

Computer-Aided Interface Design for Real-Time Pupil Motion Detection and an Application for Physically Disabled Persons

Ahmet Reşit KAVSAOĞLU¹ , İsmail MERSİNKAYA^{2*} , Ömer Faruk YILDIZ¹ , Hasan GÜDEK¹ 

¹Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Biomedical Engineering, 78050, Center/KARABÜK

²Aydın Adnan Menderes University, Söke Vocational School, Department of Electronics and Automation, 09200, Söke/AYDIN

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article
Received: 01.07.2021
Revision: 24.10.2021
Accepted: 16.11.2021

Highlights

- Pupil movements detection.
- C# Control Interface for disabled person.
- Adaptive IR-LED for pupil detection

Keywords

Pupil motion detection
Adaptive IR-LED light
Image processing
Disabled person

In this study, a system is proposed to provide a human-computer interface was created in C# language so that individuals with physical mobility disabilities such as ALS can express their wishes. In the system created, pupil movements were analyzed, and the patient was enabled to express his wishes both visually and audibly.

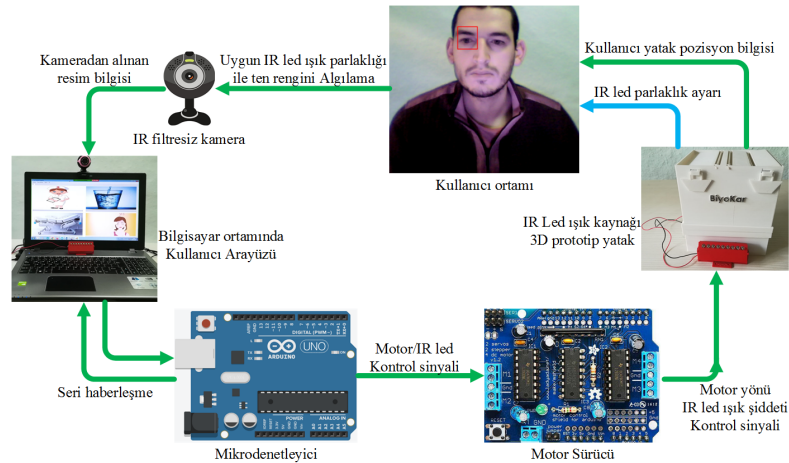


Figure A. Real-time pupil tracking system with adaptive IR LED light brightness

Purpose: The aim of this study is to enable individuals with physical movement disabilities, such as ALS, to express their wishes without the need for any movement other than pupillary movement. It is to introduce a more practical and improved algorithm that can be used in pupil motion tracking systems by creating a unique algorithm for pupil motion detection.

Theory and Methods: In the system created for pupil movement tracking, the face of the patient, which was detected by the camera, was selected using the skin color filter. After the patient's face was selected, the eye frame was detected autonomously by the system. An adaptive IR LED light source has been designed to illuminate the eye area of the user. Pupil detection was performed with the developed image processing algorithms. According to the movements of the detected pupil, commands were created on the user interface by which the patient can express their wishes by using the position information that the patient is looking at. An application study was carried out by creating the prototype of the controlled patient bed with a 3D printer.

Results: The basis of the proposed system is, a control algorithm has been developed for individuals with physical movement disability who cannot express their needs, allowing them to express their wishes using only pupillary movements.

Conclusion: In the usage tests of the developed system, it has been seen that through the adaptive light source developed using an adaptively adjustable IR LED light source, pupil movement could be detected with an accuracy of 95%.



Computer-Aided Interface Design for Real-Time Pupil Motion Detection and an Application for Physically Disabled Persons

Ahmet Reşit KAVSAOĞLU¹ , İsmail MERSİNKAYA^{2,*} , Ömer Faruk YILDIZ¹ , Hasan GÜDEK¹ 

¹Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, 78050, KARABÜK

²Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Söke Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 09200, Söke/AYDIN

Abstract

In this study, a human-computer interface was created in C# so that individuals with physical mobility disabilities such as ALS can express their wishes. In this system created, pupil movements were analyzed and the patient's wishes were expressed both visually and audibly. In the system created for the tracking of the pupil, the face of the patient, which was detected by the camera, was detected autonomously by the system. An adaptive IR LED light source has been designed to illuminate the eye area of the user. Pupil motion detection was performed with the developed image processing algorithms. According to the movements of the detected pupil, commands were created on the user interface to express the wishes of the patient by using the location information of the patient. An application study was carried out by creating the prototype of the controlled patient bed with a 3D printer.

At the end of this study, pupil motion detection was carried out using a camera without any contact with the user. With the algorithm created for pupil motion detection, it is ensured that the patient can express his wishes without the need for any movement other than eye movement. With this study, a uniquely developed algorithm that can be used in pupil tracking systems of individuals with physical movement disabilities such as ALS has been acquired.

Gerçek Zamanlı Göz Bebeği Hareket Tespiti için Bilgisayar Destekli Arayüz Tasarımı ve Fiziksel Engelli Bireyler için Bir Uygulama

Öz

Bu çalışmada, ALS hastalığı gibi fiziksel hareket engeline sahip bireylerin isteklerini ifade edebilmeleri için C# dilinde bir insan-bilgisayar arayüzü oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sistemde göz bebeği hareketleri analiz edilerek hasta bireyin isteklerini hem görsel hem de sesli olarak ifade etmesi sağlanmıştır. Göz bebeği hareket takibi için oluşturulan sistemde kamera ile algılanan hasta bireyin yüzü, ten rengi filtresi kullanılarak seçilmiştir. Hasta bireyin yüzü seçildikten sonra göz çerçevesi, sistem tarafından otonom olarak tespit edilmiştir. Kullanıcının göz çevresinin aydınlatılması için adaptif IR led ışık kaynağı tasarımı yapılmıştır. Geliştirilen görüntü işleme algoritmaları ile göz bebeği tespiti yapılmıştır. Tespit edilen göz bebeğinin hareketlerine göre, kullanıcı arayüzü üzerinde hasta bireyin baktığı konum bilgisi kullanılarak isteklerini ifade edebilecekleri komutlar oluşturulmuştur. Kontrol edilen hasta yatağının prototipi 3D yazıcı ile oluşturularak bir uygulama çalışması yapılmıştır.

Yapılan bu çalışma sonucunda göz bebeği hareket tespiti kamera kullanılarak kullanıcıya herhangi bir temas olmadan gerçekleştirilmiştir. Göz bebeği hareket tespiti için oluşturulan algoritma ile hasta bireyin, isteklerini göz bebeği hareketi dışında herhangi bir harekete ihtiyaç duymadan ifade edebilmesi sağlanmıştır. Bu çalışma ile ALS hastalığı gibi fiziksel hareket engeli olan bireylerin göz bebeği hareketi takip sistemlerinde kullanılabilecek özgün olarak geliştirilmiş bir algoritma kazandırılmıştır.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 01.07.2021
Düzeltilme: 24.10.2021
Kabul: 16.11.2021

Keywords

Pupil motion detection
Adaptive IR-LED light
Image processing
Disabled person.

Anahtar Kelimeler

Göz bebeği hareket tespiti
Adaptif IR-LED ışık
Görüntü işleme
Engelli birey.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Videolardan elde edilen görüntülerden insan gözünün hangi noktaya baktığı bilgisi kullanılarak göz takip sistemleri oluşturulmaktadır. Gözün hangi noktaya baktığı $i(x, y)$ koordinat bilgisi veya bulunan göz bebeğinin yarıçapı olarak tutulmaktadır. Elde edilen bu bilgiler nöropsikolojik çalışmalarda, insan-bilgisayar etkileşimlerinde, biyomedikal alanında, güvenlik sistemlerinde ve birçok araştırma alanında yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Göz hareketleri incelenerek donanımsal sistemler için komutlar üretilebilir veya yazılımsal olarak bu hareketlerden bilgiler çıkarılabilir.

Yapılan araştırmalarda göz takibinin üç farklı yöntemle yapıldığı görülmüştür. Bu yöntemler manyetik lens kullanımı, elektro-okulografi kullanımı ve videodan alınan görüntülerin görüntü işleme teknikleri kullanılarak göz takibinin yapılması şeklindedir [2].

Manyetik lens kullanımı yönteminde Şekil 1'deki gibi göze yerleştirilen bir lens yardımıyla göz hareketleri incelenmektedir. Göze yerleştirilen bu lensler manyetik lensler olarak adlandırılır. Manyetik lenslerin içerisinde küçük bir bobin bulunmaktadır. Bu bobinde, yapay bir manyetik alan içerisinde göz hareketlerine bağlı olarak akım oluşur. Oluşan bu akım bilgisi işlenerek göz hareketleri işlenir [3].



Şekil 1. Manyetik lens kullanımı

Elektro-okulografi yönteminde göz çevresindeki kaslardan faydalanılır. Gözün etrafındaki hareketi sağlayan kasların üzerine yerleştirilen Şekil 2'deki elektrotlar yardımıyla ölçülen sinyaller işlenerek göz hareketleri incelenir [4] [5].



Şekil 2. Elektro-okulografi yöntemi

Video görüntüleme yöntemleri ile göz hareketi takip sistemleri, görüntü işleme algoritmaları kullanılarak göz hareketlerini takip etmekte ve incelemektedir. Bu yöntemin uygulanmasında farklı teknikler kullanılır. Bu tekniklerin çoğunda Şekil 3'te gösterildiği gibi gözlük üzerine yerleştirilmiş bir kamera, kafaya yerleştirilen bir aparat veya kafanın sabit tutulduğu sistemler tasarlanmaktadır [1] [6].

