



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

*GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ KULLANILARAK ANİZOKORİ
HASTALIĞININ TEŞHİSİ*

Nerma COROVIC

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Emel ARSLAN

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı


Bilgisayar Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 18.06.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Bilgisayar Mühendisliğı Anabilim Dalı, Bilgisayar Mühendisliğı Tezli Yüksek Lisans Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ


Dr.Öğr.Üyesi Emel Arslan
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi


Doç. Dr. Zeynep Orman
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi


Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Ali Aksoy Tüysüz
Maltepe Üniversitesi
Mühendislik ve Doęa Bilimleri Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bana yol gösteren, bilgisini, yardımlarını ve desteğini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Emel ARSLAN'a çok teşekkür ederim.

Hayatımın her evresinde olduğu gibi yüksek lisans çalışmam sürecinde de maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, beni daima sevgiyle destekleyen hayatımın en kıymetlileri olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Sarsılmaz destekleri için dostlarıma ve ruh kardeşlerime teşekkür ederim.

Haziran 2019

Nerma COROVIC

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. BİYOMETRİK SİSTEMLER.....	3
2.2. BİYOMETRİK SİSTEM ÇEŞİTLERİ	4
2.3. BİYOMETRİNİN ÖZELLİKLERİ	5
2.4. İRİS VE YÜZ BİYOMETRİLERİ	8
2.4.1. İris Biyometrisi	8
2.4.2. Yüz Biyometrisi.....	9
2.5. BİYOMETRİK SİSTEMLERİN KULLANIM ALANLARI.....	11
2.6. İNSAN GÖZÜ DIŞ ANATOMİSİ	12
2.7. GÖZ BEBEĞİ BOYUTUNUN DEĞİŞMESİ VE ANİZOKORİ.....	13
2.8. PUPİLLOMETRİ - ÖLÇÜM UYGULAMASI	16
2.9. İRİS VE GÖZ BEBEĞİTESPİTİİLE İLGİLİ LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR	17
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	19
3.1. YÜZ TANIMA	19
3.2. VIOLA-JONES YÖNTEMİ	20
3.2.1. İntegral İmge.....	21
3.2.2. Haar Benzeri Öznitelikler	24
3.2.3. Adaptive Boosting	26
3.2.4. Basamaklı Sınıflandırıcı	26
3.3. GÖRÜNTÜ İŞLEME.....	27

3.3.1.	Histogram ve Eşikleme.....	28
3.3.2.	Medyan (Ortanca) Filtreleme	29
3.3.3.	Morfolojik Operasyonlar	29
3.3.4.	Kenar Belirleme.....	31
4.	BULGULAR.....	34
4.1.	YÜZ VE GÖZ BÖLGESİ TESPİTİ.....	34
4.1.1.	RGB Görüntüsünün Gri Görüntüye Dönüştürülmesi	36
4.1.2.	Kullanılan Veritabanı	37
4.1.3.	Yüz ve Göz Çifti Algılama Yöntemi	38
4.2.	GÖZ BEBEĞİ TESPİTİ	40
4.2.1.	Göz Bebeği Tespiti – Birinci Yöntem	40
4.2.1.1.	<i>Medyan (Ortanca) Filterleme</i>	<i>41</i>
4.2.1.2.	<i>Görüntü Eşikleme.....</i>	<i>43</i>
4.2.1.3.	<i>Morfolojik Operasyonlar.....</i>	<i>44</i>
4.2.1.4.	<i>Kenar Algılama</i>	<i>44</i>
4.2.1.5.	<i>Sonuç</i>	<i>45</i>
4.2.2.	Göz Bebeği Tespiti – İkinci Yöntem.....	48
4.2.2.1.	<i>Histogram ve Görüntü İkilemi.....</i>	<i>48</i>
4.2.2.2.	<i>Bağlantılı Bileşen Etiketleme ve Göz Bebeği Ölçümü.....</i>	<i>50</i>
4.2.2.3.	<i>Sendroid-Yarıçapı Hesaplama (Göz Bebeği Konturunu Görselleştirmek).....</i>	<i>53</i>
4.3.	ANİZOKORİ DURUMUNUN TEŞHİSİİÇİNGRAFİKSEL KULLANICI ARAYÜZÜ.....	56
4.4.	ÖNERİLEN ALGORITMA PERFORMANS ÖLÇÜMÜ	59
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	65
	KAYNAKLAR.....	66
	ÖZGEÇMİŞ	70

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Biyometrinin çeşitleri - Fizyolojik özellikleri	5
Şekil 2.2: Biyometrinin çeşitleri - Davranışsal özellikleri	5
Şekil 2.3: Biometrik Teknolojilerin Karşılaştırılması.....	6
Şekil 2.4: Gözün dış anatomisi.....	12
Şekil 2.5: (İzokori) Normal boyutlu göz bebekleri - Üst; (Anizokori) Göz bebeği normal göz bebeğine göre daha büyük – Orta; (Anizokori) Göz bebeği normal göz bebeğine göre daha küçük – Alt.	14
Şekil 2.6: Horner sendromu	15
Şekil 2.7: Kranial sinir felçi	15
Şekil 2.8: Psikoloji - Göz bebeği yanıtı, çocuklarda depresyon riskini tahmin eder	16
Şekil 2.9: HCI - Bir zihinsel daktilo uygulamak için pupillometri kullanılabilir.	16
Şekil 2.10: Gıda endüstrisi - Balık tazeliği tahmini	17
Şekil 3.1: Viola-Jones akış şeması	21
Şekil 3.2: Yüz için integral dönüşüm.....	22
Şekil 3.3: İntegral imge oluşturma. Gölge bölge, imgenin pozisyonuna (x,y) kadar olan piksellerin toplamını temsil eder. 5×5 imge ve onun integral imaj gösterimi.....	22
Şekil 3.4: Özellik Hesaplaması	23
Şekil 3.5: SAT'ın Hesaplanması.....	23
Şekil 3.6: HBÖ (a) İki-dikdörtgen özellikler, (b) Üç-dikdörtgen özellikler (d) Dört-dikdörtgen özellikler.....	24
Şekil 3.7: Dikdörtgen özellikleri ve değer hesaplamaları	25
Şekil 3.8: HBÖ kullanımı örneği	26
Şekil 3.9: Basamaklı sınıflandırıcı işlem yapısı	27

Şekil 3.10: Histogram: (a) koyu görüntü, (b) açık (parlak) görüntü, (c) düşük kontrast (zıtlık) görüntü ve (d) yüksek kontrast görüntü.....	28
Şekil 4.1: Yüz ve göz bölgeleri tespiti akış diyagramı.....	34
Şekil 4.2: Yüz ve göz çifti algılama adımları.....	35
Şekil 4.3: Giriş görüntüsünden gri tonlamalı görüntüye dönüş	36
Şekil 4.4: Giriş verileri (Veritabanından alınan Anizokori olmayan durum örnekleri).....	37
Şekil 4.5: Giriş verileri (Anizokorili vaka için İnternette alınmış örnekler).....	37
Şekil 4.6: Viola-Jones algoritması kullanılarak yüz tespiti örnekleri	38
Şekil 4.7: Viola-Jones algoritması kullanılarak tespit edilen göz çifti örnekleri	39
Şekil 4.8: Göz bebeği algılama diyagramı (Birinci yöntem)	40
Şekil 4.9: Medyan filtrelemeden önce ve sonra kenar belirleme	41
Şekil 4.10: Medyan filtreleme: Kirpiklerin göz bebeği tespiti üzerindeki etkisi, medyan filtreleme kullanmadan önce (a) ve sonra (b)	41
Şekil 4.11: Medyan filtreleme: Medyan filtreleme uygulamadan önce (a), ve 3x3(b), 7x7(c), 15x15(ç), 31x31(d) medyan filtreleme uygulamadan sonra göz çifti bölgesi.....	42
Şekil 4.12: Görüntü eşikleme: eşiklemeden önceki görüntü (a) ve orjinal görüntü üzerine uygulanan farklı değerlerle eşiklemeden sonraki görüntü.....	43
Şekil 4.13: Morfolojik operasyonlar: morfolojik operasyonlar uygulamadan önceki görüntü (a), ikili görüntü (b), yayma işlemi (c), aşındırma işlemi (ç), kapama işlemi (d), açma işlemi (e).....	44
Şekil 4.14: Farklı kenar dedektörleri kullanarak kenar algılama: kenar algılama yapmadan önceki görüntü (a), ikili görüntü (b), Canny operatörü (c), Robert operatörü (ç), Sobel operatörü (d), Prewitt operatörü (e)	45
Şekil 4.15: Yüz ve göz bölgesi tespiti (Anizokori olmayan durum).....	46
Şekil 4.16: Göz bebeği tespit adımları (Anizokori olmayan durum)	46
Şekil 4.17: Yüz ve göz bölgesi tespiti (Anizokorili durum)	47
Şekil 4.18: Göz bebeği tespit adımları (Anizokorili durum).....	47
Şekil 4.19: Göz bebeği algılama diyagramı (İkinci yöntem)	48
Şekil 4.20: Histogram üretimi ve eşik belirlenmesi için kullanılan Matlab kodu.....	49
Şekil 4.21: Gri tonlamalı göz görüntü (a) ve aynı görüntü histogramı (b)	49

Şekil 4.22: Gri tonlamalı göz görüntü (a), ikili görüntü (b) ve etiketli görüntü (c).....	50
Şekil 4.23: Bağlantılı Bileşen Etiketleme ve Göz bebeği ölçümü için kullanılan Matlab kodu.....	51
Şekil 4.24: Sendroid-Yarıçapı Hesaplama (Göz bebeği konturunu görselleştirmek) için Matlab kodu.....	54
Şekil 4.25: Doğru göz bebeği tespitinin bazı örnekleri.....	55
Şekil 4.26: Yanlış göz bebeği tespitinin bazı örnekleri.....	55
Şekil 4.27: Göz bebeği tespiti adımlarının sonuçları: gri tonlamalı görüntü (a), binarizasyondan sonra ikili görüntü (b), bağlantılı bileşen etiketlemeden sonra etiketli görüntü (c) ve sendroid-yarıçapı hesaplama sonrası göz bebeği konturu ile görüntü.....	55
Şekil 4.28: Geliştirilmiş grafiksel kullanıcı arayüzünün başlangıç giriş ekranı	57
Şekil 4.29: Giriş görüntüsü, yüz ve göz çifti algılaması için sonucun gösterildiği GUI penceresi	57
Şekil 4.30: Sonuç ekranı	58
Şekil 4.31: Verilen görüntüdeki Anizokori varlığının belirlenmesi için Matlab kodu	58
Şekil 4.32: Anizokori durumu olduğunda (a) ve olmadığında (b) sonuç görüntüleri.....	59
Şekil 4.33: Farklı yöntemlerle sağ ve sol göz bebeği tespitinin sonuçları: giriş görüntüsü ile yüz ve göz çifti algılaması (a), önerilen ikinci yöntem (b), medyan filtre kullanımı ile önerilen yöntem (c).	62
Şekil 4.34: Farklı yöntemlerle sağ ve sol göz bebeği tespitinin sonuçları (medyan filtre ve farklı morfoloji işlemi kullanımı ile önerilen yöntemler): yayma işlemi (a), aşındırma işlemi (b), açma işlemi (c) ve kapama işlemi (d)	63

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Biyometrik Teknolojilerin Karşılaştırılması (1=Yüksek, 0 5=Orta ve 0=Düşük).....	7
Tablo 2.2: İris biyometrik parametreleri.....	10
Tablo 2.3: Yüz biyometrik parametreleri	11
Tablo 2.4: Biyometrik sistemlerin uygulama alanlarından bazıları	12
Tablo 2.5: Göz bebeği algılama algoritmaları için sınıflandırma.....	18
Tablo 3.1: Kenar belirleme operatörleri için x ve y yönündeki maskeler	32
Tablo 4.1: Kullanılan yöntemlerin avantaj ve dezavantajları.....	45
Tablo 4.2: Sol ve sağ göz bebeği alan büyüklüğü (Anizokorili durum).....	52
Tablo 4.3: Sol ve sağ göz bebeği alan büyüklüğü (Anizokori olmayan durum)	52
Tablo 4.4: Kardeşler Görüntü Veritabanından (Siblings Image Database) rastgele alınan giriş görüntüleri için yüz bölgesi, göz bölgesi ve göz bebeği tespit oranları (Anizokori olmayan durum).....	59
Tablo 4.5: İnternette indirilen görüntüler için (Anizokorili durum) yüz bölgesi, göz bölgesi ve göz bebeği tespit oranları.	60
Tablo 4.6: İhtimal tablosu ve performans ölçümleri (Gerçek Pozitif (TP), Yanlış Pozitif (FP), Yanlış Negatif (FN) ve Gerçek Negatif (TN) tahminlerin sayısı).....	60
Tablo 4.7: Hesaplama denklemleri ile kullanılan performans ölçümleri ve onların sonuç değerleri.....	61
Tablo 4.8: Farklı yöntemlerle sol ve sağ göz bebeği tespitinin sonuçları.....	64

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
HMI	: Human Machine Interface (İnsan Makine Arayüzü)
RGB	: Red, Green Blue (Kırmızı Yeşil Mavi)
ATP	: Adie'nin Tonik Pupillası
VJ	: Viola-Jones
SAT	: Summed Area Table (Toplanmış-bölge tablosu)
HBÖ	: Haar Benzeri Özenitelikler (Haar Like Feature)
AdaBoost	: Adaptive Boosting
2D	: Two-dimensional space (İki Boyutlu)
AI	: Artificial Intelligence (Yapay Zeka)
GUI	: Graphic User Interface (Grafik Kullanıcı Arayüzü)
TP	: True Positive (Gerçek Olumlu)
TN	: True Negative (Gerçek Olumsuz)
FN	: False Negative (Yanlış Olumsuz)
FP	: False Positive (Yanlış Olumlu)
PPV	: Olumlu Kestirim Değeri (Positive Predictive Value)
NPV	: Olumsuz Kestirim Değeri (Negative Predictive Value)
FPR	: Yanlış Olumlu Oranı (False Positive Rate)
FNR	: Yanlış Olumsuz Oranı (False Negative Rate)

ÖZET

GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ KULLANILARAK ANİZOKORİ HASTALIĞININ TEŞHİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nerma COROVIC

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Emel ARSLAN

Göz bebeğindeki anomaliler bir çok hastalığın belirtisi olabilir. Bu hastalıklardan biri olan Anizokori, iki göz bebeği büyüklüğünde bir eşitsizlik olma durumu ile karakterize edilmektedir. Anizokori normal popülasyonun %20'sinde görülen yaygın bir durumdur. Bu tez çalışmasında, sayısal görüntü üzerinde MATLAB hesaplama ortamı kullanılarak uygulanan görüntü işleme teknikleri ile her iki göz bebeğinin tespiti ve büyüklük karşılaştırması gerçekleştirilmekte ve elde edilen sonuçlar ışığında Anizokori durumu olup olmadığının belirlenmesi için bir algoritma önerilmektedir. Söz konusu çalışmada giriş verisi ve test amaçlı kullanılmak üzere görüntüler Siblings Image Database ve İnternet ortamından temin edilmiştir.

Bu yüksek lisans tezi sayısal görüntü işleme problemiyle ağırlıklı olarak belirlenen ilgi nesnelerinin lokalizasyonunu kapsamaktadır. Sayısal bir görüntüdeki yüz ve göz çifti lokalizasyonu, göz bebeği tespiti ve ölçümü yapılarak belirlenmektedir. Bu tez çalışması, görüntü işleme algoritması kullanılarak, göz bebeğinin tespiti ve ölçümünün tıp ve psikoloji tanılarında nasıl kullanılabileceğini anlamaya yönelik fikir ortaya koymuş bir çalışmadır.

Haziran 2019, 85 sayfa.

Anahtar kelimeler: Görüntü İşleme, Anizokori, Teşhis, Gözbebeği Tespiti, Göz bebeği Ölçümü.



SUMMARY

DIAGNOSIS OF ANISOCORIA USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES

M.Sc. THESIS

Nerma COROVIC

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Computer Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr.Emel ARSLAN

Human pupil abnormalities can be an indicator of many diseases. Anisocoria is a common condition that has been estimated at 20% of the normal population. It is specified by inequality in the size of the pupils of the eyes. This master thesis proposes an anisocoria determining algorithm from a digital image by using the MATLAB computing environment that involves the usage of MATLAB Computer Vision and image processing. The image used as input data is an image that has been fetched from Siblings Image Database. An input image where anisocoria is present has been downloaded from the Internet.

This master thesis deals with the problem of digital image processing, mainly with localization of determined interest objects. As application area, the face and eye-pair localization in a digital image has been chosen with continuing in pupil detection and measurement. The thesis suggests an idea of understanding how pupil detection and measurement can be used in medical and psychology diagnostics by using a simple algorithm.

June 2019, 85 pages.

Keywords: Image Processing, Anisocoria, Diagnosis, Pupil Detection, Pupil Measurement.



1. GİRİŞ

Göz bebeği tespiti ve lokalizasyonu bilgisayar görüsü alanında önemli bir araştırma konusu olup fizyoloji, yapay zeka, örüntü tanıma, görüntü analizi ve görüntü işleme gibi birçok konuyla yakından ilgilidir. Yukarıda belirtilen alanlara ek olarak, göz parametrelerinin incelenmesi, insan-makine etkileşimi, pazarlama araştırmaları, reklam algısı ve yardımcı teknolojiler gibi disiplinlerde de zaman göz bebeği tespitine gerek duyulmaktadır. Göz ve göz bebeğinin tespiti, tıp alanında da oldukça geniş uygulama alanına sahiptir.

Literatürde göz bebeği tespiti ve ölçümü ile ilgili problemleri çözmek için farklı yöntem ve algoritmaların kullanıldığı araştırmalar mevcuttur. Bu tez çalışmasının amacı, algoritma tasarımı ve problem çözme becerilerinin, Anizokori'nin teşhisi dahil olmak üzere, göz bebeği tespitini ve ölçümünü farklı görüntü işleme yöntemleri kullanarak gerçekleştirmek, böylece bilgisayar mühendisliği ve tıbbi biyolojik bilimler alanında ortak bir çalışma ortaya koyabilmektir.

Bu tez çalışmasında, Anizokori durumunun saptanması için etkili bir yöntem önerilmektedir. Anizokori, kişinin iki göz bebeğinin boyutunun farklı olması ile karakterize edilen bir durumdur. Nüfusun %20'sinde gözlemlenen bu durum, tamamen zararsız olabileceği gibi daha ciddi tıbbi sorunların bir belirtisi de olabilir. Anizokori'nin bazı nedenleri Horner sendromu ve Adie'nin tonik pupillası (ATP) durumudur.

Sayısal görüntü üzerinde MATLAB hesaplama ortamı kullanılarak uygulanan görüntü işleme teknikleri ile her iki göz bebeğinin tespiti ve büyüklük karşılaştırması gerçekleştirilmekte ve elde edilen sonuçlar ışığında Anizokori durumu olup olmadığının belirlenmesi için bir algoritma önerilmektedir.

Göz bebeğinin tespit edilmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır, ancak bu çalışmaların çoğu kontrollü aydınlatma koşullarında çekilen görüntülere odaklanmıştır. Bu tez çalışmasında farklı koşullar altında çekilmiş, ışık, çözünürlük gibi özelliklerin standart olmadığı sayısal görüntüler üzerinde çalışılmıştır.

Böylece herhangi bir ortamda ve herhangi bir cihaz ile çekilmiş fotoğraflar kullanılarak Anizokori durumunun tespit edilebilirlik oranı incelenebilmiştir. Böylece uygulamanın kullanıcılar tarafından kolayca kullanılabilir olması durumu da kontrol edilmiştir.

Söz konusu çalışmada giriş verisi ve test amaçlı kullanılmak üzere görüntüler Siblings Image Database ve İnternet ortamından temin edilmiştir.

Bu yüksek lisans tezi yapısal olarak aşağıdaki gibi sunulabilir:

- Bölüm 1: Giriş, tezin amacı ve kapsamı.
- Bölüm 2: Biyometrik sistemler hakkında, iris ve yüz biyometri, dış göz anatomisi, iki göz bebeği boyutundaki farklılık durumu ve Anizokori hakkında bilgiler verilmiştir.
Bu bölümde literatürde iris ve göz bebeği hakkında yapılmış diğer çalışmalar ve bu çalışmalarda kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması yapılmış olup, pupillometri hakkında da bilgi verilmiştir.
- Bölüm 3: Bu tez çalışmasında kullanılan teknik ve algoritmalar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Yüz, göz ve göz bebeği tespitinin yöntemleri ve kullanılan görüntü işleme yöntemleri kuramsal olarak anlatılmıştır.
- Bölüm 4: İşlemin tüm sonuçları detaylı olarak açıklanmıştır. Her işlem için elde edilen sonuçlar bu bölümde sunulmaktadır. Ayrıca önerilen sistemin akış diyagramı üzerinden yorumlanması da bu bölüm altında verilmiştir. Matlab'da programlanan ve geliştirilen Grafik Kullanıcı Arayüzü'nün tanıtılması ve sonuçlara dayanan tartışmalar da mevcuttur.
- Bölüm 5: Tezde elde edilen sonuçların özetlendiği ve tartışıldığı bölümdür.

2. GENEL KISIMLAR

2.1.BİYOMETRİK SİSTEMLER

Biyometrik (Biometrics) biyolojik veriyi ölçme ve istatistiksel olarak analiz etme bilimidir. Günümüzde bireyin kişisel bir karakteristiği (parmak izi, yüz şekli, göz retinası, avuç içi vb. gibi) ya da davranışını (imza, konuşma, yürüş) analiz ederek kimliğini doğrulama işlemini ifade etmede “Biyometrik” terimini sıklıkla kullanırız. Kökeni Yunanca’ya dayanan biyometrik sözcüğü, Yunanca “*Bio*” ve “*Metron*” sözcüklerinden oluşmaktadır. Bio yaşam, metron ise ölçüm anlamına gelmektedir. Şifrelere, gizli sorulara ve diğer erişim korumalı teknolojilere kıyasla üstün bir teknoloji talebi, biyometrinin artan araştırma ve geliştirilmesine yol açmıştır. Her geçen yıl giderek artan sayıda kişinin gerek ülke içinde gerekse ülkeler arasında seyahat etmesi, İnternetin kullanıcılarının kişisel bilgilerini içeren geniş kullanım alanları oluşması gibi gelişmeler yeni güvenlik önlemleri ihtiyaçları doğurmuştur. Buna bir çözüm olarak otomatik biyometrik sistemler yaygın olarak hayatımıza girmiştir.

Biyometrik sistemler, insanların biyometrik özelliklerine dayalı olarak tespit edebilen bilgisayar destekli kimlik tanıma sistemleridir. Genel bir biyometrik sistem, dört ana modüle sahiptir: sensör modülü, kalite değerlendirmesi ve özellik çıkarım modülü, eşleştirme ve karar verme modülü ve bir veritabanı modülü. Ross, Nandakumar ve Jain tarafından tanımlanan bu modüllerin her biri aşağıdaki gibi açıklanmaktadır (Ross, Nandakumar, & Jain, 2006).

1. Sensör Modülü:

Bir kişinin ham biyometrik verilerinin elde edilebilmesi için uygun bir biyometrik okuyucu veya tarayıcı gerekir. Çoğu biyometrik yöntem görüntü olarak elde edildiğinden bu aşamada devreye sensör modülü girmektedir. Yakalanan ham verilerin kalitesi, kullanılan sensör teknolojisinin özelliklerinden de etkilenir bu sebeple insan makina arayüzü (HMI) olarak tanımlanan modül biyometrik sistemler için kritik bir öneme sahiptir.

2. Kalite Değerlendirmesi ve Özellik Çıkarım Modülü:

İlk adım olarak sensör tarafından biyometrik veriler aldıktan sonra bu verilerin ileriki aşamalarda kullanım için uygun olup olmadığına karar verilmelidir. Genellikle, elde edilen veriler, kalitesini arttırmak için bir sinyal iyileştirme algoritmasına tabi tutulur. Bununla birlikte, verilerin kalitesinin zayıf olduğu bazı durumlarda kullanıcıdan biyometrik verileri tekrar yakalaması istenir (Ross, Nandakumar, & Jain, 2006). Biyometrik veriler daha sonra işlenir ve altta yatan özelliği temsil etmek üzere belirgin ayırt edici özellikler kümesi çıkarılır. Bu özellikler veritabanında depolanır ve yaygın olarak şablonlanır (Gavrilova & Monwar, 2011).

3. Eşleştirme ve karar verme modülü:

Bu modülde bireye ait ham veriden alınan biyometrik bilgi seti, veritabanındaki bilgi ile karşılaştırılarak eşleşme skoru elde edilir. Bu skor ışığında kişinin verilerinin hangi gruba en yakın olduğu kararı verilir.

4. Veritabanı modülü:

Veritabanı, biyometrik bilgilerin saklandığı depo olarak işlev görür. Kullanıcıya ait kişisel bilgilerle (örneğin; isim, adres) beraber ham veriden elde edilmiş biyometrik bilgiler veritabanında bulunur. Bu bilgiler oluşturulurken bir bireye ait biyometrik bilgiler birden fazla kez alınarak birlikte tutulabilir.

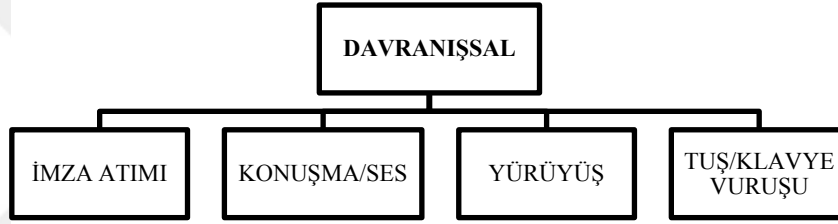
2.2.BİYOMETRİK SİSTEM ÇEŞİTLERİ

Bir bireyin ölçülebilen fizyolojik ya da davranışsal özelliklerine biyometrik (biometric) özellikler denilmektedir. Biyometrik, kişileri fizyolojik ve davranışsal özelliklerine bağlı olarak tanımlayan bir bilim dalıdır.

