**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# İRİSTEN KİMLİK TANIMA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektronik ve Haberleşme Mühendisi Sinem ÖZER DURMUŞ**

**Anabilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. M. Kemal GÜLLÜ**

**KOCAELİ, 2010**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# İRİSTEN KİMLİK TANIMA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektronik ve Haberleşme Mühendisi Sinem ÖZER DURMUŞ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:30.12.2009**
**Tezin Savunulduğu Tarih:17.02.2010**

| Tez Danışmanı | Üye | Üye |
|---|---|---|
| Yrd. Doç. Dr. | Prof. Dr | Prof. Dr. |
| M. Kemal GÜLLÜ | Sarp ERTÜRK | Emin ANARIM |
| (.....) | (.....) | (.....) |

**KOCAELİ, 2010**

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez kapsamında iristen kimlik tanıma ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar anlatılmıştır. Bu konu üzerinde çalışmak isteyen araştırmacılara ve öğrencilere faydalı olmasını dilerim.

Tez çalışmalarım boyunca yardımlarını eksik etmeyen sevgili danışman hocam Yrd.Doç.Dr. M. Kemal Güllü' ye, Yüksek Lisans eğitimimde görüntü işleme dalına yönelmemi sağlayan ve desteğini esirgemeyen hocam sayın Prof. Dr. Sarp Ertürk'e teşekkür ederim.

Bu yola birlikte çıktığım, her aşamasını birlikte atlattığım ve bu süreçte yardımlarını hiç esirgemeyen, hep destek ve moral veren, yüksek lisansı bitirmeni benden çok isteyen sevgili dostlarım Yük. Müh. Aysun Taşyapı Çelebi ve Yrd. Doç. Dr. Anıl Çelebi'ye sonsuz teşekkürler.

İçine düştüğüm sıkıntılardan beni alıp çıkaran, moralimin bozulmasına izin vermeyen ve sıkıştığımda hep yanımda bulduğum sevgili dostum Ozan Kuşçu'ya desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Yüksek lisansı bitirmemi dört gözle bekleyen ve bitirdiğimde benden daha çok sevineceklerini düşündüğüm aileme, her koşulda yanımda olan stresli zamanlarımda beni yatıştırmaya ve moral vermeye çalışan sevgili eşim Ersun Durmuş'a sabrından ve desteğinden dolayı teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR ..... i
İÇİNDEKİLER ..... ii
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... iiv
TABLOLAR DİZİNİ ..... v
SİMGELER DİZİNİ ..... vi
KISALTMALAR ..... vi
ÖZET ..... vii
İNGİLİZCE ÖZET ..... viii
1. GİRİŞ ..... 1
1.1. Biyometrik Tanıma ..... 1
1.2. Gözün ve İrisin Yapısı ..... 4
1.3. İris Tanıma ..... 8
1.4. İris Tanımayla İlgili Literatürdeki Çalışmalar ..... 8
1.5. Tezin Amacı ..... 11
2. İRİS BÖLÜTLEME ..... 13
2.1. Genel Bakış ..... 13
2.2. İrisin Bölütlenmesi İçin Literatürde Kullanılan Yöntemler ..... 13
2.2.1 Hough dönüşümü ..... 13
2.2.2 Daugman'ın tümleşik-türev operatörleri ..... 15
2.2.3 Aktif çevrit modelleri ..... 16
2.2.4 Kirpik ve gürültü algılama ..... 16
2.3. Önerilen Yöntem ..... 17
2.3.1 Kenar bulma ..... 17
2.3.2 Canny operatörü ..... 18
2.4. Deneysel Sonuçlar ..... 19
3. İRİSİN STANDARTLAŞTIRILMASI ..... 23
3.1. Genel Bakış ..... 23
3.2. İrisin Standartlaştırılması İçin Literatürde Kullanılan Yöntemler ..... 23
3.2.1 Daugman'ın lastik levha (rubber sheet) modeli ..... 23
3.2.2 Wildes'ın imge kayıt sistemi ..... 24
3.2.3 Boles'un sanal daireleri ..... 25
3.3. Önerilen Yöntem ..... 26
3.4. Deneysel Sonuçlar ..... 27
4. ÖZNİTELİK ÇIKARIMI VE EŞLEŞTİRME ..... 29
4.1. Genel Bakış ..... 29
4.2. Öznitelik Çıkartımı İçin Literatürde Kullanılan Yöntemler ..... 29
4.2.1 Dalgacık kodlaması ..... 29
4.2.2 Gabor süzgeçleri ..... 30
4.2.3 Log-Gabor süzgeçleri ..... 32
4.2.4 1-Boyutlu dalgacıkların sıfır geçişleri ..... 32
4.2.5 Haar dalgacığı ..... 33
4.2.6 Gauss süzgeçlerinin laplasyanı ..... 34

4.3. Eşleştirme İçin Literatürde Kullanılan Yöntemler ..... 34
4.3.1 Hamming mesafesi ..... 34
4.3.2 Ağırlıklı Öklid mesafesi ..... 35
4.3.3 Normalleştirilmiş korelasyon ..... 36
4.3.4 Faz korelasyonu ..... 36
4.4. Önerilen Yöntem ..... 40
4.5. Deneysel Sonuçlar ..... 40
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ..... 46
KAYNAKLAR ..... 48
ÖZGEÇMİŞ ..... 51

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: (a) Biyometrik tanıma sisteminin veritabanın oluşturulması, (b) doğrulama modunda ve (c) tanıma modunda çalışan biyometrik sistemler [2] ..... 2
Şekil 1.2: (a) Gözün karşıdan görünümü (b) Gözün anatomik yapısı [3] ..... 4
Şekil 1.3: Dilatör ve Sfinkter kaslarının kasılması [5] ..... 6
Şekil 1.4: İrisin (a) enine kesitinin [3] ve (b) ön kesitinin yapısı ..... 7
Şekil 2.1: (a) CASIA-V1 veritabanından bir imge örneği (b) Bu imgeye karşılık gelen kenar haritası (c) yatay değişimin kenar haritası (d) dikey değişimin kenar haritası ..... 15
Şekil 2.2: (a) CASIA tarafından geliştirilen iris kamerası (b) CASIA veritabanından örnek bir göz imgesi [22] ..... 20
Şekil 2.3: CASIA veritabanından alınmış orijinal imge örnekleri, bu imge örneklerine Canny kenar bulma uygulanması sonucu oluşan kenar bilgileri. (a) gözbebeği sınırlarının doğru olarak bulunduğu, (b) kirpik etkisinden dolayı gözbebeği sınırlarının doğru belirlenemediği imgeler ..... 22
Şekil 3.1: Daugman'ın Lastik Levha (Rubber-Sheet) Modeli [33] ..... 24
Şekil 3.2: (a) Bölütlenmiş iki ayrı iris imgesi (b) Standartlaştırılmış iris imgesi (c) Standartlaştırılmış iris imgesine yerel histogram eşitlemesi uygulanmış hali ..... 27
Şekil 3.3: (a) Bölütlenmiş iris imgeleri (b) Eliptik yapıdaki gözbebeğinden kaynaklanan hatalı standartlaştırılmış iris şablonları ..... 28
Şekil 4.1: 2 tane 4 seviyeli 2B Gabor süzgecinin a) gerçek bileşeni b) sanal bileşeni [33] ..... 31
Şekil 4.2: (a) Uzamsal düzlemde (b) frekans düzleminde standartlaştırılmış iris imgesi [31] ..... 39
Şekil 4.3: (a) Karşılaştırılan iris imgesi, (b) Eşleştirilen iris imgesi, (c) Faz korelasyonu sonucu (Tepe değeri: 0.1523), (d) Bant-sınırlı faz korelasyonu (Tepe değeri: 0.4135) ..... 44
Şekil 4.4: (a) Karşılaştırılan iris imgesi, (b) Farklı bir iris imgesi, (c) Faz korelasyonu sonucu, (d) Bant-sınırlı geçiren faz korelasyonu ..... 45

## TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 4.1: Eşleştirme için sadece faz korelasyonu işlevinin kullanılması durumunda elde edilen başarım oranları ..... 41
Tablo 4.2: Eşleştirme için bant sınırlı faz korelasyonunun kullanılamsı durumunda elde edilen başarım oranları ..... 42

## SİMGELER DİZİNİ

$\mu$ : Ortalama Değer
$\sigma$ : Değişinti
$x_c , y_c$ :Merkez Koordinatları
$r$ :Çap

## KISALTMALAR

BLPOC : Band Limited Phase Only Correlation
CASIA : Chinese Academy of Sciences' Institute of Automation
DFT : Discrete Fourier Transform
FFT : Fast Fourier Transform
H.M. : Hamming Distance
FAR : False Accept Rate
FRR : False Reject Rate
IDFT : Inverse Discrete Fourier Transform
PC : Phase Correlation
WED :Weighted Euclidian Distance

# İRİSTEN KİMLİK TANIMA

**Sinem ÖZER DURMUŞ**

**Anahtar Kelimeler:** Biyometrik Tanıma, İris Tanıma, Canny Kenar Bulma Algoritması, Faz Korelasyonu, Bant Sınırlı Faz Korelasyonu.

**Özet:** Biyometrik sistemler, kişilerin fiziksel ve davranışsal özelliklerinden yararlanarak kimliklerinin tespit edilmesini sağlamak üzere geliştirilmiş bilgisayar kontrollü sistemlerdir. Biyometrik tanımanın temel avantajı, bir kart ya da şifre kullanmak yerine, kimliğinin onaylanmasını isteyen kişinin kendisini fiziksel olarak sisteme tanıtmak zorunda olmasıdır. Bu durum kullanım kolaylığı getirirken, sistemin güvenilirliğini de arttırmaktadır. Biyometrik sistemler, kişinin biyometrik özelliğini bir giriş verisi olarak elde edip, bu veriden anlamlı bölümü çıkaran ve bunu kullanarak oluşturduğu şablonu veritabanındaki diğer şablonlarla karşılaştıran örüntü tanıma sistemleridir. Bu tez kapsamında kişiler arasında yüksek derecede ayırt ediciliğe sahip olması, görüntüsünün elde edilmesinin kolaylığı, kişinin yetişkinlik hayatı boyunca değişmezliği gibi nedenlerden dolayı en güvenilir biyometrik özniteliklerden biri olarak kabul edilen irisi temel alan iris tanıma sistemleri ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kullanılan veritabanındaki imgelerden iris bölgesinin elde edilebilmesi için, Canny kenar bulma algoritması kullanılmaktadır. Daha sonra Daugman'ın lastik levha (rubber sheet) modeli temel alınarak bulunan iris bölgesi standartlaştırılmaktadır. Gözkapakları ve kirpiklerin etkisini azaltmak için standartlaştırılmış iris imgesinden, orijinal iris imgesinde sağ ve soldaki 90 derecelik alanlara karşılık gelen bölgeler alınıp şablon olarak kullanılmaktadır. İris imgelerindeki anlamlı faz bilgisi Fourier Dönüşümü ile ortaya çıkartılıp, faz korelasyonu temelli bir eşleştirme yöntemiyle karşılaştırılarak karar verme işlemi gerçekleştirilmekte ve faz korelasyonunun iris tanıma sistemlerindeki başarımı değerlendirilmektedir.

**IDENTITY RECOGNITION BASED ON IRIS**

**Sinem ÖZER DURMUŞ**

**Keywords**: Biometrics Recognition, Iris Recognition, Canny Edge Detection Algorithm, Phase Correlation, Band Limited Phase Only Correlation.

**Abstract:** Biometric systems are computer controlled systems which are developed to perform identity recognition using physical and behavioral characteristics of human beings. The main advantage of biometric recognition is that the person who is looking for an identity approval has to introduce himself to the system physically, rather than using a card or a password. This increases the reliability of the system while also providing ease of use. Basically biometric systems are pattern recognition systems which use the input data captured from the biometric characteristic of a person to extract the meaningful area and then compare the template coded using this area against the other templates in the database. In the scope of this thesis, studies have been implemented for iris recognition systems based on iris which is accepted as one of the most reliable biometric characteristics due to reasons like its higher discrimination ratio between human beings, its invariance during an adult life of a person and its ease of being captured. Canny edge detection algorithm have been used in order to obtain the iris region from the images in the database. Then obtained iris region has been normalized based on Daugman's Rubber Sheet Model. Two regions corresponding to the two regions of 90 degrees in the right and left side of the original iris image have been taken from the normalized iris image in order to reduce the effect of the eyelids and the eyelashes. Decision making was performed by first extracting meaningful phase information in the iris images using Fourier Transform and then comparing the images using a matching algorithm based on Phase-only Correlation function. Thus the success of Phase-only Correlation function in iris recognition systems have been shown.

