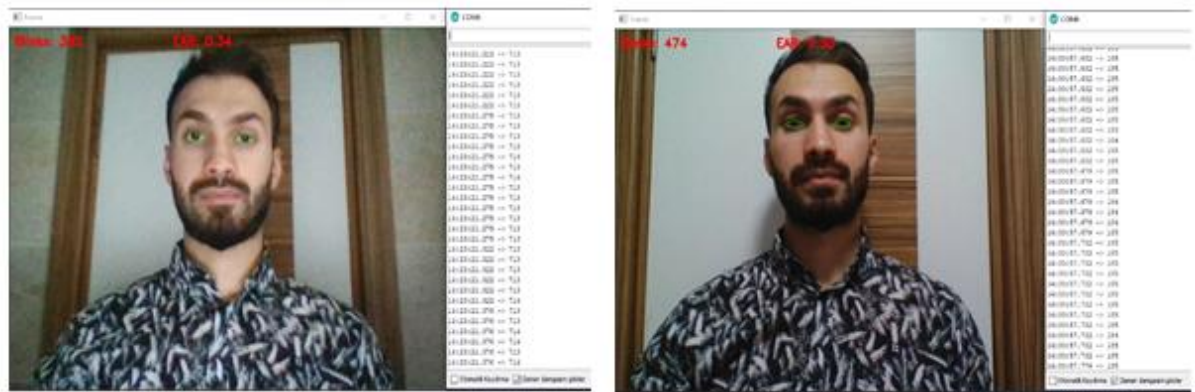
Şekil 2.35. Işığın geliş yönlerine göre yüz hatları

Eğer ışık yüz bölgesine doğru açıyla gelmiyorsa göz hatlarının görünürlüğünü azaltacağından başarı oranını düşürecektir. Başarı oranını arttırmak için doğru ışık değeri ve ışığın geliş açısı göz kırpmayı hesaplamada bizim için önemli olan noktalardan bazılarıdır. Şekil 2.36.de ışığın yatay ve dikey açılarına göre yüz hatlarının belirginliği gösterilmiştir.

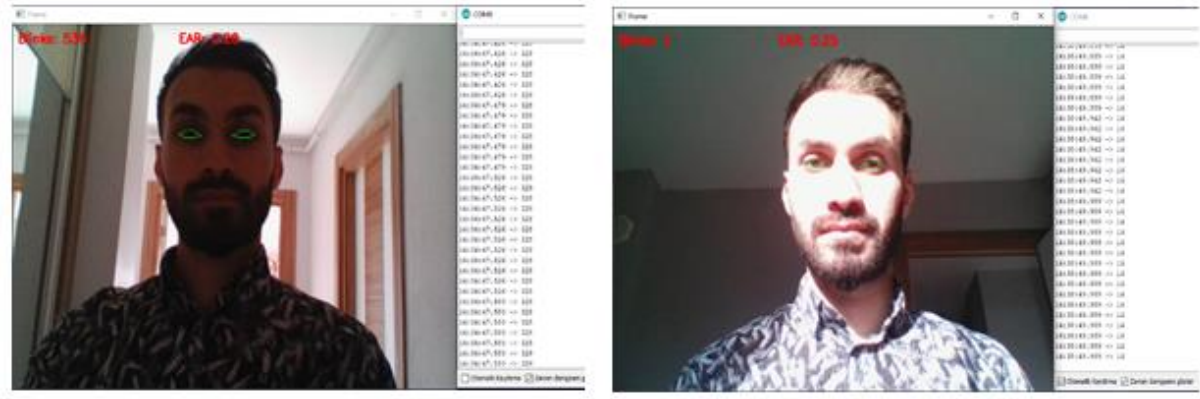


Şekil 2.36. Yatay ve dikey açılardan gelen ışık değerlerine göre yüz hatlarının belirginliği (Konuralp, N.E., 2015)

