

Makale / Research Paper

Düşük Çözünürlüklü Resimlerden Göz Merkezi Belirleme ve İris Yarıçapı Kestirimi için İyileştirilmiş Bir Algoritma

Fatih DURSUN^{1a}, Gökhan GELEN^{1b}

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü.
Bursa/TÜRKİYE
fatih.dursun@btu.edu.tr

Received/Geliş: 19.10.2021

Accepted/Kabul: 14.01.2022

Öz: Göz merkezinin doğru bir şekilde belirlenmesi problemi insan-bilgisayar etkileşimi, yüz tanıma, iris tanıma, bakış noktası tahmini gibi birçok bilgisayarla görü uygulamasında önemli bir yere sahiptir. Bu uygulamalarda elde edilen doğruluk değerleri, göz merkezi belirleme algoritmasının performansına doğrudan bağlıdır. Göz merkezi belirlenmesi amacıyla önerilen metotların çoğunluğu laboratuvar şartlarında alınan yüksek çözünürlüklü resimlere uygulanmaktadır. Yüksek çözünürlüklü ve kontrollü şartlarda alınan resimlerde göz merkezi oldukça doğru bir şekilde belirlenebilse de düşük çözünürlüklü resimlerde belirleme işlemi çok daha zordur. Bu çalışmada göz merkezi ve iris yarıçapının düşük çözünürlüklü resimlerde belirlenmesine yönelik bir metot önerilmiştir. Önerilen metot, yüz ve göz bölgeleri algılama, göz merkezini kabaca belirleme ve iyileştirme aşamalarından oluşan çok aşamalı bir yapıya sahiptir. Göz merkezi konumunun kabaca belirlenmesi amacıyla göz bölgesinin gradyan verisine ve irisin dairesel şekline dayanan bir metot kullanılmıştır. Kabaca belirleme algoritması ile iris sınırları içerisinde bir nokta belirlenmiştir. İris içerisinde belirlenen nokta etrafındaki bölgeye, bu çalışmada önerilen iyileştirme algoritması uygulanarak göz merkezinin tam konumu belirlenmiştir. Önerilen yaklaşımın performansı, bu alanda yaygın olarak kullanılan veri seti üzerinde test edilmiş ve bulunan sonuçların diğer metotlarla karşılaştırılması sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Göz merkezi belirleme, göz merkezi takibi, göz takibi, iris yarıçapı tahmini, iris merkezi belirleme.

An Improved Algorithm for Eye Center Localization and Iris Radius Estimation from Low-Resolution Images

Abstract: The accurate eye center localization problem is of great importance for many computer vision applications such as human-computer interaction, face recognition, iris recognition, and gaze estimation. The achieved accuracy in these applications is directly affected by the eye center localization process. The majority of the proposed approach for eye center localization achieve satisfactory results in high-resolution images taken in laboratory conditions. Despite success in controlled environments, the eye center determination process is much more challenging for low-resolution images. Given the need for localization in low-resolution images, this study proposes a method to tackle this problem. The proposed method introduces a multi-stage framework consisting of face and eye-area detection, coarse eye center localization, and precise localization. To estimate coarse eye center location, a method that leverages the gradient field in the eye region and exploits the iris's circular shape was adapted. Having been applied this method, a point in iris boundary was determined. After which, a refinement algorithm developed in our study was employed to find the precise location of the eye center in the region around the already found rough point. The performance of the proposed approach was evaluated on a data set widely used in this field, and the results were compared with other methods.

Keywords: Eye center localization, eye center tracking, eye tracking, iris radius estimation, iris center localization.

Bu makaleye atf yapmak için

Dursun, F., Gelen, G. "An Improved Algorithm for Eye Center Localization and Iris Radius Estimation from Low-Resolution Images" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2022, 9 (2); 948-962.

How to cite this article

Dursun, F., Gelen, G. "Düşük Çözünürlüklü Resimlerden Göz Merkezi Belirleme ve İris Yarıçapı Kestirimi için İyileştirilmiş Bir Algoritma" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2022, 9 (2); 948-962.

ORCID : ^a0000-0002-7472-3717; ^b0000-0002-2780-3386

1. Giriş

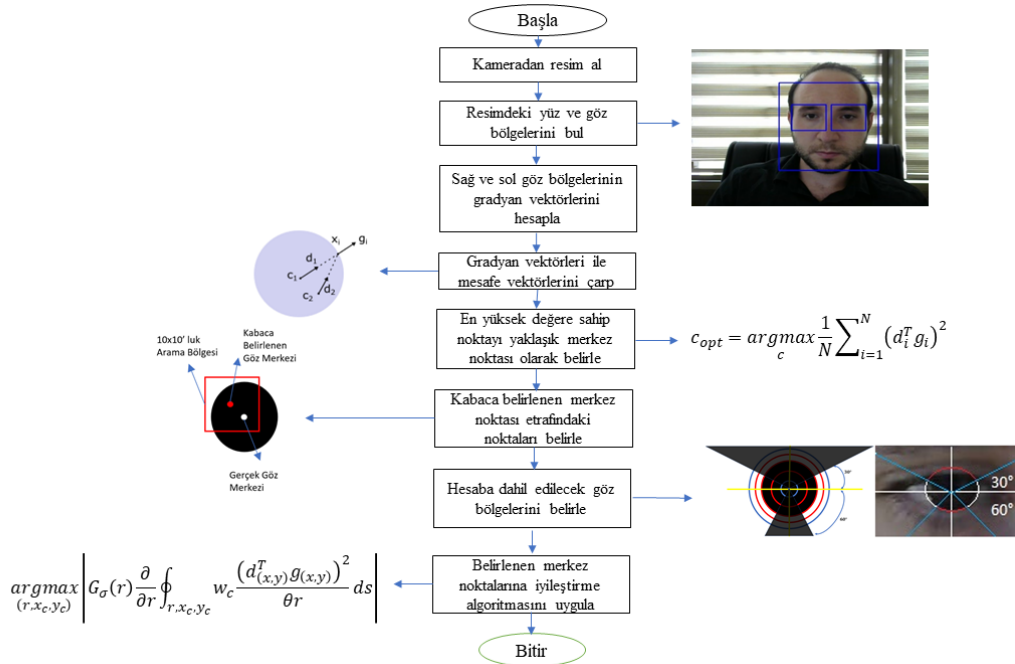
Göz merkezinin doğru, hızlı ve kararlı bir şekilde belirlenmesi, insan-bilgisayar etkileşimi, yüz tanıma, iris tanıma, bakış noktası tahmini gibi birçok bilgisayarla görü uygulaması için üstesinden gelinmesi gereken bir problemdir. Coğrafi bölgelere göre göz şekillerinde ve renklerindeki değişim, ağlamak, gülmek gibi duygusal durumların etkisi, ışık yoğunluğuna göre göz bebeğinin değişken olması ve uzun saç ve gözlük gibi özelliklerin göz bölgesini kapatması etkenleri, problemin çözümünü güçleştirmektedir. Göz merkezinin belirlenmesi amacıyla önerilen yöntemlerin bazıları, kullanıcıların harici bir aparat takmasını gerektirirken, bazıları harici donanıma ihtiyaç duymamaktadır [1-2]. Kullanıcıların harici donanım takmasını gerektiren yöntemlerden olan Electrooculography (EOG) tabanlı yöntemler, göz kenarlarına yerleştirilen ölçüm problemlerinde meydana gelen ve göz hareketlerinden kaynaklanan ölçüm farklılıklarından faydalanarak göz takibini gerçekleştirmektedir. Bu yöntemler, kullanıcının ölçüm probu takmasını gerektirdiği için uygulanması zor ve kullanıcı için rahatsızlık vericidir. Bu nedenle genellikle tercih edilmezler. Harici donanım takılmasını gerektiren diğer yöntemlerde, kullanıcıya giydirilen bir kafa aparatına yerleştirilmiş kamera vasıtası ile göz resimleri alınmakta ve çeşitli görüntü işleme yöntemleri kullanılarak göz merkezleri belirlenmektedir [3-4]. Bu yöntemlerde göz bölgesinin yüksek çözünürlüklü resimleri elde edilebilmektedir. Genellikle kamera ile birlikte harici bir IR (Infrared) ışık kaynağı kullanılmaktadır.