# 1. GİRİŞ

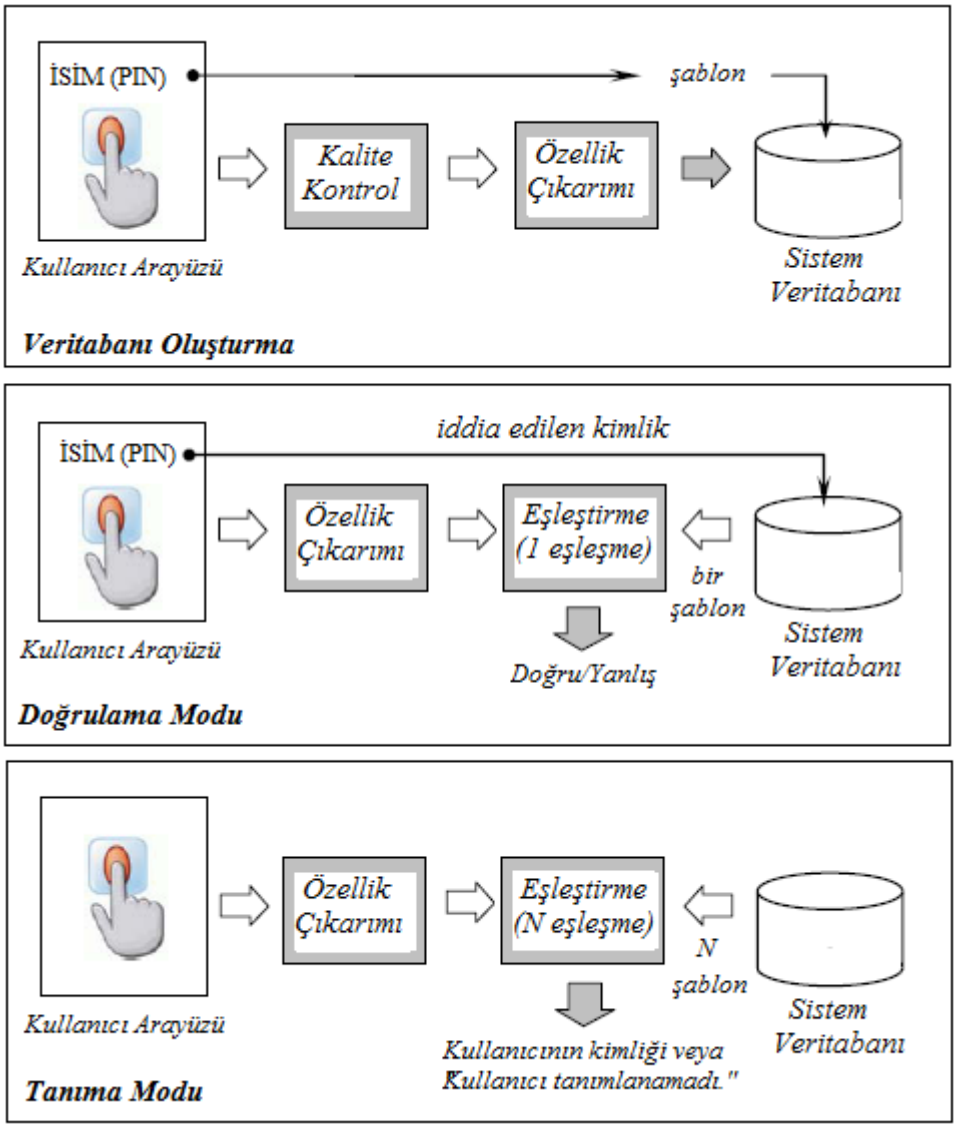
## 1.1. Biyometrik Tanıma

Erişilmesi istenen alanlara veya sistemlere sadece yetkili kişilerin girişine izin verilmesi ve erişimin denetlenmesi büyük bir araştırma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde alışılagelmiş denetleme yöntemleri kimlik, manyetik kart, şifre, PIN kodu gibi araçlar kullanmaktadırlar. Bu yöntemler çok yaygınlaşmış olmalarına rağmen, her yıl tüm dünyada bu araçların yetkili olmayan kişiler tarafından çıkar amaçlı kullanılmasından kaynaklanan büyük maddi ve manevi kayıpları engelleyememektedir. Bunun sebebi de bu yöntemlerin kişiye özgü olmamasıdır[1]. Günümüzde ise kişiyi, kendisine özgü bir özelliğini kullanarak tanımaya dayanan ve biyometri (biometrics) olarak bilinen bir bilim dalı gelişmiştir. Biyometrik tanımanın temel avantajı, bir kart ya da şifre kullanmak yerine, giriş izni isteyen kişinin kendisini fiziksel olarak sisteme tanıtmak zorunda olmasından kaynaklanmaktadır.

Biyometrik sistemler temelde, kişinin biyometrik özelliğinin bir giriş verisi olarak elde edilip, bu veriden anlamlı bölümün çıkarılması ve bu anlamlı bölüm kullanılarak oluşturulan şablonun veritabanındaki diğer şablonlarla karşılaştırılması işlemlerini gerçekleştiren örüntü tanıma sistemleridir. Bu sistemler, ses tanıma için sayısal ses işaretini kaydederek ya da yüz tanıma için sayısal renk imgesini alarak, öncelikle sözkonusu özelliğin bir örneğini elde ederek çalışmaktadırlar. Alınan örnek daha sonra, çeşitli matematiksel işlevler kullanılarak, özelliğin etkin ve yüksek derecede ayırt edici bir temsilini içeren biyometrik bir şablona dönüştürülmektedir. Biyometrik şablon, veritabanına daha önceden aynı yöntem kullanılarak oluşturulup depolanmış şablonlarla karşılaştırılmaktadır. Biyometrik sistemler, kullanıldığı uygulamanın içeriğine bağlı olarak, eşleştirme işlemini doğrulama (verification) ya da tanıma (identification) modlarında çalıştırabilmektedirler[2]. Şekil 1.1'de bir biyometrik sistemde veritabanının oluşturulmasının, doğrulama ve tanıma modlarında çalışan biyometrik sistemlerin blok diyagramı gösterilmektedir.

Doğrulama modunda çalışan sistemlerde, yeni elde edilen biyometrik veri ile kişinin daha önceden veritabanında depolanmış kendi biyometrik şablonu veya şablonları bire bir karşılaştırarak kimliğinin doğruluğu araştırılmaktadır. Burada birden çok kişinin aynı kimliği kullanmasını önlemek üzere, "Kişi, gerçekten iddia ettiği kimliğe mi sahiptir?" sorusuna yanıt aranmaktadır.

Tanıma modunda çalışan sistemlerde ise yeni elde edilen biyometrik veri ile veritabanındaki diğer bütün şablonlar arasında bir eşleşme aranarak kişi tanınmaktadır. Burada kişinin kimlik belirtmesine gerek kalmadan, "Bu biyometrik veri kimindir?" sorusuna yanıt aranmaktadır.




Şekil 1.1: (a) Biyometrik tanıma sisteminin veritabanın oluşturulması, (b) doğrulama modunda ve (c) tanıma modunda çalışan biyometrik sistemler [2]

Biyometrik sistemleri temel alarak geliştirilen uygulamalardan bazıları aşağıda verilmiştir:

- İnternet bankacılığında kullanıcı tanımlama
- ATM'lerde kullanıcı tanımlama
- Çağrı merkezlerinde kimlik tespiti
- Personel takibi
- Hastanelerde hasta takibi
- Sigorta şirketlerinde kimlik tespiti
- Havaalanlarındaki giriş ve çıkış işlemleri
- Kredi kartı uygulamaları
- Masaüstü ve dizüstü bilgisayarların güvenliği
- Kurumsal ağların güvenliği
- Kiosklarda kullanıcı tanımlama
- SSK, vergi süreçleri gibi kamu hizmetleri
- Evlere, ofislere ve binalara erişim
- E-ticaret işlemleri

Biyometrik tanımada insanın herhangi bir fizyolojik veya davranışsal özelliği kullanılabilir. Yüksek doğruluklu bir sonuç elde edebilmek için kullanılan biyometrik öznitelikte aşağıdaki nitelikler aranmaktadır [2]:

- Evrensellik: Her insan bu özelliğe sahip olmalıdır.
- Ayırt edicilik: Herhangi iki insanın aynı karakteristiğe sahip olma şansını en aza indirgeyecek kadar yüksek derecede kişiye özgü olmalıdır.
- Değişmezlik: Kullanılan öznitelik zaman içinde değişmemelidir.
- Elde edilebilirlik: Nicelik olarak ölçülebilmelidir.

Bu niteliklere göre seçilen özelliğin kullanıldığı biyometik sistemde dikkat edilmesi gereken ölçütler de aşağıda verilmiştir [2]:

- Performans: Sistemde kullanılan özelliğin elde edilmesinde işlemsel ve çevresel etkenlerden etkilenen doğruluk, hız ve gürbüzlük ile ilgilidir.
- Kabul edilebilirlik: Biyometrik sistem günlük hayatta kabul görmelidir.

- Hileye karşı dayanıklılık: Sistem aldatılmaya çalışıldığında kullanılan sahtecilik yöntemlerinden ne kadar etkilendiğinin bir ölçütüdür.

Yaygın olarak kullanılan biyometrik tanıma sistemleri şunlardır:

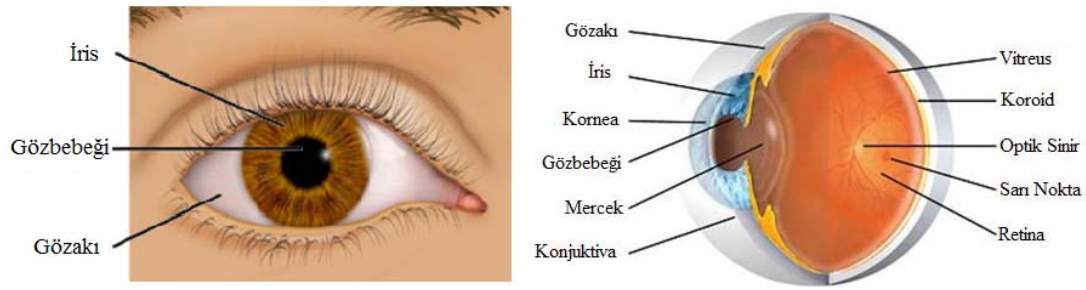
1. Parmak izi tanıma
2. Yüz tanıma
3. Ses tanıma
4. El geometrisini tanıma
5. El yazısını tanıma
6. Retina tanıma
7. İris tanıma
8. Damar tanıma

Bütün bu sistemler arasında iris tanıma, yukarıda bahsedilen biyometrik öznitelik seçimi niteliklerine göre değerlendirildiğinde, birçok biyometrik özelliğin en gürbüz olanıdır [4].

İris tanıma sistemleri, kişileri tanımak ya da kimliklerini doğrulamak için kişilere özgü iris örüntülerini kullanmaktadır.

## 1.2. Gözün ve İrisin Yapısı

Göz, kafatası içinde "orbita" adı verilen kemik yuvaya yerleşmiş, görmeyi sağlayan küremsi bir organdır. Şekil 1.2'de gözün karşıdan görünümü ve anatomik yapısı gösterilmektedir.