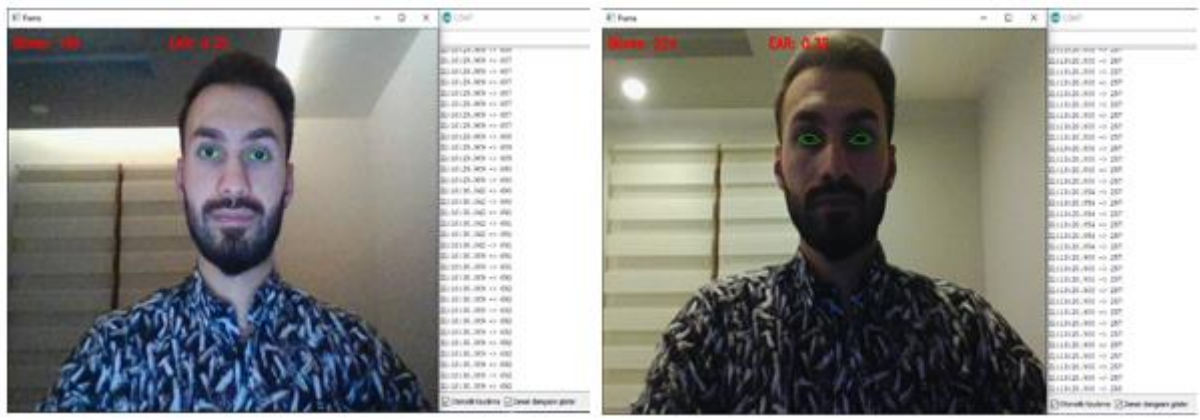
Tüm bu bilgiler ışığında doğru ışık değerini ve ışığın geliş açısını bulmak amacıyla gündüz ve gece vaktini içerecek şekilde farklı ışık ortamlarında testler yapılmıştır. Testler yapılırken hesaplamalarda hassasiyet ve başarı oranını arttırmak amacıyla Arduino UNO ile entegre edilmiş LDR ışık sensörü kartı kullanılmıştır. Testlere ait görseller aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 2.37. Kapalı ortamda beyaz floresan ışık kaynağı kullanılarak yapılan testler



Şekil 2.38.Ön cepheden ve Arka cepheden gelen güneş ışığı değerleri kullanılarak yapılan testler



Şekil 2.39. Ön cepheden ve Tepe cephесinden gelen turuncu ışık değerlerinin hâkim olduğu ortamda yapılan testler

Yukarıdaki görsellerde de görüldüğü gibi başarı oranlarını arttırmak amacıyla birden fazla olasılık düşünülerek farklı ışık ortamları ve farklı ışık açılarındaki testler yapılmıştır. Yapılan testlerde ışığın rengi kadar ışığın geliş açısının da çok fazla önem taşıdığı anlaşılmıştır. Yatay ve Dikey açılar göz önüne alındığında “ 0° ”lik açıda kırılma sayısının hesaplanmasındaki başarı oranının daha yüksek olduğu görülmüştür. Yatay ekseninde yapılan test sonuçları Çizelge 2.4.’te gösterilmiştir. Dikey ekseninde yapılan test sonuçları Çizelge 2.5.’te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Kameranın yatay eksenindeki konumunun başarı oranları

| Yatay Açılar | | | | | | | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|--|-----------|---------------|-----|-----|-----|-----|
| Sol Yönlü Açı | | | | | | Sağ Yönlü Açı | | | | |
| 30° | 20° | 15° | 10° | | 0° | | 10° | 15° | 20° | 30° |
| 5% | 30% | 35% | 45% | | %90 - %95 | | 45% | 35% | 30% | 5% |

Çizelge 2.5. Kameranın dikey eksenindeki konumunun başarı oranları

| Dikey Açılar | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| Aşağı Yönlü Aç | | | | | | | Yukarı Yönlü Aç | | | | | | |
| 30° | 25° | 20° | 15° | 10° | 5° | 0° | 5° | 10° | 15° | 20° | 25° | 30° | |
| 35% | 55% | 70% | 80% | 90% | 95% | %90 - %95 | 95% | 90% | 80% | 70% | 55% | 35% | |