Kullanıcının bir aparat takmasını gerektirmeyen yöntemlerde ise belirleme işlemi kullanıcının bulunduğu ortama yerleştirilen bir kamera vasıtası ile elde edilen görüntünün işlenmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu alanda önerilen yöntemler genel olarak; model tabanlı yöntemler, öznitelik tabanlı yöntemler ve melez yöntemler olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Görüntü işleme metotları kullanılarak göz merkezinin belirlendiği yöntemlerde, istenilen hız ve doğruluğa göre farklı çözünürlükte resimler kullanılmaktadır. Örneğin, iris tanıma işlemi yüksek doğruluk gerektirdiği için bu alanda önerilen göz merkezi belirleme yöntemlerinde yüksek çözünürlüklü resimler kullanılır [5-7]. Bir diğer bilgisayarla görü uygulaması olan bakış noktası tahmininde ise doğrulukla birlikte çalışma hızı da önemli bir parametre olduğundan düşük çözünürlükte resimler kullanarak doğru sonuçlar üretebilecek göz merkezi belirleme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır [8-9].

Görüntü işleme algoritmaları kullanılan yöntemleri, görüntünün alınma şekline göre ikiye ayırmak mümkündür. Bunlardan ilki, görünür ışık altında elde edilen görüntüyü işleyerek göz merkezini belirleyen yöntemler, diğeri ise Kızılötesi-IR (Infrared) aydınlatma altında alınan resimlerde göz merkezini belirleyen yöntemlerdir. IR aydınlatma altında çalışan yöntemler, görünür ışık altında çalışan sistemlere göre daha başarılı sonuçlar vermektedir [10-11]. Ancak bu sistemler harici bir IR aydınlatmaya ihtiyaç duymakta ve gün ışığı altında doğrulukları azalmaktadır. Bu nedenle görünür ışık altında çalışan yöntemler literatürde daha fazla ilgi görmektedir [12-15]. Bu yöntemler, genellikle göz resminden çıkarılan kenar ve gradyan verilerini kullanmaktadır. Gözün renkli bölgesini ifade eden iris ile beyaz bölgeyi ifade eden sclera arasındaki gri seviye farkı ve irisin dairesel şekli, bu amaçla önerilen yöntemlerde başvurulan özelliklerdir. İris ile göz akı arasındaki yüksek gri seviye farkından faydalanılan oylama tabanlı yöntemlere sıklıkla başvurulmaktadır. Oylama tabanlı yöntemlerden birisi Dairesel Hough Dönüşümü (Circular Hough Transform-CHT) yöntemidir [16-17]. Oylama işlemini uygulamak için resme kenar bulma işlemi uygulanmakta ve bulunan noktalardan en iyi daireyi oluşturacak olanlar belirlenmektedir. Oylama tabanlı bir diğer yöntem Timm ve Barth tarafından önerilen gradyan tabanlı yöntemdir [12]. Bu yöntemde, irisin dairesel şeklinden ve göz bölgesinin gradyan verisinden faydalanılarak oluşturulan bir amaç fonksiyonu vasıtası ile göz merkezi belirlenmektedir. Bir diğer göz merkezi belirleme yönteminde ise SDM (Supervised Descent Method) yöntemi kullanılarak Timm ve Barth tarafından önerilen gradyan tabanlı yöntemin [12] performansı iyileştirilmiştir [18]. Önerilen yöntemde SDM yöntemi kullanılarak göz merkezinin ilk konumu kabaca belirlenmiş ve kabaca belirlenmiş merkez etrafına Timm ve Barth tarafından önerilen yöntem uygulanarak göz merkezi konumu daha hassas bir şekilde

bulunmuştur. Bir diğer göz merkezi belirleme yöntemi J. Daugman tarafından yüksek çözünürlüklü resimlerde kullanılmak üzere önerilen ve göz bölgesindeki noktaların gri seviye değerlerinin dairesel olarak toplamının türevine dayalı bir yöntemdir [19]. C. Hai tarafından önerilen yöntemde, J. Daugman tarafından önerilen amaç fonksiyonu temel alan düşük çözünürlüklü resimlerde doğru sonuçlar verebilecek bir metot önerilmiştir [15]. İrisin dairesel şeklinden faydalanılan bir diğer yöntemde ise kümülatif histogram verisi kullanılarak göz merkezi olabilecek noktalar belirlenmiş ve belirlenen noktalar arasındaki gerçek merkez noktası bir enerji fonksiyonu kullanılarak belirlenmiştir [14].

Bu çalışmada, düşük çözünürlüklü resimlerde tatmin edici sonuçlar üretebilecek ve gerçek zamanlı olarak çalışabilecek bir göz merkezi belirleme yöntemi önerilmesi amaçlanmaktadır. Önerilen yaklaşımın akış diyagramı Şekil 1'de sunulmuştur. Şekilden görülebileceği üzere, ilk olarak kameradan alınan resim üzerinde yüz ve göz bölgeleri belirlenir. Göz bölgelerine ait gradyan vektörlerinin hesaplanması ardından, gradyan vektörleri ile mesafe vektörlerinin çarpımı en büyük olan nokta yaklaşık merkez olarak hesaplanır ve dikkate alınır. Gerçek merkez noktasını belirlemek için, hesaba dahil edilecek bölgeler dikkate alınarak önerilen iyileştirme yaklaşımı uygulanır. Önerilen yöntemde, gradyan tabanlı yöntem ile J. Daugman önerilen yöntemin güçlü yönlerinden aynı anda faydalanacak yeni bir amaç fonksiyonu geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç fonksiyonunu kullanan yöntemde, herhangi bir sınıflandırma veya kümeleme algoritması kullanılmamaktadır. Önerilen algoritma ile düşük çözünürlüklü resimlerde dahi doğru sonuçlar elde edilmektedir. Sunulan yöntem ile göz merkezinin belirlenmesinin yanı sıra iris yarıçapı da belirlenebilmekte olup, gerçek zamanlı olarak uygulanabilecek hızlarda göz merkezi bulma işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1. İyileştirilmiş göz merkezi belirleme yaklaşımının akış diyagramı

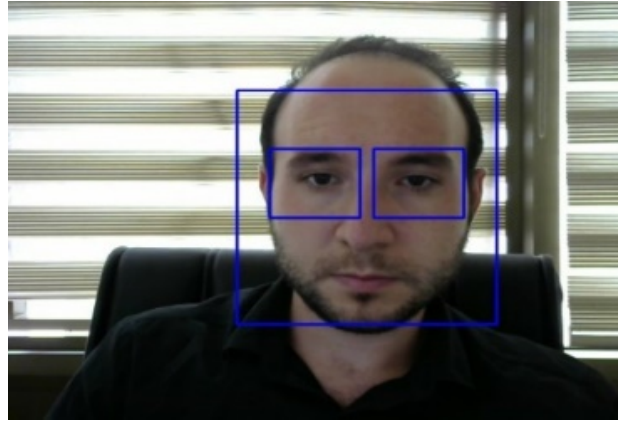
Makalenin ikinci bölümünde, göz merkezinin belirlenmesine yönelik ilk adım olan insan yüzündeki gözleri kapsayan ilgi bölgesinin (region of interest) ve göz merkezinin kabaca belirlenmesi açıklanmıştır. Önerilen yeni amaç fonksiyonu ve bu fonksiyonun uygulaması olan iyileştirilmiş göz merkezi belirleme algoritması üçüncü bölümde sunulmuştur. Önerilen yeni algoritma, göz merkezi belirleme çalışmalarında literatürde yaygın olarak kullanılan BioID veri seti üzerinde test edilmiş ve mevcut yöntemlerle karşılaştırmalı olarak dördüncü bölümde incelenmiştir. Son bölümde ise sonuç ve değerlendirmeler sunulmuştur.