(a) (b)

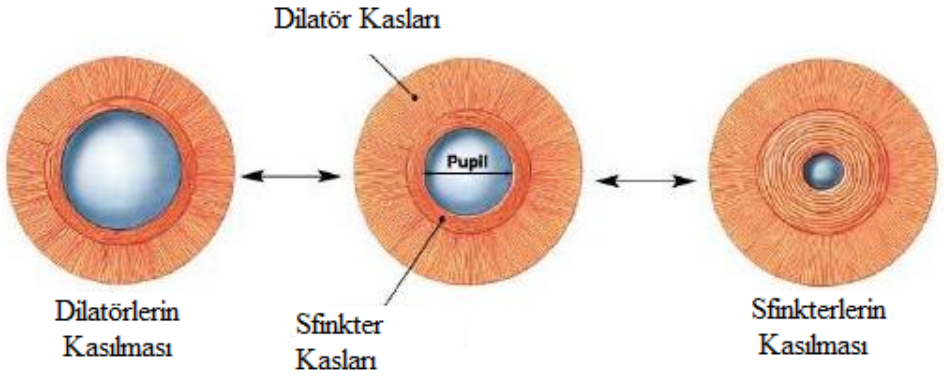
Şekil 1.2: (a) Gözün karşıdan görünümü (b) Gözün anatomik yapısı [3]

Göz, her biri değişik işleve sahip 3 ana tabakadan oluşur. En iç tabaka olan retina, ışığı algılayan çubuk ve koni hücrelerini içerdiğinden en önemli tabakadır. Bu iki tip hücrenin görevi, üzerlerine düşen ışığı elektriksel işaretlere çevirmektir. Sonraki tabaka, pigment hücrelerini içeren bir zar olan koroid (damar tabaka)'dir. Çok sayıda kan damarı taşır ve gözü besler. Görme ile ilgili doğrudan bir görevi yoktur. Üçüncü tabaka ise gözün en dışında bulunan gözakıdır. Gözakı, gözü koruyan gerçek bir zardır.

Göz küresinin çıkıntı yaptığı ön kısımda gözakı saydamdır ve bu kesim kornea diye tanımlanır. Kornea rastgele şekilde oluşan fiberler içerir. Bu, korneayı saydam ve ışığı geçirmeye elverişli kılar. Korneanın arkasında sıvıyla dolu bir bölüm yer alır. Korneanın çevresindeki süngerimsi bir doku devamlı bu sıvıyı üretir. Bu sıvının içinde, daha çok iris diye bilinen halka kaslar bulunur. İris, dilatör ve sfinkter diye adlandırılan iki şerit kastan oluşur [5].

İris, göze rengini veren ve gözün diyafram görevini üstlenen bir yapıdır. İrisin kendisi merceğin önünde dairesel bir alan oluşturacak şekilde genişlemektedir, merkezinde de gözbebeği olarak bilinen değişken boyutlu bir boşluk bulunur. İrisin en önemli fonksiyonu; göze gelen ışık miktarını gözbebeğini daraltarak veya genişleterek ayarlamaktır. Aydınlık bir ortamda kuvvetli ışık hüzmeleri göze çarpar ve iristeki sfinkter kas lifleri kasılarak gözbebeğinin daralmasını sağlarlar. Böylece retinaya giren ışık miktarı sınırlanmış olur. Tersine, eğer ışık çok az ise, bu durumda da dilatör kas lifleri istem dışı çalışarak gözbebeğini genişletir. Böylece gözbebeği büyüyerek retinaya daha fazla ışık girmesini sağlar. Şekil 1.3'te sfinkter ve dilatör kaslarının kasılmasının gözbebeğine etkileri örneklenmektedir.

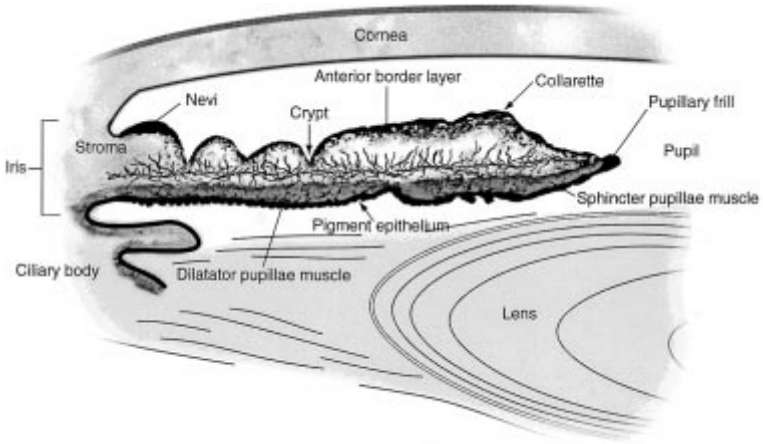
Gözbebeğinin çapının değişikliği, ışık miktarına bağlı olduğu gibi, aynı zamanda kişinin yakın veya uzak objelere bakmasına da bağlıdır. Yakın bir objeye bakıldığında gözbebeğinin çapı iyice küçülürken, tersine uzaktaki bir nesneye bakıldığında çap büyümektedir.



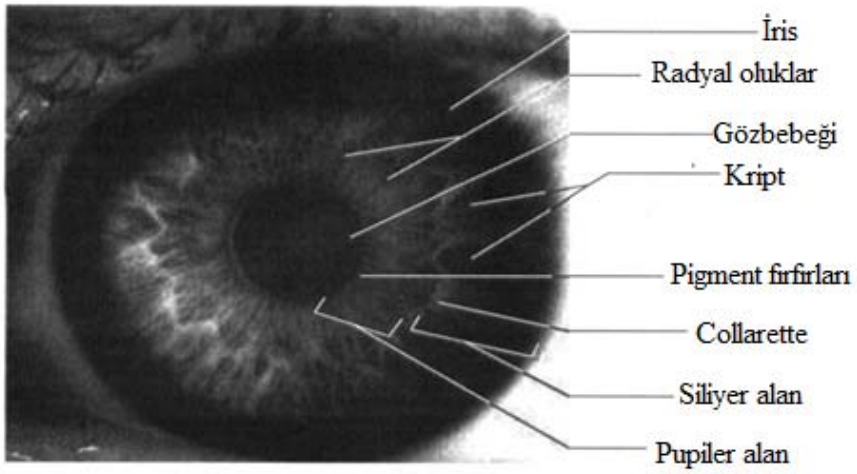

Şekil 1.3: Dilatör ve Sfinkter kaslarının kasılması [5]

İrisin ortalama çapı 12mm'dir ve gözbebeğinin boyutu irisin çapının %10'undan %80'ine kadar değişebilir. Gözbebeği tam olarak irisin merkezinde değildir, hafifçe daha aşağıdadır [6].

İrisin dış görünüşü, doğrudan çok katmanlı yapısına bağlıdır. Ön katman basitçe iki temel alana bölünür: Merkezindeki gözbebeği alanı ve onu çevreleyen siliyer alan. Bu alanları ayıran sınır, zikzak çembersel bir kabartı olarak görünür ve collarette olarak bilinir. Siliyer alan, stromal (gözün bağdoku, damar ve sinir gibi yapılarını içeren temel yapısı) destekten kaynaklanan birbirine dolanmış kabartılarla karakterize edilir. Kabartılar, gözbebeğinin büyümüş ya da küçülmüş olmasına göre değişiklik gösterir. Diğer çizgilerse yüzeyin altındaki kan damarlarının bir etkisi olarak görülebilir. Kriptler, nevü ve çiller, iristeki çeşitliliğin diğer ana kaynaklarını oluşturur. Kript, sınır katmanın düzensiz atrofisidir. Nevü, sınır katmandaki küçük yükseltilerdir. Çiller ise pigment içeren ve ışığı yansıtan hücrelerdir. Gözbebeği bölgesi ise oldukça düz bir yapıdadır. Nadiren de olsa arka katmanın yoğun pigmentli dokusunun gözbebeği sınırlarında göründüğü pigment fırfırları sergiler [5].




(a)




(b)

Şekil 1.4: İrisin (a) enine kesitinin [3] ve (b) ön kesitinin yapısı

İrisin renk ve yapı olarak insandan insana yüksek oranda farklılık gösterdiği bulunmuştur. İrisin oluşumu, embriyonik hayatın üçüncü ayında başlar [32]. İrisin üzerindeki benzersiz örüntü ise hayatın ilk yılında oluşur ve stromanın pigmentasyonu birkaç yıl boyunca devam eder. İristeki benzersiz örüntülerin oluşumu rastgeledir ve herhangi bir genetik etkene bağlı değildir. Genetiğe bağlı olan tek karakteristik, irisin rengini de belirleyen pigmentasyondur [5]. İris örüntülerinin epigenetik doğasından dolayı, aynı bireyin sağ ve sol gözü birbirinden tamamen farklı iris örüntüleri içerir ve özdeş ikizler de bağıntısız iris örüntülerine sahiptirler. Gelişimsel biyoloji, irisin çocukluk sonrasında çok az değiştiğine dikkat çekerek, ömür boyu değişmezliği fikrini desteklemektedir. Dikkat çekilen tek istisnalar,

erişkinliğe kadar olgunlaşmayan pigmentasyon ve bluğ çağına kadar tam olarak belirlenmeyen gözbebeğinin boyutlarıdır [32].
İris tanıma; irisin benzersiz, değişmeyen, dışardan görülebilen ama korunaklı bir organ olmasından dolayı, bireyleri tanımada güvenilir bir biyometrik sistem olarak kabul görmektedir.

## 1.3. İris Tanıma

Sayısal göz imgesinden kişiye has iris örüntüsünü ortaya çıkarmak ve bunu veritabanında saklanabilecek bir biyometrik şablon olarak kodlamak için imge işleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu biyometrik şablon, iriste depolanan benzersiz bilginin bir matematiksel temsilini içermektedir ve şablonlar arasında karşılaştırılma yapılmasına izin vermektedir. İris tanıma sisteminde kişinin kimliğinin saptanması için, önce gözünün görüntüsü alınmaktadır ve sonra iris bölgesinin şablonu oluşturulmaktadır. Daha sonra bu şablon, bir eşleşme bulunup kişinin kimliği saptanana ya da eşleşme bulunamayıp kişi kimliği saptanmamış olarak tanımlanana kadar şablonların depolandığı bir veritabanıyla karşılaştırılmaktadır.

## 1.4. İris Tanımayla İlgili Literatürdeki Çalışmalar

Her ne kadar daha önceleri prototip bazı sistemler önerilmişse de, çalışan otomatik bir iris tanıma sistemi ancak 90'ların başlarında John Daugman tarafından gerçekleştirilmiştir [6,7]. Daugman'ın sistemi patentlidir [8] ve hakları şu anda Iridian Technologies firmasındadır. Daugman'ın sistemi en başarılı ve en tanınanı olarak bilinse de yüksek başarım gösteren birçok farklı iris tanıma sistemi de geliştirilmiştir. En dikkate değer olanları Wildes ve diğerlerinin [5,9], Boles ve Boashash'ın [10] , Lim ve diğerlerinin [11] ve Noh ve diğerlerinin [12] sistemleridir. Lim ve diğerlerinin algoritmaları, Evermedia ve Senex firmaları tarafından geliştirilen iris tanıma sistemlerinde kullanılmıştır. Noh'un algoritması da IriTech tarafından satılan IRIS2000 sisteminde kullanılmıştır. Bunlar, Daugman'ın sistemi dışında, bilinen diğer ticari uygulamalardır.

Daugman, iris tanıma konusunda bir algoritma öneren ilk kişidir [4,13]. Algoritması iris kodlarını temel almaktadır. Önişleme adımında irisin iç ve dış sınırları bulunur. Tümleşik-türev operatörü kullanılarak irisin merkezi ve çapı, sonra da türev operatörleri kullanılarak gözbebeği belirlenir, bulunan iris bölgesi kartezyenden kutupsal koordinatlara dönüştürülür. Öznitelik çıkarımında, değiştirilmiş karmaşık değerli 2-B Gabor dalgacıkları kullanılır [4,13]. Eşleştirme için, mantıksal XOR işlemini kullanan Hamming Mesafesi (HM) hesaplanır ve mükemmel eşleşme için HM sıfır olmalıdır. Algoritma %99.9'dan daha büyük bir doğruluk verir. Ayrıca iris tanıma için gereken zaman 1 saniyeden daha kısadır.

Wildes, Gauss süzgeçlerinin Laplace'ının imge verisine uygulanmasından türetilen, yön bağımsız bant-sınırlı ayrıştırmayı kullanmaktadır [5]. Daugman gibi Wildes de irisin sınırlarına karşılık gelen kenarların yerini bulmak için imge yoğunluğunun ilk türevini kullanmaktadır. Wildes'ın sistemi alt ve üst gözkapaklarını parabolik eğriler olarak modellemektedir. Wildes'ın prototip sistemi, 520 iris imgesinde kusursuz performans sergilemektedir.