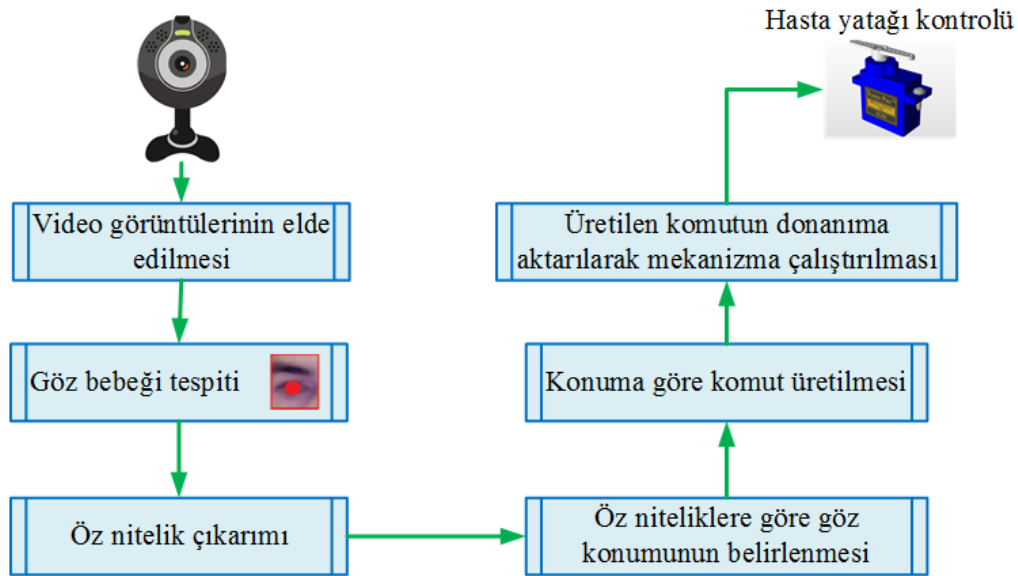


Şekil 3. Video görüntüleme yöntemleri

Özel manyetik lensler ve elektro-okulografi yöntemleri maliyeti fazla olması ve bu sistemlerin invaziv veya temas gerektirmesi kullanımı zorlaştırmakta ve kullanıcıyı rahatsız etmektedir. Gözlük üzerine yerleştirilen kamera ve ışık kaynakları hastaya doğrudan temas ettiği için kullanışlı olmamaktadır.

Görüntü işleme yöntemleri ile felçli, konuşma yetisini kaybetmiş kişiler ve ihtiyaçları başka kişiler tarafından karşılanması zorunlu fiziksel engelli bireylerin göz hareketlerini algılayan yazılım ve bu hareketler sonucunda üretilen komutlar ile hasta ihtiyaçlarının sesli veya görsel olarak anlatılması sayesinde hastanın kendi ihtiyaçlarını giderebilmesi amaçlanmaktadır [7].

Görüntü işleme yöntemlerinin non-invaziv olması ve diğer yöntemlere göre daha az maliyetli olması bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Şekil 4'te blok şeması verilen görüntü işleme algoritmaları ile yeni bir göz takip sistemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu sistem kamera görüntülerinin elde edilmesi, elde edilen görüntülerden göz bebeğinin bulunması, bulunan göz bebeği ve yüzdeki diğer özellikler kullanılarak öz nitelik çıkarımı, çıkarılan öz niteliklere göre gözün konumunun belirlenmesi, belirlenen konuma göre oluşturulan arayüz aracılığıyla istenen komutun üretilmesi ve üretilen komutun donanıma aktarılması işlemlerinden oluşmaktadır.



Şekil 4. Görüntü işleme algoritmaları ile göz bebeği takibi blok şeması

Göz bebeği tespiti ile ilgili yapılan bir çalışmada, göz takip sistemleri ile nöropsikolojik testler eş zamanlı kullanılarak bipolar bozukluğu olan kişiler analiz edilmiştir. Önceden seçilen bazı kelimeler ekranda gösterilmiş ve kişinin hangi kelimedeyi ne kadar vakit harcadığı ve kelimenin neresine odaklandığı bilgileri göz takip sistemleri yardımı ile elde edilip nöropsikolojik testler gerçekleştirilmiştir [1].

Mobil cihazların güvenlik düzeyini araştıran bir çalışmada ise göz bebeği takibi algoritmalarını kullanarak kullanıcının göz hareketleri ile sisteme güvenli bir şekilde girmesi amaçlanmaktadır [8]. Kısıtlı hareket becerilerine sahip bireyleri içeren bir çalışmada ise beyin sinyallerini algılayarak fare imlecini kontrol eden bir sistemin alt yapısı ile aynı sistemin hem göz hareketleri hem de beyin sinyalleri ile kontrol edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanıcının göz hareketleri incelenmiş ve göz kırpmaya hareketi bir fare imlecini tıklama görevinde kullanılmıştır [9].

Uzaktan eğitim döneminde sınav anında öğrencilerin kopya çekmesini engellemek amacıyla öğrencinin kullandığı kamera yardımıyla görüntünün alınıp görüntü işleme algoritmalarıyla öncelikle yüz tespiti yapıldığı daha sonra göz bebeğinin hangi noktalara baktığı ile ilgili bilgiler alınarak kopya çekimi engellenmeye çalışılmıştır [10] [11].

Göz takibi yapılabilen yöntemlerden manyetik lens kullanımı, vücuda temas ettiğinden ve pahalı bir sistem olduğundan dolayı tercih edilmemektedir. Elektro-okulografi yönteminde ise yine vücuda elektrotlar yardımıyla temas ettiğinden ve uzun süreli kullanımında kullanıcıyı rahatsızlık vermesinden dolayı tercih edilmemektedir. Bu çalışmada bahsedilen yöntemlere alternatif ve daha pratik bir sistem olarak tasarlanan, hasta bireye uzak mesafedeki kameradan alınan görüntüler ve sisteme bütünleşik çalışan adaptif IR led ışık kaynağı ile göz bebeği hareketi tespit algoritması tasarlanarak gerçek zamanlı ve her ortamda pratik kullanıma sahip bir uygulama geliştirilmiştir.

2. GÖZ BEBEĞİ HAREKETİ TESPİT ALGORİTMASI (PUPIL MOVEMENT DETECTION ALGORITHM)

Göz bebeği tespit algoritmaları için öncelikli olarak yapılması gereken yüz bölgesinin bulunmasıdır. Daha sonra bulunan yüz çerçevesi içerisinde göz çukurlarının tespit edilmesi ve göz bebeğinin bulunması gerekmektedir. Göz bebeği bulduktan sonra konumlara göre hareketler analiz edilerek, arayüz üzerinde komutların üretilmesi sağlanmaktadır. Üretilen komutlar mikrodenetleyici üzerinden motor sürücüyü gönderilerek IR led ışık kaynağının parlaklığı adaptif olarak ayarlanmakta ve gerçek zamanlı bir uygulama için oluşturulmuş 3D prototip hasta yatağının kontrolü sağlanmaktadır.

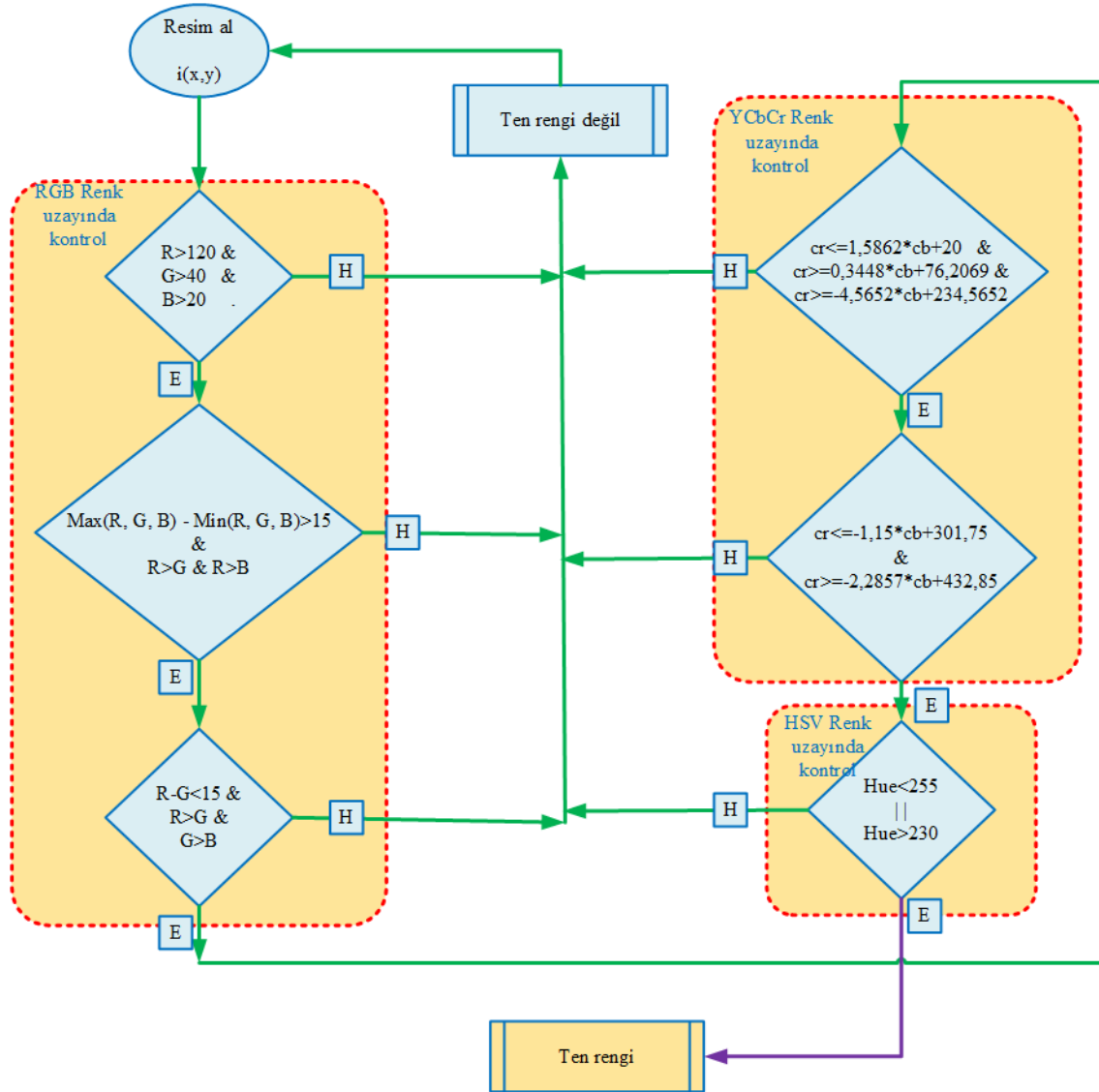
2.1. Arayüz yazılımı (Interface software)