Aynı zamanda hem turuncu ışık hem de beyaz ışık ortamlarında yapılan testlerde, beyaz ışık ortamında yapılan testlerin başarı oranları turuncu ışık ortamında yapılan testlerin başarı oranından daha büyük çıkmıştır. Ortamda bulunan ışık değeri düşük olsa bile eğer yüz bölgesini aydınlatan ışık kaynağı göz hatlarını belli edecek kadar lüx değerine sahipse başarılı bir şekilde kırılma tespiti yapıldığı görülmüştür. Aynı zamanda yapılan testlerde ön cepheden gelen güneş ışığının lüx değeri yüksek olmasına rağmen yüksek derecede ışık yansımaya sebep olduğundan göz hatlarının tespitini zorlaştırdığı ve kırılma tespitindeki başarı oranını düşürdüğü görülmüştür.

Yapılan çalışmalar neticesinde başarı oranları hesaplanan ışık düzeyleri Çizelge 2.6, Çizelge 2.7, Çizelge 2.8, Çizelge 2.9.da tablo ile gösterilmiştir.

Çizelge 2.6. Gündüz vakti kapalı ortamda yapılan test verileri

| Lüx(lx) | Başarı Oranı(%) |
|-----------|-----------------|
| 116 - 118 | 85 |
| 120 - 125 | 80 |
| 139 - 145 | 90 |
| 155 - 160 | 95 |
| 160 - 165 | 90 |
| 170 -175 | 90 |
| 180 -185 | 90 |
| 190 - 195 | 90 |
| 200 - 205 | 85 |
| 210 - 215 | 80 |
| 215 - 220 | 85 |

Kapalı bir ortamda gün ışığının vermiş aydınlık değerlerinde yapılan test sonuçları Çizelge 2.6.da belirtilmiştir. Ortamın ışık değerinin az olması yüz ve özellikle göz hatlarının

tespit edilme başarısını düşürmektedir. Ortamın ışık değerinden bağımsız olarak sadece yüz bölgesini belirginleştirecek kadar bir ışık lüks değeri bulunuyorsa göz kırılmalarının başarılı olarak hesaplandığı görülmüştür.

Çizelge 2.7. Güneşli bir günde açık hava da yapılan test verileri

| Lüks(lx) | Başarı Oranı(%) |
|-----------------|------------------------|
| 14 - 20 | 40 |
| 43 - 50 | 50 |
| 55 - 62 | 60 |

Gün ışığında açık ortamda yapılan testlerde yüz hatlarının ve özellikle göz hatlarının belirginliği arttığı için kırılma hesaplamalarının başarı oranının arttığı görülmüştür. Ancak güneş ışığının doğrudan yüz bölgesini aydınlattığı durumlarda ışık oranının fazla olmasına bağlı olarak yansımaların arttığı belirlenmiştir ve göz hatlarının başarılı olarak ayrıştırılıp kırılmaların hesaplanmasına engel olduğu görülmüştür.

Çizelge 2.8. Beyaz ışık ortamında yapılan test verileri

| Lüks(lx) | Başarı Oranı(%) |
|-----------------|------------------------|
| 350 - 380 | 95 |
| 320 - 350 | 95 |
| 260 - 290 | 90 |
| 240 - 260 | 90 |
| 200 - 230 | 90 |
| 170 - 200 | 85 |
| 140 - 170 | 90 |
| 110 - 140 | 85 |
| 80 - 110 | 75 |
| 60 - 80 | 70 |

Çizelge 2.9. Turuncu ışık ortamında yapılan test verileri

| Lüks(lx) | Başarı Oranı(%) |
|-----------------|------------------------|
| 690 - 710 | 45 |
| 570 - 600 | 55 |
| 520 - 550 | 60 |