Boashash ve Boles [10], sıfır geçişlerini [14] temel alan yeni bir yaklaşım sunmaktadır. [10]'daki çalışmada önce kenar algılama ve diğer bilinen imge işleme algoritmaları kullanılarak iris bölgesinin yeri belirlenip, standartlaştırılmaktadır. İristeki eş merkezli daireler üzerinde, çeşitli çözünürlük seviyelerinde, dalgacık dönüşümünün sıfır geçişleri hesaplanmaktadır. Elde edilen tek boyutlu işaretler, mesafe işlevi kullanılarak karşılaştırılmaktadır. Bu sistem, gürültülü durumlarla olduğu kadar ışıklandırmadaki farklılıklarla da başa çıkabilmektedir. Ayrıca sözkonusu algoritma, gözün göz yuvası içinde döndürülmesinden ve ölçekten bağımsızdır. Sıfır geçişli ayrık diyadik dalgacık dönüşümünü temel alan benzer bir sistem [15]'de sunulmaktadır ve yüksek seviyede bir doğruluk elde edilmektedir.

[12]'de, çoklu-çözünürlüklü bağımsız eleman tanımayı (M-ICA Multi-resolution Independent Component Identification) kullanarak iris işaretlerinin özniteliklerini ortaya çıkaran yeni bir algoritma önerilmektedir. Bağımsız eleman tanıma (ICA-Independent Component Identification); gözkapağı, kirpikler gibi gereksiz bilgilerin

iris bölgesinden ayrılması için kullanılan bir yöntemdir. Ancak M-ICA sınıf ayrımında iyi bir performans sergileyemediği için, elde edilen doğruluk düşüktür.

Öznitelik çıkartmak için değişik algoritmalar kullanan farklı çalışmalar da bulunmaktadır. Dargham ve diğerleri [16], irisi çevresinden ve gözbebeğinden ayırmak için eşiklendirmeyi kullanmaktadırlar. Sonra ayrılan iris bölgesinin koordinatlarını kartezyenden kutupsala dönüştürmektedirler. İris örüntülerini tanımak için de kendi kendini düzenleyen harita ağları (Self-organizing Map Networks) kullanmaktadırlar. Ağ tarafından elde edilen doğruluk %83 civarındadır.

Li Ma ve diğerleri [17,18] tarafından sunulan diğer bir yaklaşımda da iris örüntüsünü elde etmek için dairesel simetri süzgeçleri kullanılmaktadır, daha sonra örüntünün sabit boyutlu öznitelik vektörü çıkarılmaktadır. İris eşleştirme içinse en yakın öznitelik çizgisi (nearest feature line) yöntemi kullanılmaktadır. Hatalı eşleşme oranı %0.01, veritabanında tanımlı olan irisi eşleştirememe oranı ise %2.17 olarak elde edilmektedir.

[19]'de Chen ve Yuan, iris özniteliklerini ortaya çıkarmak için belirli kesimleri temel alan bir algoritma geliştirmektedirler. İris bölgesi, belirli küçük kesimlere ayrılmaktadır ve buralardaki öznitelikler iris kodu olarak oluşturulmaktadır. Bu iris kodları, k-ortalama algoritması ve sinir ağları kullanılarak eşleştirilmektedir. Sonuçlar, tanımlı kişiler için %91.8 doğru eşleştirme, tanımsız kişiler içinse %100 red şeklindedir.

Wang ve diğerleri [20], öznitelik çıkarımı için Gabor süzgecini ve 2D dalgacık dönüşümlerini kullanmaktadırlar. Tanımlama için ağırlıklı Öklid mesafe sınıflandırması (weighted Euclidian distance classification) kullanılmaktadır. Bu yöntem, gözün göz yuvası içinde döndürülmesinden ve ışıklandırmadaki değişimlerden bağımsızdır. Gabor'u kullanırkenki sınıflandırma oranı %98.3, dalgacıklarla olan doğruluk ise %82.51'dir.

Robert ve diğerleri [21], irisin yerinin belirlenmesi ve çıkarımı için yeni bir algoritma önermektedirler. İrisin yerini belirlemek için tümleşik-türev operatörlerle Hough

dönüşümünün kombinasyonunu kullanmaktadırlar. Öznitelik çıkarımı için ise ani faz kavramını kullanmaktadırlar. İris kodu, ani fazın gerçel ve sanal kısımlarının eşiklendirilmesiyle üretilmektedir. Sonra da eşleştirme için Hamming Mesafesi kullanılmaktadır. Veritabanında tanımlı olan irisi eşleştirememe oranı %11'dir.

Lim ve diğerleri [11], iris imgelerinden öznitelik çıkarımı için Haar dalgacık dönüşümünü kullanmaktadırlar. 450x60 boyutlu imge üzerine Haar dönüşümünü 4 kez uygulayarak ve öznitelikleri birleştirerek 87-bitlik öznitelik vektörü elde etmektedirler. Bu öznitelik vektörü, iris imgesinin sıkıştırılmış temsilidir. Öznitelik vektörünün sınıflandırılması için; karşılık gelen ağırlık başlangıç vektörü oluşturulup, doğru eşleşme durumu taranmaktadır. Elde edilen tanıma oranı %98.4'tür.

## 1.5. Tezin Amacı

Bu tezde yapılan çalışmaların amacı, iris tanıma sistemlerinde uygulanan yöntemlerin incelenmesi ve iris tanımadaki her bir aşama için yöntemler geliştirilerek bir iris tanıma sisteminin gerçekleştirilmesidir. Bu çalışmada, göz imgesini yakalayacak donanım kısmı üzerinde çalışılmamıştır. Tezde kısa zamanda sonuç üretebilmek için hızlı uygulama geliştirme (RAD-Rapid application devolopment ) yaklaşımı uygulanmıştır. MATLAB, imge işleme araç kutusu ve yüksek seviye programlama yöntemiyle mükemmel bir HUG (hızlı uygulama geliştirme) ortamı sunar. Sistemi test etmek için Çin Bilimler Akademisi Otomasyon Enstitüsü'nün (The Chinese Academy of Sciences' Institute of Automation - CASIA) kızılötesi ışık altında elde edilmiş İrisV3-Interval-R veritabanı kullanılmıştır [22]. Bu veritabanı 174 kişiye ait 1251 gri ölçekli göz imgesinden oluşmaktadır.

Sistem, iris tanımanın her bir aşamasına karşılık gelen bazı alt sistemlerden oluşmaktadır. Bu sistem aşağıdaki aşamalarla gerçekleştirilmiştir.

- Bölütleme: Göz imgesi içinde irisin yerinin bulunması
- Standartlaştırma: İris bölgesinin boyutsal olarak tutarlı bir temsilinin oluşturulması

- Öznitelik Çıkarımı: İrisin sadece en ayırt edici özniteliklerini içeren bir şablon yaratılması
- Eşleştirme: Tanıma modu kullanılarak kişinin kimliğinin tespit edilmesi

Sonuç olarak, sistemin girişi bir göz imgesi, çıkışı ise iris bölgesinin matematiksel bir temsilini sağlayan bir şablon olmaktadır. Bölüm 2'de iris bölütleme ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelenmiş ve geliştirilen yöntem anlatılarak başarım hakkında değerlendirme yapılmıştır.

Bölüm 3'te, bulunan iris bölgesinin standartlaştırılmasına yönelik çalışmalar incelenmiş ve bu tez kapsamında kullanılan yöntem ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Bölüm 4'te iristen öznitelik çıkarıımı ve eşleştirme ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelenmiş ve tez kapsamında yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Ayrıca iris eşleştirme sonuçları incelenmiş ve yöntemlerin iris tanıma başarımları karşılaştırılmıştır.

# 2. İRİS BÖLÜTLEME

## 2.1. Genel Bakış

İris tanımanın ilk aşaması, sayısal göz imgesi içindeki gerçek iris bölgesinin ayrılmasıdır. İris bölgesi, gözbebeği ile göz akı arasındadır. İris bölgesini bulabilmek için iris iç sınırını (iris-gözbebeği sınırı) ve iris dış sınırını (iris-gözakı sınırı) belirlemek gerekir. Bazı durumlarda belirlenen iris bölgesinde gözkapakları ve kirpikler de yer alabilir. Ayrıca iris bölgesi içinde irisin örüntüsünü bozan aynasal yansımalar da oluşabilir. Çalışmanın bu kısmında hem bu etkileri ayırıp gideren, hem de dairesel iris bölgesinin yerini bulan bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bölütlemenin başarısı, göz imgelerinin yakalanma kalitesine de bağlıdır. İris örüntüsünün hatalı bir şekilde bölütlenip kodlanması, oluşturulan biyometrik şablonları bozup düşük tanıma oranı sonuçlarına yol açacağı için, bölütleme aşaması, iris tanıma sisteminin başarısı için kritiktir.

## 2.2. İrisin Bölütlenmesi İçin Literatürde Kullanılan Yöntemler

### 2.2.1 Hough dönüşümü

Hough dönüşümü, bir imgedeki çizgi ve daire gibi basit geometrik nesnelerin parametrelerini algılamak için kullanılabilen standart bir bilgisayar görüntü algoritmasıdır. Gözbebeğinin ve iris bölgesinin çapını ve merkez koordinatlarını bulmak için dairesel Hough dönüşümü kullanılabilmektedir. Dairesel Hough dönüşümünü temel alan otomatik bir bölütleme algoritması; Wildes ve diğerleri [9], Kong ve Zhang [23], Tisse ve diğerleri [24], ve Ma ve diğerleri [16] tarafından kullanılmıştır. Öncelikle bir göz imgesi içindeki yoğunluk değerlerinin ilk türevleri alınarak bir kenar haritası oluşturulmaktadır ve sonuç eşiklendirilmektedir. Kenar haritasından, her kenar noktasından geçen dairenin parametreleri için oylar Hough uzayına çevrilmektedir.

Bu parametreler, denklem (2.1)'e göre her daireyi tanımlayabilen merkez koordinatları $x_c$, $y_c$ ve çap $r$'dir.

$$x_c^2 + y_c^2 - r^2 = 0 \tag{2.1}$$

Hough uzayındaki bir maksimum nokta, kenar noktaları tarafından en iyi şekilde tanımlanan bir dairenin çapına ve merkez koordinatlarına karşılık gelmektedir. Bunun yanında Wildes ve diğerleri ile Kong ve Zhang, alt ve üst gözkapaklarını belirlemek için; $a_j$ eğriliği, $(h_j, k_j)$ parabolün tepe noktasını ve $\theta_j$ x-eksenine göre döndürmenin açısını göstermek üzere, bunları

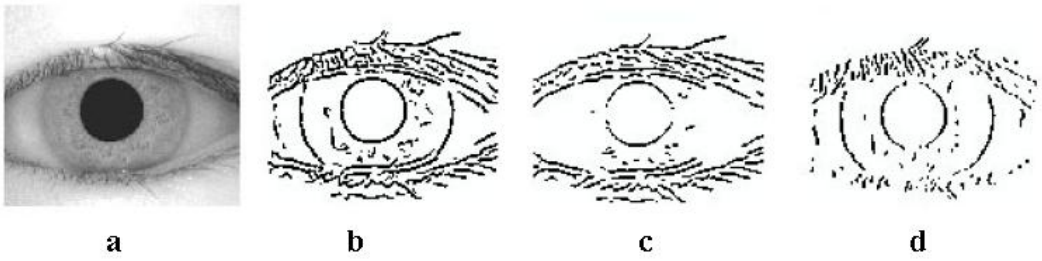
$$(-(x-h_j)\sin\theta_j + (y-k_j)\cos\theta_j)^2 = a_j((x-h_j)\cos\theta_j + (y-k_j)\sin\theta_j) \tag{2.2}$$

şeklinde tanımlanan parabolik eğriler olarak kabul ederek parabolik Hough dönüşümünü uygulamaktadırlar.

Wildes ve diğerleri, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, yukarıda bahsedilen kenar bulma adımını gerçekleştirirken; gözkapaklarını belirlemek için yatay yöndeki, irisin dış dairesel sınırlarını belirlemek için de düşey yöndeki türevlerini hesaplamaktadırlar. Bunun amacı, gözkapaklarının genellikle yatay olarak hizalanmış olmasıdır, ayrıca bütün eğim verisi kullanılırsa gözkapağı kenar haritası, dairesel iris bölgesinin kenar haritasını bozacaktır. Dairesel Hough dönüşümü uygulanırken, irisin sınırlarını bulmak için sadece düşey eğimlerin alınması gözkapaklarının etkisini azaltacaktır ve başarılı yer belirleme için daireyi tanımlayan kenar piksellerinin hepsine gereksinim yoktur. Bu, daire belirlemeyi daha doğru kılmakla kalmaz, aynı zamanda Hough uzayında daha az kenar noktası olacağından daha kolay karar verilmesini sağlamaktadır ve sistemi daha verimli hale getirmektedir.