Fiziksel özelliklerden yararlanan sistemler iris/retina tanıma, parmak izi tanıma, el geometrisi analizi gibi yöntemleri kullanır. Davranışlara bakan sistemler ise ses analizi, imza tanıma gibi yöntemleri kullanırlar. Fiziksel özellikler genelde hep sabit kalırlar ve kolayca değişmezler.



Şekil 2.1: Biyometrinin çeşitleri - Fizyolojik özellikleri



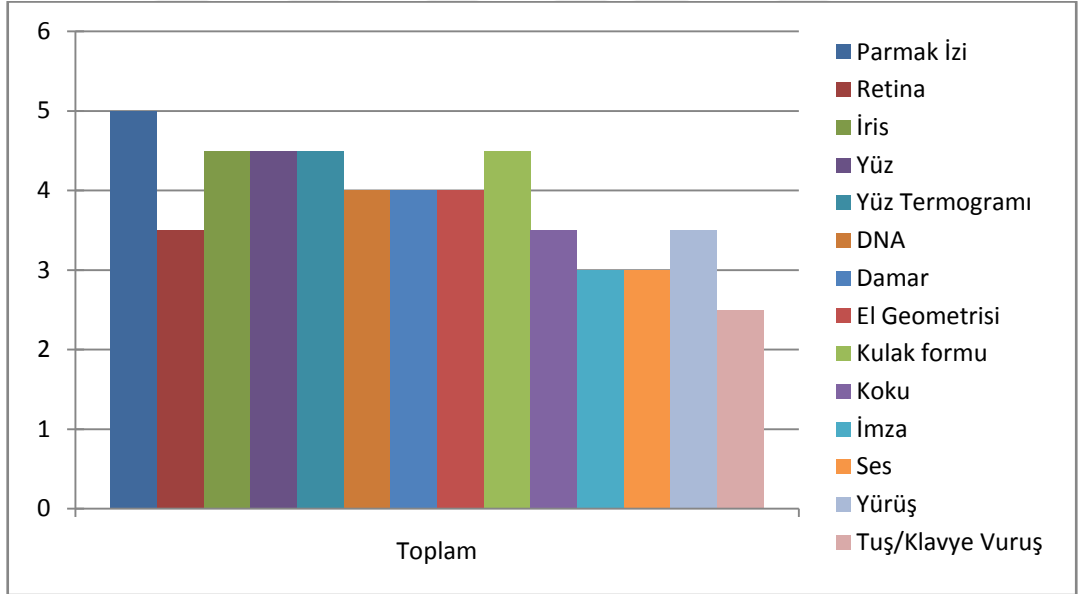
Şekil 2.2: Biyometrinin çeşitleri - Davranışsal özellikleri

2.3.BİYOMETRİNİN ÖZELLİKLERİ

Çeşitli uygulamalarda pek çok biyometrik karakter kullanılmıştır. Yüz, parmak izi, iris, kulak gibi fiziksel özelliklerin yanı sıra, ses gibi davranışsal özellikler de biyometrik karakter olarak kullanılmaktadır. Fiziksel ya da davranışsal bir karakterin biyometrik sistemlerde kullanılabilmesi için çeşitli özelliklere sahip olması gerekir. Biyometrik karakterlerin özelliklerine göre yapılan bir karşılaştırmaya **Tablo 2.1**'de yer verilmiştir (Jain, Bolle, & Pankanti, 1999). Bu özellikler 7 madde olarak sıralanmıştır:

1. **Evrensellik** (Universality): Uygulamaya dahil her bireyin belirlenen karaktere sahip olması gerekir.
2. **Benzersizlik / Eşsizlik** (Distinctiveness): Populasyondaki bireyler belirlenen özellik açısından yeterli düzeyde farklılık sergilemelidir.

3. **Kalıcılık / Süreklilik** (Permanence): Bireyde zaman içerisinde belirlenen karakter açısından bir değişim olmaması, karakterin kaybolmaması (örneğin; yaşlanmaya bağlı olarak) gerekir.
4. **Ölçülebilirlik / Elde Edilebilirlik** (Collectability): Karakterler uygun biyometrik araçlar yardımıyla bireyden elde edilerek sayısallaştırılabilir.
5. **Performans** (Performance): Tanıma kesinliğinin ve bu kesinlikte sonuca ulaşmak için gerekli kaynağın sistemin kısıtlamaları ile karşılaştırılması sonucunda elde edilen değerdir.
6. **Kabul edilebilirlik** (Acceptability): Uygulamayı kullanacak hedef popülasyondaki bireyler belirlenen fiziksel ya da davranışsal karakterlerini sisteme tanıtmayı kabul etmelidir.
7. **Aldatılabilirlik** (Circumvention): Belirlenen karakter sistemi yanıltmak amaçlı kolaylıkla taklit edilememeli ya da değiştirilememeli.



Şekil 2.3: Biyometrik Teknolojilerin Karşılaştırılması

Tablo 2.1: Biyometrik Teknolojilerin Karşılaştırılması (1=Yüksek, 0.5=Orta ve 0=Düşük)

	Evrensellik	Benzersizlik Eşsizlik	Süreklilik	Ölçülebilirlik Elde Edilebilirlik	Performans	Kabul Edilebilirlik	Aldatılabilirlik	Toplam
Parmak İzi	0.5	1	1	0.5	1	0.5	0.5	5.0
Retina	1	1	0.5	0	1	0	0	3.5
İris	1	1	1	0.5	1	0	0	4.5
Yüz	1	0	0.5	1	0	1	1	4.5
Yüz Termogramı	1	1	0	1	0.5	1	0	4.5
DNA	1	1	1	0	1	0	0	4.0
Damar	1	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0	4.0
El Geometrisi	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	4.0
Kulak formu	0.5	0.5	1	0.5	0.5	1	0.5	4.5
Koku	1	1	1	0	0	0.5	0	3.5
İmza	0	0	0	1	0	1	1	3.0
Ses	0.5	0	0	0.5	0	1	1	3.0
Yürüyüş	0.5	0.5	0	1	0	1	0.5	3.5
Tuş/Klavye Vuruş	0	1	0	0.5	0	0.5	0.5	2.5

2.4.İRİS VE YÜZ BİYOMETRİLERİ

Bu bölüm, iris ve yüz biyometrilerini literatürde bulunan doğal karakteristikleri ve teknik performans açısından incelemektedir. Bunların bir özeti **Tablo 2.2**'de (İris biyometrik parametreleri) ve **Tablo 2.3**'te (Yüz biyometrik parametreleri) verilmiştir.

2.4.1. İris Biyometrisi

1997'den beri iris tanımlama teknikleri kullanılmaktadır. İris, gözün dokulu renkli kısmıdır. Her bireyin irisi birbirinden farklıdır, benzerliklere sahip olsa da birebir aynı değildir. İnsan iris gelişimini etkileyen, tek yumurta ikizlerinin bile ayırt edilebildiği embriyonik faktörler vardır (Birgale & Kokare, 2009). İris'teki eşsiz desenler, aynı kişinin sol ve sağ gözü arasında bile farklılık gösteren ve kişinin ömrü boyunca sabit olan öznenin DNA'sı tarafından belirlenir (Htwe & Htay, 2011). İrisin, bu nedenle kendine özgü bir özelliğe sahip olduğu görülmektedir.

Kararlılık performansı açısından değerlendirildiğinde, iris modelleri sıklıkla biyometrinin en kararlı ve güvenilir verilerini sunmaktadır. En önemli veriler için parmak izi, yüz, retina, el geometrisi, ses veya imza modelleri arasında en doğru ve güvenilir biyometrik tanımlama mekanizması olarak kabul edilmektedir. Hata oranları yüz özellikleri, parmak izleri, avuç içi baskıları, retina, el yazısı imzası, DNA ve yürüyüş ile karşılaştırıldığında çok daha düşüktür (Manivannan & Padma, 2011) (Htwe & Htay, 2011).

İrisin kendisinin segmentasyonu da güvenilir olmalıdır, aksi takdirde irisin bir tanımlama mekanizması olarak kullanımındaki performansı üzerinde olumsuz etkisi olacaktır. Çoğu iris tanıma sistemi, görüntüleme aygıtından iki metreden daha kısa bir mesafede konumlandırılmalı ve üç saniye boyunca hareketsiz kalmalıdır. Budurum biyometrik uygulamalarını kısıtlayacaktır. Farklı bir iris yakalama teknolojisi kullanarak, bir kişinin gözüne kilitlenebilir ve 18 metre uzaktan yüksek kaliteli iris görüntüleri yakalayabilirsiniz. "Dur ve bak" yaklaşımında, kullanıcı gözünü hizalar, böylece iris segmentasyonu bozulmaz ve dairesel bir şekle dönüşür. Kontrolsüz bir ortamda ise iris tanımayı daha da zorlaştıracak eliptik olmayan bir şekil alabilir (Roy & Bhattacharya, 2010).

Doğru tanımlama için aslında iris görüntüsünün sadece bir kısmı gereklidir (Htwe & Htay, 2011).

Eğer iris görüntüleri kontrollü koşullar altında yakalanırsa, o zaman bir görüntü dizisini yakaladıktan sonra en iyisini seçerek yüksek kaliteli iris görüntülerinde edilebilir.

Kullanılmayan görüntüler genellikle odak dışı olan, hareket nedeniyle bulanıklaşan veya iris görüntüsünün yakalanması sırasında göz kırpma nedeniyle göz kapağı veya kirpik nedeniyle oluşan gürültülü görüntülerdir (Roy & Bhattacharya, 2010). Gözbebeği görüntüsü alınırken ortamda göz bebeğinin kasılması veya genişlemesine neden olacak ölçüde çok fazla ya da az ışık olmaması da önemlidir. İris, kişinin gözlük yada renkli lens kullanmasına veya lazer ameliyatı geçirmiş olmasına rağmen sağlıklı olarak yakalanabilir. İris'ten alınan 250'den fazla referans noktası vardır (Chandra, Durand, & Weaver, 2008) (Beynon-Davies, 2007).

İris temassız bir tanıma yöntemidir, aynı zamanda halk tarafından daha kabul edilebilir yüksek güven seviyesine sahiptir.

İrisin evrensellik özelliği ile ilgili olarak, iris tarama teknolojisi çok karanlık ortamda alınmış iris görüntüsü ile iyi çalışmaz (Murray, 2007). Ayrıca iris, bir çocuk yaklaşık iki yaşına gelene kadar stabil olmadığından kalıcılık özelliği açısından olumsuz bir etkiye sahiptir (Jia, Cai, Gui, Hu, Lei, & Wang, 2012).

2.4.2. Yüz Biyometrisi

Yüz tanıma sistemlerinde, göz yuvalarının üst hatları, elmacık kemikleri ve ağız gibi yüzdeki kolayca değişmeyen çeşitli özellikler analiz edilir. Analiz edilmek üzere görüntüden yaklaşık 20 nokta yakalanır. Görüntüler video kameralar ile alındığından yüz biyometrisini kullanan sistemler gözetim amacıyla kullanılabilir (Beynon-Davies, 2007).

Yüz tanıma performans özelliklerine bakıldığında, bazı büyük veritabanları tarafından kullanılmıştır, ancak doğruluk iris veya parmak izi tanıma kadar iyi değildir. Yüz tanımanın, ışık, poz, arka plan ölçeği, gürültü, yüzün saç yada makyaj ile kapatılması ve yüz ifadesinden etkilendiği de unutulmamalıdır. Başarılı olmak için yüz tanıma özdeşliğinin kontrollü koşullar altında yapılması gerektiğine dair kaygılar vardır. Kişi fotoğraf makinesine direkt bakmıyorsa veya gözlük ya da şapka takıyorsa, konum ışığında bir değişiklik varsa, kişiyi tanımlamak zordur. En iyi performansı elde etmek için bu faktörlerin etkisi azaltılmalıdır (Özkaya & Sağiroğlu, 2010).

Yüz tanıma sistemi, bir kişiyi sayısal görüntüden veya video karesinden otomatik olarak tanımlayabilir veya doğrulayabilir. Bunun için, seçilen yüz özellikleri çok sayıda yüz görüntüsünün saklandığı bir veritabanındaki verilerle karşılaştırılır. Yüz tanıma sistemleri genellikle güvenlik amaçlı kullanılırlar.

Yüz biyometrisi, invaziv değildir ve bu nedenle kullanıcılar tarafından kolayca kabul edilir, ancak maliyeti yüksektir. Eller serbest kullanılabilen ve müdahaleci olmayan bir tanımlama yöntemidir. Tanımlama, bir mesafeden gerçekleştirilebildiğinden, kullanıcıların çoğunluğu tarafından büyük ölçüde onaylanmıştır. Sabıka fotoğrafı gibi statik uygulamalarda kullanılabildiği gibi havalimanı gibi dinamik uygulamalarda kullanılabilir.

Tablo 2.2: İris biyometrik parametreleri

Parametre	Gözleme
Evrensellik	İnsanların çoğu iris biyometrisine sahiptir.
Bezersizlik / Eşsizlik	İris dokusu her insan için farklıdır, tek yumurta ikizleri bile eşsiz irislere sahiptir ve hatta bir kişinin sağ ve sol irisleri farklıdır.
Kalıcılık / Süreklilik	İris özellikleri büyüme, aşınma ve yıpranma, yaşlanma gibi etkilerle değişmez.
Ölçülebilirlik / Elde Edilebilirlik	İris özelliği, küçük bir hedef olduğundan 1m'den daha uzaktan ve ışığın yansımaları söz konusu olduğunda yakalanması kolay değildir.
Performans	İris biyometrik performansı çok yüksektir.
Kabul edilebilirlik	Yöntem pahalı ve insanlar göz hasarları korkusu nedeniyle bunu kullanmakta isteksiz olabilirler.
Aldatılabilirlik	İris özelliğini kopyalamak veya çoğaltmak neredeyse imkansızdır.

Tablo 2.3: Yüz biyometrik parametreleri

Parametre	Gözleme
Evrensellik	Tüm insanlar yüz biyometrisine sahiptir.
Bezelsizlik / Eşsizlik	Yüz yapıları ayırt edici değildir. Neredeyse aynı yüz yapısına sahip birçok kişi var.
Kalıcılık /Süreklilik	Yüz yapısı büyüme ve yaşlanma ile değişir.
Ölçülebilirlik / Elde Edilebilirlik	Yüz resmi yakalamak kolaydır.
Performans	Bir yüz biyometrik sisteminin performansı çok da iyi değildir.
Kabul edilebilirlik	Yüz tanıma, yüksek kullanıcı kabulüne ulaşabilir, çünkü insanlar fotoğraflarının çekilmesine aşınadır. Yöntem, kullanıcının bir fotoğrafının çekilmesinden daha fazlasını gerektirmez. Kullanıcı için, sadece kameraya bakmak zorunda olduğu pasif bir prosedürdür.
Aldatılabilirlik	Kolayca kopyalanabilir veya çoğaltılabilir, ancak pahalı düzenlemeler yapılabilir.

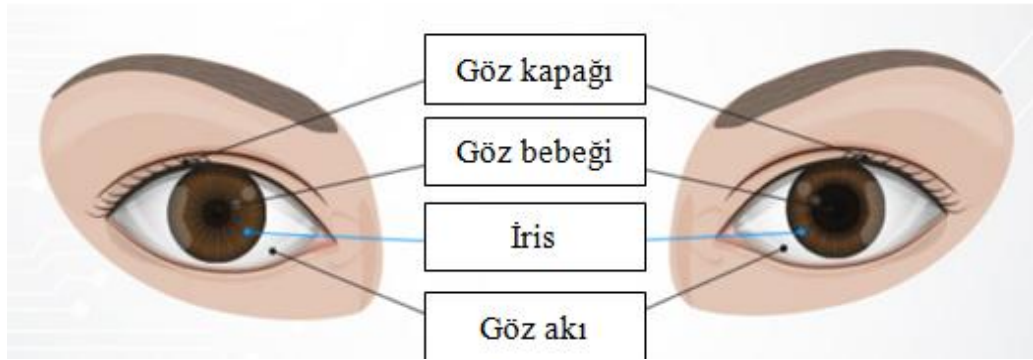
2.5.BİYOMETRİK SİSTEMLERİN KULLANIM ALANLARI

Biyometrik sistemler geniş kullanım alanına sahiptir. Biyometrik sistemlerin uygulama alanları bilgisayar oturum açma işlemleri, bilgisayar güvenliği, kimlik kartları ve pasaportlar, kredi kartı uygulamaları görüntüleme sistemleri, binalara, tesislere ve ofislere erişim güvenliği, sınır kontrol, suçlu tanımlama, erişim kontrolü, elektronik ticaret ve bankacılık, akıllı telefonlarda kullanıcı doğrulama, kalabalık görüntüleme, video izleme ve adli bilişim gibi alanlardır. **Tablo 2.4'**te biyometrik sistemlerin diğer uygulama alanları yer verilmiştir.

Tablo 2.4: Biyometrik sistemlerin uygulama alanlarından bazıları

ADLİ	HÜKÜMET	MESLEKİ / TİCARET
Ceset sorgulama	Nüfus cüzdanı Biyometrik pasaport	Bankamatik İnternet bankacılığı
Suç araştırmaları	Ehliyet / Sürücü belgesi Seçmen kaydı	Erişim kontrolü Bilgisayar açma işleri
Ebeveynlik	Sosyal refah hizmetleri Harcama / Ödeme	Cep telefonu Akıllı kart
Kayıp çocuk tanıma	Sınır geçişi	Elektronik ticaret

2.6.İNSAN GÖZÜ DIŞ ANATOMİSİ

**Şekil 2.4:** Gözün dış anatomisi

İnsan gözü küçük bir organ olmasına rağmen beyinden sonra en kompleks organlarımızdan biridir. İnsan algılamasının yaklaşık yüzde 80'i gözler tarafından sağlanmaktadır. **Şekil 2.4**'te gösterildiği gibi, insan gözü dış anatomisi üç ana parçadan oluşur: iris (renkli kısım), göz bebeği (en iç siyah kısım) ve göz akı (sklera - beyaz bölüm).

İris, gözün ön kısmında saydam katmanın arkasında bulunan ve göze rengini veren damarlı bölgedir. İris, koroid ve retina olarak adlandırılan iki dokudan oluşur. Koroid ön tarafa retina ise arkaya doğru bakar. Bundan dolayı göze rengini veren koroid dokusudur. Koroid ne kadar pigment içerirse gözün rengi o kadar siyaha döner ve ne kadar az pigment içerirse o kadar da açık renge döner (mavi, yeşil gibi). İris 250'den fazla görsel niteliğe sahiptir. Bunlar benekler, daireler, çizgiler gibi belirleyici şekillerdir.

Her insanın gözü eşsizdir, tek yumurta ikizleri birebir aynı iris yapısına sahip değildir. İris, bebek embriyo olarak anne karnındayken oluşur ve insanın ölümüne kadar değişmez.

Göz akı, en dışta bulunan beyaz renkli ve sert kısımdır. Gözü dış etkilerden korur. Gözün ön kısmında inceliş saydamlaşarak kubbemsi bir görünüm alır.

Göz bebeği (Pupilla) iris olarak bilinen gözün renkli kısmının tam merkezinde bulunan dairesel bir deliktir. İrisin rengi farklı etnik kökene göre değişiklik gösterebilmesine rağmen göz bebeğinin rengi evrensel olarak siyahtır.

İris yapısındaki iki küçük kas (sphincter pupillae ve dilator pupillae) yardımı ile göz bebeğinin boyutunu kontrol eder. Göz bebeği kasılarak ve genişleyerek gözün içine girecek ışık miktarını çok kısa bir sürede ayarlar.

2.7.GÖZ BEBEĞİ BOYUTUNUN DEĞİŞMESİ VE ANİZOKORİ

Normal koşullarda göz bebeği çapı ortamın ışık yoğunluğuna göre 2-5 mm arasında değişir. Göz bebeği karanlıkta genişlerken ışık altında küçülmektedir. Işık altında küçüldüğünde 2-4 mm. Olan göz bebeği, karanlıkta ilk başta aynıdır fakat bir kişinin yaşına bağlı olarak yavaş yavaş 3-8 mm'lik maksimum genişliğe ulaşır.

Göz bebekleri ışığa küçülerek reaksiyon verir şekilleri dairesel ve kenarları yuvarlaktır, uyku durumunda göz bebekleri küçüktür. Genel olarak, her iki göz de aynı miktarda ışık alır. Gözlerden birine düşen ışık miktarı değiştirildiğinde, sadece bir gözün göz bebeğinde değişiklik olmaz, diğeri göz bebeği de ona eşlik eder.

Myozis göz bebeği çapının normalden küçük olması durumudur (göz bebeklerinin çapları < 2 mm). Tam tersi durum ise, **Midriyazis**, göz bebeği çapının büyümesidir (göz bebeğilerin çapları > 6 mm). **İzokori**, her iki göz bebeğinin eşit olması durumudur. Her iki göz bebeği çapı arasında 0,5 mm'den fazla fark bulunması durumuna da **Anizokori** adı verilir.



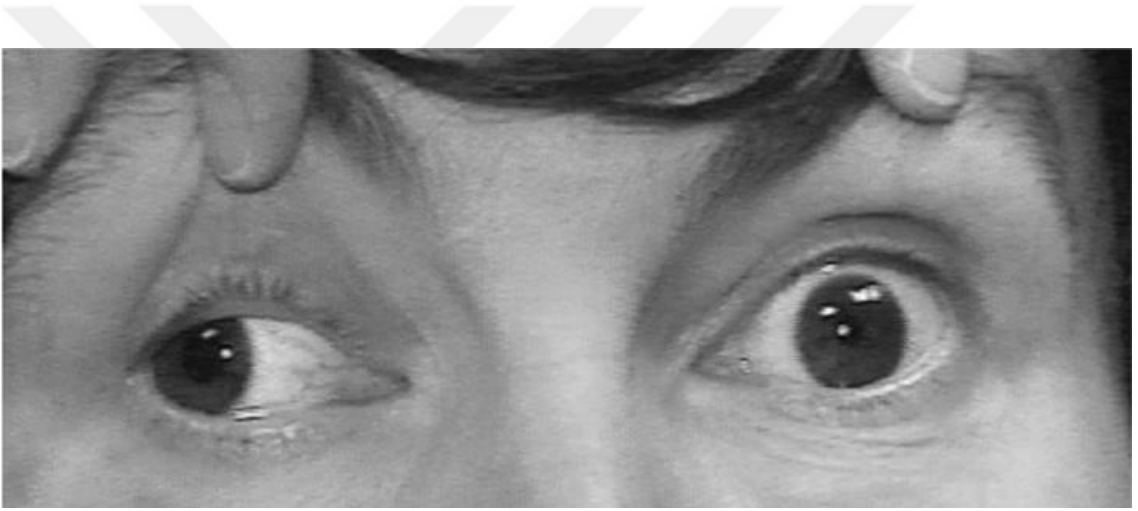
Şekil 2.5: (İzokori) Normal boyutlu göz bebekleri - Üst; (Anizokori) Göz bebeği normal göz bebeğine göre daha büyük – Orta; (Anizokori) Göz bebeği normal göz bebeğine göre daha küçük – Alt.

Göz bebeğindeki anormallikler bir çok hastalığın belirtisi olabilir. İnsan göz bebeği anormalliklerinin, diyabet (şeker hastalığı), multipl skleroz, şizofreni, otizm (içekapanış), Alzheimer ve Parkinson hastalıkları, depresyon, alkol ve uyuşturucu bağımlılığı gibi çok sayıda fizyolojik ve zihinsel bozukluk ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (Iacoviello, 2006).

Anizokori, iki göz bebeği büyüklüğünde bir eşitsizlik olma durumu ile karakterize edilmektedir. Anizokori normal popülasyonun %20'sinde görülen yaygın bir durumdur. Anizokori durumunda, boyut farklılığı (sol ve sağ göz pupilleri arasında) 0,5 mm ila 1 mm arasındadır (Friedman & Kaiser, 2009). Bu büyüklük farklılığı 1mm'den daha büyük olduğunda, farklı göz hastalıkları, beyin ve sinir sistemi hastalıklarının bir göstergesi olabilir.



Şekil 2.6: Horner sendromu



Şekil 2.7: Kranial sinir felçi

Etiyolojisi iyi huylu olabileceği gibi hayatı tehdit eden bazı hastalıklarda da Anizokori karşımıza çıkabilmektedir. Nedenleri arasında fizyolojik Anizokori, farmakolojik Anizokori, Horner sendromu (**Şekil 2.6**), Adie'nin tonik pupillası (ATP), üçüncü kranial sinir felçleri (**Şekil 2.7**) sayılabilir. Bu yüzden ayırıcı tanısının doğru bir biçimde yapılması klinik açıdan oldukça önem arz etmektedir (Türk, Günay, & Erdöl, 2011).

Gerçek bir durumda, göz bebeği ve irisin boyutu ölçülebilir ve **milimete** (mm) cinsinden ifade edilir. Sayısal bir görüntüde göz bebeği ve irisin boyutu **piksel** olarak ifade edilmektedir.