Çizelge 2.9. Turuncu ışık ortamında yapılan test verileri (devamı)

| Lüks(lx) | Başarı Oranı(%) |
|-----------------|------------------------|
| 470 - 500 | 65 |
| 420 - 450 | 65 |
| 370 - 390 | 70 |
| 340 - 360 | 80 |
| 310 - 330 | 75 |
| 290 - 300 | 85 |
| 260 - 280 | 90 |

Turuncu ışık değerlerinin hâkim olduğu ortamda yapılan testlerde başarı oranının düştüğü görülmüştür. Turuncu renkteki ışık lüks'lerinin yüz hatlarını beyaz ışık gibi sağlıklı olarak belirginleştirmedeği görülmüştür. Beyaz ışıkta ortamda bulunan cisimler ışığı yansıttığı için yüz bölgesinin aydınlanmasına ve kırılmalarının yakalanmasına katkı sağladığı anlaşılmaktadır. Ancak turuncu ışık değerlerinde ortamdaki cisimlerin ışınları yansıtılmalarının azaldığı görülmüştür. Bu duruma bağlı olarak göz bölgesinin belirginliği azalmış ve kırılmaların başarı oranında düşüş görülmüştür.

3. ROBOTİK MEKANİZMANIN HAZIRLANMASI

Robotik mekanizma hazırlanmadan önce Python programlama sırasında kullanılan tüm kütüphanelerin aynı zamanda kullanılacak olan RaspberryPi modülüne de indirilmesi gerekmektedir.

```
from scipy.spatial import distance as dist
from imutils.video import FileVideoStream
from imutils.video import VideoStream
from imutils import face_utils
import numpy as np
import argparse
import imutils
import time
import dlib
import cv2
import RPi.GPIO as GPIO
from time import sleep
```

Şekil 3.1. Kullanılan Python Kütüphaneleri

Gerekli kütüphanelerin RaspberryPi modülüne kurulumu yapıldıktan sonra Thonny Python uygulaması kullanılarak proje dosyası RaspberryPi modülünde çalıştırılabilir. Proje dosyasının uzantısı “.py” olarak ayarladıktan sonra çalıştırılabilir veya terminal ekranına Python kodları yazılarak proje çalıştırılabilir.

RaspberryPi’ye kütüphaneleri kurmadan önce İlk olarak terminal ekranına gerekli komutların yazılarak sistemin güncellenmesi gerekmektedir. Tüm güncellenmeler tamamlandıktan sonra RaspberryPi’nin yeniden başlatılması gerekmektedir. Kurulum ortalama 3 saat sürmektedir ve en az 2 GB’lık boş hafıza alanı bulunmalıdır. Güncelleme paketleri yüklendikten sonra geliştirici ayarları yüklenerek ilerlenmiştir. Terminal ekranında kullanılan güncelleme komutları aşağıda verilmiştir.

```
sudo apt-get update
```

```
sudo apt-get upgrade
```

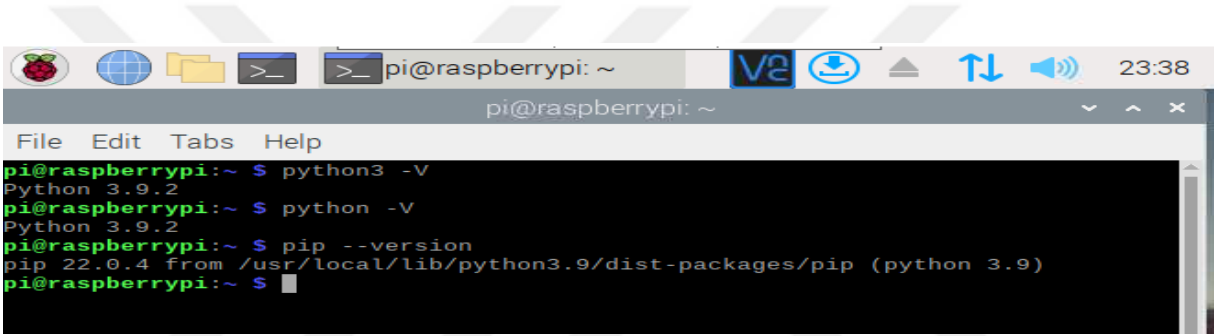
```
sudo rpi-update
```

```
sudo reboot
```