Hough dönüşüm yönteminde birçok sorun vardır. Öncelikle kenar algılama için eşik değerlerine gereksinim duymaktadır ve bu eşik değeri seçimi, kritik kenar noktalarının belirlenememesi, sonrasında da dairelerin ve eğrilerin hatalı

algılanmasıyla sonuçlanabilmektedir. İkinci olarak da Hough dönüşümünün, hesapsal yükü fazladır ve bu yüzden gerçek zamanlı uygulamalar için uygun olmayabilir.




Şekil 2.1: (a) CASIA-V1 veritabanından bir imge örneği (b) Bu imgeye karşılık gelen kenar haritası (c) yatay değişimin kenar haritası (d) dikey değişimin kenar haritası

### 2.2.2 Daugman'ın tümleşik-türev operatörleri

Daugman, dairesel iris ve gözbebeği bölgeleri ile üst ve alt gözkapaklarının eğrilerini bulmak için (2.3)'te verilen tümleşik-türev operatörünü kullanmaktadır. Tümleşik-türev operatör; $I(x,y)$ göz imgesi, $r$ aranan çap, $G(r)$ Gauss düzgünleştirme işlevi ve $s$ ise $r, x_0, y_0$ ile verilen dairenin çevresi olmak üzere;

$$\max_{(r,x_0,y_0)} \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r,x_0,y_0} \frac{I(x,y)}{2\pi r} ds \right| \tag{2.3}$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Operatör, $x$ ve $y$ koordinatlarındaki merkez noktadan çapı değiştirme yoluyla, piksel değerlerinde maksimum değişimin olduğu dairesel yol aranmaktadır. Operatör, irisin tam yerini belirlemek için git gide azaltılan düzgünleştirme miktarıyla tekrar tekrar uygulanmaktadır. Gözkapakları da benzer şekilde, çevre tümleştirme yolu daireselden eğriye değiştirilerek bulunmaktadır.

Tümleşik-türev, imgenin ilk türevlerini kullandığı ve geometrik parametreleri bulmak üzere bir arama yaptığı için Hough dönüşümünün bir çeşidi olarak görülebilir. Ham türev bilgisiyle çalıştığından, Hough dönüşümünün eşiklendirme

sorunlarından etkilenmemektedir. Yine de yerel ölçekte çalıştığından, göz imgesinde yansıma gibi gürültü olması durumunda algoritma başarısız olabilmektedir.

### 2.2.3 Aktif çevrit modelleri

Ritter ve diğerleri [25], gözbebeği ve iris sınırlarını belirlemek için dairesel aktif çevrit (active contour) modelini uygulamaktadırlar. Önce orijinal imgeden değişinti imgesi oluşturulmaktadır ve bu imge kullanılarak gözbebeğinin yeri bulunmaktadır. Daha sonra, gözbebeğinin merkezindeki bir başlangıç noktasından aktif çevrit başlatılmakta ve iç ile dış kuvvetlerin etkisi altındaki iris imgesi içerisinde hareket ettirilmektedir. Aktif çevritler, biri istenen karakteristiklere bağlı bir iç kuvvet, diğeri imgeye bağlı bir dış kuvvet olmak üzere, konumları iki karşıt kuvvet tarafından değiştirilen birçok tepe içermektedir. $v_i$ tepesinin konumu, $F_i$ iç kuvvet ve $G_i$ dış kuvvet olmak üzere; aktif çevrit boyunca, $t$ ile $t+1$ zamanları arasında $v$ tepesi denklem (2.4) de verildiği gibi hareket etmektedir.

$$v_i(t+1) = v_i(t) + F_i(t) + G_i(t) \tag{2.4}$$

İç kuvvet, süreklilik ve iris sınırının dairesel şekli gibi önceden bilinen diğer karakteristiklere dayanmaktadır. Dış kuvvet ise iris bölgesinin içindeki çevreyi kuşatan tepenin iç ve dış gri-seviye yoğunluk değerlerine dayanmaktadır. Tekrarlanan çevre araştırması sonucunda, halkanın minimum enerjili ya da minimum ortalama değişintili denge noktası elde edilmektedir, bu da daha sonraki işlemler için kullanılacak son iris bölütlemesinin bulunmasını sağlamaktadır.

### 2.2.4 Kirpik ve gürültü algılama

Kong ve Zhang [23], göz imgesi içinde yalıtılabilecek ayrık kirpikler ve üst üste gelen grup halindeki kirpikler olmak üzere iki tip sorunun da yok edilmesini sağlayan bir kirpik bulma yöntemi sunmaktadır. Ayrılabilir kirpikler, Gauss düzgünleştirme işleviyle konvolüsyonları düşük çıkış değeri sonucu verdiği için 1D Gabor süzgeçleriyle bulunmaktadır. Bu yüzden meydana gelen nokta eşikten küçükse, bu nokta kirpiğe ait olarak belirlenmektedir. Çoklu kirpiklerse yoğunluğun

değişimiyle bulunmaktadır. Eğer küçük bir penceredeki yoğunluk değerlerinin değişimi bir eşikten küçükse, pencerenin merkezi kirpikte bir nokta sayılmaktadır. Aynı zamanda Kong ve Zhang modeli, bir kirpikteki her noktanın kirpikteki veya gözkapağındaki başka bir noktaya bağlanması gerektiğinden, bağlayıcı ölçütleri de kullanmaktadır. Göz imgesi içindeki aynasal yansımalar, sözkonusu bölgelerdeki yoğunluk değerleri imge içindeki bütün diğer bölgelerden daha yüksek olacağı için, eşiklendirme yoluyla bulunmaktadır.

## 2.3. Önerilen Yöntem

Bu bölümde Canny operatörü kullanılarak uygulanan kenar bulma yöntemi incelenmekte, daha sonra da iris bölgesinin belirlenmesi konusunda ayrıntılı bilgi verilmektedir. Kenar bulma, kızılötesi imge içindeki iris bölgesini bulmakta kullanılmaktadır.

### 2.3.1 Kenar bulma

Kenar bulma; önemli bilgileri tutarken işlenecek veri miktarını belirgin ölçüde azaltan ve bir imgedeki nesnelerin kenarlarını bulmak için kullanılan temel bir imge analiz tekniğidir. Bir imgedeki kenarlar, keskin uzamsal yoğunluk geçişlerine sahip alanlar olarak tanımlanmaktadır. 2 boyutlu sürekli bir işleve bakıldığında kenarlar, eğimlerin yerel maksimumları olmaktadır. Bu kabulle kenar bulma, $I(u,v)$ imge yoğunluk değerlerinin türevlerinin maksimumlarının bulunmasına indirgenmektedir. Sayısallaştırılmış bir imge sürekli değil ayrık bir işlevdir, bu yüzden türevler yuvarlanmalıdır.

İmge 2 boyutlu bir işaret olduğundan, türevin yuvarlanması tanımlı bir yönde yapılmalıdır. Keyfi herhangi bir yöndeki türevi tahmin etmek için, imgenin eksenleri boyunca $d_u$ ve $d_v$ şeklinde iki tahmin gerçekleştirilebilir ve $\phi$ yönündeki türev, denklem (2.5)'te verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$d_\phi(u,v) = \cos(\phi) * d_u(u,v) + \sin(\phi) * d_v(u,v) \tag{2.5}$$

$d_u$ ve $d_v$ türevleri, imge ile türev süzgeçlerinin konvolüsyonu yoluyla hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} d_u &= I * h_u \\ d_v &= I * h_v \end{aligned} \tag{2.6}$$

Farklı gürültü azaltımına ve frekans tepki karakteristiklerine sahip birçok değişik türev süzgeçleri bulunmaktadır. En yaygın süzgeçlerden olan basit süzgeç denklem (2.7)'de, Sobel süzgeci denklem (2.8)'de verilmektedir. Sobel süzgeci [26], gürültüye karşı daha dayanıklıdır. Basit süzgeç ise gürültüye karşı duyarlı olmasına rağmen daha yüksek bir frekans bandına sahiptir.

$$h'_v = h_u = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \tag{2.7}$$

$$h'_v = h_u = \frac{1}{4}\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \tag{2.8}$$

### 2.3.2 Canny operatörü

Canny operatörü [27], sadece bir kenar gücü tahmininin eşiklendirilmesinden çok daha akıllı bir şekilde, bir yoğunluk imgesinden ikili kenar haritası oluşturmak için tasarlanan başarılı bir kenar belirleyici operatördür. Algoritma 3 aşamadan oluşmaktadır:

1. İmgede Gauss süzgeciyle konvolüsyon yoluyla gürültü azaltılmaktadır.
2. Bölüm 2.3.1'de anlatıldığı gibi Sobel süzgeci kullanılarak kenar gücü tahmin edilmektedir.
3. Sonra da imgedeki $T_1$ gibi belirli bir eşikten daha büyük bir kenar gücüne sahip koordinatlardan başlamak üzere imgedeki kenarlar boyunca kenar izleme gerçekleştirilmektedir. Kenar gücü $T_2$ gibi diğer bir eşiğin altına düşene kadar, sadece yerel kenar maksimumlarını kenar olarak belirleyerek kenar izleme devam etmektedir.

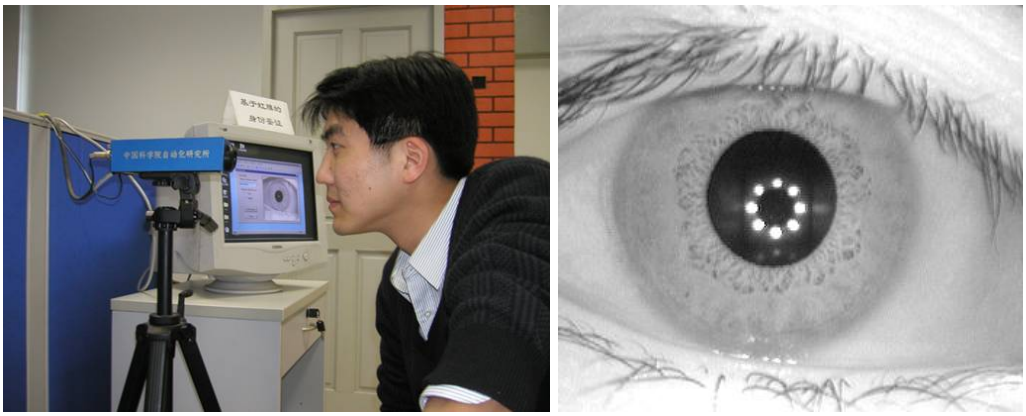
Gözbebeği sınırının bulunmasının doğruluğu $T_1$ ve $T_2$ eşik değerlerine doğrudan bağlıdır. Eğer yüksek eşik değeri $T_1$ çok düşük seçilirse, kenar bilgilerini içeren ikili imgede, gözbebeği sınırına ait olmayan kirpik ya da aynasal yansıma gibi istenmeyen birçok kenar bulunacaktır veya $T_2$ düşük eşik değeri çok yüksek seçilirse, bu gürültülü bölgeler parçalara ayrılacaktır. Eşik değerlerinin uygun bir şekilde belirlenememesi; gözbebeğinin sınırlarının hatalı bulunmasına neden olmaktadır. Eşik değerleri uygun bir şekilde belirlendiğinde ise zayıf kenarlar, sadece güçlü kenarlarla bağlantılıysa çıkışa dahil edilmektedir. Bu yüzden Canny yöntemi, diğer kenar bulma yöntemlerine göre gürültüden daha az etkilenmekte, gerçek zayıf kenarları algılayabilmektedir.

Gauss düzgünleştirme süzgeci ise kenar belirleyicinin gürültüye duyarlılığını azaltmak için kullanılmaktadır. Gauss süzgecinin boyutunun arttırılması operatörün gürültüden daha az etkilenmesini sağlasa da zayıf kenarların belirlenmesi yeteneğini azaltmaktadır.

## 2.4. Deneysel Sonuçlar

Bu tez kapsamında önerilen yöntemin başarımını test etmek için CASIA İris Veritabanı V3.0 kulanılmaktadır [22]. Bu veritabanı CASIA-IrisV3-Interval veritabanı, CASIA-IrisV3-Lamp veritabanı ve CASIA-IrisV3-Twins veritabanı olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Bu veritabanındaki bütün göz imgeleri kızılötesi ışık altında elde edilmiş 8-bitlik gri-tonlu JPEG formatında kayıtlı imgelerdir. Bu göz imgeleri, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi CASIA'nın kendi geliştirdiği iris yakalama kameralarıyla elde edilmiştir. Çekimler iç mekanda gerçekleştirilmiştir. Veritabanı oluşturulurken en az bir ay aralıklarla aynı kişiden birden fazla göz imgesi elde edilmiştir. İmgelerin çözünürlükleri 320x280 pikseldir. İmgeler, öznitelik çıkarımı sırasında sistemin performansını doğrudan etkileyen iris örüntülerinin ayrıntılarını kaliteli bir şekilde göstermektedir.