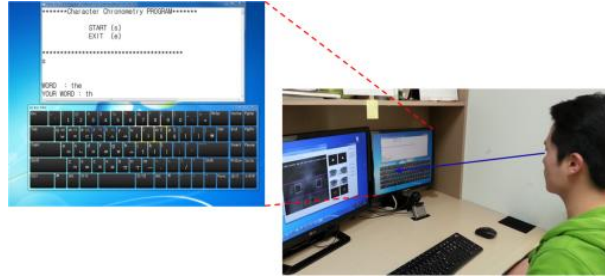
2.8.PUPİLLOMETRİ - ÖLÇÜM UYGULAMASI

Pupillometri, otonom sinir sistemi, ağrı yanıtları, psikoloji, yorgunluk ve uyku bozukluklarını incelemek için uzun bir araştırma ortamında kullanılmıştır. Teknolojinin hızlı gelişimi klinik alanda bilgisayarlı pupillometri kullanılmasına izin verir. Göz bebeği büyüklüğünün mükemmel bir şekilde ölçülmesi, çeşitli tıbbi ve oftalmik alt uzmanlık testlerinde geniş bir uygulama alanı bulur. Nöro-oftalmologlar, afferent (retina, optik sinir) ve efferent yolların lezyonlarının saptanması için Horner sendromundan fizyolojik Anizokoriyi ayırt etmek için pupillometri ile ilgilenirler. Diğer tıp uzmanları da tanı için klinik pupillometreleri kullanırlar.

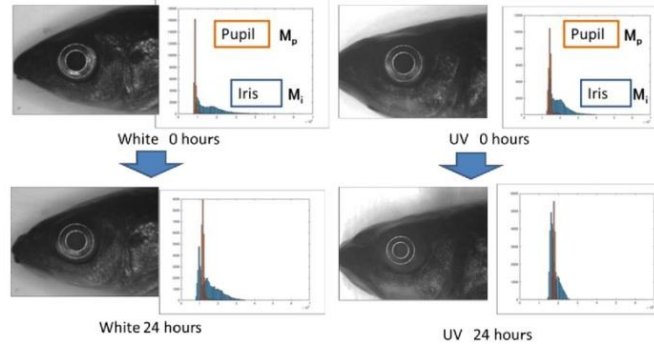
Göz bebeği özelliği uygulama alanı sadece tıbbi ve psikolojik tanı ve araştırmalarında mevcut değildir, aynı zamanda insan-makine arayüzleri, göz izleme ve iris tanıma sistemi tasarımında da kullanılmaktadır. Gıda tazeliği tahmini için gıda endüstrisinde bile kullanılır.



Şekil 2.8: Psikoloji - Göz bebeği yanıtı, çocuklarda depresyon riskini tahmin eder (Burkhouse, Siegle, Woody, Kudinova, & Gibb, 2015) .



Şekil 2.9: HCI - Bir zihinsel daktilo uygulamak için pupillometri kullanılabilir.



Şekil 2.10: Gıda endüstrisi - Balık tazeliği tahmini

(Kanamori, Shirataki, Liao, Ogawa, Suzuki, & Kondo, 2017)

2.9.İRİS VE GÖZ BEBEĞİTESPİTİİLE İLGİLİ LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

Bu tezin temel amaçlarından biri yüz bölgesinde göz ve göz bebeği gibi özellikleri tespit etmektir. İris ve pupil tespiti alanında birçok farklı yaklaşım önerilmiştir.

Daugman'ın çalışmasında iris iç ve dış sınırları tespiti için tümlev-türetke (integral-diferensiyel) operatör tanıtılmıştır. Bu operatör, dağınık olmayan yapay ışığın speküler nokta yansımalarına karşı duyarlıdır (Daugman, 1993).

Wildes, iris segmentasyonu için ikili kenar haritası ve ardından dairesel Hough dönüşümü kullanmıştır (Wildes, 1997). Liam ve diğerleri, iris iç ve dış kenarlarını elde etmek için fonksiyon maksimizasyonu ile basit bir eşik yöntemi önermiştir (Liam, Chekima, Fan, & Dargham, 2002).

Ölçeklendirme ve güç dönüşümü, ardından kenar saptama ve daire bulma önerilmektedir. Ölçeklendirme, arama alanını önemli ölçüde azaltır ve güç dönüşümü, görüntü eşiği için faydalıdır. Casia iris veritabanı üzerinde yaptıkları uygulamada %100 doğru göz bebeği lokalizasyonu elde etmişlerdir (Dey & Samanta, 2007).

Başka bir yaklaşım, her bir satır ve her sütun boyunca yoğunluk toplamının minimum değeri olarak yaklaşık göz bebeği merkezini bulmaktır. Sonra kesin göz bebeği merkezinin tespit edilmesi için Canny kenar tespiti ve Hough transformasyonu uygulanmaktadır.

Göz bebeği kenarları elde etmek için morfolojik operatörler, Laplanian veya Gaussian operatörü medyan filtreli kenar tespiti için uygulanabilir (Sonka, Hlavac, & Boyle, 2008).

Literatürde göz bebeğinin tespiti için birçok farklı teknik önerilmiştir. Literatürdeki birçok yöntem, göz bebeği bölgelerinin karanlık yoğunluğunu ve parlak göz akı bölgesi arasındaki yüksek kontrastı kullanmaktadır ve bu sayede göz bebeği tespiti için bir yol sunmaktadır.

Birçok algoritma çeşitli ek adımlar ile eşikleme, morfolojik işlemler, bağlı bileşen analizi vb. gibi çeşitli görüntü işleme yöntemlerinin kombinasyonları ile göz bebeğini (veya bazı çalışmalarda da iris) tespit eder. Bazı algoritmalar **Tablo 2.5**'te örnek olarak verilmiştir.

Tablo 2.5: Göz bebeği algılama algoritmaları için sınıflandırma

Algoritmalar	Görüntü eşiği	Morfolojik operasyonlar	Kenar algılama	Daire / Elips Uydurma	Ek Adım
(Pasarica, Cehan, Bozomitu, & Lupu, 2015)	✓			Hough	Gauss yumuşatma filtresi
(Nowak, Zarowska, Szul-Pietrzak, & Misiuk-Hojło, 2014)	✓	✓	✓	Hough	Medyan filtresi
(Mahmood, Uyop, Mansor, & Jumadi, 2011)	✓	✓	✓		
(Lin, Lin, LiFang, & Lun, 2010)	✓	✓	✓		Kütle merkezi
(Basit, Javed, & Masood, 2008)	✓		✓		DivisionPoints
(Dey & Samanta, 2007)			✓	Daire	Blob algılama

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bir görüntüdeki yüz ve gözün tanınması, genellikle görüntü işleme, bilgisayarla görü ile desen analizi ve sınıflandırması alanında çalışılan yaygın bir araştırma konusudur.

3.1.YÜZ TANIMA

Yüz tanıma, birçok insan-bilgisayar etkileşimi uygulaması için temel teknolojilerden biridir. Yüz ifadesi ve yüz tanıma, kafa pozlama tahmini ve izleme, yüz modelleme ve normalleşme için gerekli bir ön işlem adıdır. Yüz tanımanın amacı, insan yüzlerini konum, ölçek, düzlemsel rotasyon, poz, aydınlatma ve yüz ifadelerinden bağımsız olarak bir görüntüde izole etmektir. Yüz yeri tespiti, yüz tanımanın önemli bir parçasıdır ve amacı, bir görüntünün yüzünün konumunu tanımlamaktır. Yüz özellik tespiti, gözler, dudaklar vb. gibi bazı önemli bileşenlerin tespit edilmesi ve konumlandırılmasıyla ilgilidir.

Araştırmacılar tarafından yüzün tespit edilmesi için çeşitli algoritmalar önerilmiş olup her algoritmanın farklı avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Literatüre dayanarak, Yang, Kriegman ve Ahuja (Yang, Kriegman, & Ahuja, 2002) yüz tanıma yöntemleri için bir sınıflandırma yapmıştır. Bu sınıflandırmada yöntemler dört kategoriye ayrılmıştır. Yüz tanıma algoritmaları iki veya daha fazla gruba ait olabilir. Bu kategoriler aşağıdaki gibidir:

1. **Bilgi temelli metotlar:** Bilgiye dayalı yöntem, kurallar kümesine bağlıdır ve yüzleri tespit etmek için insan bilgisine dayanır. Bir yüzün, belirli mesafelerde ve birbirleriyle pozisyonları arasında bir burun, göz ve ağız olması gerekir. Bu yöntemlerle ilgili büyük sorun, uygun bir kurallar kümesinin oluşturulmasındaki zorluktur. Kuralların çok genel veya çok ayrıntılı olması durumunda birçok yanlış pozitif olabilir. Bu yaklaşım tek başına yetersizdir ve çoklu görüntülerde birçok yüzü bulamaz.
2. **Değişmeyen özelliklere dayalı yaklaşımlar:** Özellik tabanlı yöntem, yüzün yapısal özelliklerini çıkararak yüzleri bulmaktır. İlk önce bir sınıflandırıcı olarak eğitilir ve daha sonra yüz ve yüzüz bölge arasında ayırım yapmak için kullanılır.

Fikir, içgüdüsel yüzler bilginin sınırlarını aşmaktır. Bu yaklaşım birkaç aşamaya ayrılmıştır. Birçok yüz içeren fotoğraflar %94 başarı oranıyla tespit edilebilir.

3. **Şablon karşılaştırmaya dayalı metotlar:** Bu yöntem, şablonlar ve giriş görüntüleri arasındaki ilişkiyi kullanarak yüzleri bulmak veya algılamak için önceden tanımlı veya parametrelili yüz şablonları kullanır. İnsan yüzü gözlere, yüz konturuna, burun ve ağıza bölünebilir. Ayrıca, bir yüz modeli kenar bulma yöntemi kullanılarak kenarlar tarafından oluşturulabilir. Bu yaklaşımın uygulanması basittir, ancak yüz tanıma için yetersizdir. Bununla birlikte, bu problemlerle baş etmek için deforme olabilen şablonlar önerilmiştir.
4. **Görünüş temelli metotlar:** Bu yöntemlerde şablon karşılaştırmanın tersine, modeller veya şablonlar bir veri setinden öğrenilir. Görünüş temelli yaklaşım, diğer performans tarzlarından daha iyidir. Genel olarak görünüştemelli yöntem, yüz görüntülerinin ilgili özelliklerini bulmak için istatistiksel analiz ve makine öğrenimine dayanmaktadır. Bu yöntem yüz tanıma için özellik çıkarımında da kullanılır. Görünüş temelli model, özyüzler (eigenfaces) temelli, karar destek mekanizmaları, yapay sinir ağları, dağılım tabanlı yöntemler, Saklı Markov (Markov) Modelleri gibi yüz tanıma kullanımı için çeşitli alt-yöntemlere ayrılmıştır.

3.2.VIOLA-JONES YÖNTEMİ

Viola-Jones (Viola & Jones, 2004) yöntemi günümüzde en çok kullanılan işlemlerden biridir, çünkü düşük işlem süreleriyle bir görüntüde birden çok yüzün bölümlendirilmesine izin verir. Viola ve Jones, algoritmayı piksel yerine basit özellikler üzerine kurmuştur. Bunu yapmak için karakteristiklerin çıkarılmasında Haar tabanı ve karakteristiklerin seçimi ile sınıflandırılmasında ise Adaboost kullanır.



Şekil 3.1: Viola-Jones akış şeması

Böylece, tespit algoritmasının uygulanması, kendi yöntemlerinin uygulanmasına indirgenir, bu da sırasıyla, herhangi bir sırayla uygulanabilir ve sonra bunları bir algoritmaya birleştirir.

3.2.1. İntegral İmge

İntegral imge, imgenin tüm alan piksellerinin toplamını bir defada imge boyunca tek geçişte alabilen bir algoritmadır (Şekil 3.2). İmgenin özellik değeri hesaplamasının verimliliğini büyük ölçüde geliştirmiştir. Bütünleşik bir görüntünün ana fikri, dikdörtgen alanların piksellerinin toplamının, orijinal noktadan diğer noktalara bakmasıdır. Bu, bir dizinin bir elemanı olarak kabul edilir ve bellekte saklanır. Amaç, dikdörtgen bölgelerin piksellerinin toplamını hesaplamaksa, dizinin elemanı doğrudan indekslenebilir ve bu alandaki pikselleri yeniden hesaplamaya gerek yoktur. İntegral bir imge, çeşitli ölçeklerdeki farklı özellikleri hesaplamak için aynı süreyi kullanabilir, böylece algılama hızı büyük ölçüde geliştirilir.



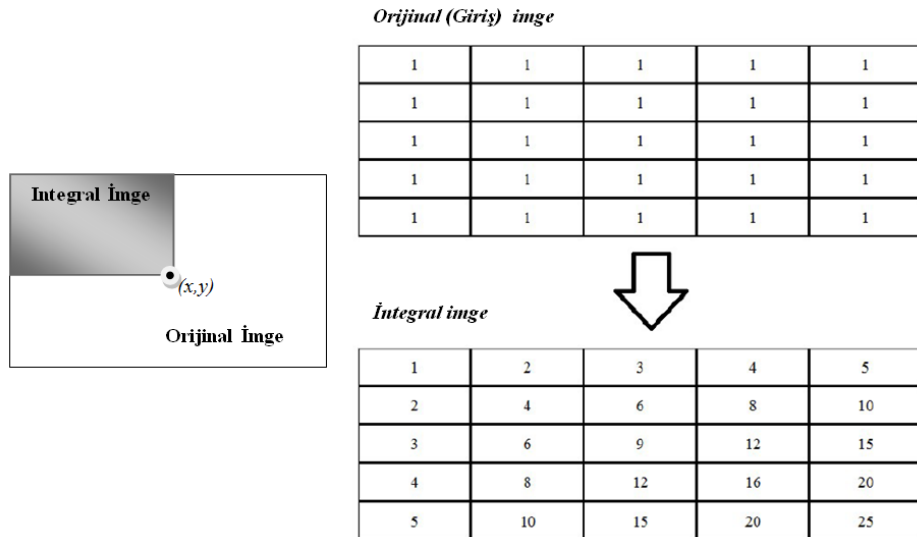
Şekil 3.2: Yüz için integral dönüşüm

İntegral imge, orijinal imgenin piksel değerlerinin toplamı olarak tanımlanır. İntegral imgenin herhangi bir konumundaki değeri, (x,y) 'nin üstünde ve solda kalan alanın piksel değerleri toplamıdır. İntegral bir imge $II(x,y)$, $OI(x,y)$ giriş imgesinden oluşturulan yeni bir imgedir. Bir imgenin $OI[x, y]$ integrali görüntüsü ($II[x, y]$), **Şekil 3.3**'te grafiksel olarak gösterilen **Denklem 3.1** kullanılarak hesaplanmıştır.

$$II(x,y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} OI(x',y') \quad (3.1)$$

$II(x,y)$ - integral imge

$OI(x',y')$ - orijinal (giriş) imge

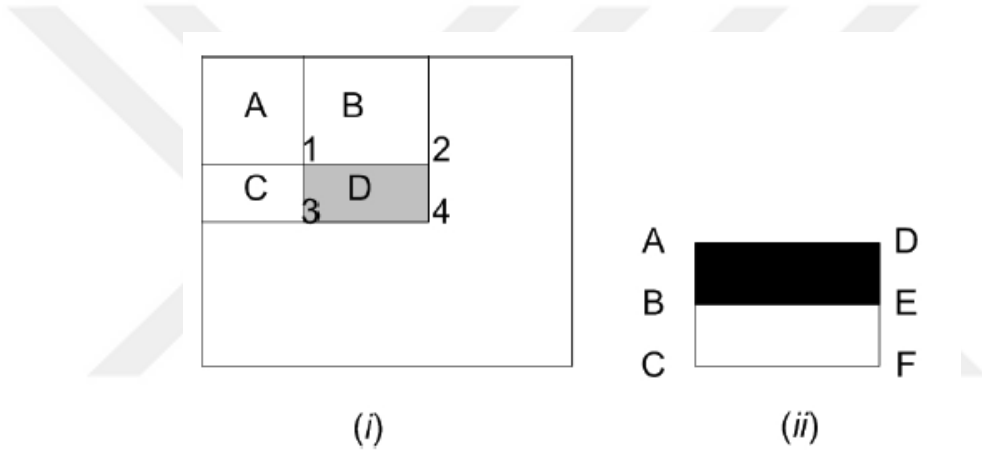


Şekil 3.3: İntegral imge oluşturma. Gölge bölge, imgenin pozisyonuna (x,y) kadar olan piksellerin toplamını temsil eder. 5×5 imge ve onun integral imaj gösterimi.

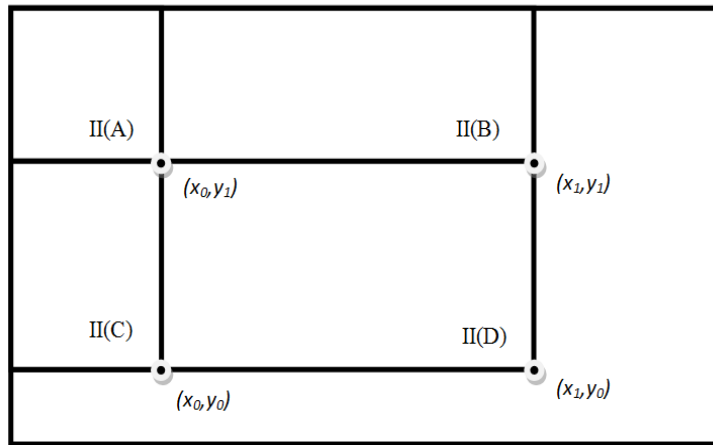
Toplanmış-bölge tablosu (Summed Area Table -SAT) olarak da bilinen integral görüntü, resmin üzerinde tek geçişte kolayca hesaplanabilir:

$$II(x, y) = I(x, y) + I(x - 1, y) + I(x, y - 1) - I(x - 1, y - 1) \quad (3.2)$$

İntegral imgeyi hesapladıktan sonra herhangi bir özellik değeri çok kolay hesaplanabilir, aşağıda bir örnek özellik hesaplaması gösterilmektedir. **Şekil 3.4**'te (i) dikdörtgen alan (D) içindeki piksellerin toplamı, integral görüntü lokasyonu 1, 2, 3 ve 4'e referansla hesaplanabilir. D içindeki toplam $4+1-(2+3)$ olarak hesaplanabilir. Benzer şekilde, **Şekil 3.4**'te (ii) gösterilen özelliğin değeri $D + F - A - C + 2(B-E)$ olarak hesaplanabilir.



Şekil 3.4: Özellik Hesaplaması



Şekil 3.5: SAT'ın Hesaplanması

İntegral imge hesaplandıktan sonra, imge üzerinde herhangi bir dikdörtgen bölgenin (A, B, C, D) bir alanı aşağıdaki gibi sabit bir zamanda hesaplanabilir (Şekil 3.5) A (x_0, y_1) , B (x_1, y_1) , D (x_1, y_0) ve C (x_0, y_0) :

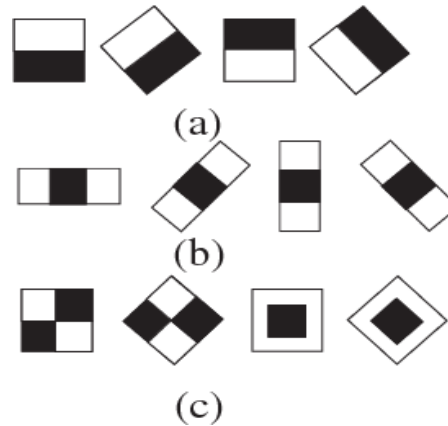
$$\sum_{\substack{x_0 < x < x_1 \\ y_0 < y < y_1}} OI(x, y) = II(D) + II(A) - II(B) - II(C) \quad (3.3)$$

İntegralimge ile elde edilen temel avantaj, tüm Haar temel fonksiyonlarının maksimum sekiz hafıza girişi ve az sayıda aritmetik işlemle hesaplanabilmesidir. SAT hesaplandıktan sonra (Şekil 3.5), bir sonraki adım Haar benzeri özneliklerin çıkarılmasıdır.

3.2.2. Haar Benzeri Öznelikler

Haar Benzeri Öznelikler HBÖ (Haar Like Feature -HLF), görüntünün karanlık (siyah) ve aydınlık (beyaz) bölümlerindeki varyasyonları tespit etmek için kullanılır. Görüntü özellikleri Dikdörtgen özellikler olarak adlandırılır ve Haar temel işlevini anımsatır. Her dikdörtgen özellik, eşikten oluşturulmuş ikili eşik işlevidir ve görüntünün doğrusal işlevi olan bir dikdörtgen filtresidir. Bazı yaygın olarak kullanılan HBÖ şunlardır:

- İki-dikdörtgen özellikler (Şekil 3.6 a),
- Üç-dikdörtgen özellikler (Şekil 3.6 b),
- Dört-dikdörtgen özellikler (Şekil 3.6 c).



Şekil 3.6: HBÖ (a) İki-dikdörtgen özellikler, (b) Üç-dikdörtgen özellikler (d) Dört-dikdörtgen özellikler.

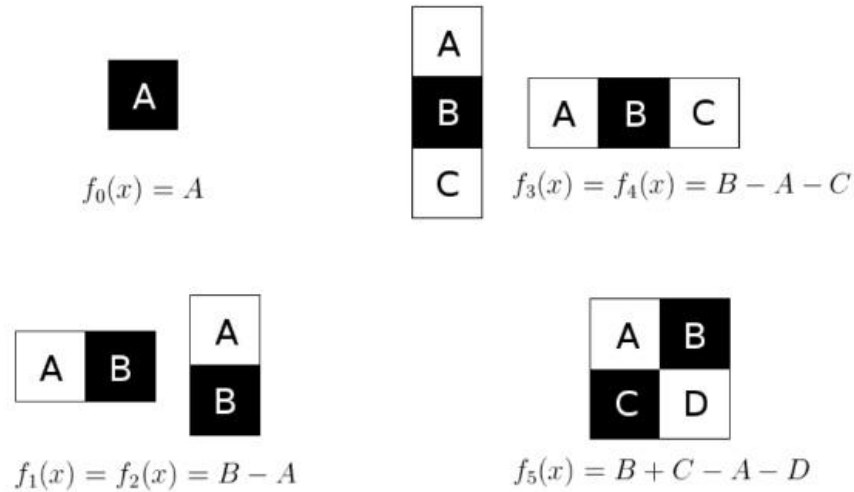
Haar benzeri bir özelliğin değerini elde etmek için, siyah ve beyaz dikdörtgen bölgelerdeki piksel gri seviye değerlerinin toplamları arasındaki fark olarak hesaplanır. Bu, beyaz dikdörtgenlerin kapladığı pikselleri siyah dikdörtgenlerin kapladığı piksellerin toplamından çıkarılarak yapılır.

$$f(x) = \text{Toplam}_{\text{beyaz dikdörtgen}} (\text{piksel gri seviyesi}) - \text{Toplam}_{\text{siyah dikdörtgen}} (\text{piksel gri seviyesi}) \quad (3.4)$$

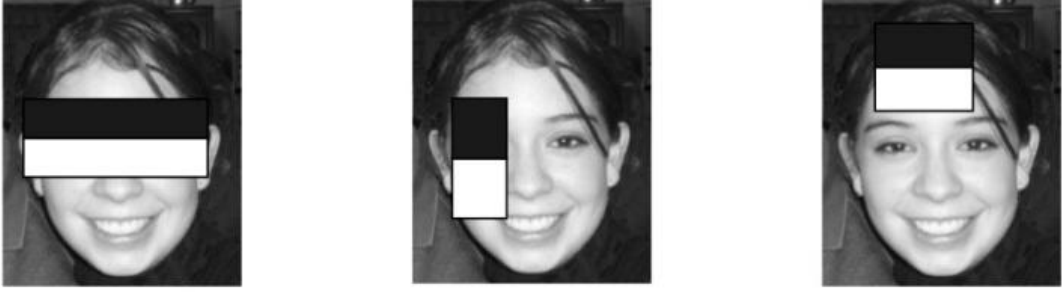
Ya da

$$f(x) = \sum (\text{beyaz alanda piksel}) - \sum (\text{siyah alanda piksel}) \quad (3.5)$$

İki dikdörtgen bir filtrenin değeri, iki dikdörtgen bölgedeki piksellerin toplamları arasındaki farktır. Üç dikdörtgen özellik durumunda, dış dikdörtgenler içindeki piksel yoğunluklarının toplamı, merkez dikdörtgeninkiden çıkarılır. Son olarak, dört dikdörtgen özellik durumunda, dikdörtgenin köşegen çiftlerinin piksel yoğunluklarının toplamı arasındaki fark dikkate alınır. **Şekil 3.7**'de, dikdörtgen özelliklerin setini ve değer hesaplamasını göstermektedir. Hesaplamayı daha hızlı hale getirmek için, integral imge (unite 3.1.1'de açıklandı) olarak adlandırılan imge kullanılır.



Şekil 3.7: Dikdörtgen özellikleri ve değer hesaplamaları



Şekil 3.8: HBÖ kullanımı örneği

3.2.3. Adaptive Boosting

AdaBoost algoritması Yoav Freund ve Robert Schapire (Freund & Schapire, 1999) tarafından ortaya konmuştur. Performansı geliştirmek ve zayıf özellik seçiciyi tespit etmek için kullanılan bir makine öğrenme algoritmasıdır.

AdaBoost, 'zayıf' özellikleri 'daha güçlü' bir sınıflandırıcıya birleştirmek için tasarlanmış sinir ağına benzeyen bir yapay zeka (AI) tekniğidir. Bir sınıflandırıcıdaki her bir özellik, sınıflandırıcının ne kadar doğru olduğunu tanımlayan bir ağırlıklandırma (eğitim sırasında düzeltilmiştir). Düşük ağırlık, zayıf bir özellik anlamına gelir, yüksek ağırlık, güçlü bir anlam ifade eder.