Daha fazla sanal bellek eklemeyen önce alan boyutu değiştirilmiştir. OpenCv, RaspberryPi'nin dört çekirdeği ile herhangi bir hafıza sorunu olmadan derlenmesini sağlamaktadır. Değiştirmeden ilerlendiği zaman genellikle hata ile karşılaşmaktadır. Bu hata ile karşılaşmamak için OpenCv paketleri yüklenmeden önce bazı ayarlar değiştirilmiştir.

Terminal ekranında “sudo nano /etc/dphys-swapfile” komutu kullanılarak nano editör sayfası açılmıştır. Daha sonra “CONF_SWAPSIZE=100” değişkeninin değeri “CONF_SWAPSIZE=1024” olacak şekilde değiştirilerek kaydedilmiştir. Gerekli kütüphaneler yüklendikten sonra alan boyutu eski değerine dönüştürülmüştür.

Testler sırasında kullanılan Python, Python3 ve Pip paketlerinin sürümleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



```
pi@raspberrypi: ~  
File Edit Tabs Help  
pi@raspberrypi:~ $ python3 -V  
Python 3.9.2  
pi@raspberrypi:~ $ python -V  
Python 3.9.2  
pi@raspberrypi:~ $ pip --version  
pip 22.0.4 from /usr/local/lib/python3.9/dist-packages/pip (python 3.9)  
pi@raspberrypi:~ $
```

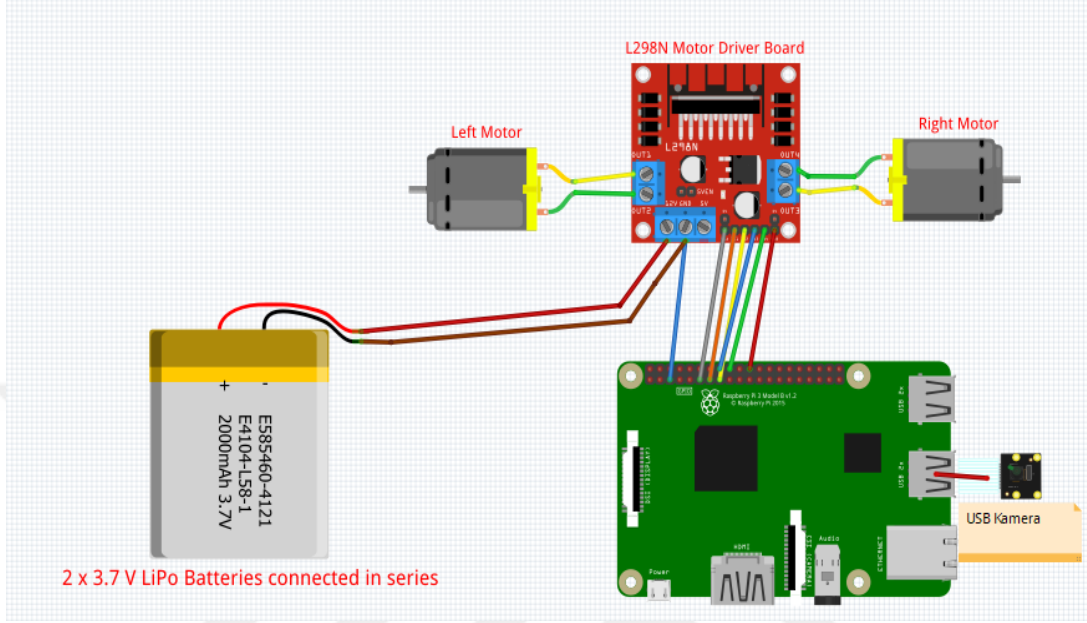
Şekil 3.2. Kullanılan Python, Python3 ve PIP Paketlerinin Sürümleri