Bu çalışmada ise yukarıda değinilen veritabanlarından CASIA-İrisV3-Interval-R veritabanı kullanılmaktadır. Bu veritabanı, 249 ayrı kişiye ait sol ve sağ göz imgelerinden oluşmaktadır. Ama her kullanıcının eşit sayıda göz imgesi bulunmamaktadır. Bu çalışmada sağ iris imgeleri kullanılmakta olup 2'den az sayıda göz imgesi bulunan kullanıcılar hesaba katılmamaktadır. Bu durumda kullanılan veritabanı 174 kişiye ait 1251 gri ölçekli göz imgesinden oluşmaktadır.



(a) (b)

Şekil 2.2: (a) CASIA tarafından geliştirilen iris kamerası (b) CASIA veritabanından örnek bir göz imgesi [22]

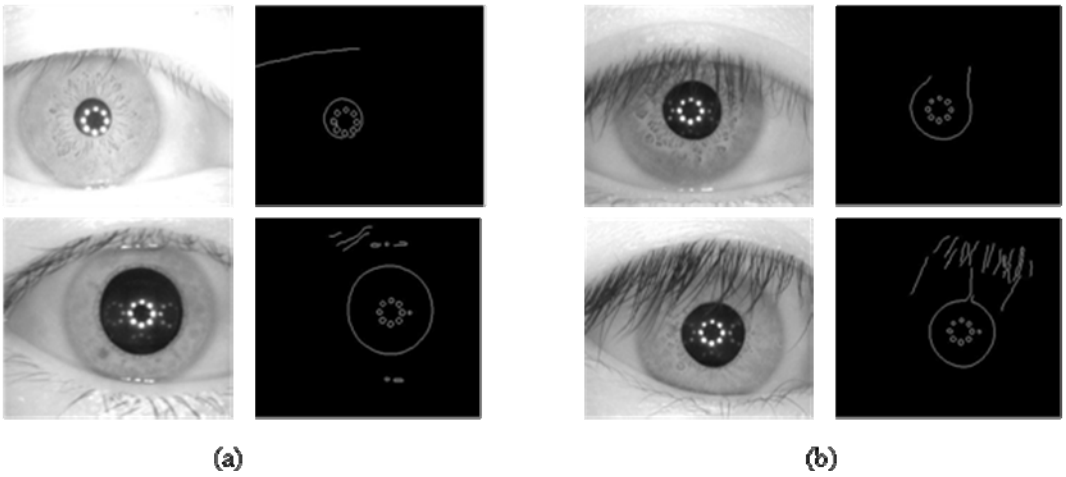
Tez çalışmasında kullanılan CASIA-İrisV3-Interval-R veritabanı kızılötesi ışık altında elde edildiğinden gözbebeği-iris sınırı oldukça belirgindir. Bu sayede Canny kenar bulma (Canny edge detection) yöntemi kullanılarak gri-ölçekli imgeden kenar bilgilerini içeren ikili (binary) bir imge elde edilmektedir. Burada, Bölüm 2.3.2'de de belirtildiği gibi, Canny operatörü için kullanılan eşik değerlerinin uygun bir şekilde belirlenmesi önemlidir. CASIA-İrisV3-Interval-R veritabanı üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda kenar bulma işlemi uygulanırken, yüksek eşik seviyesi ($T_1$) 0.4, düşük eşik seviyesi ($T_2$) ise 0.16 olarak belirlenmiştir.

Canny operatörü ile elde edilen kenar bilgilerini içeren ikili imge içerisinde birbirine bağlantılı olan piksellerden oluşan her bir nesne etiketlenmektedir. Etiketlenen her bir nesnenin eni, boyu ve başlangıç koordinatı bulunmaktadır. Veritabanındaki gözbebeklerinin çapları 40 ile 150 piksel arasında değişmektedir. Bu çap bilgisine

dayanarak gözbebeği seçilmektedir. Böylece gözbebeğinin merkezi, eni, boyu ve başlangıç koordinatları belirlenmektedir.

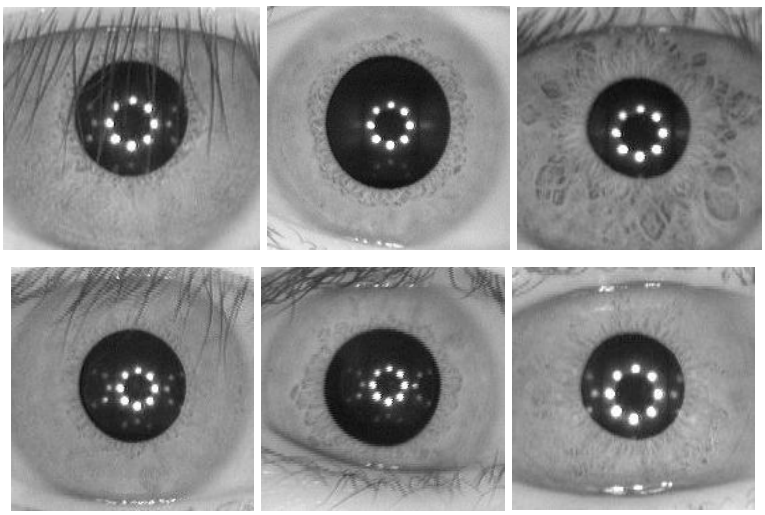
Kullanılan veritabanında irisin iç ve dış sınırları arasındaki genişlik 45-60 piksel arasında değişmektedir. Bu tez çalışmasında iris örüntüsü olarak, gözbebeği sınırından itibaren kesilen 50 piksellik bir bölge kullanılmaktadır. İriste bulunan ve kişileri ayırt etmede kullanılan benzersiz bilgi, Şekil 2.2 (b)'de de görüldüğü gibi, yoğun olarak gözbebeğine yakın bölgede bulunduğundan irisin dış sınırının bulunması eşleştirme performansını etkilemeyecektir.

İmgelerin çoğunda gözbebeğinin kenarları tam olarak belirlense de bazı imgelerde kirpikler gözbebeğine karışmaktadır ve gözbebeğinin sınırları tam olarak belirlenememektedir. Şekil 2-3(b)'de Canny kenar tarama ile gözbebeği sınırları tam olarak belirlenemeyen iris örüntülerinin örnekleri verilmektedir. Yapılan çalışmada bu hatalı kenar bulma etkisini yok etmek için etiketlenen nesneler arasında gözbebeği olarak tahmin edilen nesnenin düşey eksendeki maksimum uzunluğunun (boyunun), yatay eksendeki maksimum uzunluğuna (enine) oranı hesaplatılmaktadır ve bu oran 1,07'den daha büyükse gözbebeği koordinatları bulunurken sadece yataydaki maksimum uzunluk bilgisi ve gözbebeğinin alt sınırı dikkate alınmaktadır. Gözbebeğinin dairesel yapıda olduğu kabul edilerek, gözbebeğinin düşeydeki üst sınırı, gözbebeğinin düşeydeki alt sınırından maksimum yatay uzunluk kadar yukarıda kabul edilerek gözbebeğinin sınırları bulunmaktadır. Bulunan sınırlardan itibaren kesilen 50 piksellik bir bölge iris örüntüsü olarak kullanılmaktadır.




Şekil 2.3: CASIA veritabanından alınmış orijinal imge örnekleri, bu imge örneklerine Canny kenar bulma uygulanması sonucu oluşan kenar bilgileri. (a) gözbebeği sınırlarının doğru olarak bulunduğu, (b) kirpik etkisinden dolayı gözbebeği sınırlarının doğru belirlenemediği imgeler

Bu tez çalışmasında, 174 kişiye ait 1251 gri ölçekli göz imgesi üzerinde çalışılmış ve yukarıda anlatılan yaklaşım kullanılarak gözbebeğinin bulunmasında %100 başarı elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen iris imgelerinden örnekler Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Elde edilen iris imgeleri

# 3. İRİSİN STANDARTLAŞTIRILMASI

## 3.1. Genel Bakış

Tanımada kullanılacak iris bölgesinin göz imgesinden başarıyla ayrılmasından sonraki adım, karşılaştırmaların yapılabilmesi için iris bölgesinin sabit boyutlu bir yapıya dönüştürülmesidir. Çoğunlukla göz imgeleri arasındaki boyutsal tutarsızlıklar, değişen ışık seviyelerinden dolayı gözbebeğinin küçülmesinden veya genişlemesinden kaynaklanan irisin esnemesine bağlıdır. Tutarsızlığın diğer kaynakları ise görüntüleme uzaklığının değişmesi, kameranın döndürülmesi, başın oynaması, göz yuvasında gözün döndürülmesi şeklinde sayılabilir. Standartlaştırma işlemi, aynı boyutlara sahip iris bölgeleri oluşturmayı amaçlamaktadır. Böylece aynı irisin farklı koşullar altındaki iki fotoğrafı, aynı uzamsal konumda benzer karakteristiklere sahip olacaktır.

## 3.2. İrisin Standartlaştırılması İçin Literatürde Kullanılan Yöntemler

### 3.2.1 Daugman'ın lastik levha (rubber sheet) modeli

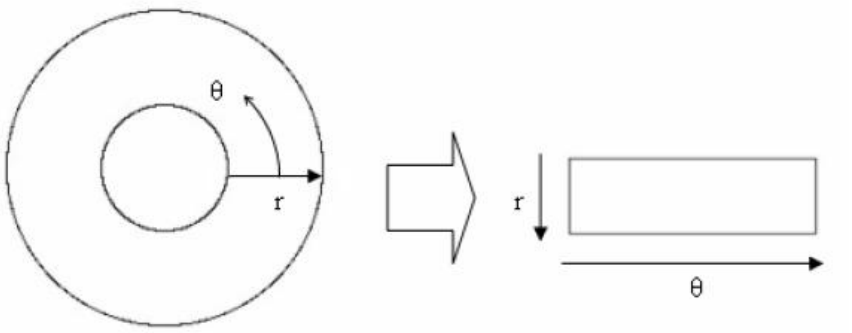
Daugman'ın bulduğu lastik levha modeli, Şekil 3.1'de de gösterildiği gibi; $r$, irisin iç ve dış sınırları arasındaki uzunluk ve $\theta$, $[0, 2\pi]$ aralığında bir açı olmak üzere, iris bölgesindeki her noktayı bir çift kutupsal koordinata $(r, \theta)$ dönüştürmektedir. İris bölgesinin $(x, y)$ kartezyen koordinatlarından standartlaştırılmış kutupsal gösterime dönüştürülmesi,

$$x(r,\theta) = (1-r)x_p(\theta) + rx_1(\theta)$$
$$y(r,\theta) = (1-r)y_p(\theta) + ry_1(\theta)$$

olmak üzere,

$$I(x(r,\theta), y(r,\theta)) \rightarrow I(r,\theta) \tag{3.1}$$

şeklinde modellenmektedir. Burada $I(x,y)$, $(x,y)$ koordinatlarındaki piksel değerini; $I(r,\theta)$ standartlaştırılmış dikdörtgensel koordinat sistemindeki $(r,\theta)$ koordinatlarındaki piksel değerini, $(x_p, y_p)$ ve $(x_t, y_t)$ ise $\theta$ yönündeki gözbebeği ve iris kenar koordinatlarını göstermektedir. Lastik levha modeli, sabit boyutlu standart bir gösterim oluşturmak adına, gözbebeği büyümesini ve boyut tutarsızlıklarını da dikkate almaktadır. Bu şekilde iris bölgesi, gözbebeği merkezi referans noktası olmak üzere, iris sınırında kesilen esnek bir lastik levha şeklinde modellenmektedir.




Şekil 3.1: Daugman'ın Lastik Levha (Rubber-Sheet) Modeli [33]

Her ne kadar lastik levha modeli; gözbebeğinin büyümesini veya küçülmesini, görüntüleme uzaklığını ve gözbebeğinin irisle eş merkezli olmamasını dikkate alsa da, irisin dönmesinden kaynaklanan tutarsızlıkları gidermemektedir. Daugman, bu tutarsızlıkları gidermek için, eşleştirme sırasında iris şablonunu, karşılaştırılacağı şablonla aynı hizaya getirene kadar $\theta$ yönünde kaydırmaktadır.