2.1.1. Ten rengi filtresi (Skin color filter)

Kamera görüntüleri üzerinde yüz bölgesinin tespiti için farklı algoritmalar geliştirilmiştir. Viola-Jones yüz bulma algoritmaları gibi makine öğrenmesi temelli algoritmaların yanında, ten rengi filtresi gibi hızlı ve basit algoritmalar da yüz bölgesinin bulunması için oldukça sık kullanılmaktadır. Bu çalışmada da yüz bölgesinin tespit edilmesi için ten rengi filtresi kullanılmıştır [12] [13].

Ten rengi filtresini güvenilir bir şekilde uygulayabilmek için renk uzayları kullanılmaktadır. Renk uzayları renkler hakkında matematiksel bilgiler veren değerlerdir. Renk uzayları oluşturulurken bütün renkleri temsil edecek şekilde oluşturulur. Bu oluşturulan renk uzayları arasında matematiksel formüller kullanılarak dönüşümler sağlanabilir. En bilinen ve yaygın olarak kullanılan bazı renk uzaylarına RGB, CMYK, HSV ve YCbCr renk uzayları örnek olarak verilebilir. Ten rengi tespit edilirken kırmızı, yeşil ve maviden oluşan RGB renk uzayı tek başına yeterli olmayabilir. Çünkü RGB renk uzayında parlaklık değeri renklerle birlikte tutulur bu da farklı parlaklık seviyelerinde farklı sonuçlar alınabileceği anlamına gelmektedir. Bu sorunu aşmak için farklı renk uzaylarının bir arada değerlendirildiği bir sistem kullanılabilir. Örneğin RGB renk uzayı ile YCbCr renk uzayı da kullanılarak daha doğru ve farklı ışık seviyelerinde daha kararlı bir çıktı alınması sağlanabilmektedir. YCbCr renk uzayında parlaklık değeri ayrı olarak tutulmaktadır. Bu parlaklık değeri Y ile ifade edilmektedir. Bu renk uzayında Cb ile Cr bileşenleri ise renk bilgilerini ifade etmektedirler. Cb bileşeni referans ile mavi bileşen arasındaki farkı içerirken, Cr bileşeni referans ile kırmızı bileşenin farkını içermektedir [14].

Ten rengi filtresinin etkili bir şekilde sonuçlandırılması için Şekil 5'te verilen algoritmanın [15] uygulanması gerekmektedir. Alınan görüntüye ait her piksel değeri bu algoritma ile RGB, YCbCr ve HSV renk uzaylarına ait belirli filtrelerden geçirilerek pikselin ten rengi olup olmadığı bulunabilir [16].



Şekil 5. Ten rengi filtre algoritması [15]

Ten rengi algoritmasının uygulanabilmesi için aşağıda verilen dönüşüm formüllerinin uygulanması gerekmektedir. Eşitlik 1'de RGB renk uzayından HSV renk uzayına dönüşüm için sırasıyla yapılan işlemler gösterilmektedir [17].

$$V = \max(R, G, B)$$

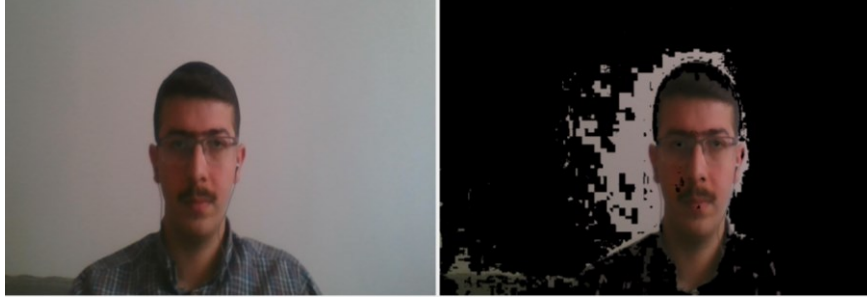
$$S = \begin{cases} \left(V - \min(R, G, B) * \frac{255}{V}, V \neq 0 \right) \\ 0, V = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$H = \begin{cases} (G-B) * \frac{60}{S}, V=R \\ 180 + (B-R) * \frac{60}{S}, V=G \\ 240 + (R-G) * \frac{60}{S}, V=B \\ H=H+360, H<0 \end{cases}$$

Eşitlik 2’de RGB renk uzayından YCbCr renk uzayına yapılması gereken dönüşüm işlemi verilmiştir [17].

$$\begin{pmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 \\ 128 \\ 128 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 65.481 & 128.553 & 24.996 \\ -37.797 & -74.203 & 112 \\ 112 & -93.786 & -18.214 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2)$$

Yapılan çalışmada, renk uzayları arasında gerekli dönüşüm işlemlerinden sonra filtreler ana resme uygulandığında ten rengi olan pikseller aynı bırakılır, ten rengi dışındaki pikseller Şekil 6’da gösterildiği gibi siyaha boyanır.



Şekil 6. Filtresiz görüntü (solda), Ten rengi filtresi uygulanan görüntü (sağda)

2.1.2. Ortalama gri algoritması (Mean gray algorithm)

Görüntü işleme algoritmalarında temel işlemlerden biri alınan resmi gri formata dönüştürme işlemidir. Bir resmi gri yapmak için birçok yöntem vardır. Bunlardan biri de ortalama almaktır. Görüntüleri oluşturan pikseller kırmızı, yeşil ve mavi olmak üzere 3 rengin birleşimi ile oluşmaktadır. Bu algorithmada, resmin piksellerinden renk değerleri alınır ve 3 rengin ortalaması bulunur. Daha sonra bulunan değer her rengin değerine eşitlenerek yeni piksel oluşturulur ve yeni görüntüye bu piksel yerleştirilir. Bu algoritmanın matematiksel ifadesi Eşitlik 3’te ifade edilmektedir [18]. Ortalama gri algoritması giriş resmine uygulandığında Şekil 7’deki gri görüntü elde edilmiştir.

$$GriDeğer = \frac{R+G+B}{3}$$

$$R=GriDeğer, G=GriDeğer, B=GriDeğer \quad (3)$$

Ortalama gri algoritması gerçek zamanlı olarak çalıştırıldığında videonun oldukça yavaş ilerlediği belirlenmiştir. Bunun nedeni algoritmanın yavaş çalışmasıdır. Bu amaçla, bu algoritmanın, işaretçiler (pointer) ile ön bellekte işlemlerinin yapılması gerekmektedir.



Şekil 7. Normal görüntü (solda) ve ortalama gri algoritması uygulanmış görüntü (sağda)

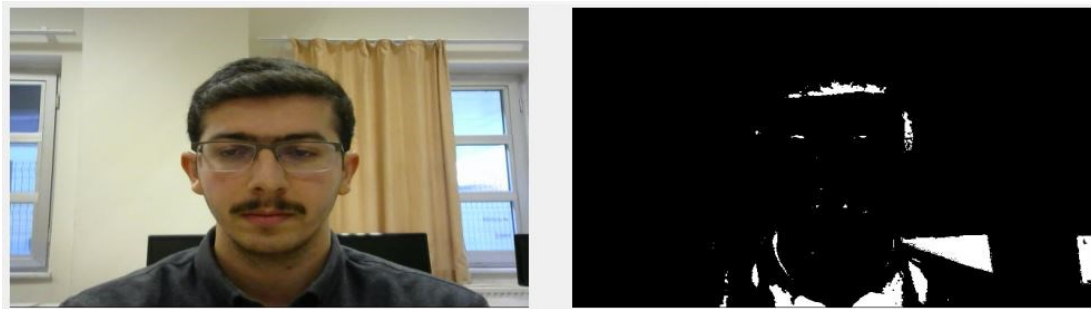
2.1.3. Hızlı frekans arayıcı (Fast frequency seeker)

Geliştirilen göz bebeği takip sisteminin ana fonksiyonlarından biri hızlı frekans arayıcı algoritmasıdır. Özgün olarak geliştirilen bu algoritmanın esası göz bebeğinin siyah renginin korelasyon kullanarak eşleme işlemi ile bulunmasına dayanmaktadır.