Güçlendirme (boosting) algoritmasının amacı, güçlü sınıflandırıcıyı zayıf sınıflandırıcıların bir kombinasyonu olarak inşa etmektir. Sınıflandırıcının matematiksel tanımı şöyledir:

$$h(x, f, p, \theta) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } p f(x) > p\theta \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.6)$$

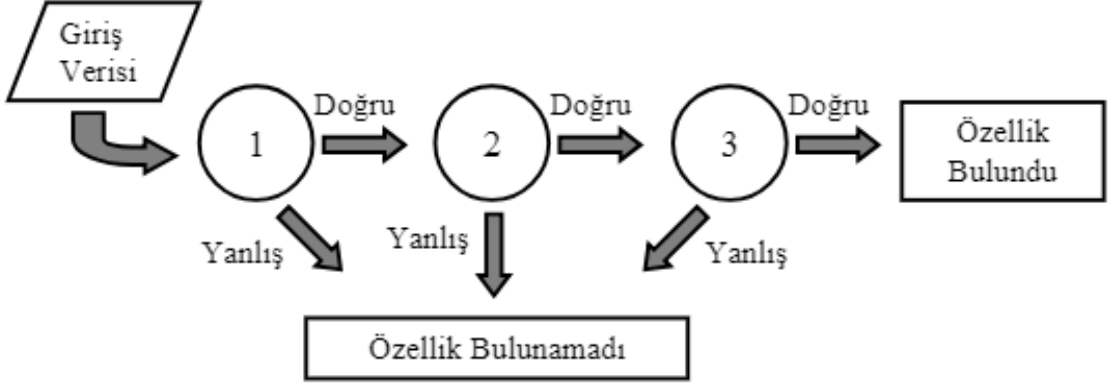
Burada x imgenin 24x24'lik bir penceresidir. Bir zayıf sınıflandırıcı $h(x, f, p, \theta)$; bir öznitelik f , bir eşik değeri θ ve eşitsizlik işaretinin yönünü belirten bir polarite p 'den oluşur.

Adaboost algoritması, yüksek tespit oranlarına sahipken görüntüleri hızlı bir şekilde işleyebilen bir sınıflandırıcıyı eğitmek için kullanılmıştır.

3.2.4. Basamaklı Sınıflandırıcı

Viola ve Jones'un özellik algılama algoritması özellik adaylarını hızlı bir şekilde aşama aşama kullanarak ortadan kaldırır.

Sınıflandırıcı, her aşamada daha sıkı şartlar koyarak adayları ortadan kaldırır ve daha sonraki aşamalar bir adayın geçmesi için çok daha zor hale gelir. Adaylar, tüm aşamaları geçerse veya herhangi bir aşamada başarısız olursa, basamaklı sınıflandırıcıdan çıkarlar. Bir adayın tüm aşamaları geçmesi durumunda bir özellik tespit edilir. Bu işlem, **Şekil 3.9**'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9: Basamaklı sınıflandırıcı işlem yapısı

3.3.GÖRÜNTÜ İŞLEME

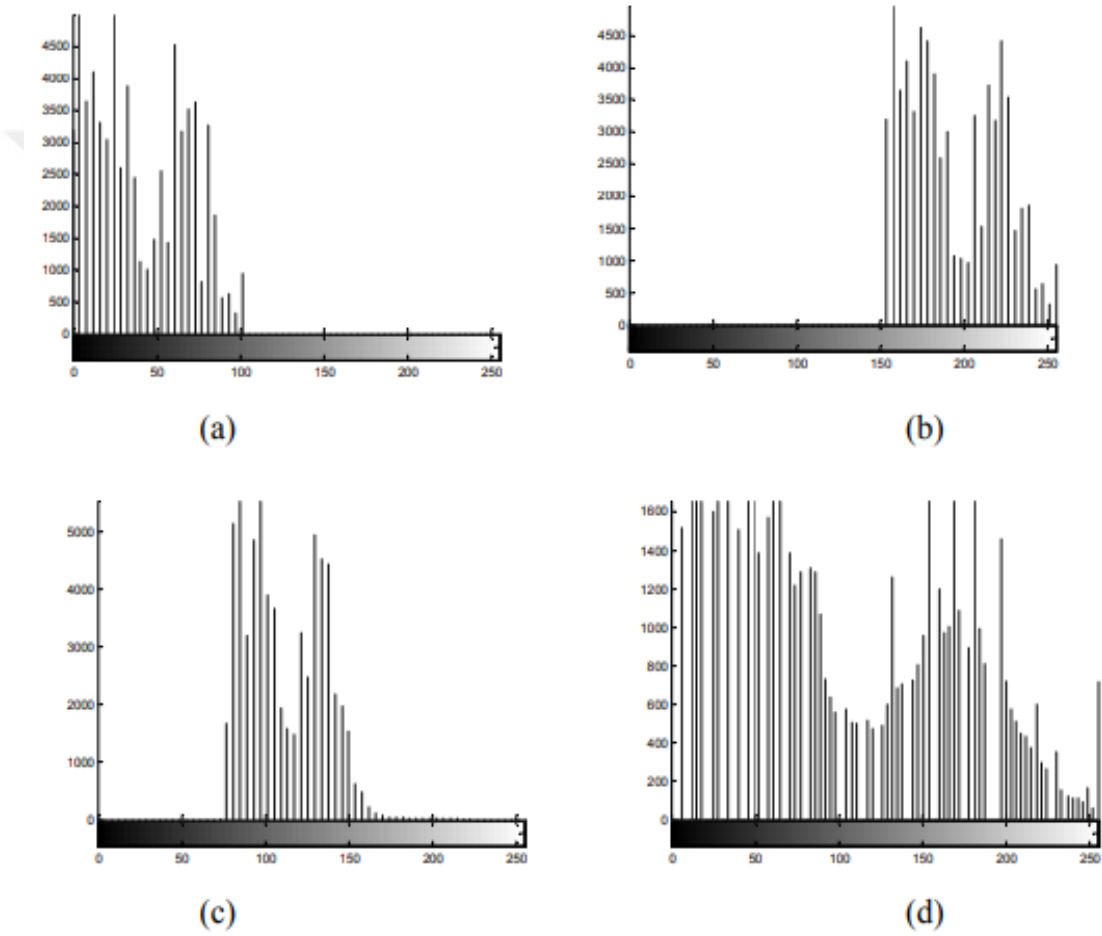
Görüntü işleme, girişin video çerçevesi veya fotoğraf gibi bir görüntü olduğu herhangi bir sinyal işlemidir. Görüntü işlemenin çıktısı, bir görüntü, bir dizi özellik veya görüntü ile ilgili parametre olabilir. Görüntü işleme tekniklerinin çoğu, görüntüyü iki boyutlu (2D) bir sinyal olarak işlemek ve ona standart sinyal işleme teknikleri uygulamakla ilgilidir.

Görüntü işleme, bir resmin yapısını, insan yorumuna yönelik resimsel bilgilerini geliştirmek ya da makine yorumu için uygun hale getirmek için değiştirmeyi içerir. Görüntü işleme, belirli bir uygulama için alakasız olan ayrıntıları zayıflatırken önemli görüntü özelliklerini geliştirir (Sonka, Hlavac, & Boyle, Image Processing , Analysis, and Machine Vision, 2013) (Gonzalez & Woods, 2008).

Bu tez, histogram ve eşikleme, filtreleme, özellik çıkarma, segmentasyon ve algılama yöntemini içeren görüntü işleme yöntemiyle ilgilidir.

3.3.1. Histogram ve Eşikleme

Bir görüntünün histogramı, belirli bir gri seviyenin ortaya çıkmasını veya sıklığını temsil eder. X ekseninde gri seviye yoğunlukları ve y eksenindeki bu yoğunlukların sıklığını gösteren bir grafikdir. Histogram, bir görüntüdeki karşıtlık hakkında bir fikir verir ve görüntülerin kategorize edilmesine yardımcı olur. Eşikleme, yoğunluk dilimleme, segmentasyon gibi çeşitli teknikler için görüntü istatistikleri sağlar.



Şekil 3.10: Histogram: (a) koyu görüntü, (b) açık (parlak) görüntü, (c) düşük kontrast (zıtlık) görüntü ve (d) yüksek kontrast görüntü.

Nesneler veya görüntü bölgeleri, yüzeylerinin sabit yansıtıcılığı veya ışık absorpsiyonu ile karakterize edilir, bir parlaklık sabiti veya eşiği, nesnelerin ve arka planın bölümlendirilmesi için belirlenebilir.

Eşikleme, görüntü segmentasyonunun en basit yöntemidir. Eşik değeri kullanılarak gri tonlamalı bir görüntüden ikili görüntü elde edilir. Eşikleme formülü ile ifade edilmektedir. Aşadaki denklemde, T kullanılan eşik değeri, $f(x,y)$ orijinal gri tonlama görüntüsünü, $g(x,y)$ ise elde edilen ikili görüntüyü ifade etmektedir.

$$g(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } f(x,y) \geq T \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.7)$$

Bir görüntünün ön ve arka plana ayrılmasına yardımcı olur. Eşikleme, yüksek kontrastlı görüntülerde daha etkilidir.

3.3.2. Medyan (Ortanca) Filtreleme

Medyan filtre doğrusal olmayan bir sayısal filtredir. Medyan filtresinin prensibi, bir görüntüdeki her pikselin değerinin filtre maskesi tarafından tanımlanan bölgedeki gri seviyelerin medyanı ile değiştirilmesidir. Noktanın çıktı değeri, W penceresindeki noktaların medyanına eşittir. Pencere W, pencerede noktaların sayısı N_w tek olacak şekilde seçilir. Aşadaki denklem, $f(x,y)$ giriş görüntüsü ve $g(x,y)$ çıkış görüntüsüdür.

$$g(x,y) = \text{median}f(x-i, y-j), (i,j) \in W \quad (3.8)$$

Medyan filtresi genellikle "tuz ve biber" gürültüsünü azaltmak için kullanılır. Medyan filtresinin başka bir kullanışlı özelliği, küçük ayrıntıları görüntüden kaldırırken kenar keskinliğini korumaktadır. Amaç, aynı anda gürültüyü azaltmak ve kenarları korumak olduğunda, medyan filtre konvolüsyondan daha etkilidir.

3.3.3. Morfolojik Operasyonlar

Morfolojik süreç, bir görüntüdeki özelliklerin şekliyle ilgilenen bir süreçtir. Genellikle, bu yöntem segmentasyon sırasında meydana gelen kusurları ortadan kaldırmak için kullanılır.

Morfolojik işlemler görüntü ön işleminde, nesne yapısının güçlendirilmesinde, nesnelerin arka planı bölümlenmesinde, nesnelerin kantitatif tanımlamalarında kullanılır.

Yayma, gözlenen görüntünün kenarlarına piksel eklemenin çalışmasıdır. Genişleme, tespit edilen kenarlar görüntü işleme için yeterince iyi ifade edilmediğinde gerçekleştirilir.

Yapı elemanın boyutundan daha küçük alanların bölgelerini bağlamak, kenarları güçlendirmek, nesneyi arttırmak ve görüntüdeki nesnelerin deliklerini doldurmak amacıyla kullanılır. MATLAB'da, *imdilate* yayma işlemi için kullanılan komuttur.

Matematiksel formül:

$$A \oplus B = \{z \in E \mid (B)_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (3.9)$$

Burada A - E de ikili görüntü, E - Öklid uzayı, B - Yapı elemanı, $(B)_z$ - z ile başlayan dönüştürülebilir yapı elemanı

Aşındırma, gözlenen görüntünün nesnesinin kenarlarından piksel çıkarma işlemidir. Temel fikir, yaymaya benzer, piksellerin kaldırılması, iki farklı yanıt arasındaki boşluğu artırır ve böylece onların tespit edilmesini kolaylaştırır. Gözlenen nesnenin kenarları kesin olarak belirtilecektir, ancak nesnede delikler veya siyah noktalar görünebilir. Ortaya çıkan delikler yayma ile düzeltilir. MATLAB'da, *imerode* aşındırma işlemi için kullanılan komuttur.

Matematiksel formül:

$$A \ominus B = \{z \in E \mid (B)_z \subseteq A\} \quad (3.10)$$

Burada A - E de ikili görüntü, E - Öklid uzayı, B - Yapı elemanı, $(B)_z$ - z ile başlayan dönüştürülebilir yapı elemanı.

Yapının genişlemesi ve küçülmesi, kullanılan yapılandırma elemanının boyutuna ve şekline bağlıdır. Morfolojik süreçte birçok yapı elemanı vardır. Bu tür yapılandırma elemanları elmas, disk, çizgi, sekizgen, çift, dikdörtgen, kare ve daha fazlasıdır. Matlab kodunda, bu yapı elemanları şu şekilde yazılabilir: $YE = strel(\text{şekil}, \text{parametreler})$

Yayma (genişleme) ve aşındırma (erozyon) temel morfolojik işlemlerdir. Diğer morfolojik işlemler bu iki işlem kullanılarak yapılmaktadır.

Açma İşlem:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3.11)$$

Kapama İşlem:

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (3.12)$$

3.3.4. Kenar Belirleme

Kenar belirleme, görüntü işleme ve görüntü analiz sistemleri için en önemli yöntemden biri olmuştur. Kenar belirleme yöntemi, gözlenen görüntüde bulunan anlamlı süreksizlikleri belirlemek için en yaygın yaklaşımdır. Kenar belirlemenin birçok metodu vardır. Kenar belirleme metotları iki ana grupta sınıflanır:

- *Gradyan (Eğim) tabanlı metotlar* – Roberts, Sobel, Prewitt

Görüntünün birinci türevindeki en düşük (minimum) ve en yüksek (maksimum) değerlere bakma ile kenarları belirler. Görüntünün birinci türevine genelde gradyan denir ve $f(x,y)$ fonksiyon için vektör olarak tanımlanır:

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Bu vektörün modülünün değeridir (Gradyan genliği):

$$|\nabla f| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.14)$$

Hesaplama basitleştirmek amacıyla, **Denklem 3.14'ten** kare kökünü atlamak için kullanılır,

$$|\nabla f| \approx G_x^2 + G_y^2 \quad (3.15)$$

veya mutlak değerler kullanılır ise,

$$|\nabla f| \approx |G_x| + |G_y| \quad (3.16)$$

Bu yaklaşımlar türevinin karakteristiğini göstermeye devam eder, yani sabit yoğunluklu değer alanlarında sıfır değerini alırlar, diğer alanlarda ise değer renk yoğunluğu değişim derecesine göre değişir. Gradyan terimi genellikle gradyan modülüne veya yaklaşık değerlerine karşılık gelir.

Gradyan vektörünün en önemli özelliği yönelimdir. Yönelim (x,y) noktada f yoğunluktaki maksimum değişim yönündedir. Bu maksimum değişikliğin gerçekleştiği açı formülü **(Denklem 3.17)** ile verilir:

$$\theta(x,y) = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (3.17)$$

Kenar belirleme operatörleri (Roberts, Prewitt, Sobel) yatay ve düşey maskedeki değerleri kullanarak, kenar yönü bulunur.

Tablo 3.1: Kenar belirleme operatörleri için x ve y yönündeki maskeler

Öperatör	x-yönünde maske	y-yönünde maske
Roberts	$\begin{matrix} -1 & 0 \\ 0 & +1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} -1 & 0 \\ 0 & +1 \end{matrix}$
Sobel	$\begin{matrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{matrix}$
Prewitt	$\begin{matrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +1 & +1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \end{matrix}$
Canny	$\begin{matrix} -1 & +1 \\ -1 & +1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} +1 & +1 \\ -1 & -1 \end{matrix}$

$z1$	$z2$	$z3$
$z4$	$z5$	$z6$
$z7$	$z8$	$z9$

- Roberts operatörü

$$G_x = (z_9 - z_5), G_y = (z_8 - z_6) \quad (3.18)$$

$$\nabla f \approx |(z_9 - z_5)| + |(z_8 - z_6)| \quad (3.19)$$

- Sobel operatörü

$$\nabla f \approx |(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)| + |(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)| \quad (3.20)$$

- Prewitt operatörü

$$\nabla f \approx |(z_7 + z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3)| + |(z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + z_4 + z_7)| \quad (3.21)$$

- **Laplasyan tabanlı metot**

Görüntünün ikinci türevindeki sıfırdan geçişlere bakarak kenarları belirler. Laplace operatörü:

$$\begin{array}{ccc} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{array}$$

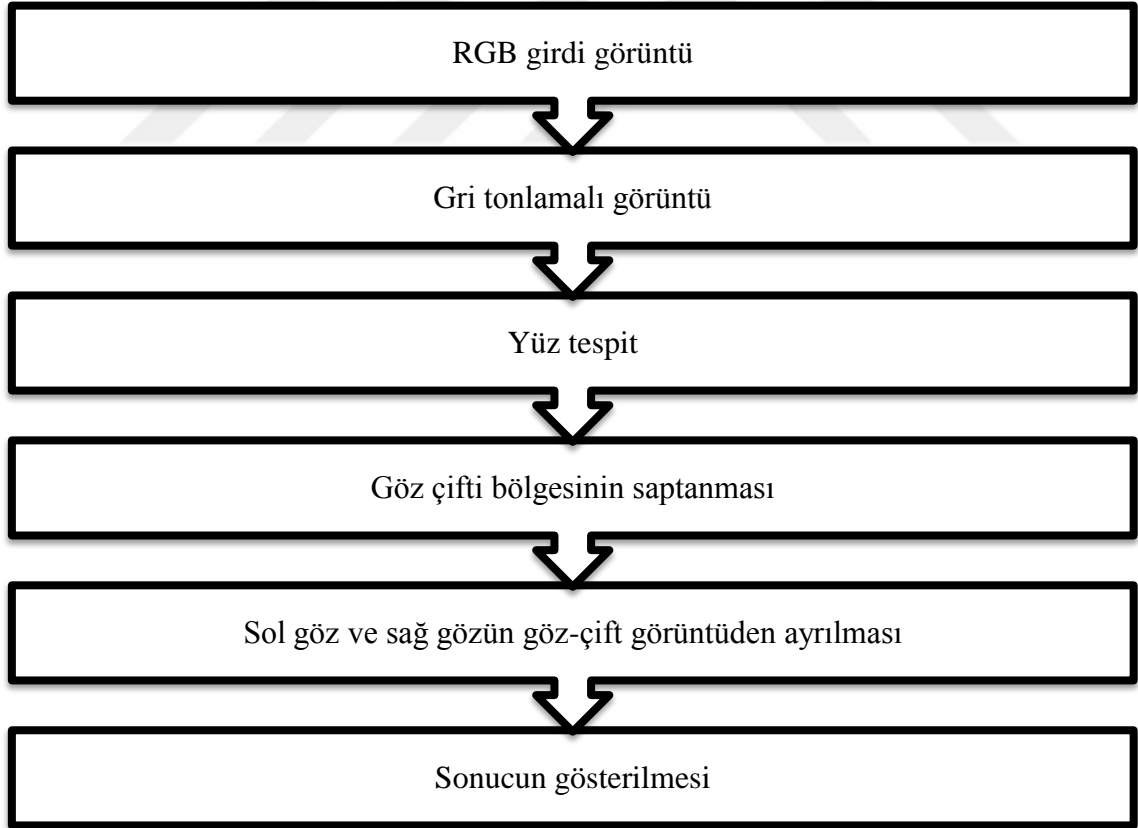
Laplace operatörü, görüntünün kenarını geliştirmek için giriş görüntüsüyle birleşecektir.

4. BULGULAR

Dijital görüntüde göz bebeğinin yeri iki adımda belirlenir. İlki göz bölgelerinin tespiti için yüzü bulurken ikincisi göz penceresinden göz bebeği algılamasıdır. Uygulama geliştirme için MATLAB Bilgisayar Görme (Computer Vision) ve Görüntü İşleme Araç Kutusu (Image Processing Toolbox) kullanımını içeren MATLAB bilgi işlem ortamı kullanılmıştır. Uygulama geliştirme için geliştirilen uygulama hakkında bilgi aşağıda belirtilmiştir.

4.1.YÜZ VE GÖZ BÖLGESİ TESPİTİ

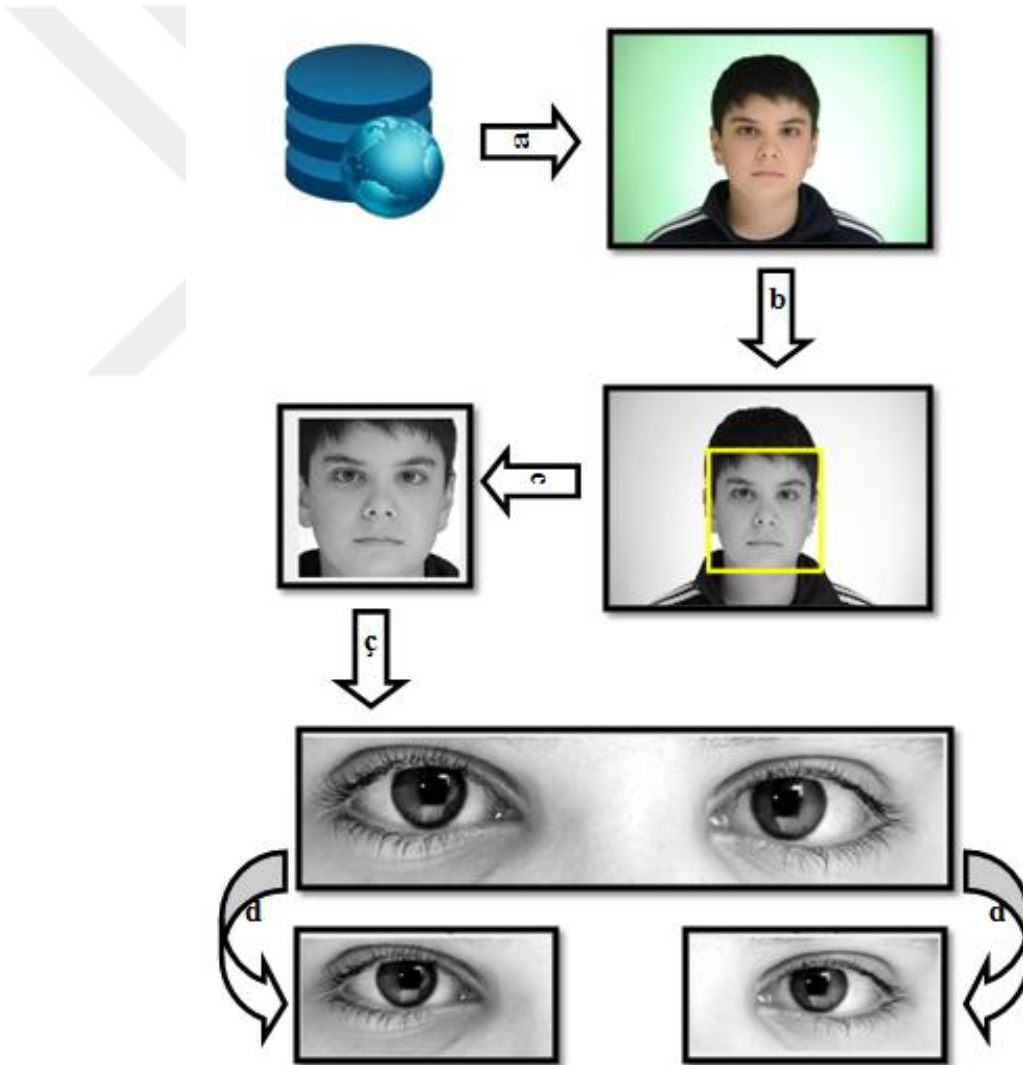
Yüz ve göz bölgeleri tespit teknikleri, yüzü ve gözleri giriş görüntüsünden ayırmayı içerir. Algılama için uygulanan adımlar **Şekil 4.1**'de akış diyagramı ile ifade edilmiştir.



Şekil 4.1: Yüz ve göz bölgeleri tespiti akış diyagramı

Yüz ve göz çifti algılama yöntemini gösteren **Şekil 4.1**'de, aşağıdaki adımlardan oluşur:

- i. imge (görüntü) gir (**Şekil 4.2 a**)
- ii. giriş görüntüsünü gri tonlamalı resme dönüştür (**Şekil 4.3**) ve yüz için detektör nesnesini oluşturmak (**Şekil 4.2 b**)
- iii. görüntünün yüz alanını belirlemek (**Şekil 4.2 c**)
- iv. göz çift bölgelerini görüntüden ayırt eder (**Şekil 4.2 ç**)
- v. göz-çift bölgesini sol ve sağ göz bölgelerine ayırın (**Şekil 4.2 d**)
- vi. açıklamalı yüz ve göz bölgesi ile sonuç görüntülerini gösterin (çift göz, sol ve sağ gözünü ayrı ayrı gösterin).



Şekil 4.2: Yüz ve göz çifti algılama adımları

4.1.1. RGB Görüntüsünün Gri Görüntüye Dönüştürülmesi

Algılama sürecindeki görüntü girdikten sonra ilk adım, giriş RGB modunda olan görüntüleri gri tonlamalı görüntüye dönüştürmektir. Renkli görüntü, her biri 8 bite veya 256 ($2^8 = 256$) değere sahip olan üç kanalla (R-Kırmızı, G-Yeşil ve B-Mavi) belirlenir. Değer aralığı 0-255'tir, burada 0 belirli bir rengin olmaması anlamına gelir ve 255 ise tam tersi o rengin saf tonda olmasına karşılık gelir. Bu Kartezyen koordinat sisteminde açıklanacak olursa başlangıç noktası (0,0,0) siyah, tüm renk değerlerinin (255,255,255) olduğu değer ise beyaz olacaktır. Her piksel için 24 bitlik (8 bit x 3 kanal) renk bilgisine çevrilir. 24 bitlik görüntülerle üç kanal, piksel başına en çok 16,7 milyon renk üretebilir. RGB renk modelinde gri tonda bir renk elde edebilmek için her üç kanalın da aynı değere sahip olması gerekecektir.