2. Göz Merkezinin Kabaca Belirlenmesi

Göz merkezinin hızlı ve doğru bir şekilde bulunabilmesi için göz merkezi belirleme algoritmasının sadece göz bölgesinden oluşan görüntülere uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle ilk olarak alınan görüntülerdeki yüz bölgeleri tespit edilmeli daha sonra bu bölgedeki sağ ve sol göz bölgeleri belirlenmelidir.

2.1. Yüz ve Göz Bölgelerinin Algılanması

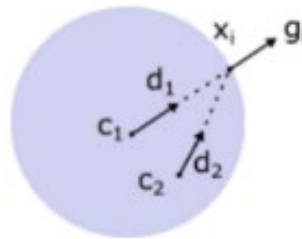
Resimlerdeki yüz bölgelerinin belirlenmesi için Viola ve Jones tarafından önerilen, eğitime dayalı ve ardışık sınıflandırıcıların kullanıldığı bir yöntem kullanılmıştır [20]. Algoritma öznelik çıkarımı [21] ve nesne algılama gibi işlemler için kullanılsa da algoritmanın birincil amacı yüz algılamaktır [22]. Algılama hızının yüksek olması nedeniyle, gerçek zamanlı uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Algoritma, güçsüz sınıflandırıcıların birleştirilmesiyle oluşturulan, güçlü bir sınıflandırıcıdan elde edilen sonuçlara göre işlenen resim içerisinde yüz olup olmadığını ve olan yüzlerin konumunu belirlemektedir. Yüz algılama işlemi dört aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar, (i) Haar-Benzeri Özneliklerin Seçimi, (ii) İntegral Resmin Oluşturulması, (iii) Adaboost Eğitimi, (iv) Basamaklı Sınıflandırıcı'dır. Yüz ve göz bölgelerinin belirlenmesi ile elde edilen sonuç resmi Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Yüz ve göz bölgelerinin algılanması ile elde edilen sonuç resmi

2.2. Kabaca Belirleme Algoritmasının Uygulanması

Göz merkezinin kabaca belirlenmesi işlemi, literatürde yaygın olarak kullanılan, göz bölgesindeki gradyan verisine ve irisin dairesel şekline dayalı bir metot kullanılarak yapılmıştır. Bir görüntüde bulunan dairesel bir şekil için dairesel şeklin sınırlarından çizilen normalize edilmiş gradyan vektörleri dairenin normal vektörü ile aynı doğrultudadır. Bu nedenle, merkezden dairesel şeklin herhangi bir kenar noktasına çizilen mesafe vektörü ile o noktadaki gradyan vektörü aynı doğrultuda olmaktadır [12].



Şekil 3. Yapay göz resmi üzerinde gradyan ve normal vektörlerinin gösterimi

Şekil 3'te görüldüğü gibi gerçek daire merkezinden çizilen mesafe vektörü ile gradyan vektörünün doğrultuları aynıdır. Şekilde d_i , muhtemel merkez noktası olan c_i 'den daire üzerinde bir noktayı ifade eden x_i 'ye çizilen mesafe vektörünü, g_i ise x_i noktasındaki gradyan vektörünü ifade etmektedir.

Gradyan vektörü ile normal vektörü aynı doğrultuda olduğu için bu vektörler arasındaki nokta çarpım değeri de yüksek olacaktır. Yöntemde, bu durumdan yola çıkılarak nokta çarpımların karelerinin toplamının maksimum yapılmaya çalışıldığı bir amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Buna göre en uygun merkez noktası olan c_{opt} , Denklem (2)'de verilen amaç fonksiyonu ile bulunmaktadır [12].

$$d_i = \frac{x_i - c}{\|x_i - c\|_2}, \|g_i\|_2 = 1 \quad (1)$$

Denklem (1)'de sırasıyla normalize edilmiş mesafe ve gradyan vektörlerini ifade eden d_i ve g_i değerlerinin hesaplanması görülmektedir. Burada c merkez olma ihtimali araştırılan noktayı ifade etmektedir. Bu vektörler kullanılarak en uygun göz merkezi noktası Denklem (2) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$c_{opt} = \underset{c}{\operatorname{argmax}} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d_i^T g_i)^2 \quad (2)$$

Timm ve Barth tarafından önerilen yöntemde, nokta çarpım sonucunun mesafeden bağımsız bir şekilde hesaplanması için d_i mesafe vektörü birim vektöre dönüştürülmüştür. Hesaplanan değerlerin aydınlatma şartlarındaki değişimden etkilenmemesi için g_i gradyan vektörü normalize edilmiştir. İşlem yükünü azaltmak için gradyan değeri belirli bir seviyenin altında olan noktalar ihmal edilmiştir. Ayrıca göz bölgesini sınırları üzerinde olan pikseller de hesaplamaya dâhil edilmeyerek algoritmanın kenar noktalarını merkez olarak belirlemesinin önüne geçilmiştir [12].

İris diğer göz bölgelerinden daha koyu olduğu için Timm ve Barth tarafından, koyu piksellerin merkez olma olasılığını arttıracak bir w_c ağırlık değeri amaç fonksiyonuna eklenmiştir. Her bir olası merkez noktası için farklı değerler alan w_c ağırlığını hesaplamak için orijinal resim terslenmekte ve terslenmiş resme gauss filtresi uygulanmaktadır. Daha sonra elde edilen yeni resim üzerinde merkez olma ihtimali değerlendirilen c noktasına karşılık gelen değer w_c ağırlığı olarak alınmaktadır. Böylelikle orijinal resimde koyu olan bölgelerden seçilen olası merkez noktalarının merkez olma olasılığı arttırılmaktadır. Ağırlığın denkleme eklenmesiyle elde edilen yeni amaç fonksiyonu Denklem (3)'te görülmektedir [12].

$$c_{opt} = \underset{c}{\operatorname{argmax}} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_c (d_i^T g_i)^2 \quad (3)$$

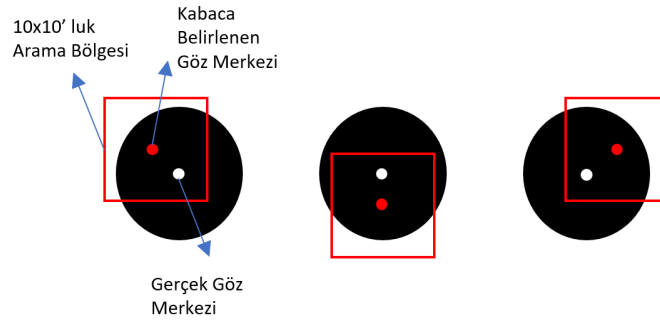
Bu yöntem, göz bölgesinin orijinal boyutlarına uygulandığında çalışma hızı önemli derecede azalmaktadır. Bu nedenle gerçek zamanlı bir uygulama gerçekleştirmek için göz bölgesinin, hız-doğruluk dengesini koruyacak şekilde küçültülmesi gerekmektedir. Önerilen göz merkezi belirleme yaklaşımında, Timm ve Barth tarafından önerilen yöntem, göz merkezinin konumunun kabaca belirlenmesi amacıyla kullanıldığı için bu algoritma ile iris içerisinde bir noktanın belirlenmesi yeterli olmaktadır. Buda göz bölgesinin küçültülebilmesine olanak sağlamaktadır.