Bir görüntü ile boyut maskesinin korelasyonu $w(x, y) m * n, f(x, y)$, Eşitlik 4'te verilen biçimde ifade edilebilmektedir. Denklemde w ve f tarafından paylaşılan bölge üzerinden toplama limitleri alınır. Eşitlik 4'te verilen bu denklem, x ve y yer değiştirme değişkenlerinin tüm değerleri için değerlendirilir, böylece w 'nin tüm öğeleri, w 'den daha büyük olduğu varsayılan f 'nin her pikselini ziyaret eder [19].

$$c(x, y) = \sum_s \sum_t \omega(s, t) f(x + s, y + t) \quad (4)$$

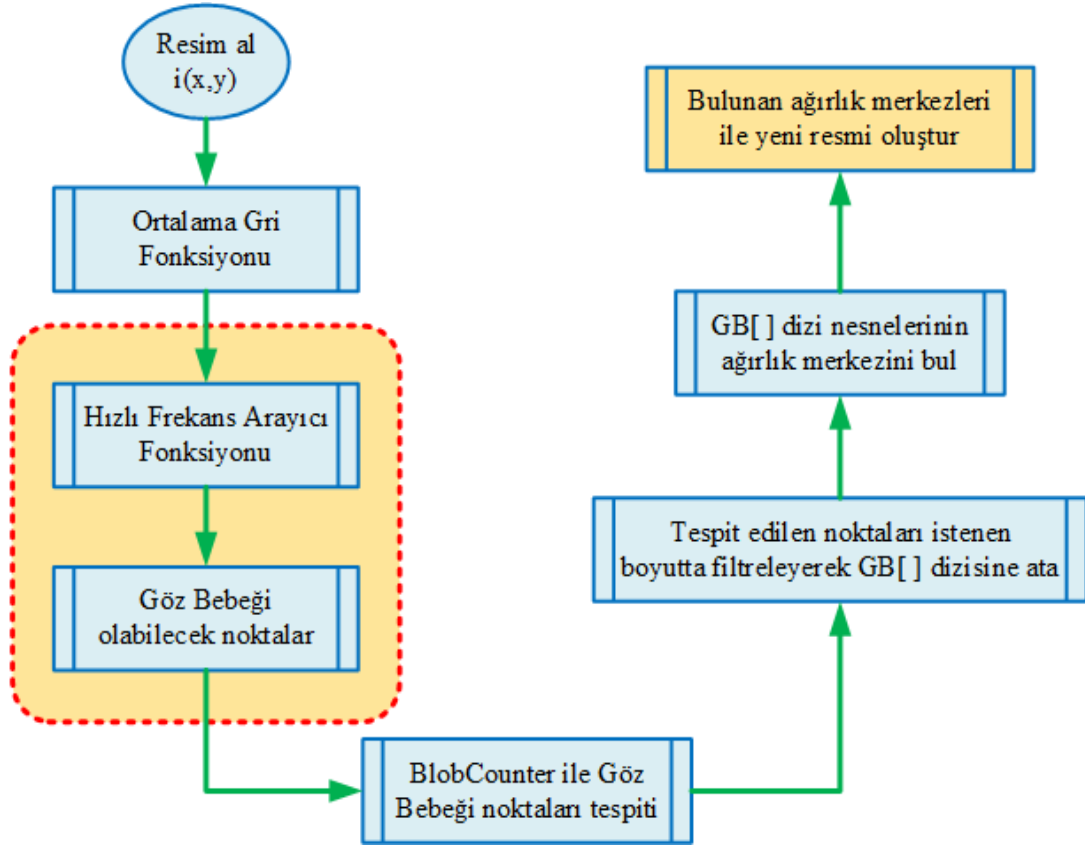
Hızlı Frekans Arayıcı fonksiyonunda ilk olarak, işlem yapılırken başka işlemler tarafından etkilenmemesi için görüntü kilitlenmelidir. Görüntü kilitlendikten sonra ilk piksel değeri bir değişkende tutulur. Bu değişkende tutulan pikselin R, G, B değerleri alınır ve bir ortalama değer elde edilir. Daha sonra aranan frekans aralığı kontrol edilir. Eğer istenen frekans aralığında ise o piksel değeri beyaz yapılır. Eğer istenmeyen değer aralığında ise piksel değerleri siyah yapılır. Her pikselde ilk başta tutulan, başlangıç pikselinin yerini tutan değişkene her pikselin renk bileşenleri adedince ekleme yapılır ve kilitlenen görüntü serbest bırakılarak yeni oluşmuş görüntü Şekil 8'deki gibi gösterilir.



Şekil 8. Fonksiyonun giriş ve çıkış görüntüleri

2.1.4. Ağırlık merkezi bulucu (Mean finder)

Bu çalışmada göz bebeğinin tespiti için kullanılan temel fonksiyonlardan biri de ağırlık merkezi bulucu fonksiyonudur. Program yüz bölgesine odaklandıktan sonra yüz içerisindeki kısımları bir nesne olarak algılamalı ve bu nesnelere arasında gözü bulabilmelidir. Ağırlık Merkezi Bulucu fonksiyonuna ait algoritma Şekil 9'da gösterilmektedir [20].

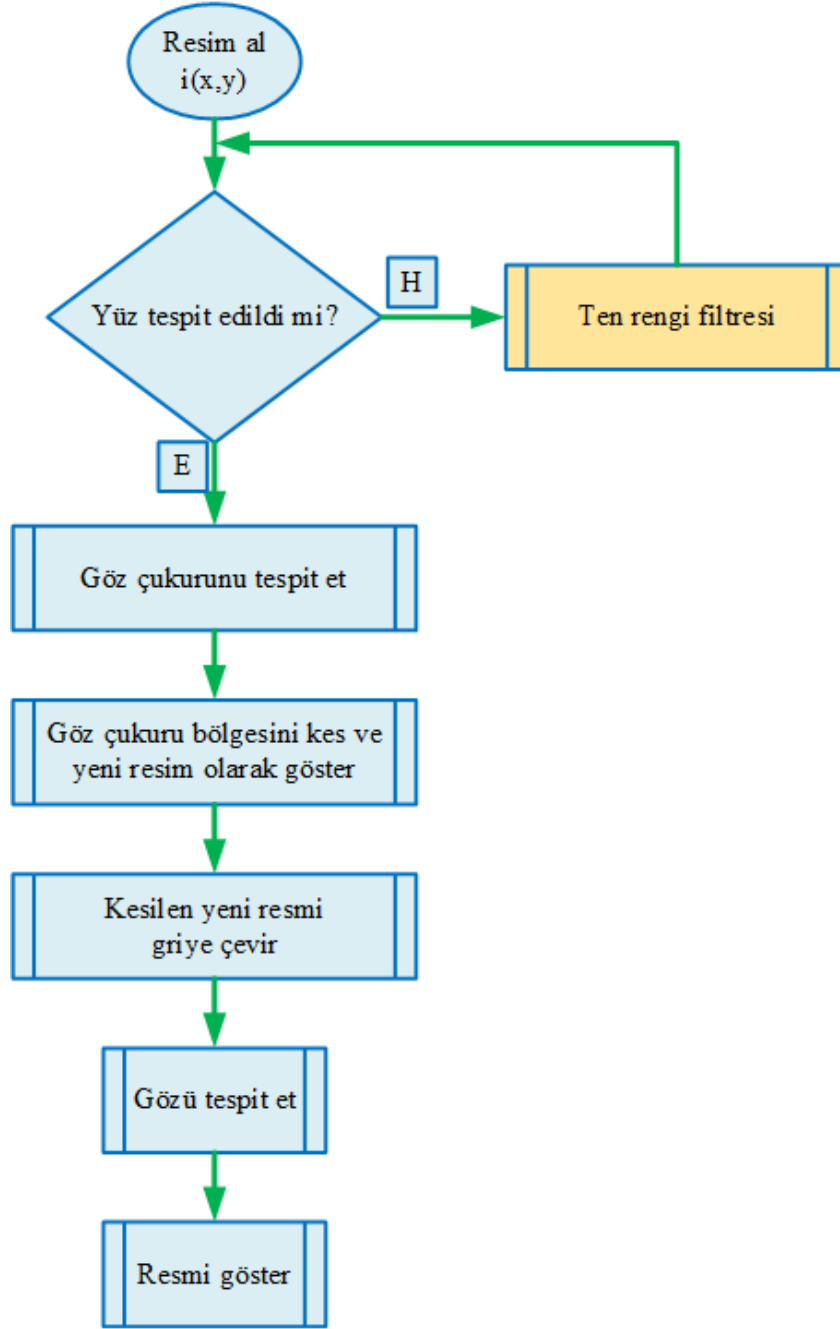


Şekil 9. Ağırlık Merkezi Bulucu fonksiyonu

Verilen algoritmaya göre göz bebeğinin tespit edilmesi istenen görüntü alındıktan sonra Ortalama Gri Fonksiyonuna giriş değeri olarak verilir. Bu fonksiyonda işlemler yapıldıktan sonra çıkış resmi Hızlı Frekans Arayıcı fonksiyonuna giriş değeri olarak aktarılır. Bu fonksiyonda giriş resmi üzerinde göz bebeği olabilecek kısımlar işaretlenir ve resmin geri kalanı siyaha renge dönüştürülür. Ağırlık Merkezi Bulucu fonksiyonunda ise sadece göz konumu olabilecek noktaların bulunduğu ve geriye kalan piksellerin siyah olduğu görüntü giriş değerini oluşturur. Bu giriş değerinde istenen noktalar işaretlenmiş fakat hala bir nesne olarak tanımlı değildir. Bu yüzden işaretli noktalar *Aforge* kütüphanesi içinde bulunan *BlobCounter* fonksiyonu ile nesnelere dönüştürülür ve bu nesnelere istenen boyut aralığına göre filtrelenerek bir diziyeye aktarılır. Oluşturulan bu dizideki elemanlar bir döngü içerisine alınarak her bir nesnenin ağırlık merkezi bulunur. Bulunan bu ağırlık merkezleri görüntü üzerindeki ilişkili koordinatlara atanır ve yeni görüntü oluşturulur.