Gri görüntülerin gösterim için 8 bite sahip sadece bir kanalı vardır. Bir RGB renk modelinden gri bir modele geçmek, her bir piksel için **Denklem 4.1** kullanarak yapılır.

$$G(x, y) = 0.299 * Kırmızı(xy) + 0.587 * Yeşil(x, y) + 0.144 * Mavi(x, y) \quad (4.1)$$

Gri tonlama sunumlarının genellikle renkli görüntüler üzerinde çalışmak yerine tanımlayıcıları çıkarmak için kullanılmasının temel nedeni, gri tonlamanın algoritmayı basitleştirmesi ve hesaplama gereksinimlerini azaltmasıdır. Gerçekten de, renk birçok uygulamada sınırlı bir fayda sağlayabilir ve gereksiz bilgileri sunma, iyi performans elde etmek için gereken eğitim verilerinin miktarını arttırabilir.



Şekil 4.3: Giriş görüntüsünden gri tonlamalı görüntüye dönüş

RGB görüntüsünü gri tonlamalı görüntüye dönüştürmek için “*rgb2gray*” komutu kullanılmıştır.

4.1.2. Kullanılan Veritabanı

Yüz rotasyonu (kafa kesinlikle ön frontal değildir), yüz ifadesi (ifade her zaman nötr ve sıklıkla gülümseme ile değil), yüz özelliği (sıra dışı yüz ifadeleri), oklüzyon (yüz kılları, koyu lensli gözlükler, makyaj kullanımı), medya kalite parametreleri (eşit olmayan aydınlatma, gürültü, düşük çözünürlük) vb. algılama algoritmasının performansını etkileyebilir.

Bunu dikkate alarak, çalışmada kullanılan girdi görüntüsü, Kardeşler Görüntü Veritabanından (Siblings Image Database) alınmış bir profil görüntüsüdür. Bu veritabanındaki görüntüler (Şekil 4.4), uniformalı arka plan ile 425x2832 piksel çözünürlükte bulunmaktadır. Görüntüler kontrollü aydınlatma altında alınmıştır. Ayrıca, bu görüntüler Anizokorisi olmayan olgularda kullanılmıştır. Algoritma, Anizokori'nin mevcut olduğu durumlarda İnternet'ten toplanan farklı kalite ve boyut görüntüleri uygulanarak test edilmiştir. Kullanılan bazı giriş görüntüsü örnekleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



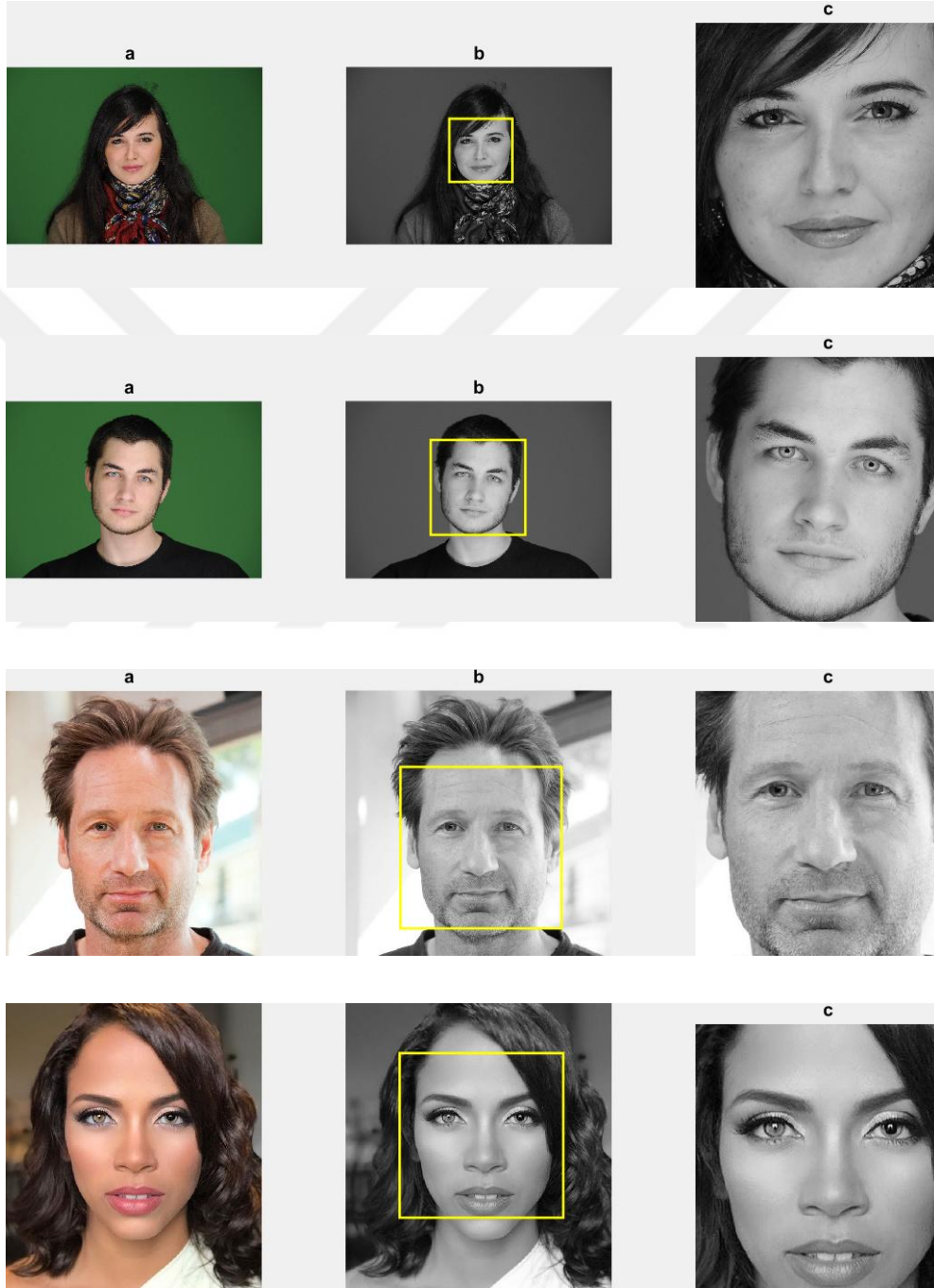
Şekil 4.4: Giriş verileri (Veritabanından alınan Anizokori olmayan durum örnekleri)



Şekil 4.5: Giriş verileri (Anizokorili vaka için İnternette alın örnekler)

4.1.3. Yüz ve Göz Çifti Algılama Yöntemi

Viola ve Jones'un algılama algoritması, Haar benzeri özelliklere dayanarak bir yüzü ve göz çiftini tespit etmek için kullanılır. Haar benzeri özellikler, görüntüdeki bölgeler arasındaki yönlendirilmiş kontrastın varlığını kodlar.

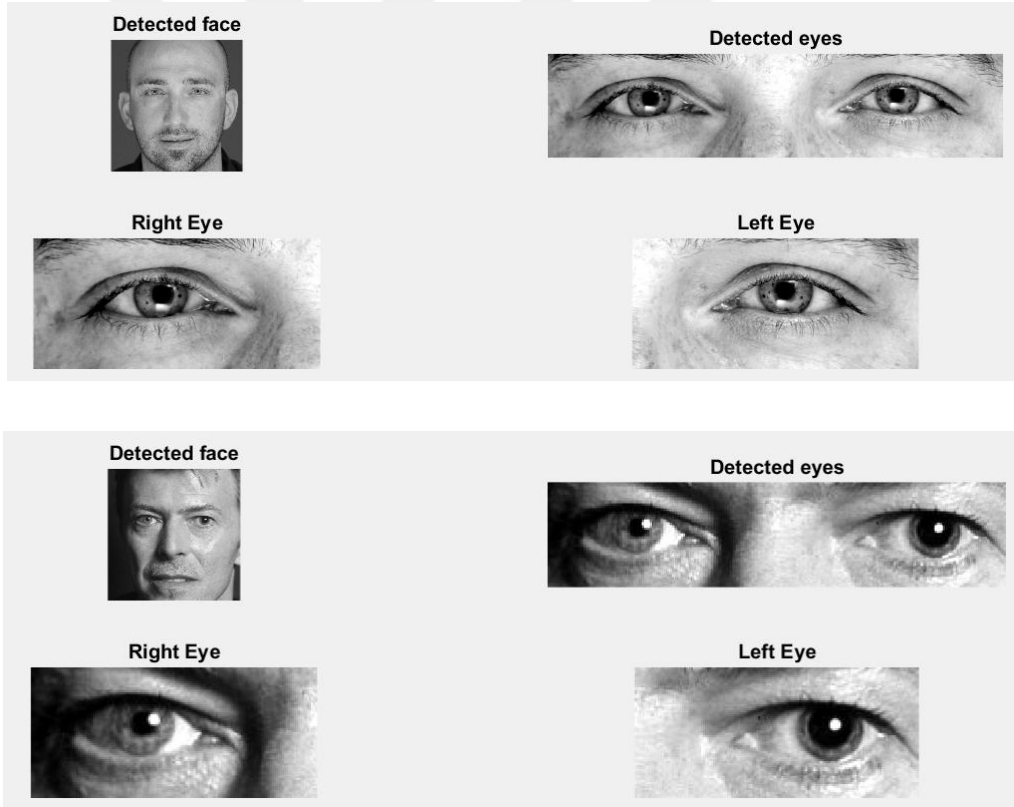


Şekil 4.6: Viola-Jones algoritması kullanılarak yüz tespiti örnekleri

Algoritmanın gerçekleştirilmesi, Bilgisayar Görüsü Araç Kutusu yerleşik sınıfları ve Matlab bilgi işlem ortamından gelen işlevler yardımıyla oluşturulur.

Matlab sistem tipi nesne **vision.CascadeObjectDetector**, bir giriş görüntüsünden yüz ve göz çifti bölgesini algılayan dedektörü oluşturmak için kullanılır. Kaskad nesne dedektörü, Viola-Jones tespit algoritmasını ve tespit için eğitilmiş bir sınıflandırma modelini kullanır. Varsayılan olarak, bu dedektör görüntüdeki yüzleri algılayacak şekilde ayarlanmıştır, ancak yüzün diğer kısımlarını da algılayabilir. Görüntünün bir parçası ilgi alanıysa (yüz veya göz çifti) Haar benzeri özenitelikler (dikdörtgen alanlar) kullanılarak yapılır. HBÖ, Haar sınıflandırıcı çekirdek kaynağı için kullanılır.

Dedektör oluşturulduktan sonra, sınırlayıcı kutu, **bbox = step (dedektör, resim)** adım metodu ile tanımlanır.



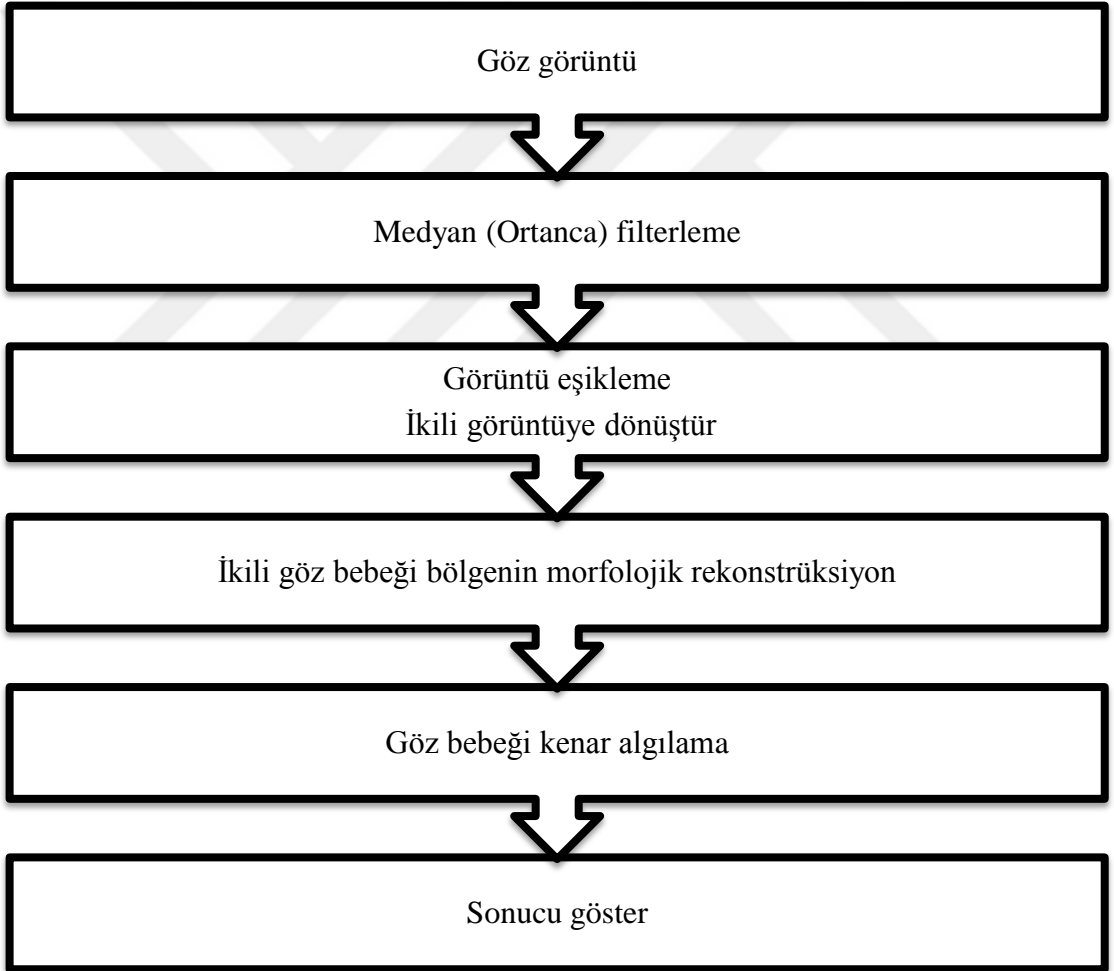
Şekil 4.7: Viola-Jones algoritması kullanılarak tespit edilen göz çifti örnekleri

4.2.GÖZ BEBEĞİ TESPİTİ

Yüz ve göz bölgesi tespit edildikten sonra, ikinci aşama göz bebeğinin saptanmasıdır. Bu bölümde, sağ ve sol göz bölgelerinin çıkarılan görüntüsünden göz bebeği tespiti ve ölçümünün nasıl yapıldığı açıklanmaktadır. Göz bebeğinin tespiti için iki yöntem kullanılır.

4.2.1. Göz Bebeği Tespiti – Birinci Yöntem

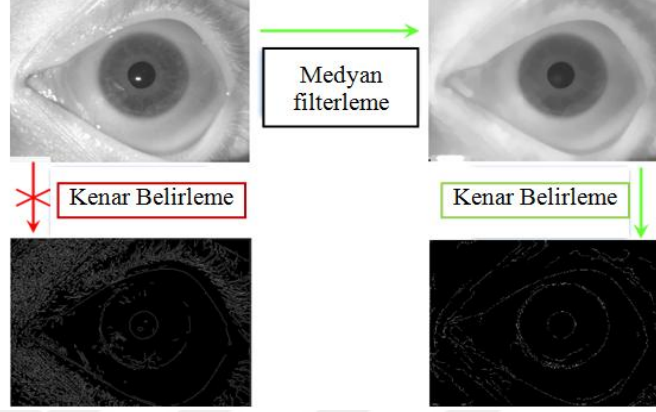
Şekil 4.8, birinci önerilen yöntemin aşamalarını göstermektedir. Göz bebeği algılama, şu görüntü işleme teknikleri kullanılarak uygulanabilir: Medyan (Ortanca) filtreleme, görüntü eşikleme, morfolojik rekonstrüksiyon ve kenar algılama.



Şekil 4.8: Göz bebeği algılama diyagramı (Birinci yöntem)

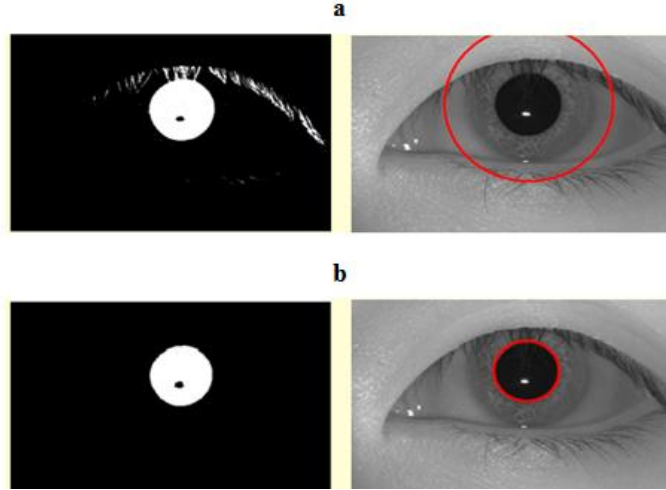
4.2.1.1. Medyan (Ortanca) Filterleme

Medyan filtresi, gürültüyü gidermekve daha sonra yapılacak olan kenar algılama adımının sonucunu iyileştirmek için (Şekil 4.9) ön işleme adımı olarak kullanılır çünkü kenar bulanıklığının kabul edilmediği durumlarda gürültüyü çıkarırken kenarları korur.



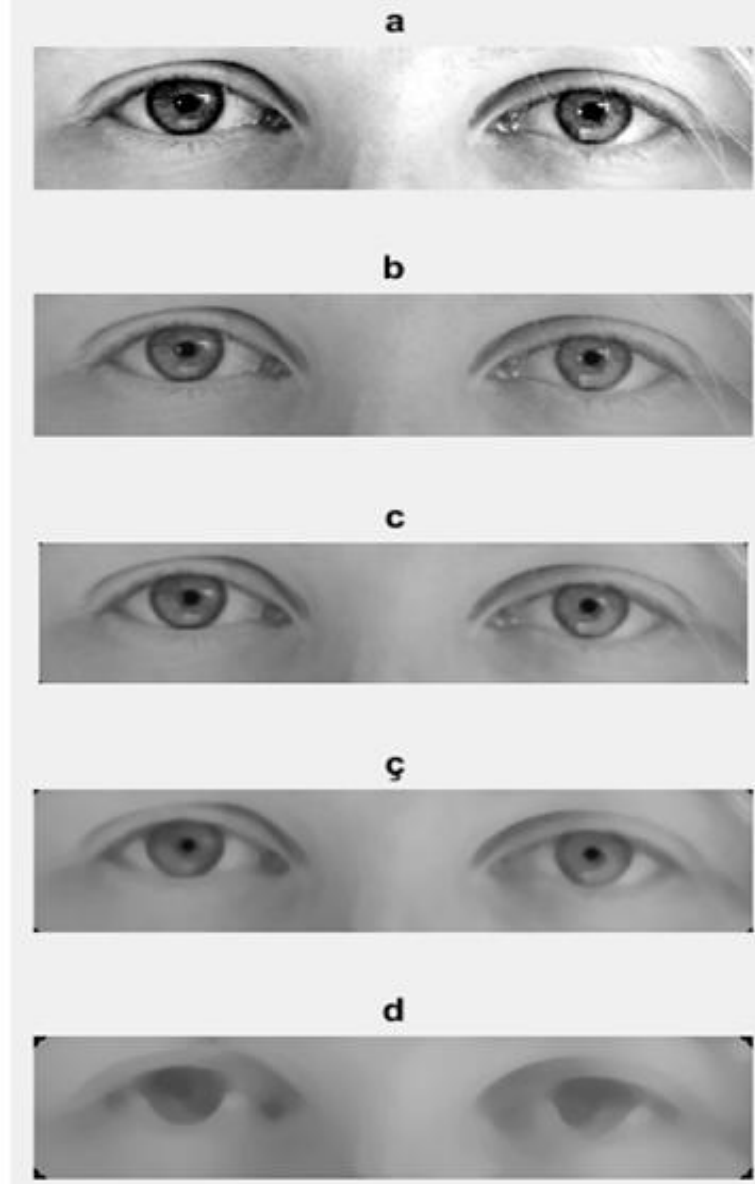
Şekil 4.9: Medyan filtrelemeden önce ve sonra kenar belirleme

Kirpikler gürültü olarak kabul edilebilir. Şekil 4.10 örneklerden birini göstermektedir. Üstteki, Medyan filtresiyle işlenmeden önceki görüntüdür. Göz bebeği tespiti, göz bebeği alanı üzerinde kirpiklerin varlığından etkilenir ve bu da, göz bebeği tespitinde yanlış sonuca sebebiyet verir. Altta, bir Medyan filtresiyle işlendikten sonra aynı görüntü görülmektedir.



Şekil 4.10: Medyan filtreleme: Kirpiklerin göz bebeği tespiti üzerindeki etkisi, medyan filtreleme kullanmadan önce (a) ve sonra (b)

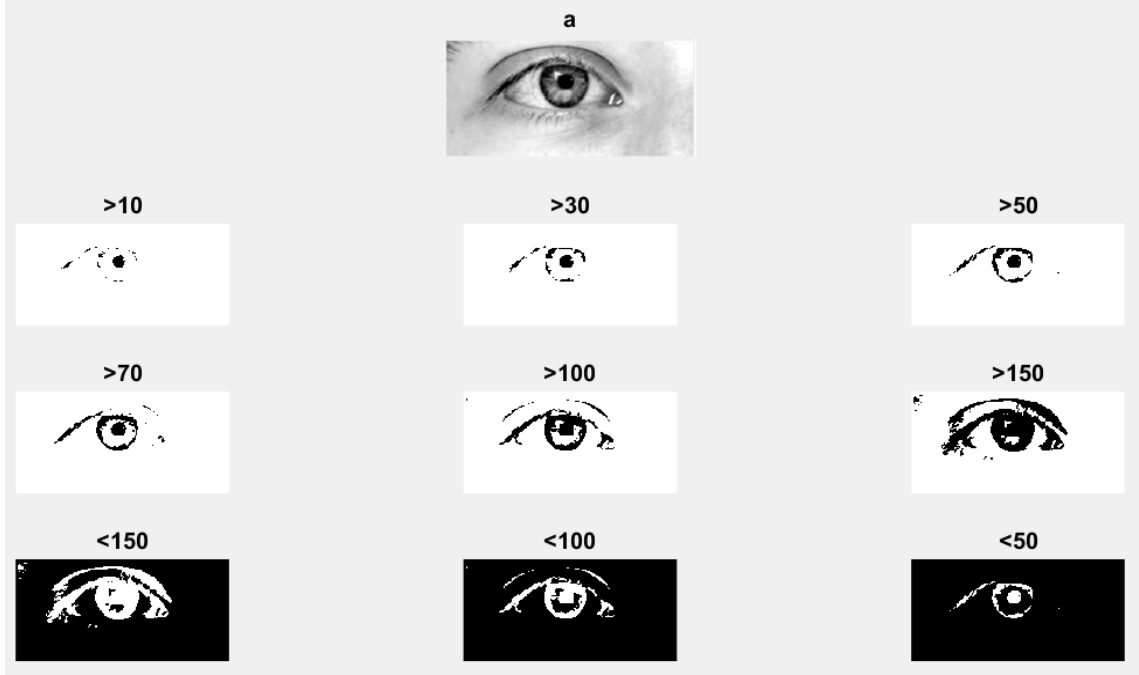
Şekil 4.11’de, komşunun farklı piksel değerleri (3x3, 7x7, 15x15 ve 31x31) için medyan filtresinden önce ve sonra göz çifti bölgesinin görüntüsü görülmektedir. Düşük değer kullanan medyan filtresi, daha az ayrıntı kaybıyla tüm gürültüyü ortadan kaldırır. Yüksek değer görüntüyü bulanık hale getirir ve tüm ayrıntıları "silebilir". Karşılaştırma sonucunda 3x3 medyan filtrenin kullanım için en uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Matlab *midfilt2* komutu, [3x3] filtreleme penceresi kullanılarak medyan filtreden geçirilerek gerçekleştirilir.