3. Önerilen İyileştirilmiş Göz Merkezi Belirleme Yaklaşımı

Göz merkezi konumunun kabaca belirlenmesi amacıyla kullanılan ve önceki bölümde açıklanan yöntem, iris sınırları içerisinde bir nokta bulmakta başarılı olsa da zorlu şartlarda tam göz merkezini bulamamaktadır. Göz merkezi bulma işlemini hızlandırmak için göz bölgesi belirli oranda

küçültüldüğünde ise sonuçlar daha da kötüleşmektedir. Bu nedenle göz merkezinin tam konumunun belirlenmesi için kabaca belirlenmiş göz merkezi konumu etrafında tam konumun aranması gerekmektedir. Bu çalışmada kabaca belirlenmiş göz merkezi etrafındaki gerçek göz merkezinin bulunması amacıyla yeni yöntem önerilmiştir. Bu amaçla literatürde önemli yere sahip iki yöntemin güçlü yönleri birleştirilerek yeni bir amaç fonksiyonu geliştirilmiştir.

Kabaca belirlenen göz merkezi, çoğunlukla iris sınırları içerisinde bulunmaktadır. Bu nedenle gerçek merkez noktası, kabaca belirlenmiş merkez noktası etrafındaki 10x10 boyutlarındaki karesel piksel bölgesi içerisinde aranmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kabaca belirlenen göz merkezi noktasının iris bölgesi içerisinde olması durumunda 10x10 boyutlarındaki piksel bölgesinin gerçek merkez noktasını bulmak için yeterli olduğu belirlenmiştir. Aranılan bölgenin boyutlarını arttırmak iyileştirme algoritmasının hızını yavaşlatırken, doğruluğa önemli bir etkisi olmamaktadır. Aranılan bölge boyutları küçültüldüğünde ise işlem hızı artsa da doğruluk değerli azalmaktadır. Eğer kabaca belirlenmiş olan göz merkezi iris sınırları içerisinde değil ise belirlenen 10x10 boyutlarındaki bölge içerisinde gerçek merkez noktasını bulmak mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla iyileştirme metodu kabaca belirleme aşamasındaki doğruluk değerini daha yüksek seviyelere çıkarmayı hedeflemektedir. Belirtilen bölge içerisindeki nokta sayısı az olduğu için iyileştirme aşaması çok kısa sürede gerçekleşmektedir. Böylece işlem süresi önemli derecede arttırılmadan göz merkezi belirleme işleminin doğruluk değeri arttırılmaktadır. Şekil 4'te kabaca belirlenmiş göz merkezi etrafında oluşturulan arama bölgesi, farklı merkez noktaları için gösterilmiştir.



Şekil 4. Kabaca belirlenmiş göz merkezleri etrafında oluşturulan arama bölgeleri

3.1. John Daugman'ın Göz Merkezi Belirleme Yaklaşımı

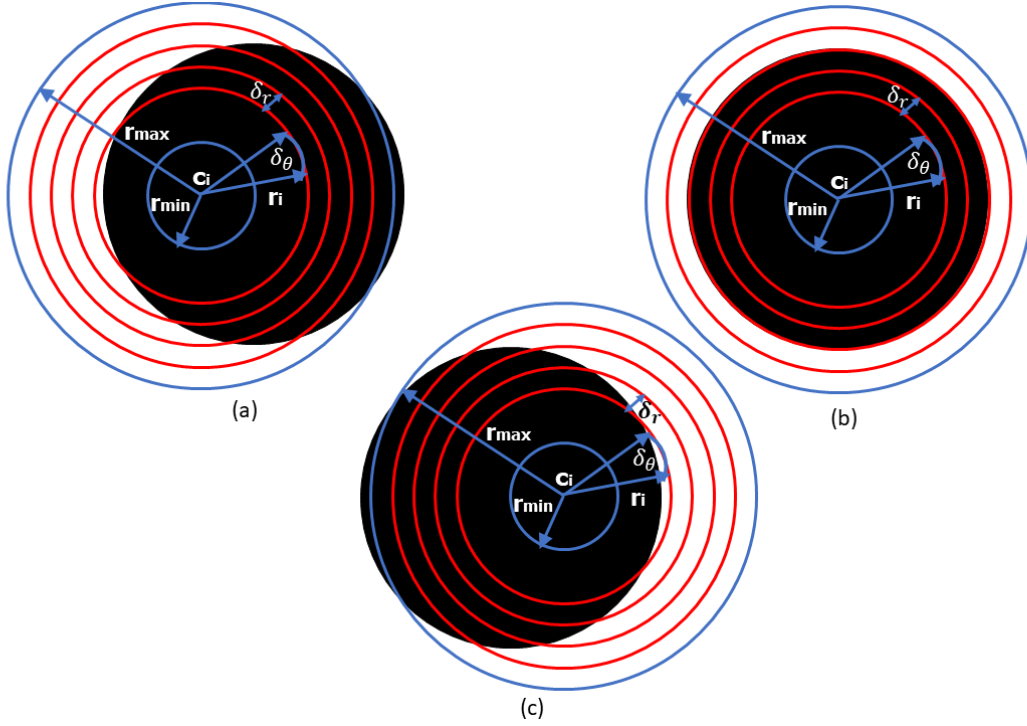
John Daugman tarafından önerilen yöntemde, piksel değerlerinin toplamının türevine dayalı bir amaç fonksiyonu kullanılarak göz merkezi belirlenmektedir [19]. Önerilen bu amaç fonksiyonu Integro-Differential Operator (IDO) olarak isimlendirilmektedir. John Daugman tarafından önerilen amaç fonksiyonu Denklem (4)'te verilmiştir.

$$\operatorname{argmax}_{(r,x_c,y_c)} \left| G_\sigma(r) \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r,x_c,y_c} \frac{I(x,y)}{2\pi r} ds \right| \quad (4)$$

Denklemden $I(x,y)$ resmin (x,y) noktasındaki gri seviye değerini, (x_c,y_c) muhtemel göz merkezi noktasını ve G_σ gauss filtresini ifade etmektedir. Amaç fonksiyonu, muhtemel merkez noktaları etrafında oluşturulan, farklı yarıçaplardaki daireler üzerinde bulunan piksellerin gri seviye değerlerini toplamakta ve farklı yarıçaplı daireler için elde edilmiş olan toplam değerlerinin farkını almaktadır [19]. Şekil 5'te farklı merkez noktaları için çizilmiş, farklı yarıçaplı daireler görülmektedir.

Çizilen daireler üzerindeki piksellerin toplam değerleri merkez ve yarıçapa göre farklılık göstermektedir. Çizilen daireler üzerinde bulunan noktalar, o andaki r yarıçapı ve $\delta\theta$ açı adımı kullanılarak belirlenmektedir. Şekilde, r_{\min} ve r_{\max} bir merkezden çizilecek olan dairelerin olabilecek

maksimum ve minimum yarıçaplarını ifade etmektedir ve bu aralıkta çizilecek dairelerin yarıçap değerleri δr yarıçap adımı ile belirlenmektedir.