2.1.5. Yüze göre kare çizme fonksiyonu (Function of drawing the square by face)

Bu fonksiyonun amacı daha önceden göz çukurunun tespiti yapılmamış ise yapmak, yapılmış ise tespit edilen bu alanın gelen görüntüden kesilmesi ve bu kare alan içinde göz bebeğinin tespitini yapmaktır. Oluşturulan algoritma Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Yüze göre kare çizme fonksiyonu

2.1.6. Görüntü kesit fonksiyonu (Image section function)

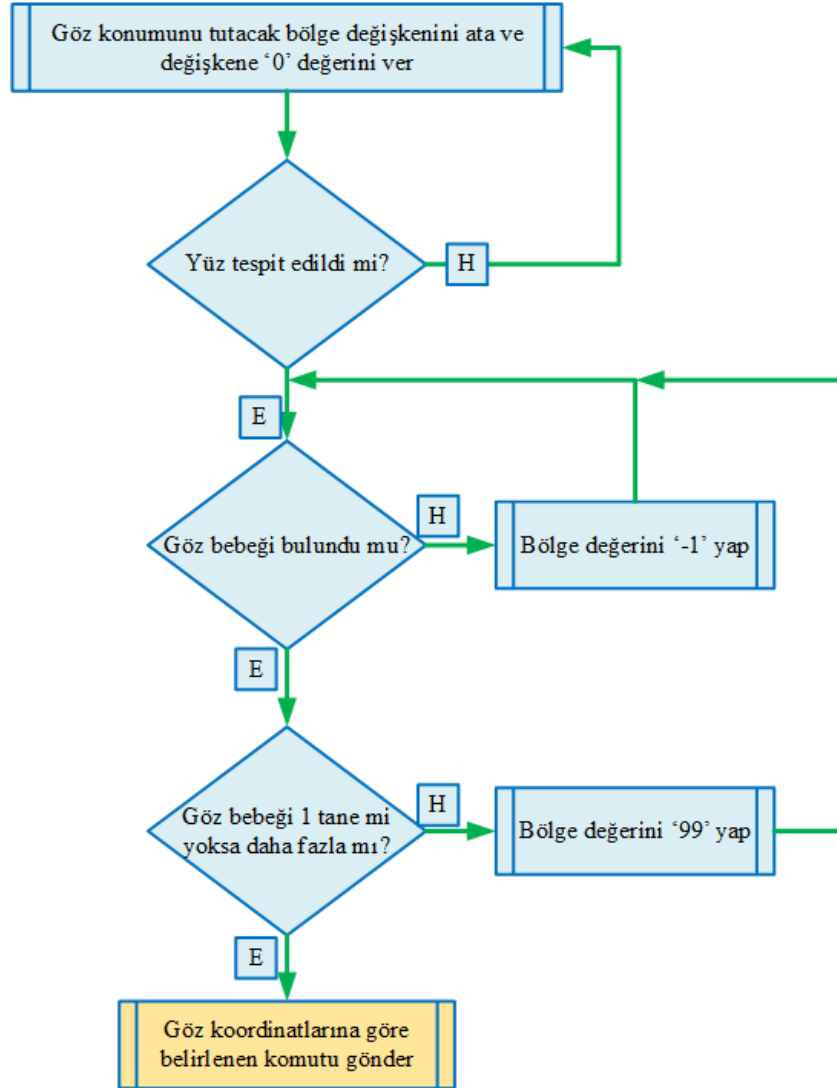
Geliştirilen bu fonksiyon, göz çukuru belirlenmiş ve kesilmiş görüntüdeki cisimlerin yani gözün ağırlık merkezini bulan algoritmadır. Algoritma çalışmaya başlarken yüz tespitinin yapıp yapılmadığı kontrol eder. Eğer yüz tespiti yapılmamışsa gelen görüntüyü değişiklik yapılmadan gönderir, eğer yüz tespiti daha önceden yapılmışsa daha önceden belirlenen göz çukuru alanı kesilir. Kesilen görüntü griye çevrilir. Bu görüntü Hızlı Frekans Arayıcı fonksiyonuna gönderilir ve gelen görüntü saklanır.

Görüntü iyileştirme, bir görüntüde oluşabilen bozulmaları azaltma veya tamamen yok etme ya da görüntünün mevcut halinden belirli bir amaca yönelik olarak daha iyi bir duruma getirilmesi çalışmalarını kapsayan önemli konulardan biridir. Görüntüler üzerinde birçok farklı sebepten dolayı bozulmalar meydana gelebilir [21]. Görüntüdeki gürültüleri azaltabilmek için görüntü üzerinde ön işlemler yapılır. *BlobCounterBase* algoritması ile görüntüdeki cisimlerde filtreleme işlemleri yapılır ve cisimlerin ağırlık

merkezleri bulunur. İşlemlerin yapıldığı görüntü boyutunda, görüntü sınıfından bir görüntü oluşturulur. Oluşturulan bu görüntünün bütün pikselleri beyaz yapılır ve işlemlerin yapıldığı ilk görüntüden bulunan cisimlerin ağırlık merkezlerinin bulunduğu piksel değerleri yeni görüntüde siyah olarak işaretlenir.

2.1.7. Referans algoritması (Reference algorithm)

Geliştirilen bu algoritmada kullanıcıya sunulan komut sayısının kullanıcı tarafından seçmesinin ardından gözün hangi koordinat bölgesine odaklandığı tespit edilmektedir. Bu algoritmaya ait akış şeması Şekil 11'de belirtilmektedir:



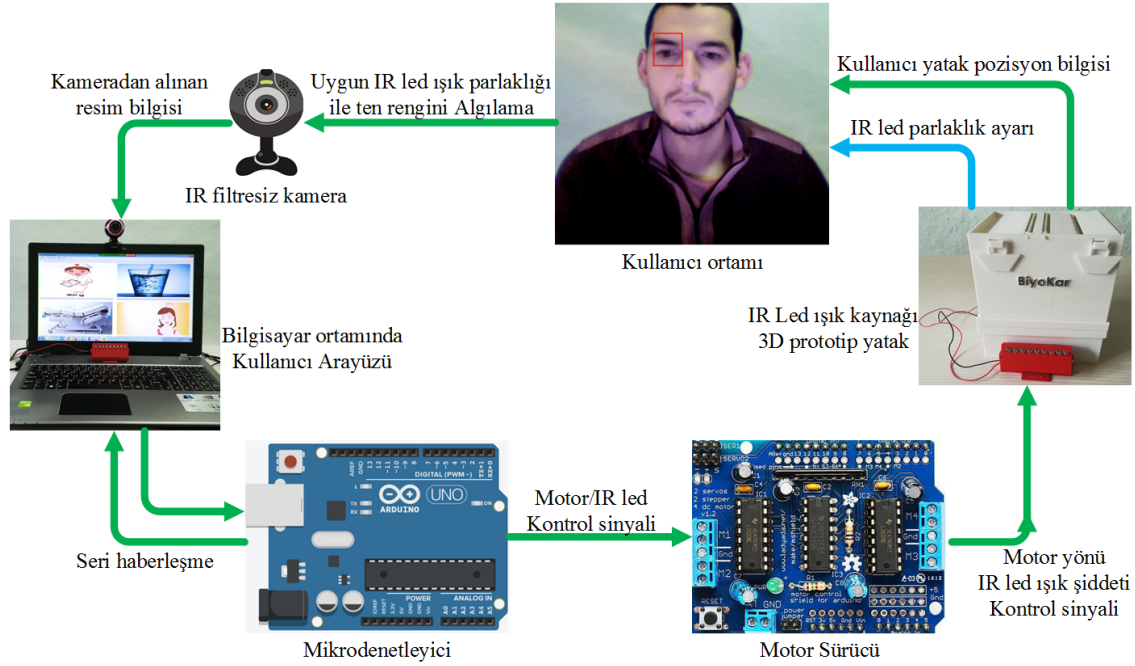
Şekil 11. Referans algoritması

3. GERÇEK ZAMANLI GÖZ BEBEĞİ TAKİP SİSTEMİ VE FİZİKSEL ENGELLİ BİREYLER İÇİN BİR UYGULAMASI (REAL-TIME PUPIL TRACKING SYSTEM AND PRACTICE)