### 3.2.2 Wildes'ın imge kayıt sistemi

Wildes ve diğerlerinin sistemi, yeni elde edilen $I_a(x,y)$ imgesinin, veritabanındaki seçilmiş bir $I_d(x,y)$ imgesiyle geometrik olarak aynı koordinata gelmesini sağlayan bir imge kayıt tekniği gerçekleştirmektedir [5]. Yeni imgenin imge yoğunluk değerlerini veritabanından alınan referans imgedeki aynı noktalara karşılık gelecek şekilde uyumlamak için, $(x,y)$ orijinal koordinatları imgelerin hizalanarak eşleşmenin gerçekleşeceği $(x', y')$ koordinatlarına dönüştürülmektedir.

Bu dönüştürme işlemi, denklem (3.2)'yi minimum yapan durum için denklem (3.3) ile verilmektedir.

$$\min_{\phi,s} \int_x \int_y (I_d(x,y) - I_a(x',y'))^2 dxdy \tag{3.2}$$

Bu eşitlikte $s$ ölçekleme parametresi, $R(\phi)$ döndürmeyi $\phi$ ile temsil eden bir matris olmak üzere,

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} - sR(\phi) \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \tag{3.3}$$

şeklinde, imge koordinatlarının $(x,y)$'den $(x',y')$'ye benzerlik dönüşümlerinin elde edilmesi zorunluluğu vardır. Uygulamada $I_a$ ve $I_d$ bir çift iris imgesi olmak üzere, $s$ ve $\phi$ parametreleri, tekrarlı minimizasyon (iterative minimisation) yöntemi yoluyla yeniden bulunmaktadır [5].

### 3.2.3 Boles'un sanal daireleri

Boles'un sisteminde, iris imgeleri öncelikle sabit bir çapa sahip olacak şekilde ölçeklendirilmektedir, böylece iki imge karşılaştırılırken, biri referans imge olarak düşünülmektedir [10]. Bu yöntem; önce standartlaştırmayı gerçekleştirip ilerdeki karşılaştırmalar için sonucu saklamak yerine, iki iris bölgesini eşleştirmeye başlamadan standartlaştırma yapmadığı için, diğer yöntemlere göre daha farklı çalışmaktadır. İki iris aynı boyutlara sahip olduğunda; başlangıç noktası, gözbebeğinin merkezinde olmak üzere; öznitelik vektörü, iris bölgesinden, sanal eş merkezli daireler boyunca yoğunluk değerlerinden elde edilmektedir. Her iristen çıkarılan veri noktalarının sayısının aynı olması için bir standartlaştırma çözünürlüğü seçilmektedir. Bu yöntem, temelde Daugman'ın lastik levha modeliyle aynı olmakla birlikte, ölçeklendirme, eşleştirme aşamasında yapılmaktadır ve belirli sabit boyutlara değil, karşılaştırılan iris bölgesine bağlıdır. Boles, gözün göz yuvasında dönmesi veya kameranın dönmesi gibi durumlarda, elde edilen giriş imgesiyle

veritabanından alınan referans imgeyi nasıl aynı koordinatlara getirdiğine değinmemektedir.

## 3.3. Önerilen Yöntem

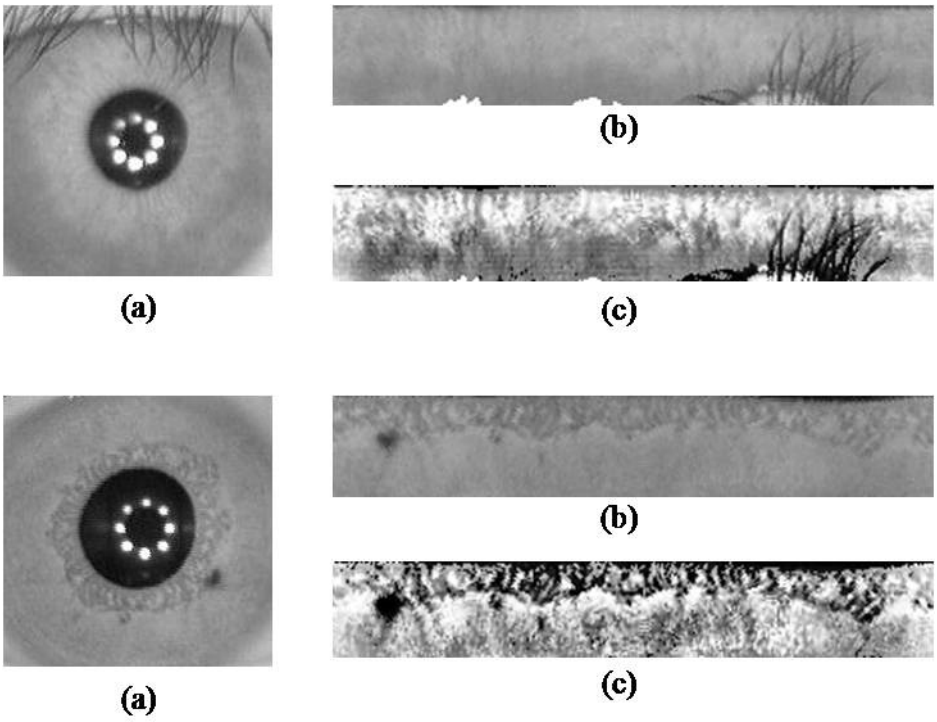
Tez çalışmasında standartlaştırma için Daugman'ın lastik levha modelini temel alan bir yöntem kullanılmaktadır. Bölüm 2.4'te bulunan gözbebeğinin koordinatları referans olarak alınmaktadır. Gözbebeğinin çembere çok yakın bir elips olmasından dolayı, gözbebeğinin yataydaki uzunluğu çap olarak kabul edilmektedir. Bir önceki bölümde elde edilen 50 piksellik alan, her nokta için bir çift kutupsal koordinata dönüştürülmektedir. Sonraki aşamada, kullanılan CASIA veritabanındaki standartlaştırılmış iris imgelerini yerel histogram eşitlemesi yapılarak karşıtlığı arttırılmakta ve iris imgeleri eşdeğer karşıtlığa getirilmeye çalışılmaktadır.

Histogram, sayısal bir imge içerisinde ışıklılık dağılımını vermektedir. Histograma bakılarak imgenin ışıklılık dağılımı, karşıtlığı gibi konularda bilgi sahibi olunabilmektedir. Histogram eşitleme ise renk değerleri düzgün dağılımlı olmayan imgeler için uygun bir görüntü iyileştirme yöntemidir. İmgenin tümüne uygulanabileceği gibi sadece belli bir bölgesine de uygulanabilmektedir. Tüm imgeye uygulanırsa bütünsel histogram eşitleme, resmin belli bir bölgesine uygulanarak yapıldığında ise yerel histogram eşitleme adını almaktadır.

İmgenin karşıtlığı genel olarak yüksek, ancak bazı bölümlerindeki detaylar yeterince net görünmüyorsa veya detayların görünmediği bölümlerdeki nesnelerin piksel değerleri arka plana yakınsa, yerel histogram eşitleme yöntemleri kullanılmaktadır [34]. Yerel histogram eşitlemede bilinen histogram eşitleme metodları her bir piksel için, seçilen piksel merkezde konumlanacak şekilde, $m \times n$ boyutunda bir piksel bloğu üzerinde uygulanmaktadır. Bu işlem neticesinde sadece merkezdeki piksel değeri güncellenmektedir ve bir sonraki piksele geçilerek resimdeki her bir piksel için aynı işlem tekrarlanmaktadır.

### 3.4. Deneysel Sonuçlar

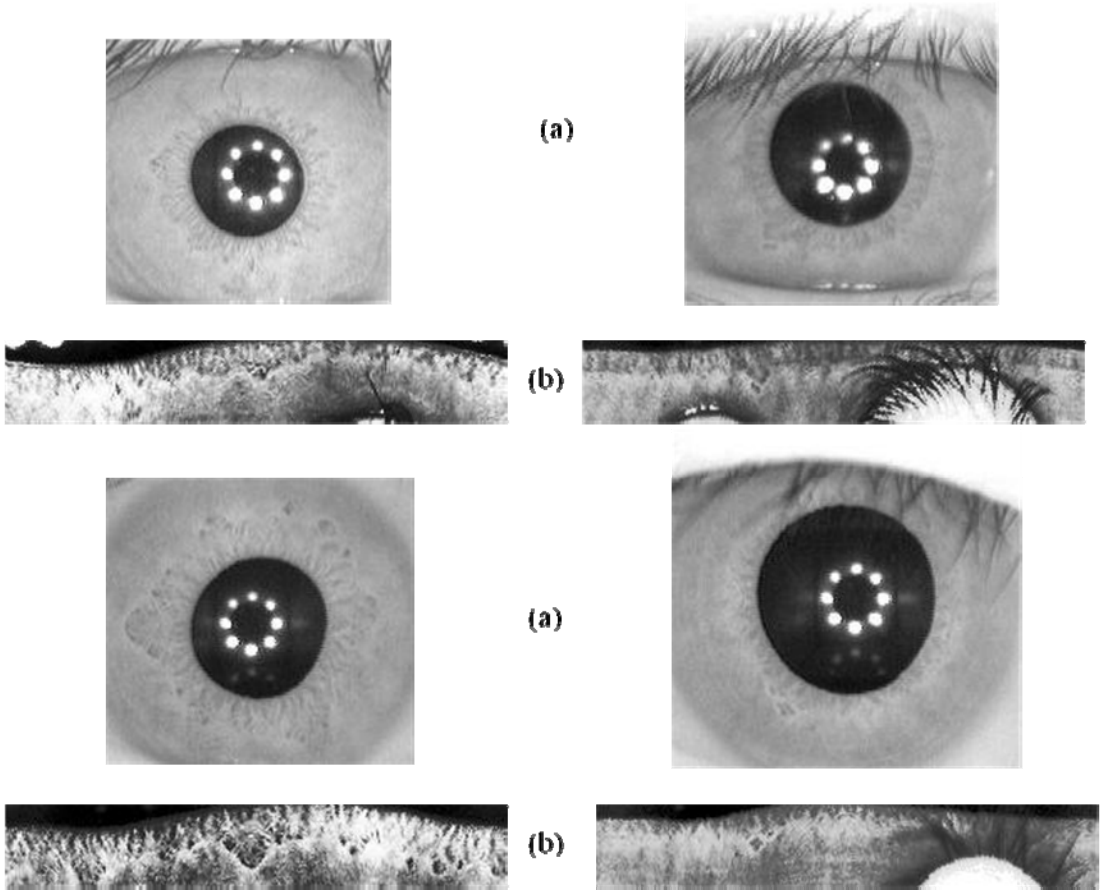
Bu tez çalışmasında $r$ standart olarak 50 seçilmekte ve birer derecelik açılarla $[0, 2\pi]$ aralığında taranarak dönüştürme işlemi gerçekleştirilmektedir. Kutupsal koordinatlara dönüştürülen iris bölgesine yerel histogram eşitlenmesi uygulanmaktadır. Her bir piksel için, merkezinde kendisinin olduğu 25x25 piksellik bir imge bloğu üzerinde histogram eşitlemesi uygulanarak pikselin yeni değeri hesaplanmaktadır. Şekil 3.2 (c)'deki yerel histogram uygulanmış standartlaştırılmış iris imgesinin, Şekil 3.2 (b)'deki standartlaştırılmış iris imgesine göre çok daha fazla ayrıntı içerdiği görülmektedir.




Şekil 3.2: (a) Bölütlenmiş iki ayrı iris imgesi (b) Standartlaştırılmış iris imgesi (c) Standartlaştırılmış iris imgesine yerel histogram eşitlemesi uygulanmış hali

Bu tez çalışmasında kullanılan 174 kişiye ait 1251 gri ölçekli göz imgesinin tamamında gözbebeğinin yatay uzunluğu doğru tespit edilip bu yatay uzunluk çap kabul edilerek standartlaştırma işlemi gerçekleştirilmekte ve bu veri eşleştirme bölümünde kullanılmaktadır.