Şekil 5. Farklı merkez noktaları için oluşturulan daireler: (a) ve (c) gerçek göz merkezi dışındaki noktalar için elde edilen daireler, (b) gerçek merkez noktası için elde edilen daireler

Bir merkez noktası etrafına çizilen her bir daire için daire üzerindeki $I(x,y)$ gri seviye değerleri toplanmakta ve o anda ele alınan merkez noktası-daire çifti için kaydedilmektedir. Son olarak muhtemel tüm merkez noktaları için ardışık dairelere ait toplam değerleri arasındaki fark hesaplanmakta ve en büyük fark değeri, ilgili merkez noktasının gerçek merkez olma skoru olarak değerlendirilmektedir. Gerçek merkez noktası için elde edilmiş olan skoru sağlayan yarıçap ise gerçek yarıçap olmaktadır. Şekil 5 (a) ve (c)'ye bakıldığında elde edilecek bu fark değerinin az olacağı, (b)'de ise iris ile göz akı içerisine çizilen daireler arasındaki fark değerinin fazla olacağı görülmektedir.

3.2. Yeni Amaç Fonksiyonunun Oluşturulması

Önerilen göz merkezi belirleme yönteminde göz merkezinin kabaca belirlenmesi için kullanılan ve Timm ve Barth tarafından önerilen yöntem ile J. Daugman tarafından önerilen yöntemin güçlü yönlerini birleştirecek yeni bir amaç fonksiyonu geliştirilmiştir.

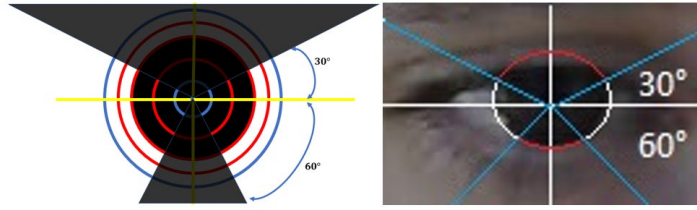
Timm ve Barth tarafından önerilen yöntem iris içerisinde bir nokta belirlemede yüksek başarı gösterse de her zaman gerçek merkez noktası belirlenmemektedir. Bu yöntemin avantajı düşük çözünürlüklü resimlerde iyi sonuçlar üretmesi ve basit bir nokta çarpım hesabına dayalı olmasıdır. Bu yöntemin dezavantajları ise amaç fonksiyonuna dahil edilecek olan noktalar için herhangi bir dairesel seçim stratejisi kullanılmaması ve iris yarıçapının belirlenememesidir.

J. Daugman tarafından önerilen yöntem yüksek çözünürlüklü resimlerde başarılı sonuçlar üretirken, düşük çözünürlüklü resimlerde başarısı ciddi derecede düşmektedir. Bu yöntemin avantajı ise amaç fonksiyonuna dâhil edilecek olan noktaların dairesel bir şekilde seçilmesi ve iris yarıçapının belirlenebilmesidir. Önerilen yeni amaç fonksiyonunda J. Daugman tarafından önerilen amaç fonksiyonundaki gri seviye değerleri toplamı ifadesi yerine, Timm ve Barth tarafından önerilen mesafe vektörü ile gradyan vektörü arasındaki nokta çarpım ifadesi yazılmıştır.

$$I(x,y) = (d_{(x,y)}^T g_{(x,y)})^2 \quad (5)$$

$I(x,y)$ muhtemel merkez noktası etrafında çizilen bir daire üzerindeki noktanın gri seviye değerini, $d(x,y)$ muhtemel merkezden bu noktaya çizilen mesafe birim vektörünü, $g(x,y)$ ise daire üzerindeki noktanın normalize edilmiş gradyan vektörünü ifade etmektedir.

İris normalde daire şeklinde olsa da genellikle göz kapağı tarafından alt ve üst kısımları kapatılmaktadır. İrisin alt ve üst kısımlarının göz kapakları tarafından kapanması, bu bölgelerde görülmesi beklenen iris ile göz akı arasındaki yüksek gri seviye farkının ortadan kaybolmasına neden olmaktadır. Bu bölgelerdeki gradyan vektörlerinin doğrultuları yanıltıcı olabileceği için amaç fonksiyonuna dâhil edilmemesi gerekmektedir. Şekil 6'da irisin görünür kısmını ifade eden ve amaç fonksiyonuna dâhil edilecek göz bölgeleri görülmektedir.



Şekil 6. Amaç fonksiyonuna dahil edilecek göz bölgeleri

Görünür iris bölgesi dikkate alınarak oluşturulan yeni amaç fonksiyonu Denklem (6)'da verilmiştir.

$$\operatorname{argmax}_{(r,x_c,y_c)} \left| G_\sigma(r) \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r,x_c,y_c} \frac{(d_{(x,y)}^T g_{(x,y)})^2}{\theta r} ds \right| \quad (6)$$

Denklemden $d(x,y)$, muhtemel merkez noktasını ifade eden (x_c,y_c) ile o anda ele alınan daire üzerindeki (x,y) noktası arasındaki mesafe vektörünü, $g(x,y)$ daire üzerindeki noktanın gradyan vektörünü, G_σ gauss filtresini ve θ nokta çarpıma dahil edilecek noktaları kapsayan açı aralığını ifade etmektedir.

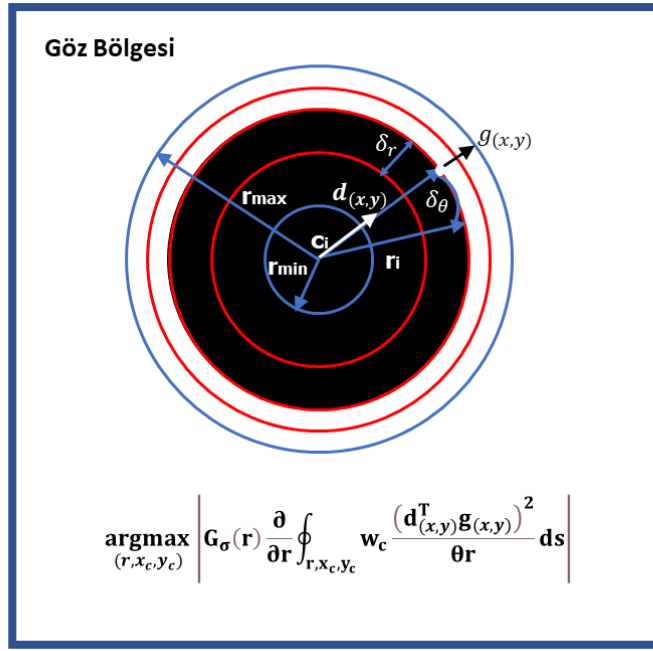
Timm ve Barth tarafından önerilen yöntemde kullanılan ve iris bölgesindeki noktaların merkez olma ihtimallerini arttıran w_c ağırlığı geliştirilen amaç fonksiyonuna da eklenmiştir. Denklem (7)'de önerilen amaç fonksiyonunun ağırlık eklenmiş hali görülmektedir.

$$\operatorname{argmax}_{(r,x_c,y_c)} \left| G_\sigma(r) \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r,x_c,y_c} w_c \frac{(d_{(x,y)}^T g_{(x,y)})^2}{\theta r} ds \right| \quad (7)$$

Önerilen amaç fonksiyonunun uygulanması Şekil 7'de gösterilmiştir. Önerilen göz merkezi belirleme algoritması Tablo 1'de verilmiştir. Algoritmaya girdi olarak iyileştirme yaklaşımının uygulanacağı göz merkezi ve kabaca belirlenmiş göz merkezi etrafındaki 10×10 piksel bölgesindeki noktaların koordinatları verilmektedir. Daha sonra muhtemel merkez noktalarının her birisinin etrafında farklı yarıçaplı daireler oluşturularak bu daireler üzerindeki noktalar için hesaplama yapılmaktadır. Algoritma çıktı olarak hesaplamalar sonucunda elde edilen ideal göz merkezini ve belirlenen yarıçap değerini döndürmektedir.