Geliştirilen göz bebeği tespit algoritmasının gerçek zamanlı bir uygulaması tasarlanarak, fiziksel hareket engelli felç veya ALS gibi hastalıkları olan bireylerin hayat kalitelerinin artırılması amaçlanmaktadır. Sadece göz hareketlerini sayesinde sosyal iletişim kurabilmelerini sağlayacak bir arayüz yazılımı üzerinden yatak pozisyonlarını değiştirebilmeleri, gıda ihtiyaçları ve acil durum ifadelerini sağlık personeli veya

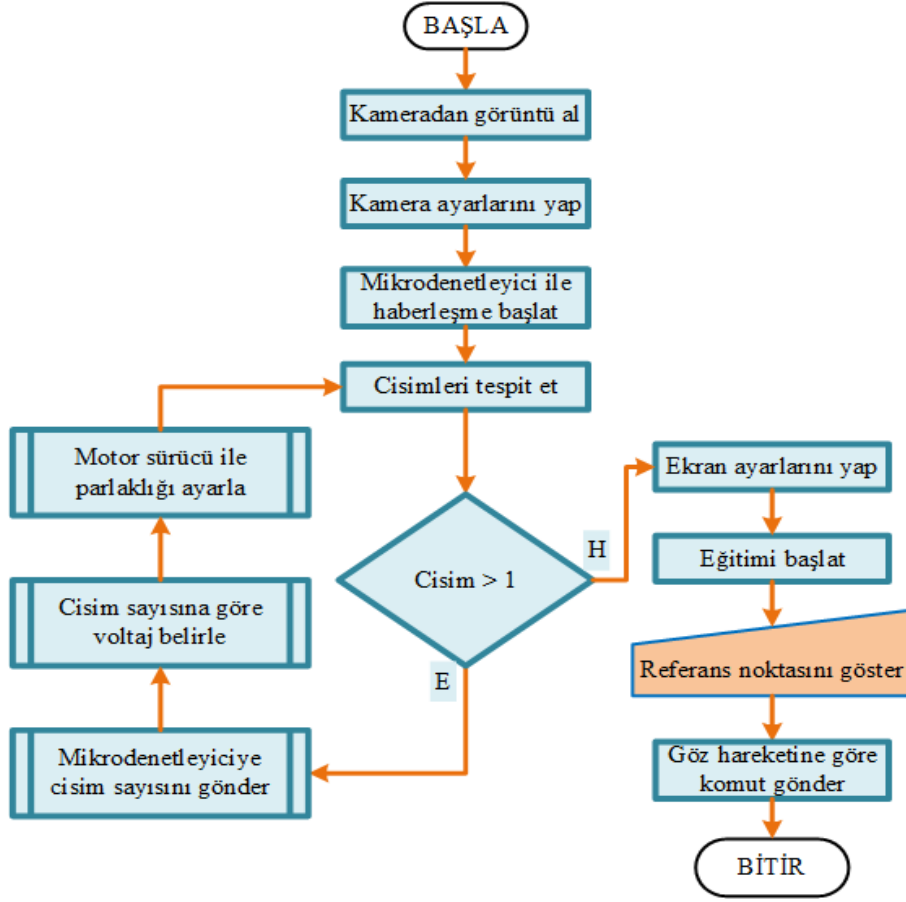
bakım personeline iletebilmelerini sağlamak için kamera ile gerçek zamanlı göz bebeği takip sistemi geliştirilmiş ve uygulanmıştır.

Gerçek zamanlı göz bebeği takip sistemi blok şeması Şekil 12’de gösterilmektedir. Bu sistemde öncelikle kamera ile ortamdan yüz görüntüsü alınır. Bu görüntünün alınması için kullanılan kameranın kızılötesi filtresinin çıkarılması gerekmektedir. Çünkü yapılan bu çalışmada kızılötesi ışıklardan yararlanılmıştır.



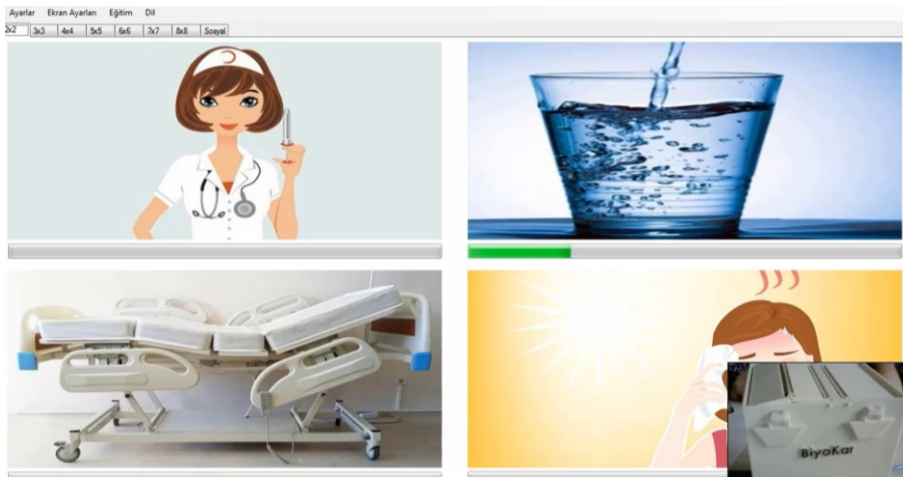
Şekil 12. Adaptif IR led ışık parlaklığı ile gerçek zamanlı göz bebeği takip sistemi

Kameradan alınan görüntü C# programlama dili ile yazılmış programda işlenerek yüz tespit algoritması ve göz çukuru tespit algoritması çalıştırılır. Göz çukurunun tespiti yapıldıktan sonra oluşturulan algoritma ile ortamın ışık seviyesi ölçülür ve ölçülen değer seri haberleşme protokolleri kullanılarak mikrodenetleyiciye gönderilir. Mikrodenetleyici, aldığı verilere göre L293D motor sürücü kontrolü ile adaptif olarak IR led ışık kaynağı şiddetini değiştirerek yüzün parlaklığını uyumlaştırmaktadır. Uyumlaştırma işleminde algoritma gözü merkeze alarak adaptif ışık değişimi ile göz parlamasının en uygun olduğu zaman göz bebeği bulunur. Daha sonra algoritma tekrar göz çukurunda gözün tespit edilip edilmediğine bakar ve eğer tespit edilmiş ise bu parlaklık seviyesinde sabit kalır. Eğer tespit edilememiş ise parlaklığı azaltıp arttırarak göz bebeği tespit edilir ve kullanıcının arayüzde baktığı konuma göre komutlar üretilir. Sistemin algoritma akış şeması Şekil 13’te gösterilmiştir.



Şekil 13. Gerçek zamanlı göz bebeği takip sistemi arayüz yazılımı algoritma akış şeması

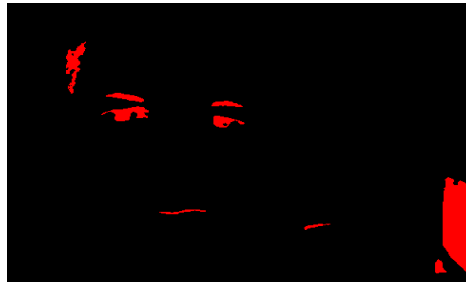
2x2, 3x3, 4x4, 5x5, 6x6, 7x7 ve 8x8 matrisler halinde seçilebilen ve Şekil 14’te gösterildiği gibi kolay ve basit kullanıma sahip arayüz aracılığıyla arayüz komut görselleri oluşturulabilmektedir. Yapılan uygulamada 2x2 matrisli arayüz komut görseli kullanılmıştır. Bu arayüz komut görseli üzerinden üretilen 4 farklı komut ile, geliştirilen donanım kontrol edilmiştir. Elde edilen bu komutlar yardımıyla kullanıcı sadece gözleri ile istediği görsele bakarak verilen komutların sesli geri bildirimini gerçekleştirmiş ve hasta yatağını istediği konuma ayarlayabilmiştir.



Şekil 14. Kullanıcı arayüzü ile hasta yatak kontrolü

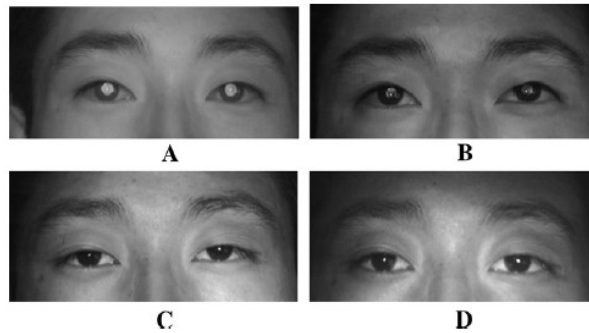
Görüntü işleme algoritmalarında sistemin çalıştırıldığı ışık parlaklığı ve ışık seviyesi gibi etkenler algoritmaların farklı ortamlara göre farklı tepkiler üretmesine neden olmaktadır. Bu yüzden bu tip algoritmaların çalıştırıldığı birçok sistem aynı ortamda ve aynı ışık seviyesi altında çalıştırılmaktadır [22].