Şekil 4.11: Medyan filtreleme: Medyan filtreleme uygulamadan önce (a), ve 3x3(b), 7x7(c), 15x15(ç), 31x31(d) medyan filtreleme uygulamadan sonra göz çifti bölgesi

4.2.1.2. Görüntü Eşikleme

Bir gözün gri tonlamalı görüntüsünü ikili bir görüntüye dönüştürmek için bir eşik değeri kullanılır. Göz bebeği renginin karanlığı her insan gözü için hemen hemen aynıdır ve aynı eşik değerinin kullanılmasının nedeni de budur. Görüntü eşiği ile, göz bebeği arka plandan ayrılır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12: Görüntü eşikleme: eşiklemeden önceki görüntü (a) ve orjinal görüntü üzerine uygulanan farklı değerlerle eşiklemeden sonraki görüntü

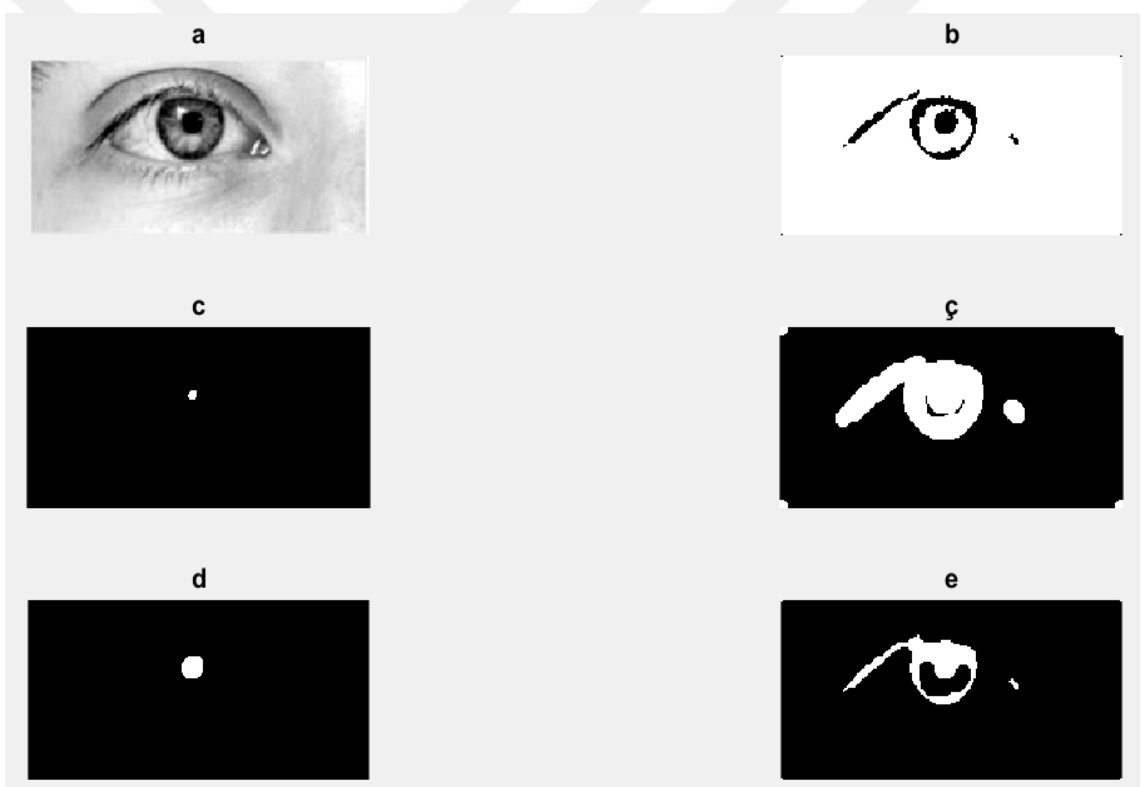
Orijinal görüntüdeki göz bebeklerinin büyüklüğü ve rengi incelendiğinde, aslında bir göz bebeğinin görüntünün tamamını uygun bir eşikle eşleştirerek arka plandan ayırmanın zor olmadığı görülmektedir.

İlk sorun, ilk eşiğin değerinin otomatik olarak algılanmasıdır. Düşük bir eşik, özellikle göz bebeğinin konturuna yakın bir arka planın parçası da oldukça karanlık olduğunda, bir göz bebeğini çevresinden ayırmayı zorlaştırabilir. Ancak yüksek bir eşik de problemlere neden olacaktır: göz bebeği boyutunu azaltacaktır. Ayrıca yansıma alanı göz bebeğinin kenarına yakınsa, göz bebeğinin büyük bir kısmı bile kaybedilebilir (Şekil 4.12).

4.2.1.3. Morfolojik Operasyonlar

Morfolojik operasyonlar, göz bebeği alanını kapatmak ve doldurmak için kullanılmıştır. Işık yansımaları, göz bebeğinin algılanmasını etkiler. Bunu önlemek için morfolojik rekonstrüksiyona dayalı bir algoritma kullanılır. Operatör, etkilenen bölgeleri, çevreleyen bölgeden ortalama piksel yoğunluğuyla doldurur.

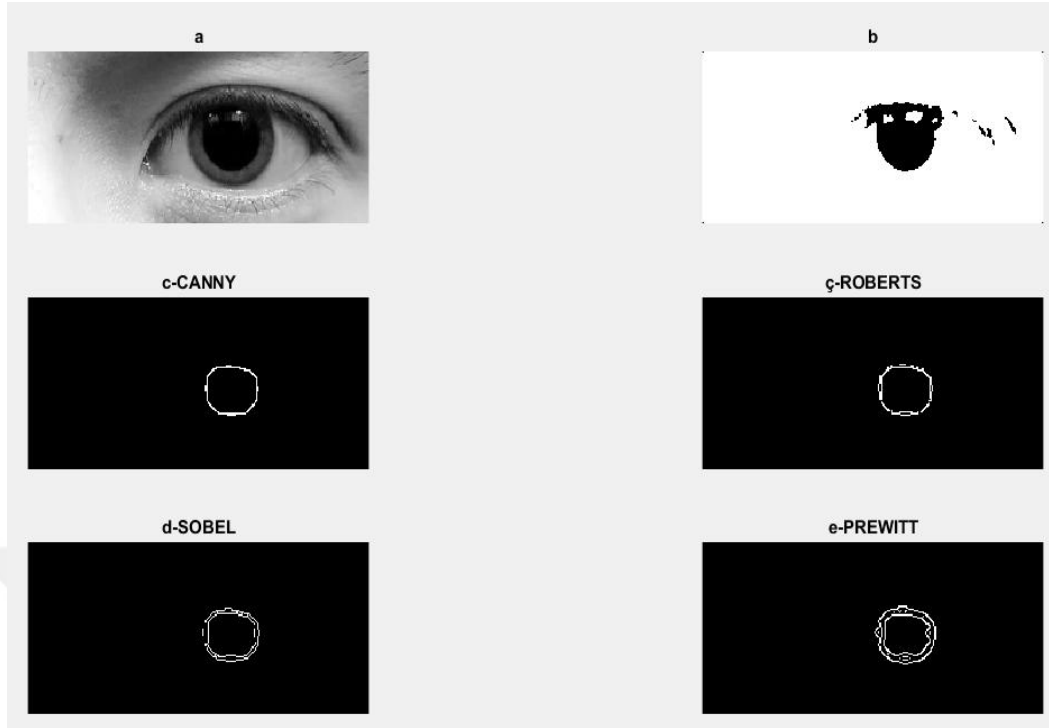
Şekil 4.13, aynı değer kullanırken dört ana morfolojik operasyonlar (yayma (c), aşındırma (ç), kapama işlemi (d) ve açma işlemi (e)) için farklı görüntüleri göstermektedir. Göz bebeği alanına kapatmak ve doldurmak için kapama (“*imclose*”) işlemi en iyi sonuç verir. Görüntü bölgelerini ve deliklerini doldurmak için matlab “*imfill*” hazır komutu kullanılabilir.



Şekil 4.13: Morfolojik operasyonlar: morfolojik operasyonlar uygulamadan önceki görüntü (a), ikili görüntü (b), yayma işlemi (c), aşındırma işlemi (ç), kapama işlemi (d), açma işlemi (e)

4.2.1.4. Kenar Algılama

Görüntü bölütleme yöntemi için Canny kenar dedektörü kullanılmıştır. Canny kenar dedektörü gürültülü görüntü için daha iyi sonuçlar verir ve başka kenar algılayıcısına kıyasla çizgi problemini ortadan kaldırdığından diğer tüm kenar dedektörlerinden daha iyi performans gösterir.



Şekil 4.14: Farklı kenar dedektörleri kullanarak kenar algılama: kenar algılama yapmadan önceki görüntü (a), ikili görüntü (b), Canny operatörü (c), Robert operatörü (ç), Sobel operatörü (d), Prewit operatörü (e)

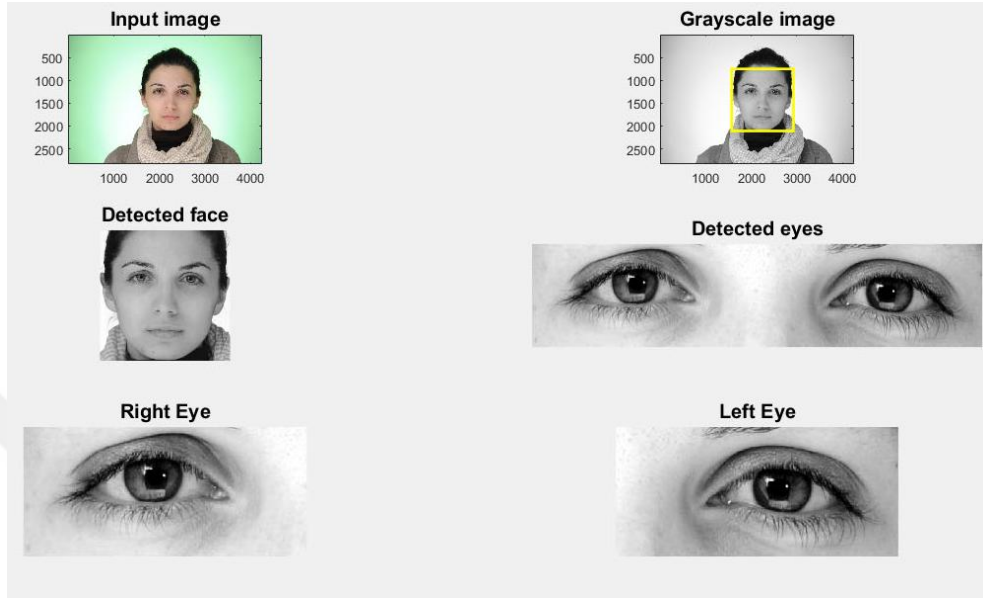
Şekil 4.14, hangisinin göz bebeği sınır tespiti yapılmasını daha kolay ve daha kesin hale getirdiğini belirlemek için kullanılan farklı kenar saptama tekniklerini (Canny operatörü (c), Robert operatörü (ç), Sobel operatörü (d), and Prewit operatörü (e)) göstermektedir.

4.2.1.5.Sonuç

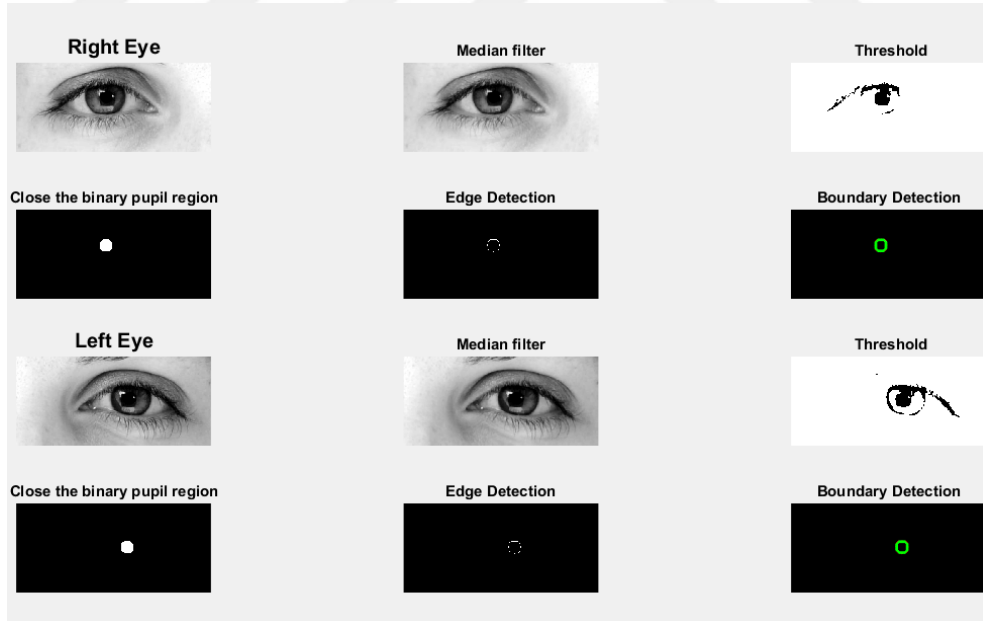
Tablo 4.1: Kullanılan yöntemlerin avantaj ve dezavantajları

Yöntem	Avantajlar	Dezavantajlar
Medyan (Ortanca) filterleme	Basit	Görüntüyü bulanıklaştırır
Görüntü eşikleme	Uygulaması kolay	Uygun sonuç için uygun eşişe ihtiyaç vardır
Morfolojik operasyonlar	İkili görüntü, görüntü onarım sürecini hızlandırır ve pozitif performansla sonuçlanır	Optimal sonuç için uygun morfoloji operatörünün seçilmesi gerekir
Kenar algılama (Canny)	Göz bebeği pozisyon saptama doğruluğunu geliştirmede çok etkili	Adaptif (Uyarlanır)Eşik Tayini

Bölüm 4.2.1'de tarif edilen göz bebeği tespiti yönteminin tüm dezavantajları nedeniyle (**Tablo 4.1**), otomatik tespit için başka bir yöntem kullanılmalıdır (Bölüm 4.2.2. Göz Bebeği Tespiti – İkinci Yöntem bakın) .

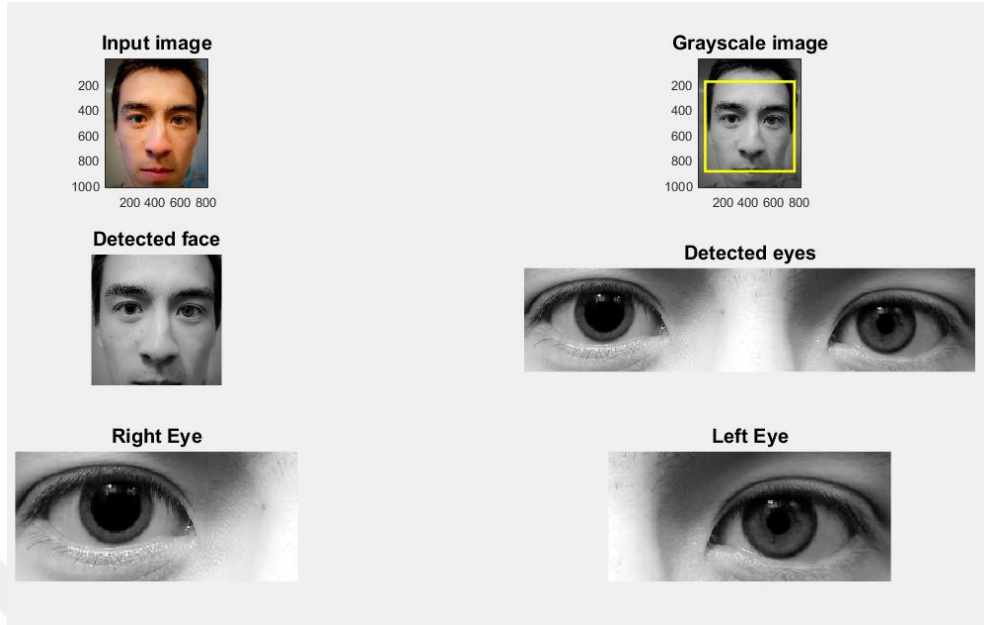


Şekil 4.15: Yüz ve göz bölgesi tespiti (Anizokori olmayan durum)

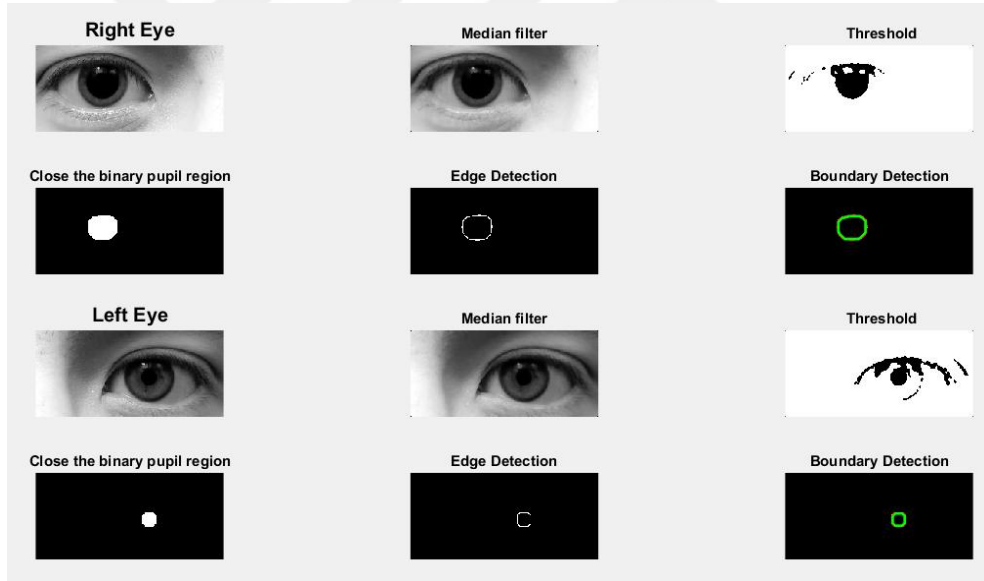


Şekil 4.16: Göz bebeği tespit adımları (Anizokori olmayan durum)

Veri tabanından rasgele olarak indirilen bir giriş görüntüsü için (Anizokorisi olmayan bir kişinin profil resmi), yüzün ve sol ve sağ göz bölgelerinin tespiti ile ilgili sonuçların örneği **Şekil 4.15**'te ve **Şekil 4.16**'dadaki göz bebeği tespitinde tüm kullanılmış görüntü işleme teknikleri gösterilmektedir.



Şekil4.17: Yüz ve göz bölgesi tespiti (Anizokorili durum)

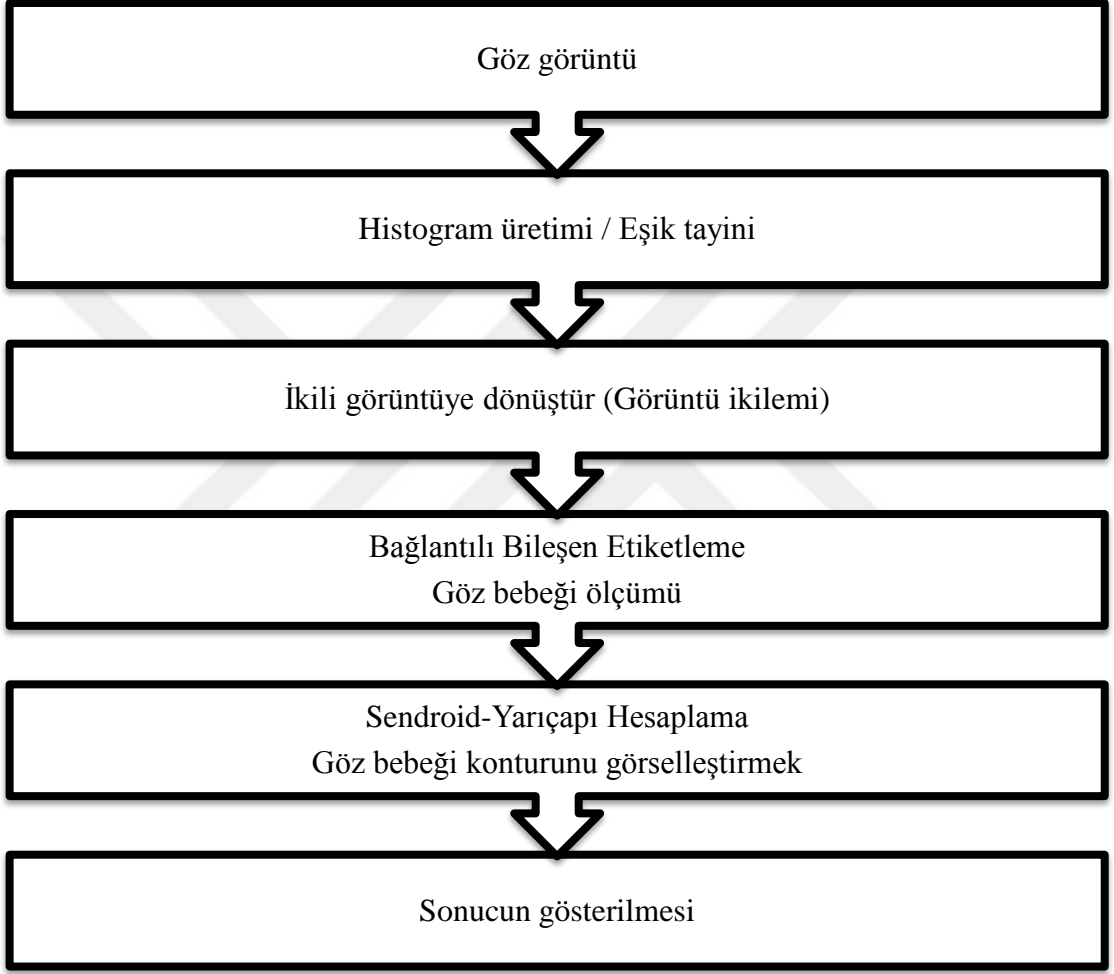


Şekil 4.18: Göz bebeği tespit adımları (Anizokorili durum)

İnternette rastgele olarak indirilen bir giriş görüntüsü için (Anizokorili bir kişinin profil resmi), yüz ile sol ve sağ göz bölgelerinin tespiti ile ilgili sonuçların örneği Şekil 4.17'de ve Şekil 4.18'de göz bebeği tespitinde tüm kullanılan görüntü işleme teknikleri gösterilmektedir.

4.2.2. Göz Bebeği Tespiti – İkinci Yöntem

Şekil 4.19, ikinci önerilen yöntemin aşamalarını göstermektedir. Göz bebeği algılama, bu görüntü işleme teknikleri kullanılarak uygulanabilir: Histogram üretimi, Görüntü ikilemi, Bağlantılı bileşen etiketleme ve Sendroid-yarıçapı hesaplama. Göz bebeği otomatik tespiti için bu yöntem kullanılmalıdır.



Şekil 4.19: Göz bebeği algılama diyagramı (İkinci yöntem)

4.2.2.1. Histogram ve Görüntü İkilemi

Göz bebeği çıkartmayı, görüntü eşliğini veya sözde ikili hale getirmeyi içerir. Göz bebeği tespitinde, ikili hale getirmenin amacı, göz görüntüsünü iki parçaya, göz bebeğine ve arka plana bölmektir. Uygun eşik değerinin tespiti önemlidir.

Görüntü işlemede yaygın olarak kullanılan bir yöntem olarak, şu ana kadar Otsu eşik belirleme yöntemi, optimal etkileşimli eşikleme yöntemi, minimum hataya dayalı global eşik

yöntemi ve benzeri gibi çeşitli ikileştirme yöntemleri önerilmiştir. Göz görüntüleri için, bu yöntemler göz bebeğini mükemmel bir şekilde bölmek için kullanılamaz. Göz görüntülerinin özelliklerine göre, uygun eşiği bulmak için histograma dayanan ikileştirme kullanılır. Histogram üretimi ve eşik belirlenmesi için kullanılan Matlab kodu, **Şekil 4.20**'de gösterilmiştir.

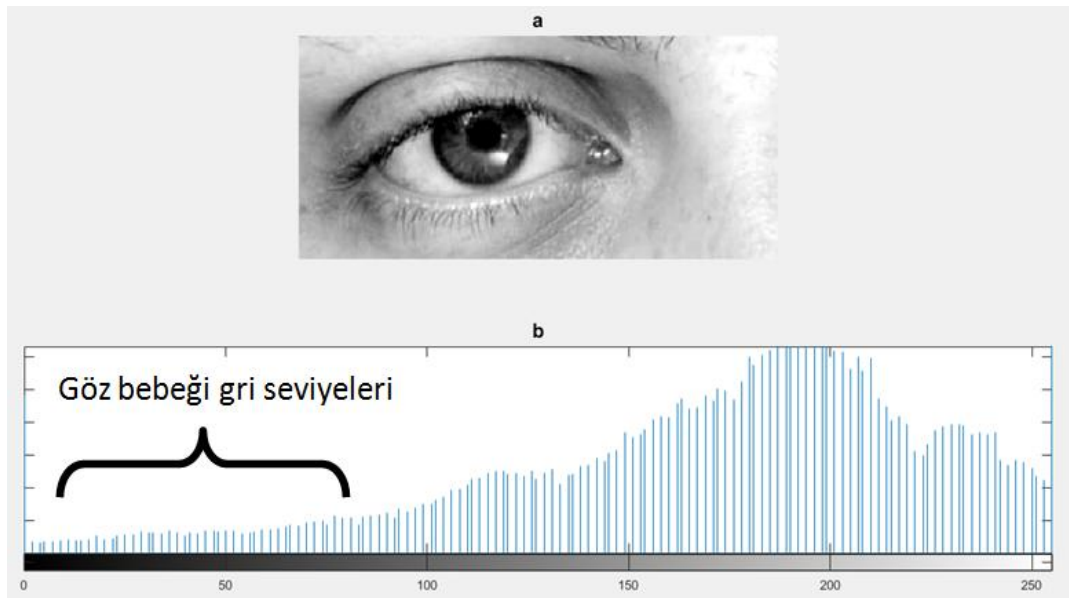
```
% Histogram üretimi (Histogram generation)
[img_hist,img_bins] = hist(double(I(:)),n);

% Eşik tayini (Threshold determination)
T = img_bins(1);

% imge ikili hale getirme (binarization) /eşikleme (thresholding)
B = I < T ;
```

Şekil 4.20: Histogram üretimi ve eşik belirlenmesi için kullanılan Matlab kodu

$[img_hist, img_bins] = hist(I,n)$ gri tonlamalı görüntü I için histogramı hesaplar. $hist()$ işlevi, img_hist 'teki histogram sayılarını (counts) ve img_bin 'deki sütun konumlarını (bin locations) döndürür. n histogramı hesaplamak için kullanılan sütun sayısını belirtir. Gri tonlamalı bir görüntü ise, n için varsayılan değer 256 olacak (**Şekil 4.21**). Eğer ikili bir görüntü ise, n iki sütundur.



Şekil 4.21: Gri tonlamalı göz görüntü (a) ve aynı görüntü histogramı (b)

Nesneyi (göz bebeği) arka plandan çıkarmak için T (eşik değeri) seçilir. I gri tonlu görüntü ise. Eğer $I(x,y)$ noktanın değeri eşik değeri T 'den daha küçük ise o nokta bir nesne noktasıdır, aksi halde, nokta arka plan noktasıdır.