Python kodlarının terminal ekranında derlenmesi sırasında göz tespiti için kullanılan “Shape” kütüphanesinin uzantısının da yazılması gerekmektedir. Aksi takdirde derleme sırasında hata oluşmaktadır. Kamera modülünün kullanılması için donanım ayarlarının açılması gerekmektedir. Ayarlamalar yapıldıktan sonra kameranın çalışmasını kontrol etmek için fotoğraf çekme işlemi yapıp görüntü kontrol edilmiştir. RaspberryPi’ye uzaktan erişim ile kontrol sağlamak amacıyla VNC uygulaması bağlantı sağlanacak olan bilgisayara indirilip kurulumu yapılmıştır ve RaspberryPi ayarlarından VNC aktif hale getirilmiştir. Ethernet kablosu bağlandıktan sonra sabit IP ile uzaktan bağlantı sağlanmıştır. Bu işlemler başarıyla tamamlandıktan sonra robotik mekanizmanın mimarini ve entegrasyonuna başlanabilir. Bağlantı şeması Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

Mekanizmada kullanılan malzemeler aşağıda listelenmiştir:

- Raspberry Pi
- 5V Güç Kaynağı (Adaptör veya Regülatör)
- Mini DC Motor(2 Adet)

- L293D Motor Sürücü Entegre Kartı
- Jumper Kablo
- Camera Modülü
- Montaj için Kullanılacak Plastik Katman
- Hafıza Kartı(16 veya 32GB)