Tablo 1. İyileştirilmiş göz merkezi belirleme algoritması

Algoritma 1: İyileştirilmiş Göz Merkezi Belirleme Algoritması	
Giriş:	GözResmi, OlasıMerkezNoktaları
Başlat:	Açısayısı=100, Radım=1
Hesapla:	Maksimum yarıçap maxR Minimum yarıçap minR Yarıçap indeksi sayısı Rsayısı Açı adımı Açıadım maxR=0.7xGözResmiGenişliği minR=0.2xGözResmiGenişliği Rsayısı=(maxR-minR)/Radım Açıadım=2π/Açısayı
	for (cx,cy) ∈ { OlasıMerkezNoktaları } do
	for r ∈ {1, ... Rsayısı} do
	Hesapla: Güncel yarıçap Rşimdi
	Rşimdi=minR+r×maxR
	for T ∈ {1, ... Açısayı} do
	if T > Açısayı/ 12 and T < 5x (Açısayı/12) then
	continue
	end if
	if T > Açısayı / 12 and T < 5x (Açısayı/12) then
	continue
	end if
	Hesapla: Güncel yarıçap ve açı değerine göre nokta koordinatları Pi (xi,yi)
	c'den Pi'ye çizilen normalize mesafe vektörü di
	Pi noktasındaki normalize gradyan vektörü gi
	xi=cx - Rşimdixsin(TxAçıadım)
	yi=cy + Rşimdixcos(TxAçıadım)
	Pi=(xi, yi), c=(cx,cy)
	di = (Pi - c) / Pi - c
	gi=(∂l(xi,yi)/∂xi, ∂l(xi,yi)/∂yi)
	gi= gi / gi
	val=val+(diT x gi)²
	end for
	Hesapla: c noktası için hesaplanan ağırlık değeri wc
	c noktası için farklı yarıçaplara ait değerleri tutan dizi Rtoplam
	wc=AğırlıkHesapla(c)
	Rtoplam(r)=wc x val / (Açısayı x Rşimdi)
	end for
	Hesapla: Rtoplam dizisinin türevi Rtürev
	Rtoplam dizisinin Gauss filtresi uygulanmış hali Rgauss
	Rtoplam içerisindeki en büyük değer indeks MaxMerkez(c)
	Rtoplam içerisindeki en büyük değer MaxDeğer(c)
	Rtürev=TürevAl(Rtoplam)
	Rgauss=GaussFiltresiUygula(Rtürev)
	MaxMerkez(c),MaxDeğer(c)=MaxBul(Rgauss)
	end for
	Hesapla: En iyi merkez noktası EniyiMerkez
	En iyi yarıçapa ait indeks EniyiYarıçapInd
	En iyi yarıçap EniyiYarıçap
	EniyiYarıçapInd, EniyiMerkez= MaxBul (MaxDeğer)
	EniyiYarıçap= minR+ Radım x EniyiYarıçapInd
Çıkış:	EniyiMerkez, EniyiYarıçap



Şekil 7. Önerilen metodun göz bölgesine uygulanması

4. Deneysel Sonuçlar

Önerilen yöntem düşük çözünürlüklü resimler üzerinde test edilmiş ve literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırma sonuçları sunulmuştur. Bununla birlikte gerçek zamanlı performans da değerlendirilmiştir.

4.1. BioID Veri seti

Önerilen yöntemin performansı, bu alanda yaygın olarak kullanılan BioID veri seti kullanılarak test edilmiştir [23-24]. Veri setinin orijinal hali düşük çözünürlüklüdür ve 23 farklı kişiden alınmış olan 1521 adet 286x384 çözünürlüğe sahip resimden oluşmaktadır. Veri setindeki bazı kişiler gözlük takmaktadır ve görüntüler farklı poz, uzaklık ve aydınlatma şartlarında alınmıştır. Bazı kişilerin gözleri tamamen kapalı veya çoğunluğu kapalı durumdadır. Bu nedenle BioID veri seti bu alanda kullanılan en zorlu veri setlerinden birisi olarak kabul edilmektedir. Veri seti düşük çözünürlüklü resimlerden oluştuğu için herhangi bir çözünürlük azaltma işlemi uygulanmamıştır.

Doğruluk değerini hesaplanması için kullanılan hata değeri gerçek göz merkezi ile bulunan göz merkezi arasındaki mesafe olarak hesaplanmaktadır. Karşılaştırma için kullanılacak ölçüt, hata değeri daha yüksek olan gözün hatasının gözler arası mesafeye bölünmesi ile Denklem (8)'deki ifade ile elde edilmektedir.

$$e_{\text{enkötü}} \leq \frac{1}{d} \max(e_{\text{sağ}}, e_{\text{sol}}) \quad (8)$$

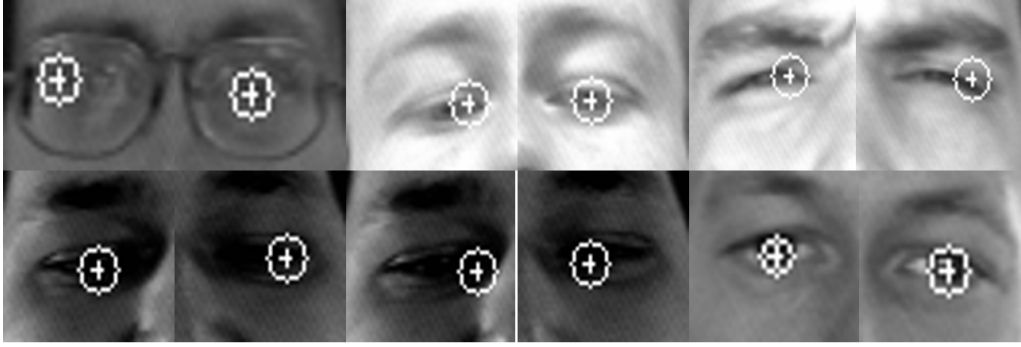
Hesaplanan hata ölçütü yorumlanacak olursa: (i) $e \leq 0.25$ bulunan noktanın göz bölgesi içerisinde olduğunu, (ii) $e \leq 0.1$ bulunan noktanın iris sınırları içerisinde olduğunu, (iii) $e \leq 0.05$ bulunan noktanın göz bebeği sınırları içerisinde olduğunu ifade etmektedir. Çalışmada kötü olan göze göre verilen hata değerinin yanında, iyi olan göze göre ve ortalamaya göre sonuçlar da elde edilmiştir. Denklem (9)'da hatası düşük olan göze göre, Denklem (10)'da ise ortalama hata değerine göre belirlenen karşılaştırma ölçütleri görülmektedir.

$$e_{eniye} \leq \frac{1}{d} \min(e_{sağ}, e_{sol}) \quad (9)$$

$$e_{ort} \leq \frac{1}{2d} (e_{sağ}, e_{sol}) \quad (10)$$

4.2. Deneysel Bulgular

BioID veri setindeki resimlerdeki yüz bölgeleri Viola ve Jones tarafından önerilen göz algılama algoritması uygulanarak belirlenmiştir [20]. Daha sonra yüz bölgesi ve göz bölgeleri arasındaki geometrik ilişki kullanılarak göz merkezi belirleme algoritmasının uygulanacağı göz bölgeleri belirlenmiştir. Elde edilen göz bölgelerine Timm ve Barth tarafından önerilen yöntem uygulanarak göz merkezlerinin konumu kabaca belirlenmiştir. Son olarak, kabaca belirlenen göz merkezleri etrafındaki 10x10 boyutlarındaki piksel bölgesinde kalan 100 nokta için bu çalışmada önerilen iyileştirme algoritması uygulanmıştır. Şekil 8’de elde edilen bazı yanlış sonuçlara ait, Şekil 9’da ise bazı doğru sonuçlara ait resimler görülmektedir.