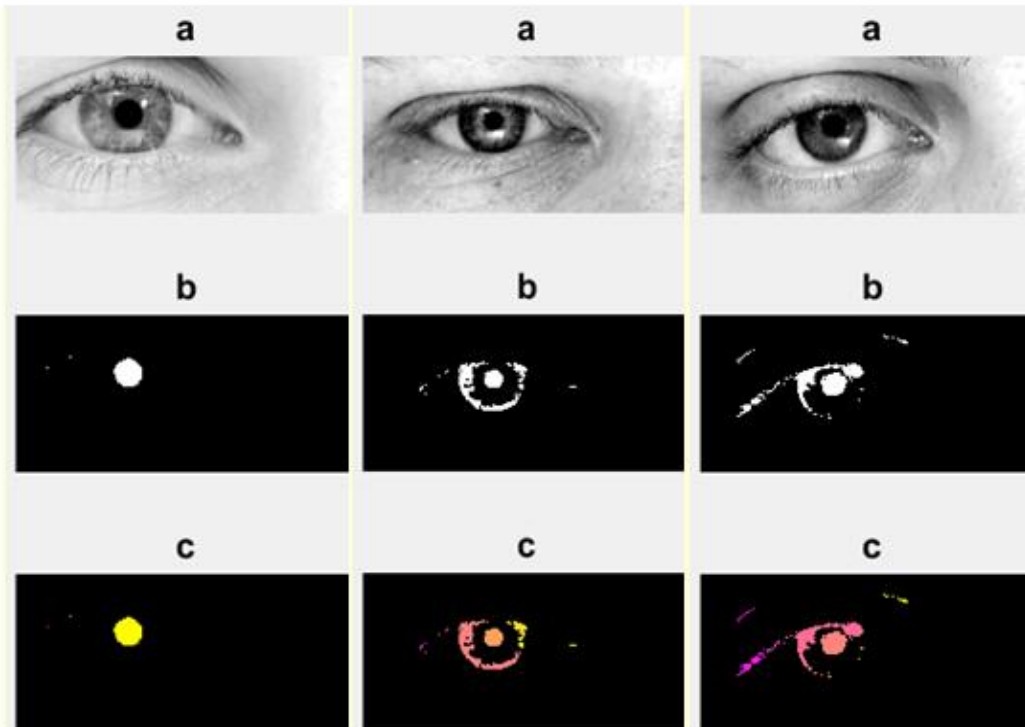
Gri tonlamalı görüntü I ikili hale getirme şu şekilde yapılmıştır:

$$B(x,y) = \begin{cases} 1, I(x,y) < T \text{ Nesne Noktası} \\ 0, I(x,y) \geq T \text{ Arka Planı Noktası} \end{cases} \quad (4.2)$$

$B(x,y)$ ikili görüntü ise. Bazı örnekler Şekil 4.22'de (b) gösterilmiştir.

4.2.2.2. Bağlantılı Bileşen Etiketleme ve Göz Bebeği Ölçümü

Gürültülü pikselleri ortadan kaldırmak ve eşik göz görüntüsünden göz bebeği özelliğini doğru bir şekilde tespit etmek için, bağlantılı bileşen etiketleme algoritması kullanılır. Görüntüdeki bir bölge (region), birbirine komşu olan benzer yoğunluk değerlerine sahip bir piksel kümesidir. Bölgeler çıkarıldıktan sonra sayı/renkler ile etiketlenir. Bu adımın bazı sonuçları Şekil 4.22'de (c) gösterilmiştir.



Şekil 4.22: Gri tonlamalı göz görüntü (a), ikili görüntü (b) ve etiketli görüntü (c)

Bağlantılı Bileşen Etiketleme ve Göz bebeği ölçmesi için kullanılan Matlab kodu, **Şekil 4.23**'de gösterilmiştir.

```
% Bağlantılı bileşen etiketleme (Connected components labeling)
labeled = bwlabel(EI,8);
rgb = label2rgb(labeled,'spring',[0 0 0]);

% Göz bebeği adayları (Pupil candidates)
candidate_pupil =
regionprops(labeled,'Area','Eccentricity','Centroid','BoundingBox');
maxArea = 0;
for i = 1 : length(candidate_pupil)
    if(candidate_pupil(i).Area > maxArea) &&
(candidate_pupil(i).Eccentricity <= 0.7)
        maxArea = candidate_pupil(i).Area;
        m = i;
    end
    pupil_size= maxArea
end
```

Şekil 4.23: Bağlantılı Bileşen Etiketleme ve Göz bebeği ölçümü için kullanılan Matlab kodu

Matlab'da, *bwlabel* işlevi, ikili bir görüntünün etiketlenmesi için kullanılır *EI* giriş göz görüntüsüdür. Piksel bağlantırlığı 8'dir. Pikseller, kenarları veya köşeleri temas ettiğinde bağlanır. İki bitişik piksel, her ikisi de yatay, dikey veya çapraz yönde birbirine bağlıysa, aynı nesnenin parçasıdır.

rgb yeni etiketli bir görüntüdür. *label2rgb* işlevi, etiket matrisini (*rgb* görüntü) RGB görüntüsüne dönüştürür. $RGB = label2rgb(L, cmap, zerocolor)$, arka plan elemanlarının RGB rengini belirtir (etiketlenmiş pikseller 0'dır).

L (labeled) - Negatif olmayan tamsayıların $m \times n$ matrisi olarak belirtilen bitişik bölgelerin etiket matrisi. Arka Plan Pikselleri 0 ile etiketlenmiştir. 1 ile etiketlenen pikseller bir nesneyi oluşturur; 2 ile etiketlenmiş pikseller ikinci bir nesneyi oluşturur; ve benzeri.

cmap (spring) - Arka plan piksellerini renkli cyan (cam bebeği) rengine ayarlar ve etikete rengin nasıl atanacağını randomize eder.

zerocolor ([0 0 0]-siyah) - Bitişik bölgelerin etiket matrisi, 3 elemanlı vektör olarak belirtilmiştir.

Bu algoritma ayrıca göz bebeği özelliklerini de belirler. *Regionprops*, ikili görüntüdeki (*labeled*) her 8-bağlı bileşenin özellikleri tarafından belirtilen özellikler kümesi için ölçümler (Alan, Eksantriklik, Sendroid (Kütle merkesi), Sınırlayıcı kutu (BoundingBox)) döndürür.

Sol ve sağ göz bebeği büyüklüğü, göz bebeği tespitinin bu adımında ölçülmüştür. Sonuçlar **Tablo 4.2**'de ve **Tablo 4.3**'te gösterilmektedir. Bu veriler Anizokori tespitinde kullanılmıştır. Anizokori mevcut olduğu durumlarda, bir göz bebeği boyutunun diğerinden en az iki kat daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.2: Sol ve sağ göz bebeği alan büyüklüğü (Anizokorili durum)

Görüntünün adı	Çözünürlük	Sol Göz	Sağ Göz
Resim 1	640x464	232	51
Resim 2	186x271	12	41
Resim 3	640x778	276	48
Resim 4	960x1207	736	291
Resim 5	892x1020	55	19

Tablo 4.3: Sol ve sağ göz bebeği alan büyüklüğü (Anizokori olmayan durum)

Görüntünün adı	Çözünürlük	Sol Göz	Sağ Göz
Resim 1	4256x2832	440	442
Resim 2	4256x2832	472	461
Resim 3	4256x2832	597	579
Resim 4	4256x2832	1116	1256
Resim 5	4256x2832	821	833

Tablo 4.3 (devam): Sol ve sağ göz bebeđin alan büyüklüğü (Anizokori olmayan durum)

Resim 6	4256x2832	554	431
Resim 7	4256x2832	650	640
Resim 8	4256x2832	641	767
Resim 9	4256x2832	329	359
Resim 10	4256x2832	1120	1120
Resim 11	4256x2832	404	413
Resim 12	4256x2832	667	627
Resim 13	4256x2832	684	633
Resim 14	4256x2832	434	464
Resim 15	4256x2832	685	568
Resim 16	4256x2832	853	796
Resim 17	4256x2832	883	968

4.2.2.3. Sendroid-Yarıçapı Hesaplama (Göz Bebeği Konturunu Görselleştirmek)

Sendroid-Yarıçapı Hesaplama (Göz bebeği konturunu görselleştirmek) için kullanılan Matlab kodu, **şekil 4.24**'te gösterilmiştir.

Ana fikir, koordinatlarda (C_x, C_y) merkezlenmiş R yarıçaplı bir çemberin çizilmesidir. Çember kutupsal koordinatlarda oluşturulmuş ve daha sonra *pol2cart* işlevini kullanarak Kartezyen koordinatlara dönüştürülmüştür.

$theta = linspace(0, 2*pi, nPoints);$ Bu kod satırı ile bir sonraki kutupsal koordinatlarda bir çembertanımlar. Bu kod satırı, 0 ile $2*pi$ arasında değişen nPoints (Göz bebeği kontur noktaları) eşit aralıklı sayıları içeren bir dizi theta oluşturur.

$\rho = \text{ones}(1, nPoints) * Pupil.R$; ρ dizisi, tanımlanan her θ değeri için yarıçapı saklar. $\text{ones}(1, nPoints)$ komutu birler ile dolu bir $1 \times nPoints$ satır matrisi oluşturur. Yarıçap ($pupil.R$) ile çarpma, her elemanı r $pupil.R$ değerine sahip bir dizi oluşturur.

$[X, Y] = \text{pol2cart}(\theta, \rho)$;

pol2cart işlevi polar koordinatları (θ, ρ) Kartezyen koordinatlara (x, y) dönüştürür. Bu işlev, aşağıdaki dönüşüme eşdeğerdir:

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

```

% Çemberin x merkezi (x center of circle)
Pupil.Cx = round(candidate_pupil(m).Centroid(1));
% Çemberin y merkezi (y center of circle)
Pupil.Cy = round(candidate_pupil(m).Centroid(2));
% Çemberin yarıçapı (radius of circle)
Pupil.R =
round(max(candidate_pupil(m).BoundingBox(3)/2, candidate_pupil(m).BoundingBox(
4)/2));

% Göz bebeği konturunu görselleştirmek (Visualizing pupil contour)

% Göz bebeği kontur noktaları / Bir çevreyi tanımlamak için kullanılan nokta
sayısı
% Pupil contour points / Number of points used to define circle
nPoints = 500;

% Kutupsal koordinatlarda bir çember tanımlayan eşit uzunluklu diziler
oluşturmak
% Create equal length arrays defining a circle in polar coordinates

theta = linspace(0, 2*pi, nPoints);
rho = ones(1, nPoints) * Pupil.R;

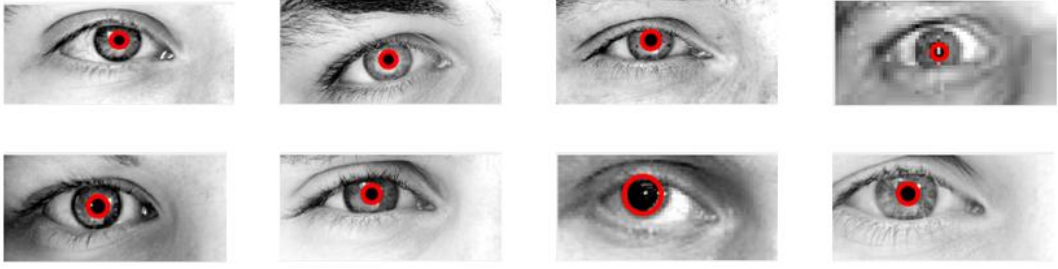
% Kutupsal koordinatları Kartezyen koordinatlara dönüştürür
% Convert polar coordinates to Cartesian coordinates
[X, Y] = pol2cart(theta, rho);

% offset the circle so its center lies at (Cx, Cy)
% daireyi dengelemek
X = X + Pupil.Cx;
Y = Y + Pupil.Cy;

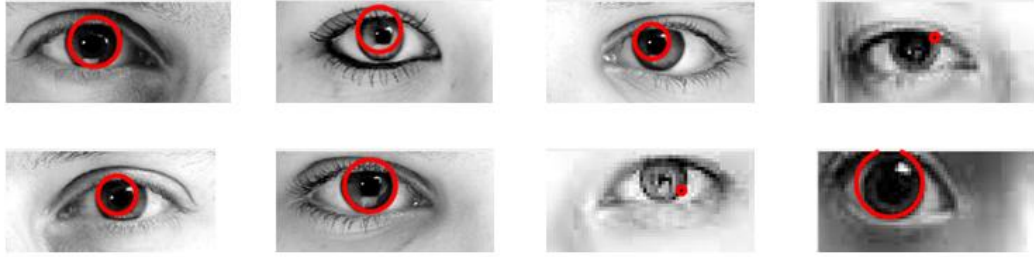
axes(axes4); imshow(I); hold on
plot(X, Y, 'r', 'LineWidth', 3); title('Pupil', 'FontSize', 15);

```

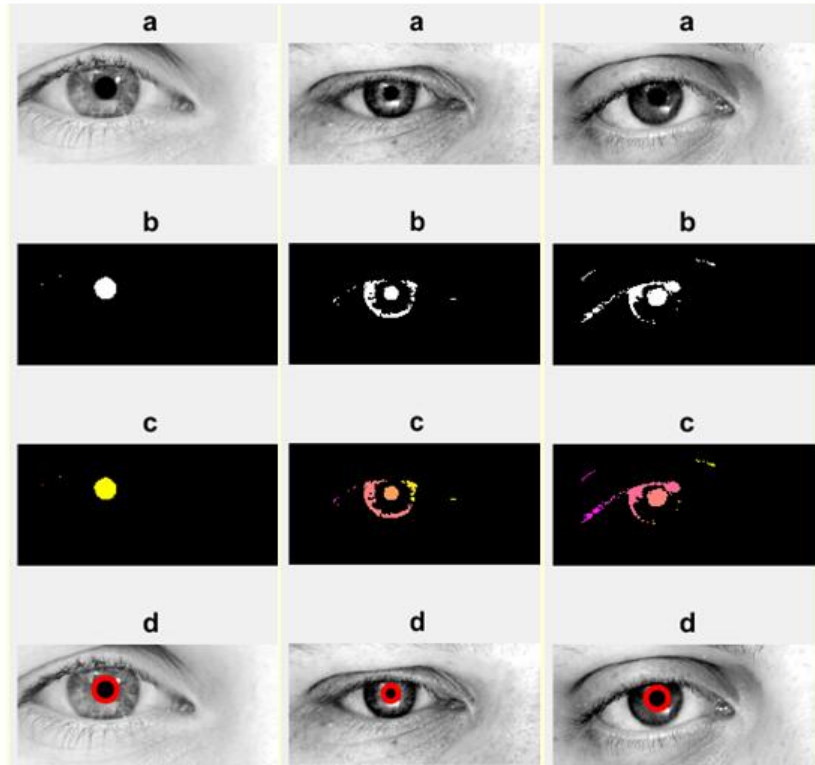
Şekil 4.24: Sendroid-Yarıçapı Hesaplama (Göz bebeği konturunu görselleştirmek) için Matlab kodu



Şekil 4.25: Doğru göz bebeği tespiti için bazı örnekler



Şekil 4.26: Yanlış göz bebeği tespiti için bazı örnekler



Şekil 4.27: Göz bebeği tespiti adımlarının sonuçları: gri tonlamalı görüntü (a), binarizasyondan sonra ikili görüntü (b), bağlantılı bileşen etiketlemeden sonra etiketli görüntü (c) ve sendroid-yarıçapı hesaplamadan sonra göz bebeği konturu ile görüntü

4.3. ANİZOKORİ DURUMUNUN TEŞHİSİ İÇİN GRAFİKSEL KULLANICI ARAYÜZÜ

Önerilen algoritmanın uygulanmasında kolay kullanım sağlamak için MATLAB R2016b'de bir grafik kullanıcı arayüzü (GUI) oluşturulmuştur. Bu GUI, her biri belirli bir operasyon için on basma düğmesinden oluşmaktadır:

- Görüntü yüklemek için 1. *Input Image* düğmesine basın.
- Yüzü algılamak için 2. *Detect Face* düğmesine basın.
- Göz çifti bölgesini tespit etmek için 3. *Detect Eye-Pair* basma düğmesine basın.
- Göz bebeği konturunu görselleştirmek ve giriş görüntüsündeki olası Anizokori varlığının sonucunu göstermek için:

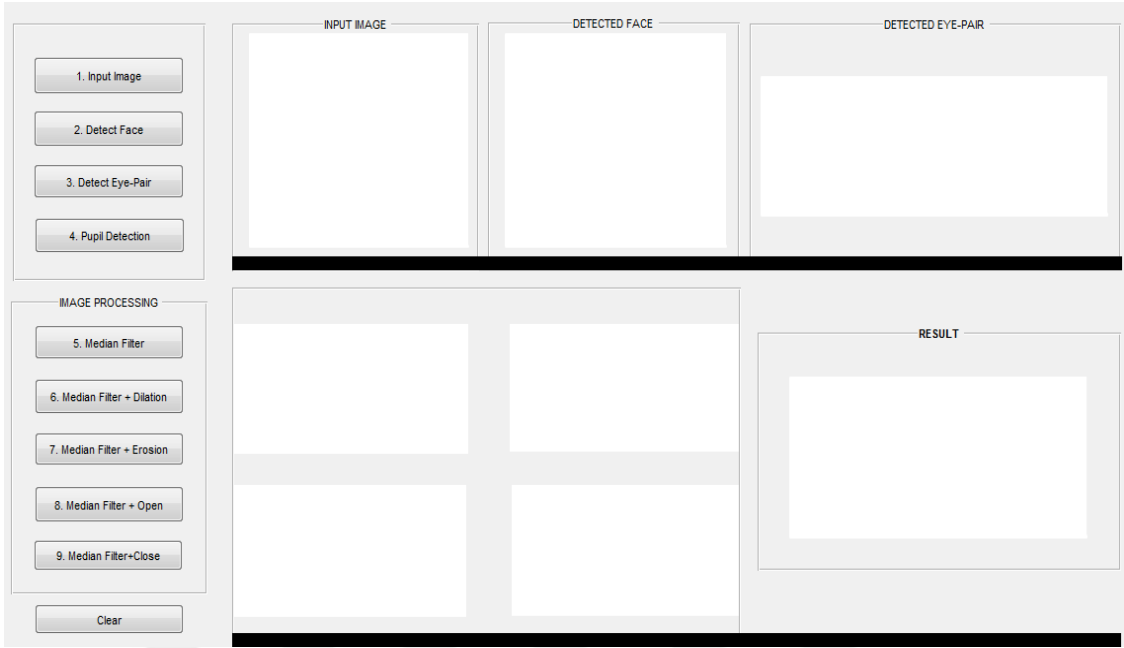
Bu düğmeler, önerilen ikinci yöntemi ve görüntü teknikleriyle birlikte önerilen yöntemi kullanır:

- 4. *Pupil Detection*: Sadece önerilen ikinci yöntemi kullanır;
- 5. *Median Filter*: Medyan filtre kullanımı ile önerilen yöntem kullanır;
- 6. *Median Filter + Dilation*: Medyan filtre ve yayma işlemi kullanımı ile önerilen yöntemi kullanır;
- 7. *Median Filter + Erosion*: Medyan filtre ve aşındırma işlemi kullanımı ile önerilen yöntemi kullanır;
- 8. *Median Filter + Open*: Medyan filtre ve açma işlemi kullanımı ile önerilen yöntemi kullanır;
- 9. *Median Filter + Close*: Medyan filtre ve kapama işlemi kullanımı ile önerilen yöntemi kullanır.

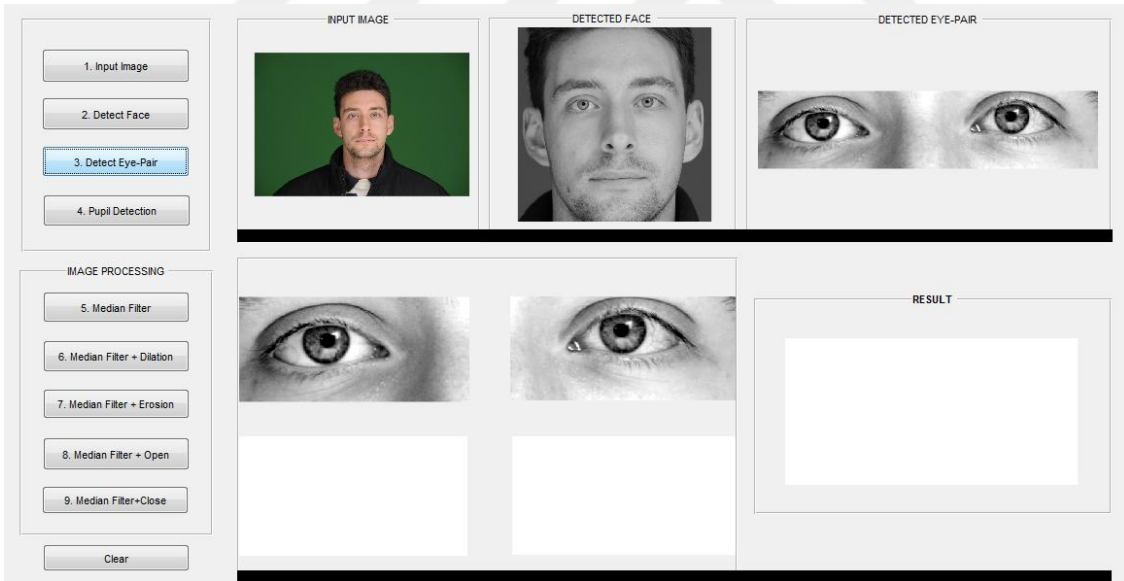
Bu düğmeler (4-9), önerilen ikinci yöntemi ve görüntü teknikleriyle birlikte önerilen yöntemi kullanır.

- Daha önce yapılmış bir işi ve girişi kaldırmak ve yeni giriş için ilk pencereye dönmek için Result (Sonuç) kutusunun altındaki *Clear* basma düğmesine basın.

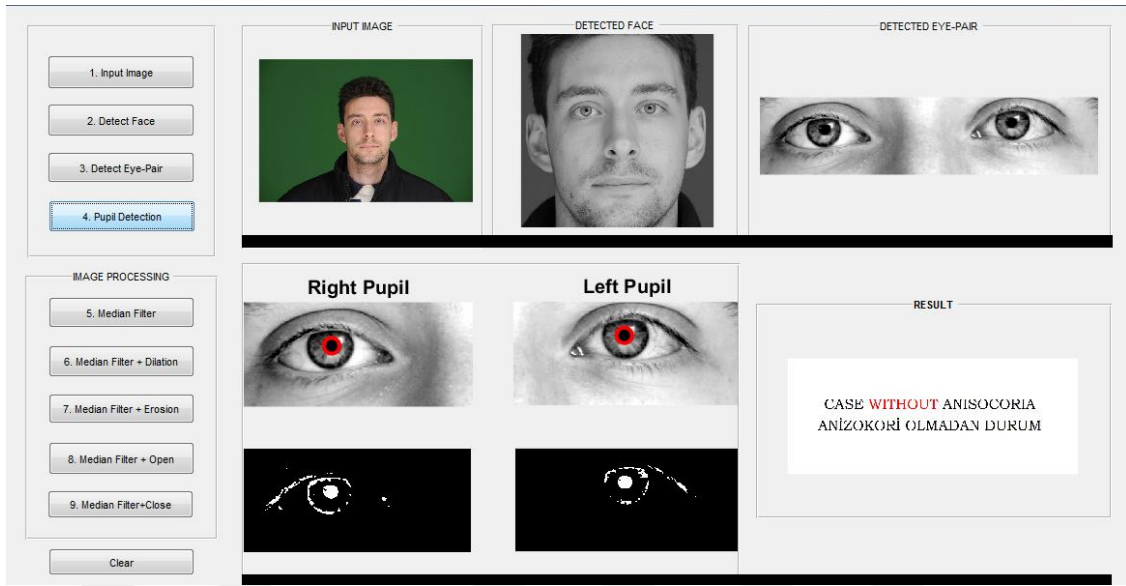
Bu GUI, kullanımı basit ve kolaydır. Basma düğmeleri, numaralandırılma sırasına göre birbiri ardına sırayla basılmalıdır. Geliştirilmiş grafiksel kullanıcı arayüzü için başlangıç giriş ekranı **Şekil 4.48**'de gösterilmiştir. **Şekil 4.30**, yüz ve göz çifti algılaması için sonucun gösterildiği GUI penceresini göstermektedir. **Şekil 4.30**, sonuç ekranını göstermektedir.