Göz bebeğini tespit algoritmasının oluşturulmasında 1.purkinje yansıması olarak adlandırılan göz bebeğinin siyah renginden yararlanılmaktadır. Bu nedenle gözdeki siyah kısmı tespit eden bir algoritma tasarlanmıştır. Yazılan algoritmanın, ortam ışık parlaklığının farklı olmasından dolayı her ortamda aynı sonucu vermediği görülmüştür. Ortama ait ışık kaynağının konumuna ve parlaklığına bağlı oluşan gürültüden etkilenen sistem, Şekil 15'te gösterilen bu gürültüyü göz olarak algılamakta ve yanlış komutlar üretmektedir. Bu nedenle yüzün her ortamda aynı derecede aydınlatılmasını sağlayan bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistemin her ortamda doğru komutlar üretebilmesi ve göz bebeğini doğru tespit etmesi, gerçek zamanlı olarak yüksek doğrulukta çalışabilmesi için oldukça önemlidir.



Şekil 15. Gürültülü görüntü

Işık dalga boyunun parlak göz bebeği üzerindeki etkisi Şekil 16'da gösterilmektedir. Bu şekilden, parlak göz bebeği etkisinin, diğer faktörler eşit olduğunda kızılötesi aydınlatma (850 nm dalga boyu) altında en belirgin olduğu sonucuna varılabilmektedir. Parlak göz bebeği efekti sadece algılama başlangıç referansı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda farklı ortam aydınlatma koşullarının etkisini en aza indirerek, zayıf aydınlatma, gündüz ve gece dahil olmak üzere değişen gerçek dünya koşullarında görüntü kalitesini sağlar. Aynı zamanda, kızılötesi aydınlatma görünmezdir, bu nedenle kullanıcıların çalışmalarını engellemez [23].

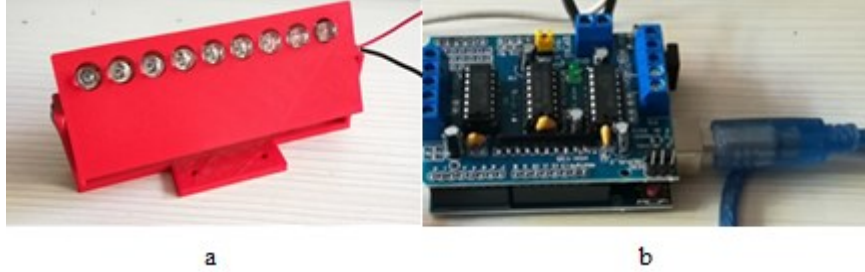


Şekil 16. Farklı aydınlatmalar altında parlak göz bebeği efektleri; (A) 850 nm kızılötesi aydınlatma, (B) 620-645 nm kırmızı ışık, (C) 515-530 nm yeşil ışık, (D) 465-475 nm mavi ışık [23]

Geliştirilen sisteme, görüntü işlemede yüzün daha aydınlık olması ve yüzde oluşan çok yönlü gölgelerin kaldırılması için hastanın yüzünü aydınlatacak 9 adet led ile bir ışık sistemi tasarlanmıştır ve öncelikle görünür ışık seviyesindeki ledler kullanılmıştır. Fakat ışık kaynağı test edildiğinde ışık kaynağının görünür ışık olması, görüntüde gürültünün devam etmesi nedeniyle IR (Infrared-Kızılötesi) ışık kaynağı ile bu problemin çözülmesi amaçlanmıştır. IR ışığın algılanması için kamerada bulunan IR filtre sökülmüş ve deney uygulaması tekrar edilmiştir.

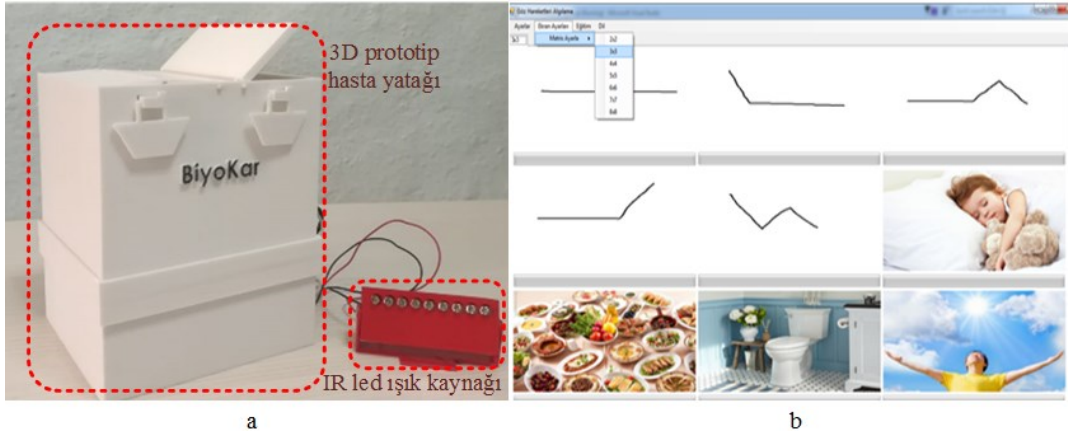
Durna [6] ve Boyraz [24] çalışmalarında kullandıkları 850nm dalga boyundaki IR ledlerin, damar ve göz bebeği tespitinde olumlu sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Bu sonuçlara dayanılarak, tasarlanan sistemde 850 nm dalga boyunda 9 adet IR led kullanılmıştır. Bu IR ledler, SolidWork programında led paneli çizilip 3D

yazıcı ile basılarak Şekil 17.a'da gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. İlk olarak ışık parlaklığı, manuel olarak güç kaynağından ayarlanmıştır. Ancak bunun sürekli olarak elle ayarlanması sorun oluşturduğundan dolayı bunu otomatik yapacak sistem Şekil 17.b'de gösterilen L293D motor sürücü ile oluşturulmuştur. Göz bebeği hareketi tespitinde kullanılan algoritmanın yeterli ışık seviyesini otomatik olarak kontrol etmesi sonucunda yetersiz ışık algılandığında, motor sürücünün IR led parlaklığını arttırmasını denetleyen adaptif IR led ışık kaynağı tasarlanmıştır.



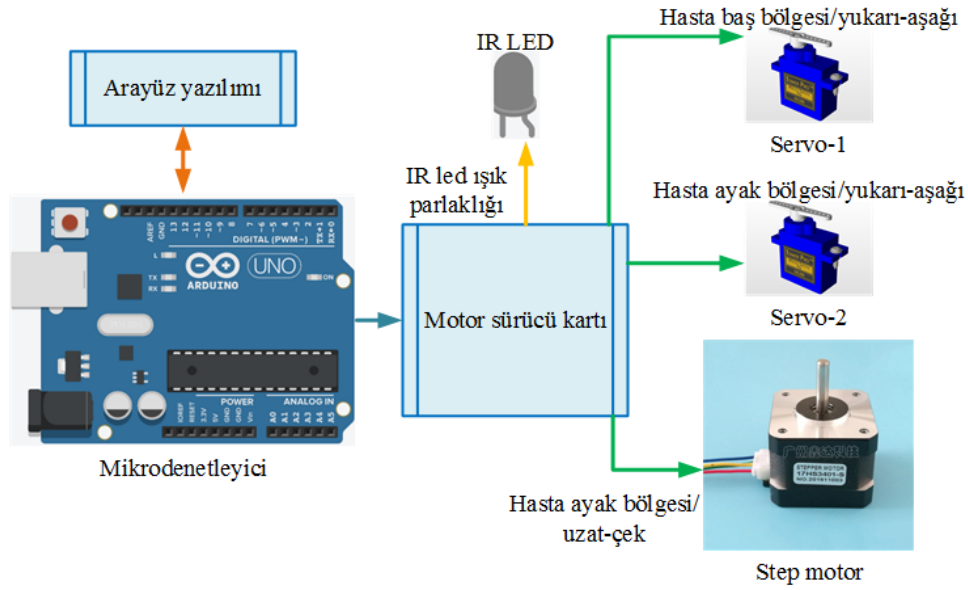
Şekil 17. a) 3D IR led panel, b) L293D Motor sürücü kartı

Sistemin donanım kısmına ek olarak SolidWorks çizim programı aracılığıyla Şekil 18.a'da gösterilen prototip hasta yatağı tasarlanmış ve bu yatak 3D yazıcı aracılığıyla basılmıştır. Prototip hasta yatak sistemi fiziksel hareket engeli olan bireylerin, göz bebekleri ile Şekil 18.b'de belirtilen yazılım arayüzü üzerinde istedikleri yatış pozisyonunu kendi kontrolü ile ayarlayabilmesini sağlamaktadır. Böylece fiziksel engelli bireylerin yaşam kaliteleri daha da iyileştirilmiş, sadece göz bebeklerinin hareketi sayesinde yaşadıkları dünyaya adaptasyonlarının arttırılması sağlanmıştır.



Şekil 18. a) 3D hasta yatağı prototipi ve adaptif IR led ışık kaynağı, b) Kullanıcı arayüzü üzerinde yatak pozisyonu kontrol penceresi

Geliştirilen yatak sisteminde iki adet servo motor ve bir adet step motor bulunmaktadır. Bu motorlar Şekil 19'daki mikrodenetleyici ve motor sürücü yardımı ile yatağın pozisyonunu kullanıcının seçimine göre değiştirmektedir. Servo motorlardan Servo-1, hasta yatağının baş bölgesinin aşağı yukarı kaldırırken Servo-2 ile hasta yatağının ayak bölgesinin aşağı yukarı kaldırılması sağlanmaktadır. Step motor ise hasta yatağındaki ayak bölgesinin uzatıp çekerek üçgen şekilde olmasını sağlamaktadır. Motorların konumu ve ışık şiddeti, bilgisayar ile mikrodenetleyiciye seri haberleşme protokolü ile gönderilmektedir. Mikrodenetleyici, aldığı veriler ile sistemin kontrol edilmesini sağlamaktadır. Hasta birey, kullanıcı arayüzü aracılığıyla 4 farklı şekilde komut üreterek yatağın pozisyonunu sadece göz hareketleri ile seçebilmektedir.