Şekil 8. Göz merkezi belirleme işlemine ait bazı yanlış sonuçlar



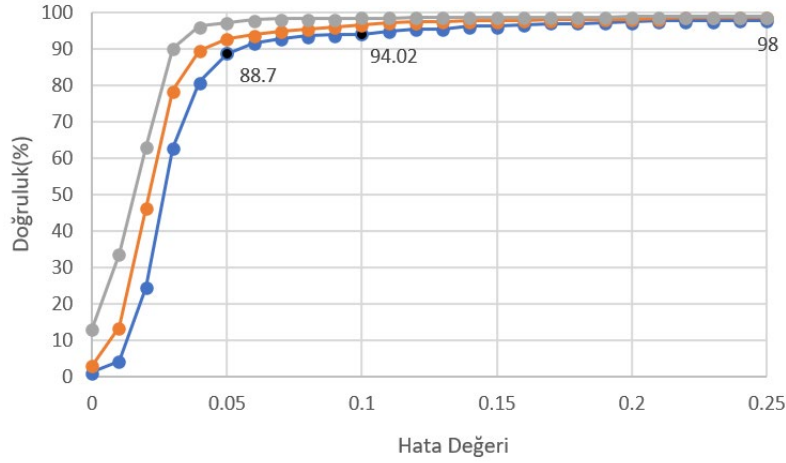
Şekil 9. Göz merkezi belirleme işlemine ait bazı doğru sonuçlar

Tablo 2’de en kötü göz, en iyi göz için doğruluk değerleri ve ortalama doğruluk değerleri görülmektedir.

Tablo 2. En kötü göz, en iyi göz ve gözlerin ortalaması için doğruluk değerleri

	Doğruluk ($e \leq 0.05$)	Doğruluk ($e \leq 0.10$)	Doğruluk ($e \leq 0.25$)
En Kötü Göz	88,70%	94.00%	98.00%
Ortalama	92.90%	96.69%	98,83%
En İyi Göz	97,27%	98,58%	98.93%

Tablo 2’de verilen önemli hata sınırları için verilen doğruluk değerlerinin yanında ara değerler için elde edilen doğruluk değerlerine ait grafik Şekil 10’da verilmiştir.

**Şekil 10.** BioID veriseti için doğruluk değerleri

Şekilde en iyi, en kötü ve ortalama doğruluk değerlerine ait grafikler görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi kötü olan göze göre belirlenen hata değerine ait eğride, göz bebeği içerisinde bir nokta bulunduğunu ifade eden sınır değeri ($e \leq 0.05$) için elde edilen doğruluk değeri %88.7, iris içerisinde bir nokta ($e \leq 0.1$) bulmadaki doğruluk değeri % 94.02, göz bölgesinde bir nokta ($e \leq 0.25$) bulmadaki doğruluk değeri % 98 olmaktadır. Tablo 3’te önerilen yöntemin literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırılma sonuçları görülmektedir.

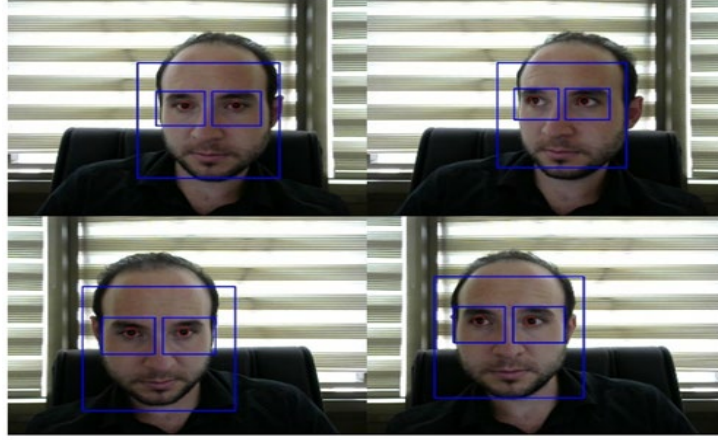
Tablo 3. Önerilen göz merkezi belirleme yönteminin diğer yöntemlerle karşılaştırılma sonuçları

Metot	Doğruluk ($e \leq 0.05$)	Doğruluk ($e \leq 0.10$)	Doğruluk ($e \leq 0.25$)
Valenti [13]	86.09%	91.67%	97.87%
Timm [12]	82.50%	93.40%	98.00%
Garg [14]	77.60%	88.70%	98.60%
Cai [15]	86.80%	96.60%	99.90%
Integro Differential Operator (IDO)	80.30%	88.50%	99.1%
Xia [18]	87.10%	98.70%	99.90%
Soelistio [25]	80.80%	95.20%	99.40%
Chen [26]	87.79%	95.81%	99.17%
George [17]	85.10%	94.30%	-
Önerilen Metot	88,70%	94.00%	98.00%

4.3. Gerçek Zamanlı Sonuçlar

Önerilen çalışmanın gerçek zamanlı olarak çalışabilecek hızda olması hedeflendiği için veri seti üzerinde elde edilen sonuçların yanında gerçek zamanlı uygulama sonuçları da sunulmuştur.

Uygulamada kamera olarak Logitech C310 kullanılmıştır ve algoritma Intel i7-2.70 GHz 4 çekirdekli işlemciye ve 8 Gb ram'e sahip bir bilgisayar kullanılarak uygulanmıştır. Şekil 11'de gerçek zamanlı olarak elde edilen bazı sonuçlar görülmektedir.



Şekil 11. Göz merkezi ve iris yarıçapı belirleme algoritmasıyla elde edilen bazı sonuç resimleri

Önerilen göz merkezi belirleme yöntemi, iteratif bir yöntem olduğu için paralel olarak gerçekleştirilmeye uygun yapıdadır. Bu nedenle algoritma, tek çekirdek ve dört çekirdek kullanılarak ayrı ayrı test edilmiştir. Tablo 4'te işlemcinin tek çekirdeği ve dört çekirdeği kullanıldığında göz merkezi belirleme işlemi için geçen süreler görülmektedir.

Tablo 4. Göz merkezi belirleme yaklaşımının farklı aşamaları için gerekli işlem süreleri

	Tek Çekirdek	Dört Çekirdek
Kabaca Belirleme Aşaması	31.6 ms	8.05 ms
İyileştirme Aşaması	6.3 ms	2.1 ms
Toplam Geçen Süre	37.9 ms	10.15 ms

Tablo 5'te İşlenen göz bölgesi boyutlarına göre işlem süreleri görülmektedir.

Tablo 5. Farklı boyuttaki göz bölgeleri için işlem süreleri

	Kullanılan Göz Bölgesi Boyutu			
Çekirdek Sayısı	% 40	% 60	% 80	% 100
Tek Çekirdek	10.9 ms	37.9 ms	61.3 ms	182 ms
4 Çekirdek	2.7 ms	10.15 ms	15.6 ms	54.3 ms

5. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, resim çözünürlüğünün az olduğu durumlarda kullanılabilecek iyileştirilmiş bir göz merkezi belirleme yaklaşımı sunulmuştur. Önerilen göz merkezi belirleme yaklaşımının veri setine uygulanması ile elde edilen sonuçlara bakıldığında tüm hata aralıkları için karşılaştırılan metotlara yakın veya daha üstün sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Önerilen metot kabaca belirlenmiş göz merkezleri etrafındaki belirli bir bölgeye uygulandığı için asıl amaçlanan göz merkezi olarak belirlenen noktanın göz bebeği içerisinde ($e < 0.05$) olmasıdır. Önerilen metot göz bebeği içerisinde bir noktayı ($e < 0.05$) merkez olarak belirlemede karşılaştırılan yöntemleri geride bırakmış ve birinci sırada yer almıştır.