Şekil 4.28: Geliştirilmiş grafiksel kullanıcı arayüzünün başlangıç giriş ekranı



Şekil 4.29: Giriş görüntüsü, yüz ve göz çifti algılaması için sonucun gösterildiği GUI penceresi



Şekil 4.30: Sonuç ekranı

Tablo 4.2'de ve **Tablo 4.3**'te verilen bilgilerden, Anizokori'nin mevcut olduğu durumda, bir göz bebeği boyutunun diğerinden en az iki kat daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır. Verilen görüntüdeki Anizokori varlığının belirlenmesi için Matlab kodu **Şekil 4.31**'de gösterilmiştir. *Pupil_size_re* sağ göz bebeğinin büyüklüğüdür. *Pupil_size_le* sol göz bebeğinin büyüklüğüdür.

```

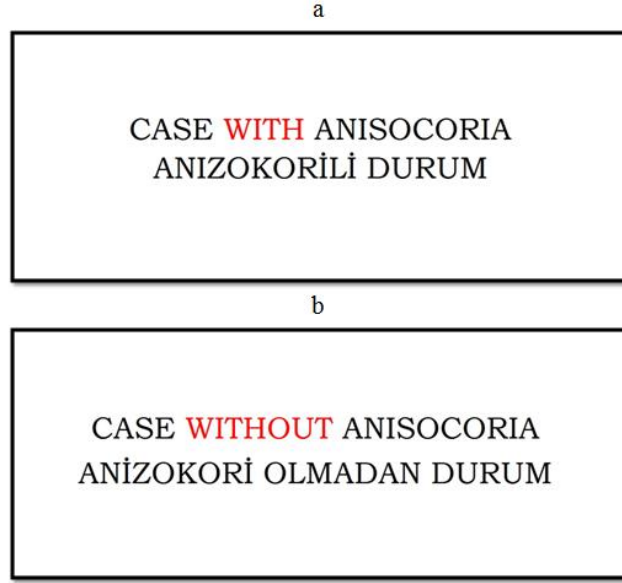
a_yes=imread('anisocoria_yes.jpg');
a_no=imread('anisocoria_no.jpg');

if pupil_size_re>2*pupil_size_le
    axes(handles.axes6); imshow(a_yes);
else if pupil_size_le>2*pupil_size_re
    axes(handles.axes6); imshow(a_no);
else
    axes(handles.axes6); imshow(a_no);
end
end

```

Şekil 4.31: Verilen görüntüdeki Anizokori varlığının belirlenmesi için Matlab kodu

Anizokori'nin varlığı belirlendiğinde, **Şekil 4.32**'de (a) (anisocoria_yes.jpg) verilen görüntü Sonuç kutusunda gösterilir. Anizokori'nin varlığı belirlenmediğinde, **Şekil 4-32**'de (b) (anizokor no.jpg) verilen görüntü Sonuç kutusunda gösterilmiştir.



Şekil 4.32: Anizokori durumu olduğunda (a) ve olmadığında (b) sonuç görüntüleri

4.4.ÖNERİLEN ALGORITMA PERFORMANS ÖLÇÜMÜ

Önerilen algoritmanın performansları 75 görüntü (veri tabanından 60 görüntü ve İnternette indirilen 15 görüntü) kullanılarak analiz edilmiş ve ölçülmüştür. Kardeşler Görüntü Veritabanından (Siblings Image Database) rastgele alınan giriş görüntüleri için yüz bölgesi, göz bölgesi ve göz bebeği tespit oranları (Anizokori olmayan durum) **Tablo 4.4**'te gösterilmiştir. İnternette indirilen görüntüler için (Anizokorili durum) tespit oranları **Tablo 4.5**'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Kardeşler Görüntü Veritabanından (Siblings Image Database) rastgele alınan giriş görüntüleri için yüz bölgesi, göz bölgesi ve göz bebeği tespit oranları (Anizokori olmayan durum).

Veri Tabanı Anizokorisiz	Giriş görüntü toplam sayısı	Doğru sonuç	Yanlış sonuç	Tespit oranı %
Yüz Bölgesi Tespiti	60	54	6	90
Göz Bölgesi Tespiti	54	47	7	87
Sağ Göz bebeği Tespiti	47	29	18	61
Sol Göz bebeği Tespiti	47	23	24	48,9

Tablo 4.5: İnternette indirilen görüntüler için (Anizokorili durum) yüz bölgesi, göz bölgesi ve göz bebeği tespit oranları.

İnternet Anizokorili	Giriş görüntü toplam sayısı	Doğru sonuç	Yanlış sonuç	Tespit oranı %
Yüz Bölgesi Tespiti	15	14	1	93,3
Göz Bölgesi Tespiti	14	13	1	92,8
Sağ Göz bebeği Tespiti	13	29	18	61
Sol Göz bebeği Tespiti	13	6	7	46,2

Önerilen algoritma için olası sonuçların değerleri **Tablo 4.6**'da verilmiştir.

Dört olası sonuç vardır:

- TP (Gerçek Olumlu) Anizokori mevcut ve test sonucuolumlu,
- TN (Gerçek Olumsuz) Anizokori namevcut ve test sonucuolumsuz,
- FN (Yanlış Olumsuz) Anizokori mevcut ve test sonucuolumsuz,
- FP (Yanlış Olumlu) Anizokori namevcut ve test sonucuolumlu.

Tablo 4.6: İhtimal tablosu ve performans ölçümleri (Gerçek Pozitif (TP), Yanlış Pozitif (FP), Yanlış Negatif (FN) ve Gerçek Negatif (TN) tahminlerin sayısı)

		ANİZOKORİ DURUMU		
		Mevcut	Namevcut	Toplam
TEST SONUCU	Olumlu (Pozitif)	TP=11	FP=22	33
	Olumsuz (Negatif)	FN=2	TN=25	27
Sütun Toplamı		13	47	60

Önerilen algoritmanın Anizokori durumun varlığını doğru bir şekilde belirleme olasılığı %85'dir (Duyarlılık). Önerilen algoritmanın, Anizokori durumun bulunmadığını doğru bir şekilde belirleme olasılığı %53'dür (Seçicilik).

Olumlu kestirim değeri (PPV) test sonucu olumlu olanların içinde ne kadarının gerçekte Anizokori durumu mevcut olduğunu gösterir. Önerilen algoritma için PPV değeri %33'dür. Benzer şekilde, olumsuz kestirim değeri (NPV) test sonucu negatif olanların içinde ne kadarının gerçekte Anizokori durumu namevcut olduğunu gösterir. Önerilen algoritma için NPV değeri %92'dir.

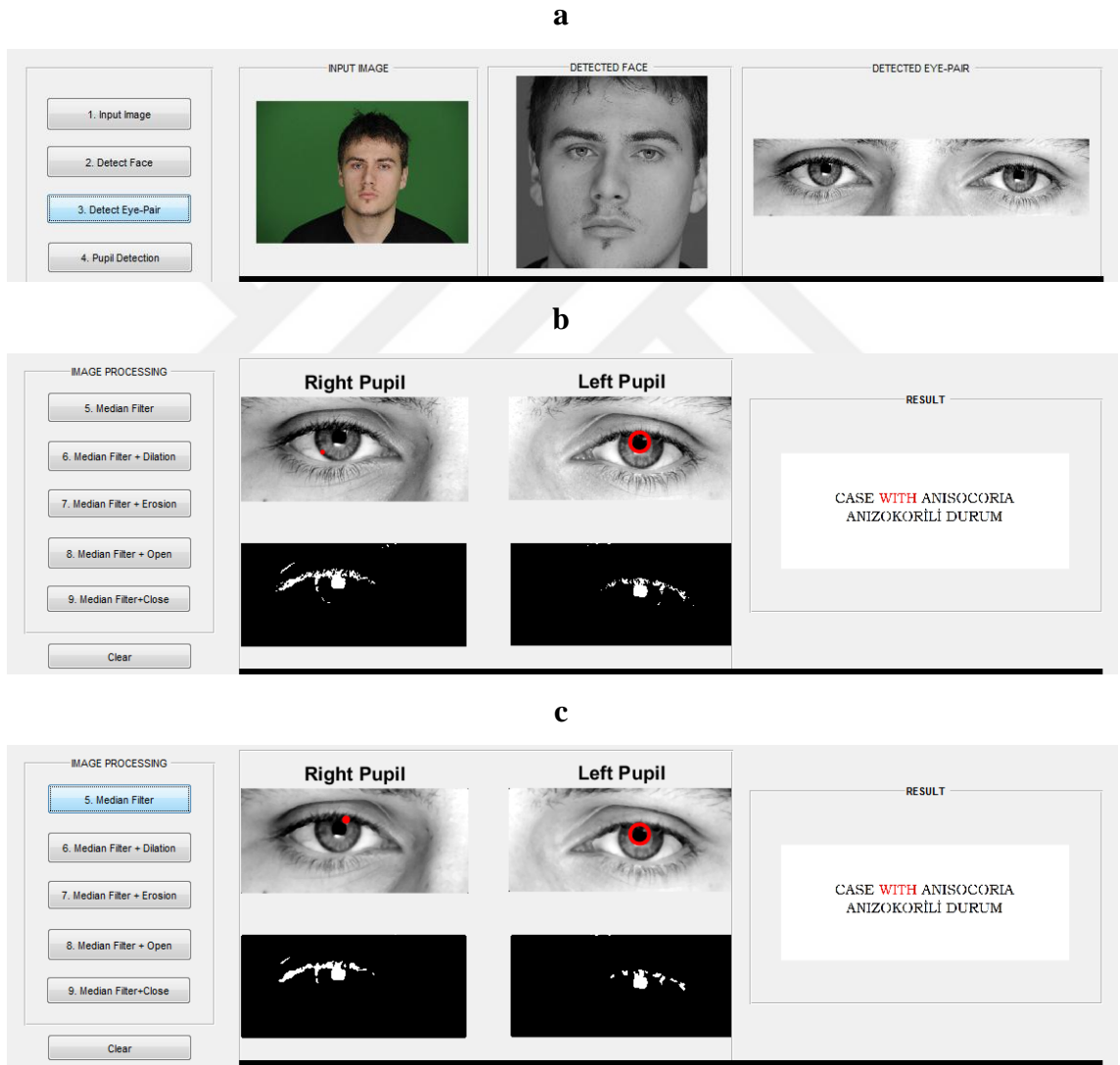
Yanlış olumlu oranı (FPR), Anizokori durumun bulunmadığı vaka test edilen sayıdır fakat mevcut olduğu gibi tespit edilir. Önerilen algoritma için FPR değeri %46'dır. Yanlış olumsuz oranı (FNR), Anizokori durumun bulunmadığı vaka test edilen sayıdır ve namevcut olduğu gibi tespit edilir. Önerilen algoritma için FNR değeri %46'dır.

Hesaplama denklemleri ile kullanılan performans ölçümleri ve onların sonuç değerleri **Tablo 4.7**'de verilmiştir.

Tablo 4.7: Hesaplama denklemleri ile kullanılan performans ölçümleri ve onların sonuç değerleri

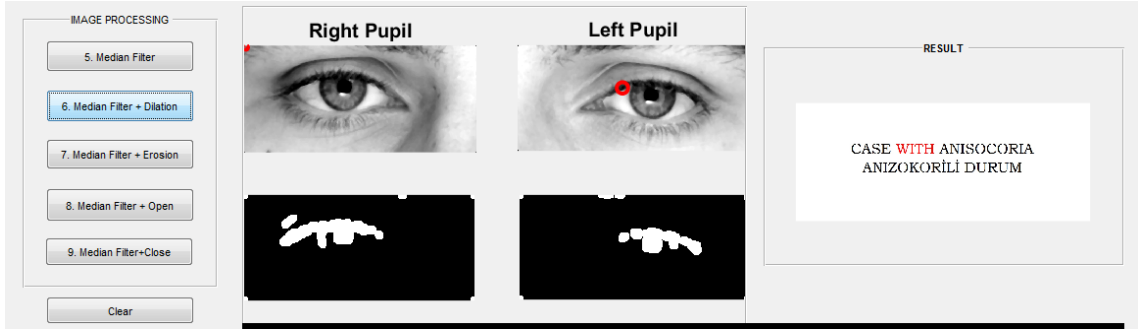
METRİK	DENKLEM	SONUÇ ORANI %
Duyarlılık	$TP/(TP+FN)$	85
Seçicilik	$TN/(TN+FP)$	53
Olumlu Kestirim Değeri (PPV)	$TP/(TP+FP)$	33
Olumsuz Kestirim Değeri (NPV)	$TN/(TN+FN)$	92
Yanlış Olumlu Oranı (FPR)	$FP/(FP+TN)$	47
Yanlış Olumsuz Oranı (FNR)	$FP/(FP+TP)$	67
Doğruluk	$(TN+TP)/(TN+TP+FN+FP)$	60

Görüntü işleme teknikleri, önerilen algoritmanın performansını artırmak için kullanılabilir. **Şekil 4.33** ve **Şekil 4.34**, farklı yöntemlerle sağ ve sol göz bebeği tespiti sonuçlarını göstermektedir. Göz bebeği alanı tespiti ve ölçümü doğru tespit edildiğinde Anizokori tespit performans oranı %100'dür. Elde edilen sonuçlardan (**Tablo 4.8**), önerilen algoritmanın medyan filtresi ve açma işlemi ile birlikte kullanıldığında en uygun optimal çözümün olduğu sonucuna varılmıştır. Sağ göz için tespit oranının %20 ve sol göz için %18 arttığı görülmüştür. Farklı yöntemlerin tespit performansları veritabanından alınmış veya İnternette indirilmiş 50 görüntü için analiz edilmiştir.

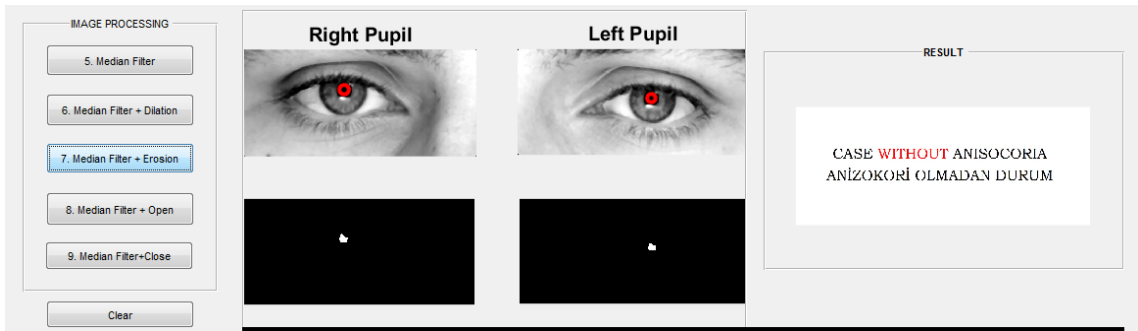


Şekil 4.33: Farklı yöntemlerle sağ ve sol göz bebeği tespiti sonuçları: giriş görüntüsü ile yüz ve göz çifti algılaması (a), önerilen ikinci yöntem (b), medyan filtre kullanımı ile önerilen yöntem (c).

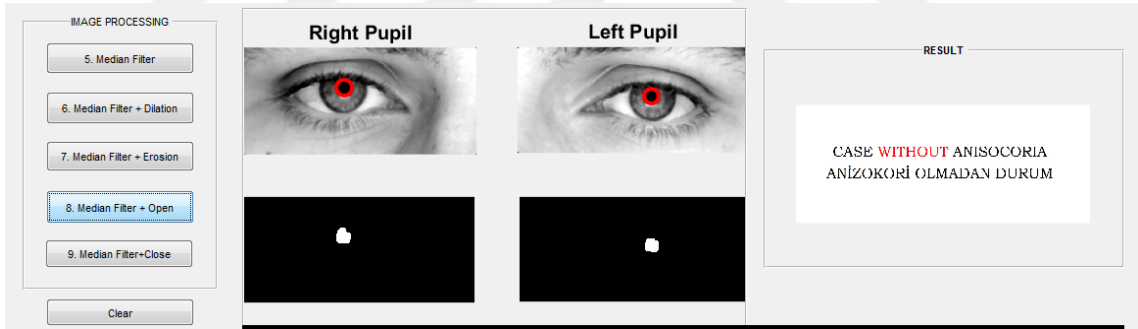
a



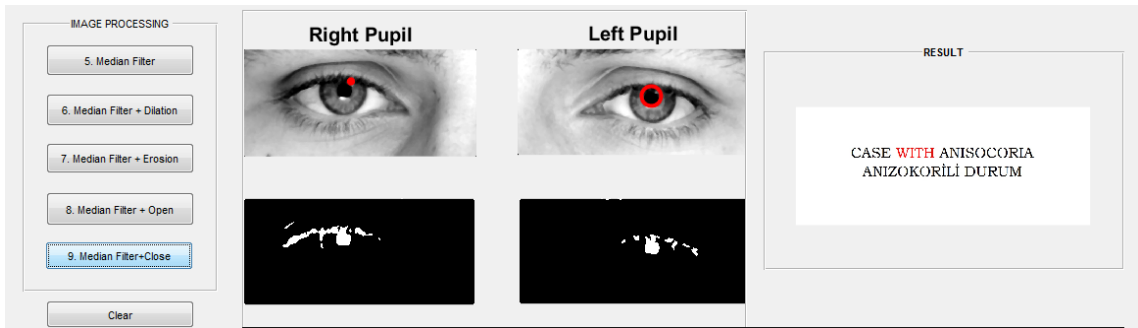
b



c



d



Şekil 4.34: Farklı yöntemlerle sağ ve sol göz bebeği tespitinin sonuçları (medyan filtre ve farklı morfoloji işlemi kullanımı ile önerilen yöntemler): yayma işlemi (a), aşındırma işlemi (b), açma işlemi (c) ve kapama işlemi (d)

Table 4.8: Farklı yöntemlerle sol ve sağ göz bebeği tespitinin sonuçları

Yöntem	Göz bebeği Tespiti	Doğru sonuç	Yanlış sonuç	Tespit edilmedi	Tespit oranı %
Önerilen yöntem	Sağ Göz bebeği	31	19	0	62
	Sol Göz bebeği	25	25	0	50
Önerilen yöntem +Medyan filtresi	Sağ Göz bebeği	32	17	1	64
	Sol Göz bebeği	26	23	1	52
Önerilen yöntem +Medyan filtresi + Aşındırma işlemi	Sağ Göz bebeği	27	0	23	54
	Sol Göz bebeği	23	4	23	46
Önerilen yöntem +Medyan filtresi + Açma işlemi	Sağ Göz bebeği	41	4	5	82
	Sol Göz bebeği	34	11	5	68

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu yüksek lisans tezi, görüntü işleme teknikleri kullanılarak sayısal bir görüntüden Anizokori durumunun tespiti için otomatik bir algoritma önermektedir. Bu algoritma, yüz tespiti, göz tespiti, göz bebeği tespiti ve ölçümünün birleştirildiği bir algoritmadır.

Önerilen algoritma, yetişkin insan göz bebeğinden gelen büyüklük bilgilerini kullanarak Anizokori durumunu tespit eder. Anizokori tayininin etkilediği ana faktörler, göz bebeğinin tespit ve görselleştirilmesinin doğruluğudur. Göz bebeği alanı tespiti ve ölçümü doğru şekilde yapılabildiğinde Anizokori tespit performans oranı %100'dür. Gelecekteki çalışmalarda, göz bebeğinin en doğru şekilde tespitine odaklanmak gerekmektedir. Bunun için akıllı hesaplama yöntemleri veya makine öğrenimi kullanılabilir.

Önerilen algoritma testleri farklı özelliklere sahip 75 görüntü üzerinde gerçekleştirilmiştir. Test sonucu, önerilen algoritmanın doğruluk oranının %60 olduğunu göstermiştir. Görüntü işleme teknikleri, önerilen algoritmanın performansını artırmak için kullanılabilir. Medyan filtre ve temel morfoloji operasyonları göz bebeği tespitini geliştirmek için önerilen algoritma ile birlikte kullanılmıştır. Test etikten sonra, önerilen algoritmanın medyan filtre ve açığışlemi ile kombinasyon halinde en iyi sonuçları verdiği sonucuna varılmıştır.

Sonucu daha da iyileştirmek için, görüntü kalitesinde geliştirilmelidir. Daha iyi görüntükarakteristiği ve daha büyük veri kümesindeki testler, algoritmaların doğruluğunu artıracaktır.

Bu tezde anlatılan tüm algoritma adımları MATLAB R2016'da gerçekleştirilmiştir. Grafikselleştirici kullanıcı arayüzü (GUI) önerilen algoritma için geliştirilmiştir. Oftalmoloji, bilgisayar görme ve psikoloji gibi farklı alanlardan birçok uygulama, göz bebeği tespit ve boyut ölçümü için onu uygun hale getirebilir ve kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Basit, A., Javed, M. Y., & Masood, S. (2008). Non-circular Pupil Localization in Iris Images. *2008 4th International Conference on Emerging Technologies* .

Beynon-Davies, P. (2007). Personal identity management and electronic government: The case of the national identity card in the UK. *Journal of Enterprise Information Management* , 244-270.

Birgale, L., & Kokare, M. (2009). A survey on iris recognition. *The IUP Journal of Electrical & Electronics Engineering* , 7-25.

Burkhouse, K. L., Siegle, G. J., Woody, M. L., Kudinova, A. Y., & Gibb, B. E. (2015). Pupillary reactivity to sad stimuli as a biomarker of depression risk: Evidence from a prospective study of children. *Journal of Abnormal Psychology* .

Chandra, A., Durand, R., & Weaver, S. (2008). The uses and potential of biometrics in health care: Are consumers and providers ready for it? *International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing* , 22-34.

Daugman, J. G. (1993). High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* .

Dey, S., & Samanta, D. (2007). An Efficient Approach for Pupil Detection in Iris Images. *15th International Conference on Advanced Computing and Communications (ADCOM 2007)* .

Freund, Y., & Schapire, R. E. (1999). A Short Introduction to Boosting. *Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence* , 771-780.

Friedman, N. J., & Kaiser, P. K. (2009). *The Massachusetts Eye and Ear Infirmary Illustrated Manual of Ophthalmology*. Elsevier Health Sciences.

Gavrilova, M. L., & Monwar, M. M. (2011). *Current Trends in Multimodal Biometric System—Rank Level Fusion*. In: Wang P.S.P. (eds) *Pattern Recognition, Machine Intelligence and Biometrics*. Springer, Berlin, Heidelberg.

Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2008). *Digital Image Processing*. Gatesmark Publishing.

Htwe, C. D., & Htay, W. (2011). Performance evaluation of iris region detection and localization for biometric identification system. *World Academy of Science, Engineering and Technology* , 229-232.

Iacoviello, D. (2006). Analysis of pupil fluctuations after a light stimulus by image processing and neural network. *Computers & Mathematics with Applications* , 1260-1270.

Jain, A. K., Bolle, R., & Pankanti, S. (1999). *Biometrics: Personal Identification in Networked Society*. . Kluwer Academic Publishers.

Jia, W., Cai, H.-Y., Gui, J., Hu, R.-X., Lei, Y.-K., & Wang, X.-F. (2012). Newborn footprint recognition using orientation feature. *Neural Computing and Applications* , 1855-1863.

Kanamori, K., Shirataki, Y., Liao, Q., Ogawa, Y., Suzuki, T., & Kondo, N. (2017). Fish freshness estimation using eye image processing under white and UV lightings. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* .

Liam, L. W., Chekima, A., Fan, L. C., & Dargham, J. A. (2002). Iris recognition using self-organizing neural network. *Student Conference on Research and Development* , 169-172.

Lin, L., Lin, P., LiFang, W., & Lun, Y. (2010). A robust and accurate detection of pupil images. *3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics*. Yantai, China: IEEE.

Mahmood, N. H., Uyop, N., Mansor, M. M., & Jumadi, A. M. (2011). Measurement of the Area and Diameter of Human Pupil Using Matlab. *5th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering* (s. vol 35.). Berlin, Heidelberg: Springer.

Manivannan, S., & Padma, E. (2011). Comparative and analysis of biometric systems. *International Journal on Computer Science and Engineering* , 2156-2162.

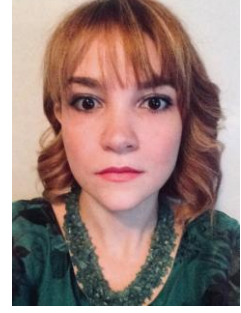
- Murray, H. (2007). Monstrous play in negative spaces: Illegible bodies and the cultural construction of biometric technology. *The Communication Review* , 347-365.
- Nowak, W., Zarowska, A., Szul-Pietrzak, E., & Misiuk-Hojło, M. (2014). System and measurement method for binocular pupillometry to study pupil size variability. *BioMedical Engineering OnLine* .
- Pasarica, A., Cehan, V., Bozomitu, R. G., & Lupu, R. (2015). Pupil detection algorithms for eye tracking applications. *2015 IEEE 21st International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging* .
- Ross, A., Nandakumar, K., & Jain, A. K. (2006). *Handbook of Multibiometrics*. Springer, New York.
- Roy, K., & Bhattacharya, P. (2010). Improvement of iris recognition performance using region-based active contours, genetic algorithms and SVMs. *International Journal of Pattern Recognition* , 1209-1236.
- Sonka, M., Hlavac, V., & Boyle, R. (2013). *Image Processing , Analysis, and Machine Vision*. Cengage learning.
- Sonka, M., Hlavac, V., & Boyle, R. (2008). *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*. Thomson Learning .
- Türk, A., Günay, M., & Erdöl, H. (2011). Farklı ışık şiddetlerinde elde edilen pupillometrik ölçümlerin Adie'nin tonik pupillası tanısındaki rolü. *e-Genel Tıp Dergisi (elektronik)* , 158-162.
- Viola, P., & Jones, M. (2004). Robust real-time object detection. *International Journal of Computer Vision* , 137-154.
- Wildes, R. (1997). Iris recognition: an emerging biometric technology. *Proceedings of the IEEE* , 1348-1363.
- Yang, M. H., Kriegman, D. J., & Ahuja, N. (2002). Detecting faces in images: a survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* , 34-58.

Özkaya, N., & Sağiroğlu, S. (2010). Generating One Biometric Feature from Another: Faces from Fingerprints. *Sensors* , 4206-4237.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Nerma COROVIC (ĆOROVIC)
Doğum Yeri	Novi Pazar, SIRBİSTAN
Doğum Tarihi	24.11.1990
Uyruğu	<input type="checkbox"/> T.C. <input checked="" type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	050 50 538 031 TR +38164 57 39 306 SR
E-Posta Adresi	nerma_c90@hotmail.com



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Novi Pazar Devlet Üniversitesi
Fakülte	Teknik Bilimler
Bölümü	Bilgisayar Teknik
Mezuniyet Yılı	2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Bilgisayar Mühendisliği Programı