Şekil 3.3.RaspberryPi DC Motor Bağlantı Şeması

Motorların doğru bir şekilde kontrol edilebilmesi için kullanılacak olan GPIO pinlerinin doğru seçilmesi ve kodlama sisteminin ona göre ayarlanması gerekmektedir. Kullanılan RaspberryPi modülünün özelliklerine ve kullanılan Python kodunun karmaşıklığına bağlı olarak kameranın göz kırpmalarını tespit etme süresi oldukça yavaşladığı gözlemlenmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada görüntü işleme tekniklerinden faydalanılarak gerçek zamanlı olan bir videodan ilk olarak yüz bölgesinin daha sonra ise göz ve kaş bölgelerini tespit edip kullanmak için çalışmalar yapılmıştır. Göz kırılmalarını tespit edebilmek için OpenCV kütüphanesiyle birlikte DLIB kütüphanesinden de faydalanılmıştır. Çalışma PyCharm uygulamasında Python programlama dilinde hazırlanmıştır. Yapılan testlerde ışık açılarının ve lüks değerlerinin göz bölgesinin ve buna bağlı olarak kırılmaların tespitini zorlaştırdığı tespit edilmiştir. Hata oranlarını en aza indirmek amacıyla; açık ortam, kapalı ortam, gün ışığı, turuncu ışık, beyaz ışık vb. çoklu ışık ortamlarında testler yapılmıştır ve elde edilen veriler grafik haline getirilerek analiz edilmiştir. Aynı zamanda farklı ışık açıları ile yapılan çalışmalarda ışığın geliş açısının da ışığın lüks değeri kadar önemli olduğu elde edilen verilerin analizleri ile açıklanmıştır. Göz kırılmalarının tespiti için doğru açı ve ışık lüks değerleri hesaplanmıştır. Lüks değerlerini hesaplamak amacıyla LDR ışık sensörü ile ölçümler yapılmıştır. Her iki gözü de sağlıklı olan bireyler üzerinde testler yapılmıştır. Sadece göz kırılmaları ile yapılacak olan motor kontrol komutlarındaki karmaşıklığı basite indirmek amacıyla kaş hareketlerinden de faydalanılmıştır. Kaş bölgesini tespit ettikten sonra kaş ile göz arasındaki uzaklık değerleri kullanılarak komutları kontrol işlemi sağlanmıştır. Python tarafında olan kodlama süreçleri tamamlandıktan sonra proje dosyası RaspberryPi'ye yüklenmiştir. Terminal ekranı kullanılarak gerekli olan kütüphaneler ve güncelleştirmeler yüklendikten sonra proje dosyası çalıştırılmıştır. Mekanik bağlantılar tamamlandıktan sonra göz hareketleri ile motor kontrolü işlemi sağlanmıştır. Testler sırasında kamera işlevinin yavaşlamasını kısmen gidermek için kodlamalar yeniden derlenmiştir. Geliştirmeler sonunda göz hareketleri ile geliştirilen robotun ileri, geri, sağ, sol ve durması işlevleri test edilmiş ve tamamlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Ahmed, M., & Laskar, R. H. (2019). Eye center localization in a facial image based on geometric shapes of iris and eyelid under natural variability. *Image and Vision Computing*, 88, 52-66.
- Aydınlatma Araştırma Merkezi. (2017). *Işıktaki Renk ve Renk Sıcaklığı (CCT) Kavramı*. 14 Mart 2017, Erişim adresi:
<https://www.aydinlatma.org/isikta-renk-ve-renk-sicakligi-cct-kavrami.html>
- Babić, D., Dijanić, H., Jakob, L., Babić, D., & Garcia-Garzon, E. (2020). Driver eye movements in relation to unfamiliar traffic signs: an eye tracking study. *Applied ergonomics*, 89, 103191.
- Calinon, S., Epiney, J., ve Billard, A. (2005, December). A humanoid robot drawing human portraits. In 5th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, Switzerland.
- Cech, J., & Soukupova, T. (2016). Real-time eye blink detection using facial landmarks. Center for Machine Perception, Department of Cybernetics Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University, *Prague*, 1-8.
- DeDe, G., & Kelleher, D. (2021). Effects of animacy and sentence type on silent reading comprehension in aphasia: An eye-tracking study. *Journal of Neurolinguistics*, 57, 100950.
- De la Fuente Suárez, L. A. (2020). Subjective experience and visual attention to a historic building: A real-world eye-tracking study. *Frontiers of Architectural Research*, 9(4), 774-804.
- De Oliveira, P. M., Flores, F. C., & Martins, N. A. (2015). A real-time eyebrow segmentation and tracking technique to support an electric wheelchair interface. In IEEE EUROCON 2015-International Conference on Computer as a Tool (EUROCON) (pp. 1-6). IEEE.
- Doğan, T., Sert, E., ve Taşkın, D. (2013). Araç Destek Sistemleri için Kuş Bakışı Görüntü Dönüşümü. Trakya Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, (230-235) Edirne.
- Fusek, R. (2018, November). Pupil localization using geodesic distance. In International Symposium on Visual Computing (pp. 433-444). Springer, Cham.
- Gonzalez R. C., ve Woods R. E. (2007). *Digital Image Processing (3th Ed.)*(1-7). New Jersey, Prentice Hall.
- Grauman, K., Betke, M., Lombardi, J., Gips, J., & Bradski, G. R. (2003). Communication via eye blinks and eyebrow raises: Video-based human-computer interfaces. *Universal Access in the Information Society*, 2(4), 359-373.