Şekil 19. Mikrodenetleyici ile yatağa ait motor ve IR led ışık bağlantıları

3.1. Performans değerlendirmesi (Performance evaluation)

Görüntü sınıflandırma yöntemlerinin doğruluğu ve geçerliliği, performans değerlendirme metrikleri gibi değerlendirmelerle kanıtlanmalıdır. Literatürde görüntü sınıflandırma problemleri için çok sayıda iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan performans değerlendirme ölçütleri bulunmaktadır. Bu metrikler, sınıflandırma modellerinin performansını tanımlamak için kullanılan bir tablo olan karışıklık matrisinden (Confusion Matrix) türetilmiştir. Doğruluk, özgüllük, duyarlılık ve kesinlik en popüler performans değerlendirme ölçütleri olarak kabul edilir [25].

Bu çalışmada sınıflandırma sonuçlarını özetlemek ve doğrulamak için karışıklık matrisi kullanılmıştır. Esas olarak Doğru Pozitif (TP), Yanlış Pozitif (FP), Yanlış Negatif (FN) ve Doğru Negatif (TN) olmak üzere dört parametreden oluşur. TP, doğru tanımlanmış koşullar anlamına gelir. FP, yanlış tanımlanmış koşullar anlamına gelir. FN, yanlış reddedilen koşullar anlamına gelir. TN, doğru şekilde reddedilen koşullar anlamına gelir. Doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve Matthew korelasyon katsayısının (MCC) matematiksel açıklamaları Eşitlik 5-8 [26, 27]'de verilmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (5)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (6)$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (7)$$

$$\text{MCC} = \frac{(TP \times TN) - (FP \times FN)}{\sqrt{(TP + FP)(TP + FN)(TN + FP)(TN + FN)}} \quad (8)$$

Sistemin performans değerlendirmesi için arayüz yazılımında bulunan 2x2 boyutundaki komut arayüzü test edilmiştir. Tablo 1'de gösterilen karışıklık matrisi ve performans değerlendirmesi 5 farklı kişi üzerinde ikişer kez deneme ile yapılan testler sonucunda elde edilmiştir. Kullanıcıdan öncelikle ekran üzerindeki 4 farklı komut bölgesine sırayla bakması istenmiştir. Daha sonra kullanıcının 4 komut bölgesinden rastgele

birine bakması istenerek 4 ayrı bölgeye baktırılmıştır. Tasarlanan sistemin doğruluğu, elde edilen sonuçlar Eşitlik 5 ile hesaplandığında %95 olarak bulunmuştur.

Tablo 1. Tasarlanan sistem için karışıklık matrisi ve performans değerlendirmesi.

| TN | FP | FN | TP | Doğruluk (%) | Duyarlık (%) | Özgüllük (%) | MCC |
|-----|----|----|----|--------------|--------------|--------------|------|
| 116 | 4 | 4 | 36 | 95,0 | 90,0 | 96,7 | 0,87 |

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Makale çalışmasında, ihtiyaçlarını ifade edemeyen fiziksel hareket engeline sahip bireyler için geliştirilen algoritma ile kullanıcının sadece göz bebeği hareketlerini kullanarak isteklerini ifade edebilmeleri sağlanmıştır. Göz bebeği hareket tespiti için hazır kütüphane kullanılmadan geliştirilen bu algoritma ile kullanıcının seçebileceği 9 adet komut üretilmiştir. Üretilen bu komutlar kullanıcılar tarafından %95 doğruluk performansı ile kullanılabilmesi, sistemin adaptif olarak ayarlanabilen bir IR ışık kaynağı ile desteklenmesi ile sağlanmıştır. Geliştirilen adaptif ışık kaynağı aracılığıyla göz bebeği hareketi daha yüksek doğrulukta tespit edilebilmiştir. Böylece sistemin farklı ortamlarda ve farklı sistemlerde çalışabilmesi sağlanmıştır.

İleride yapılacak çalışmalarda, kullanılacak olan kameranın daha yüksek çözünürlüğe sahip olarak seçilmesi önerilmektedir. Böylece oluşabilecek gürültüler engellenebilecek ve daha fazla komut üretilebilmesi sağlanacaktır. Bu sistemin gözlüklü bireylerde doğru sonuçlar vermemesinden dolayı, çalışmanın diğer aşamalarında sistemin gözlüklü bireylerde de çalışması için yeni bir yöntem geliştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Akıncı, G. (2011). Video görüntülerine dayalı nöropsikolojik testler için pupil (göz bebeği) hareketleri izleme sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2] Nilay Yıldırım, A. V. (2016). Göz Takibi Ve Göz Takip Sistemleri Üzerine Bir Araştırma. INESEC, 897-206.
- [3] Joseph M.Furman, F. L. (2012). Vestibular Laboratory Testing. M. J. Aminoff içinde, Aminoff's Electrodiagnosis in Clinical Neurology (s. 699-723). Saunders.
- [4] Yıldız, H. Ö. (2015). Eog'nin Kodlanmasına Dayanan Bilgisayar Tabanlı Gözle Yazı Yazma Sistemi. Tıptekno'15, (S. 296-299). Muğla
- [5] Yavuz, O. İ. (2017). EOG (Elektrookülografi) Kullanarak Göz Hareketleri ile Robot Kontrolü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [6] Durna, Y., & Arı, F. (2015). Real time pupil-corneal reflection following with Labview. In 2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 2286-2289). IEEE.
- [7] Cihan Topal, A. D. (2008). An eye-glasses-like wearable eye gaze tracking system. 2008 IEEE 16th Signal Processing, Communication and Applications Conference. Aydın: IEEE.
- [8] İren, M. (2018). Akıllı Telefonlarda Kullanıcıların Tercih Ettikleri Kimlik Doğrulama Yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [9] Bozkurt, F. (2019). Göz Kırpma Hareketleri İle Tarayıcı Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü.

- [10] Fatimah A. Alrubaish, G. A. (2019). Automated Detection for Student Cheating During Written Exams: An Updated Algorithm Supported by Biometric of Intent. International Conference on Computing (s. 303-311). Riyadh: Springer Link
- [11] Çolak, M. E. (2020). Uzaktan Eğitim Sınavlarında Bakış Algılaması İle Kopya Tespitinin Modellenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [12] Yuan-Pao Hsu, H.-C. M.-C. (2010). FPGA implementation of a real-time image tracking system. SICE Annual Conference (s. 2778-2884). Taipei: IEEE
- [13] Paul Viola, M. J. (2001). Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. Computer Vision And Pattern Recognition, (s. 1-9).
- [14] Kısa, M. (2019). Grafik Tasarım ve Baskı Ortamında Kullanılan Görsellerin RGB Renk Uzayından CMYK Renk Uzayına Dönüşümü Esnasında Oluşan Renk ve Ton Kayıplarının Önlenmesi. Humanities Sciences, 25-30. (Kısa, 2019).
- [15] Çavdaroğlu, G. Ç. (2013). Sanal gerçeklikte ilinti operatörleri geliştirilerek yüz tanıma analizi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [16] Shaika, K. B. (2015). Comparative Study of Skin Color Detection and Segmentation in HSV and YCbCr Color Space. ELSEVIER, 41-48.
- [17] Amit Kumar, S. M. (2015). Real-time Human Skin Color Detection Algorithm using Skin Color Map. Computing for Sustainable Global Development. New Delhi: INDIACOM.
- [18] Yılmaz, H. (2017). İnsan kromozom preparatlarının bilgisayar destekli sitogenetik analizleri ve düşük maliyetli sistem tasarımı, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. YÖK tez.
- [19] Gonzalez, R. C. (2008). PD and Woods, RE. Digital Image Processing, Third Edition], Prentice Hall International,
- [20] Muhammet Üsâme Öziç, N. Ç. (2020). Görüntü İşlemede Nesne Koordinat Özelliklerini Kullanarak Bakliyat Sayma İşlemine Bir Yaklaşım. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28-37.
- [21] Öztürk, S., & Öztürk, N. (2016). Yapay Ari Koloni Algoritması Kullanılarak Görüntü İyileştirme Yönteminin Geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 4(4), 173-183.
- [22] Dipova, N. (2018). Görüntü Analizi Yöntemlerinin Geoteknik Mühendisliğinde Kullanımı. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 33-44.
- [23] Z. Zhu, Q. Ji (2005). Robust real-time eye detection and tracking under variable lighting conditions and various face orientations, Computer Vision and Image Understanding 98 124–154.
- [24] Boyraz, Ö. F., M. Z. (2016). Mobil Damar Görüntüleme Cihazı Tasarımı. Innovative Technologies (s. 159-168). Antalya: Akademik Platform.
- [25] Irmak, E. (2021). COVID-19 disease severity assessment using CNN model. IET Image Processing, 15(8), 1814-1824.
- [26] Stehman, S. V. (1997). Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. Remote sensing of Environment, 62(1), 77-89.
- [27] Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. Pattern recognition letters, 27(8), 861-874.