Önerdiğimiz yöntemde kullanılan amaç fonksiyonunun oluşturulması için faydalanılan yöntemlerden birisi olan, Timm ve Barth tarafından önerilen yöntem [12], göz merkezinin göz bebeği içerisinde

belirlenmesinde %82,5 doğruluk gösterirken önerdiğimiz yöntem %88,7 doğruluk göstermektedir. Faydalanılan bir diğer yöntem olan ve J. Daugman tarafından önerilen yöntem ise %80,3 doğruluk göstermektedir [19]. Elde edilen sonuçlar önerdiğimiz yöntemin faydalanılan her iki yöntemi de geride bıraktığını göstermektedir.

Diğer hata değerlerine bakıldığında önerilen metot diğer yöntemlere yakın olsa da önlerine geçememiştir. Bunun en temel sebebi kabaca belirleme aşamasında kullanılan gradyan tabanlı yöntemin bu hata değerleri için verdiği doğruluk değeridir. Gradyan tabanlı yöntemin diğer yöntemlere göre daha az doğruluk göstermesi, bu çalışmada geliştirilen iyileştirme yaklaşımının doğruluğa olan etkisini daha çok öne çıkarmaktadır.

En zorlu hata aralığında ($e \leq 0.05$) ilk sırada olan yöntemimize yakın doğruluk değerine sahip olan, Valenti tarafından önerilen yöntemde kümeleme, sınıflandırma ve SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) özneliklerinin çıkarımı gibi algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır [13]. Karşılaştırılan metotlardan önerilen metoda en yakın doğruluk değeri gösteren, Chen tarafından önerilen metot da kümeleme tabanlı bir yaklaşım kullanılarak göz bölgesindeki öznelikler çıkarılmış ve göz merkezleri belirlenmiştir [25]. Önerilen yöntemde yüz bölgesinin belirlenmesi için hali hazırda eğitilmiş olan bir sınıflandırma algoritması kullanılsa da göz merkezinin belirlenmesi için herhangi bir kümeleme veya sınıflandırma algoritmasına ihtiyaç duyulmamaktadır ve herhangi bir eğitim süreci gerekmemektedir. Bu nedenle bu iki yönteme göre çok daha basit yapıdadır ve genelleme yeteneği daha fazladır.

Önerilen yöntemin gerçek zamanlı olarak uygulanması ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde tek çekirdek kullanılarak elde edilen işlem sürelerinin bile kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir. Aynı işlemler dört çekirdek kullanılarak yapıldığında ise işlem sürelerinin ciddi şekilde azaldığı görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar önerilen metodun yüksek hız gerektiren bakış noktası tahmini gibi birçok insan-bilgisayar etkileşimi uygulamasında kullanılabileceğini göstermektedir.

Yazarın Katkıları

FD ve GG makaleyi hazırladı, son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. Noor N. M. M, Bin Kamaruddin M. Q., Study The Different Level Of Eye Movement Based On Electrooculography (EOG) Technique, IEEE-EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences, 2016, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [2]. Zheng W, Gao K, Li G, Liu W, Liu C, Liu J, Wang G, Lu B., Vigilance Estimation Using a Wearable EOG Device in Real Driving Environment, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2020, 21(1): 170-184.
- [3]. Cognolato M, Atzori M, Müller H., Head-Mounted Eye Gaze Tracking Devices: An Overview Of Modern Devices And Recent Advances, Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering, 2018, 5: 1-13.
- [4]. Franchak M. J, Kretch K. S, Soska K. C, Adolph K. E., Head-Mounted Eye-Tracking: A New Method To Describe Infant Looking, Child development, 2011, 82(6): 1738-1750.
- [5]. Yahya A.E, Nordin M. J., A New Technique for Iris Localization in Iris Recognition Systems, Information Technology Journal, 2008, 7: 924-929.

- [6]. Mahlouji M, Noruzi A., Human Iris Segmentation for Iris Recognition in Unconstrained Environments, *International Journal of Computer Science Issues*, 2012, 9(1).
- [7]. Soliman N. F, Mohamed E, Magdi F, Abd El-Samie F. E, AbdElnaby M., Efficient Iris Localization And Recognition, *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2017,140: 469-475.
- [8]. Wood E, Bulling A., Eyetab: Model-Based Gaze Estimation On Unmodified Tablet Computers, *Eye Tracking Research and Applications Symposium (ETRA)*, 2014, Florida, USA.
- [9]. Fridman L, Langhans P, Lee J, Reimer B., Driver Gaze Region Estimation without Use of Eye Movement, *IEEE Intelligent Systems*, 2016, 31(3): 49-56.
- [10]. Shin Y. G, Choi K. A, Kim S. T, Yoo C. H, Ko S. J., A Novel 2-D Mapping-Based Remote Eye Gaze Tracking Method Using Two IR Light Sources, *IEEE 2015 International Conference on Consumer Electronics*, 2015, Las Vegas, USA.
- [11]. Boumbarov O, Panev S, Sokolov S, Kanchev V., IR Based Pupil Tracking Using Optimized Particle Filter, *IEEE 2009 International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*, 2009, Rende, Italy.
- [12]. Timm F, Barth E., Accurate Eye Centre Localisation By Means of Gradients, *International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, 2011, Algarve, Portugal.
- [13]. Valenti R, Gevers T., Accurate Eye Center Location and Tracking Using Isophote Curvature, *26th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2008, Anchorage, USA.
- [14]. Garg S, Tripathi A, Cutrell E., Accurate Eye Center Localization Using Snakuscul, *IEEE 2016 Winter Conference on Applications of Computer Vision*, 2016, New York, USA.
- [15]. Cai H, Liu B, Zhang J, Chen S, Liu H., Visual Focus of Attention Estimation Using Eye Center Localization, *IEEE Systems Journal*, 2017,11(3): 1320-1325.
- [16]. Toennies K, Behrens F, Aurnhammer M., Feasibility of Hough-Transform-Based Iris Localization for Real-Time-Application, *Object Recognition Supported By User Interaction For Service Robots*, 2002, 16(2):1053–1056.
- [17]. George A, Routray A., Fast and Accurate Algorithm for Eye Localization for Gaze Tracking in Low Resolution Images, *IET Computer Vision*, 2016,10(7): 660-669.
- [18]. Xia Y, Lou J, Dong J, Li G, Yu H., SDM-based Means of Gradient for Eye Center Localization, *4th Intl Conf on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress*, 2018, Athens, Greece.
- [19]. Daugman J., How Iris Recognition Works, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* , 2009, 4(1): 21-30.
- [20]. Viola P, Jones M., Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features, *IEEE 2001 Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2001, Hawaii, USA.
- [21]. Özuysal M., Artırılmış Gerçeklik İçin BRIEF Betimleyicileri Ve Yerelliğe Duyarlı Karma Yöntemi İle Nesne Arama, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2017, 23(5): 588-596.
- [22]. Bayrakdar S, Akgün D, Yücedağ İ., Video Dosyaları Üzerinde Yüz İfade Analizi İçin Hızlandırılmış Bir Yaklaşım, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*,2017, 23(5): 602-613.
- [23]. Cristinacce D, Cootes T, Scott I., A Multi-Stage Approach to Facial Feature Detection, *15th British Machine Vision Conference*, 2004, Londra, England.
- [24]. BioID Company, The BioID Face Database, <https://www.bioid.com/facedb>(14.10.2021).
- [25]. Soelistio Y. E, Postma E, Maes A., Circle-based Eye Center Localization (CECL), *14th IAPR International Conference on Machine Vision Applications (MVA)*, 2015, Tokyo, Japan.
- [26]. Chen S, Liu C., Clustering-Based Discriminant Analysis for Eye Detection, *IEEE Transactions on Image Processing*, 2014, 23(4):1629-1638.