- Huang, J., Peng, Y., & Wan, X. (2021). The color-flavor incongruency effect in visual search for food labels: An eye-tracking study. *Food Quality and Preference*, 88, 104078.
- Huang, B., Chen, R., Zhou, Q., & Yu, X. (2018). Eye landmarks detection via two-level cascaded CNNs with multi-task learning. *Signal Processing: Image Communication*, 63, 63-71.
- Jayas, D., ve Karunakaran C (2005). Machine Vision System in Postharvest Tecnology. *Stewart Postharvest Rewiev* 2(2), 1-9.
- Jähne, B. (2005). *Digital Image Processing (6th Ed.)* (7-19). Berlin: Springer, 2005.
- Kawato, S., & Ohya, J. (2000, March). Real-time detection of nodding and head-shaking by directly detecting and tracking the " between-eyes". In *Proceedings Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition* (Cat. No. PR00580) (pp. 40-45). IEEE.
- Kazemi, V., & Sullivan, J. (2014). One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1867-1874).
- Kim, H., Jo, J., Toh, K. A., & Kim, J. (2017). Eye detection in a facial image under pose variation based on multi-scale iris shape feature. *Image and Vision Computing*, 57, 147-164.
- Keefe, P. D. (1992). A Dedicated Wheat Grain Image Analyser. *Plant Varieties and Seeds*, 5(2), 27-33.
- Konuralp N. E., (2015). *Fotoğrafta Işık*. 06 Mart 2015, Erişim adresi: <https://www.slideshare.net/emrekon/fotografta-isk>
- Kurka, P. R. G., ve Salazar, A. A. D. (2019). Applications of image processing in robotics and instrumentation. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 124, 142-169.
- Li, J., Zhang, Z., Jing, F., Gao, J., Ma, J., Shao, G., & Noel, S. (2020). An evaluation of urban green space in Shanghai, China, using eye tracking. *Urban Forestry & Urban Greening*, 56, 126903.
- Luo, Z., & Wang, Y. (2019). Eye-tracking technology in identifying visualizers and verbalizers: data on eye-movement differences and detection accuracy. *Data in brief*, 26, 104447.
- Maran, T., Furtner, M., Liegl, S., Kraus, S., & Sachse, P. (2019). In the eye of a leader: Eye-directed gazing shapes perceptions of leaders' charisma. *The Leadership Quarterly*, 30(6), 101337.
- Majumder, A., Singh, M., & Behera, L. (2012, August). Automatic eyebrow features detection and realization of avatar for real time eyebrow movement. In *2012 IEEE 7th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)* (pp. 1-6). IEEE.

- Patayon, U., Gallegos, J. M., Mack, P., Bacabis, R., & Vicente, C. (2021). Signaling and Pacing: A Comparative Study on Evidence Based Stimuli using an Eye Tracking Device. *Procedia Computer Science*, 179, 313-320.
- Pantanowitz, A., Kim, K., Chewins, C., & Rubin, D. M. (2021). Gaze tracking dataset for comparison of smooth and saccadic eye tracking. *Data in brief*, 34, 106730.
- Perez, A. J., Lopez, F., Benlloch, J. V., ve Christensen, S. (2000). Colour and Shape Analysis Techniques for Weed Detection in Cereal Fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 25(3), 197-212.
- Rosebrock, A. (2017). *Eye blink detection with OpenCV, Python, and dlib*. 24 Nisan 2017, Erişim adresi:
<https://www.pyimagesearch.com/2017/04/24/eye-blink-detection-opencv-python-dlib/>
- Rosebrock, A. (2017). *Facial landmarks with dlib, OpenCV, and Python*. 3 Nisan 2017, Erişim adresi:
<https://www.pyimagesearch.com/2017/04/03/facial-landmarks-dlib-opencv-python/>
- Sabancı, K., Ve Aydın, C. (2014). Görüntü İşleme Tabanlı Hassas İlaçlama Robotu. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 20, 406-414.
- Sağbaş, E. A., Gökalp, O., & Uğur, A. (2019). Yüz İfadesi Tanıma için Mesafe Oranlarına Dayalı Öznitelik Çıkarımı ve Genetik Algoritmalar ile Seçimi. *Veri Bilimi*, 2(1), 19-29.
- Samtaş, G., ve Gülesin, M. (2011). Sayısal Görüntü İşleme ve Farklı Alanlardaki Uygulamaları. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 2(1), 85-97.
- Trooien, T. P., ve Heermann, D. F. (1992). Measurement and Simulation of Potato Leaf Area Using Image Processing. I. Model development. *Transactions of the ASAE*, 35(5), 1709-1712.
- Viola, P., ve Jones, M. (2001). Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features, *CVPR* (1), 3, (511-518)