Gözbebeği bu tez çalışmasında dairesel yapıda modellendiğinden, eliptik yapıda karşılaşılan gözbebeği durumlarında model tam olarak oturtulamamaktadır. Bu yüzden gözbebeği ne kadar dairesel yapıda ise standartlaştırılmış iris imgesi o kadar yüksek doğrulukla elde edilmektedir. Bundan dolayı Şekil 3.3'te de görüldüğü gibi bazı imgelerde gözbebeğinin bir kısmı da standartlaştırılmış imgede yer almakta ve bu da eşleştirme başarımını etkileyebilmektedir.




Şekil 3.3: (a) Bölütlenmiş iris imgeleri (b) Eliptik yapıdaki gözbebeğinden kaynaklanan hatalı standartlaştırılmış iris şablonları

# 4. ÖZNİTELİK ÇIKARIMI VE EŞLEŞTİRME

## 4.1. Genel Bakış

Kişilerin doğru bir şekilde tanınmasını sağlamak için, iris örüntüsü içindeki en ayırt edici bilgi ortaya çıkarılmalıdır. İrisin sadece anlamlı özniteliklerinin kodlanması, şablonlar arasında karşılaştırılma yapılmasına olanak tanımaktadır. Birçok iris tanıma sistemi, biyometrik şablon oluşturmak için standartlaştırılmış iris imgesinin belirli bir bölgesini kullanmaktadır. Ayrıca öznitelik çıkarımı sürecinde oluşturulan şablon ile veritabanındaki diğer şablonlar arasındaki benzerliği aramak üzere bir eşleştirme ölçütüne ihtiyaç vardır. Bu ölçüt kullanılarak aynı iristen üretilmiş şablonlar karşılaştırıldığında (sınıf-içi karşılaştırma) elde edilen sonuç ile farklı irislerden oluşturulmuş şablonlar karşılaştırıldığında (sınıflar-arası karşılaştırma) elde edilen sonuç birbirlerinden ayırt edilebilecek derecede farklı olmalıdır. Böylece iki şablonun aynı iristen mi, yoksa farklı bir iristen mi oluşturulduğuna yönelik olarak güvenilir bir karar verilebilmektedir.

## 4.2. Öznitelik Çıkartımı İçin Literatürde Kullanılan Yöntemler

### 4.2.1 Dalgacık kodlaması

İris bölgesindeki veriyi, farklı çözünürlüklerde görülen bileşenlere ayrıştırmak için dalgacıklar kullanılabilmektedir. Dalgacıklar, frekans verisinin yerini bularak aynı konum ve çözünürlükteki özniteliklerin karşılaştırılmasını sağladıklarından, geleneksel Fourier dönüşümüne göre daha avantajlıdır. Her biri temel bazı işlevlerin ölçeklendirilmiş versiyonu olan, dalgacık kümesi olarak da adlandırılan birçok dalgacık, her çözünürlük için bir tanesi karşılık gelecek şekilde 2 boyutlu iris bölgesine uygulanmaktadır. Dalgacıkların uygulanmasından sonra elde edilen çıkış,

iris örüntüsünün sıkıştırılmış ve ayırt edici bir temsilini sağlamak üzere kodlanmaktadır.

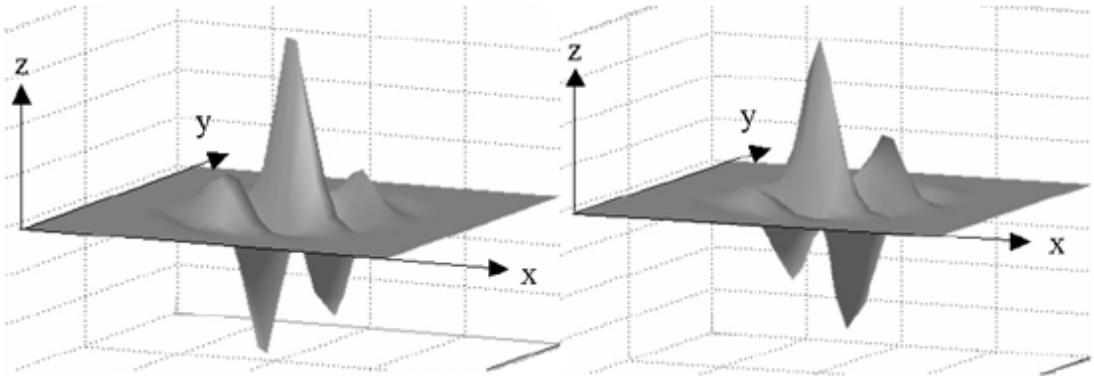
### 4.2.2 Gabor süzgeçleri

Gabor süzgeçleri, bir işaretin zamansal ve uzamsal frekans düzlemlerinde en uygun birleşik temsilini sağlayabilmektedirler. Bir Gabor süzgeci, bir sinüs veya kosinüs dalgasının Gauss işleviyle modüle edilmesi yoluyla oluşturulmaktadır. Bu şekilde, frekans düzleminde mükemmel bir şekilde yeri belirlenen, ama zaman düzleminde yeri belirlenemeyen sinüs dalgasının, zaman ve frekans düzlemlerinin her ikisinde de en uygun şekilde birleşik yer belirlemesi elde edilebilmektedir. Sinüs dalgasının Gauss işleviyle modülasyonu, frekans düzleminde yer belirleme kaybına yol açmasına rağmen, zaman düzleminde yer belirlenebilmesini sağlamaktadır. Bir işaretin ayrıştırılması, Gauss işleviyle modüle edilmiş bir kosinüs ile verilen gerçek kısım ve Gauss işleviyle modüle edilmiş bir sinüs ile verilen sanal kısımdan oluşan 2 tane 4 seviyeli Gabor süzgeci kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Gerçek ve sanal süzgeçler, sırasıyla çift simetrik ve tek simetrik bileşenler olarak da adlandırılmaktadır. Süzgecin merkez frekansını sinüs/kosinüs dalgasının frekansı, süzgecin bant genişliğini ise Gauss işlevinin genişliği belirlemektedir.

Daugman, iris örüntü verisini kodlamak için Gabor süzgeçlerinin 2 boyutlu bir versiyonunu kullanmaktadır[6]. $(x, y)$ imge düzlemi üzerindeki 2 boyutlu Gabor süzgeci denklem (4.1)'deki gibi verilmektedir.

$$G(x,y) = e^{-\pi[(x-x_0)^2\alpha^2+(y-y_0)^2\beta^2]}e^{-2\pi j[u_0(x-x_0)+v_0(y-y_0)]} \tag{4.1}$$

Burada $(x_0, y_0)$ imgedeki koordinatı, $(\alpha, \beta)$ etkin genişliği ve uzunluğu, $(u_0, v_0)$ ise modülasyonu göstermektedir, uzamsal frekans da $\omega_0 = \sqrt{u_0^2 + v_0^2}$ ile verilmektedir. Tek simetrik ve çift simetrik 2 boyutlu Gabor süzgeçleri Şekil 4.1'de gösterilmektedir.




(a) (b)

Şekil 4.1: 2 tane 4 seviyeli 2B Gabor süzgecinin a) gerçek bileşeni b) sanal bileşeni [33]

Daugman, veriyi sıkıştırmak için Gabor süzgeçlerinin çıkışında elde edilen işareti demodüle etmektedir [6]. Bunu karmaşık düzlemdeki mümkün olan her bir çeyrek için, faz bilgisini dört seviyeye nicemleyerek gerçekleştirmektedir. Oppenheim ve Lim [28], bir imge içindeki en anlamlı bilginin genlik bilgisi değil, faz bilgisi olduğunu göstermişlerdir. Sadece faz bilgisini almak, genlik bileşeni tarafından temsil edilen ışıklandırma gibi gereksiz bilgileri elerken, iristeki ayırt edici bilginin kodlanmasını sağlamaktır.

Standartlaştırılmış iris örüntüsündeki her bir piksel iris şablonundaki iki bitlik veriyle tanımlanmak üzere, bu dört seviye, iki bitlik veri kullanılarak temsil edilmektedir. Şablon için toplam 2048 bit hesaplanmakta ve iris içindeki gürültülü bölgeleri maskelemek için de eşit sayıda maskeleme bitleri oluşturulmaktadır. Böylece irislerin verimli bir şekilde depolanmasını ve karşılaştırılmasını sağlayan 256 byte'lık sıkıştırılmış bir şablon üretilmiş olmaktadır. Daugman'ın sistemi standartlaştırma için kutupsal koordinatları kullanmaktadır, kutupsal biçimdeki süzgeçler ise denklem (4.2)'deki gibi verilmektedir.

$$H(r,\theta) = e^{i\omega(\theta-\theta_0)} e^{-(r-r_0)^2/\alpha^2} e^{i(\theta-\theta_0)^2/\beta^2} \tag{4.2}$$

Burada $(\alpha, \beta)$ denklem (4.1)'deki ile aynıdır ve $(r_0, \theta_0)$ süzgecin merkez frekansını göstermektedir.

Demodülasyon ve faz nicemleme işlemi denklem (4.3)'te gösterildiği gibi verilmektedir.

$$h_{\{\mathrm{Re,Im}\}} = \mathrm{sgn}_{\{\mathrm{Re,Im}\}} \int_{\rho} \int_{\phi} I(\rho,\phi) e^{i\omega(\theta_0-\phi)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{i(\theta_0-\phi)^2/\beta^2} \rho d\rho d\phi \tag{4.3}$$

Burada $h_{\{\mathrm{Re,Im}\}}$ gerçek ve sanal bileşenleri, 2 boyutlu integralin işaretine bağlı olarak karmaşık bir bit olarak hesaplanmaktadır ve $I(\rho,\phi)$ boyutsuz bir kutupsal koordinat sistemindeki işlenmemiş iris imgesini göstermektedir.

### 4.2.3 Log-Gabor süzgeçleri

Gabor süzgecinin dezavantajlarından biri, bant genişliğinin bir oktavdan büyük olduğu her durumda çift simetrik süzgecin DC bir bileşene sahip olmasıdır [29]. Bununla birlikte, logaritmik ölçekte tanımlı bir Gauss işlevi olan, Log-Gabor olarak da adlandırılan bir Gabor süzgeci kullanılarak her bant genişliği için sıfır DC bileşeni elde edilebilmektedir. Log-Gabor süzgecinin frekans tepkisi denklem (4.4)'te verilmektedir.

$$G(f) = \exp\left(\frac{-(\log(f / f_0))^2}{2(\log(\sigma / f_0))^2}\right) \tag{4.4}$$

Bu denklemde $f_0$ merkez frekansını, $\sigma$ süzgecin bant genişliğini temsil etmektedir.

### 4.2.4 1-Boyutlu dalgacıkların sıfır geçişleri

Boles ve Boeshash [10], iris örüntü verisini kodlamak için 1-boyutlu dalgacıklardan yararlanmaktadırlar. Ana dalgacık, denklem (4.5)'te verildiği gibi, $\theta(x)$ düzgünleştirme işlevinin ikinci türevi olarak tanımlanmaktadır.

$$\psi(x) = \frac{d^2\theta(x)}{dx^2} \tag{4.5}$$

Özniteliklerin kodlanması için bu süzgeçlerin diyadik ölçeklerinin sıfır geçişleri kullanılmaktadır. $s$ ölçeğindeki ve $x$ konumundaki bir $f(x)$ işaretinin dalgacık dönüşümü denklem (4.6)'daki gibi verilmektedir.

$$W_s f(x) = f * \left( s^2 \frac{d^2\theta(x)}{dx^2} \right)(x) = s^2 \frac{d^2}{dx^2}\left( f * \theta_s \right)(x) \tag{4.6}$$

Burada $\theta_s = (1/s)\theta(x/s)$ ile tanımlanmaktadır.

$W_s f(x)$, $\theta_s(x)$ tarafından düzgünleştirilen $f(x)$'in ikinci türeviyle orantılıdır ve dönüşümün sıfır geçişleri $f * \theta_s(x)$'teki dönme noktalarına karşılık gelmektedir. Bu yöntemin kullanılma amacı, sıfır geçişlerinin iris bölgesinde anlamlı özniteliklere karşılık gelmesindendir.

### 4.2.5 Haar dalgacığı

Lim ve diğerleri [11] de iris bölgesindeki öznitelikleri ortaya çıkarmak için dalgacık dönüşümünü kullanmaktadırlar. Gabor dönüşümü gibi Haar dalgacığı da ana dalgacık olarak kabul edilmektedir. Çok boyutlu bir süzgeçleme sonucu 87 boyutlu bir öznitelik vektörü hesaplanmaktadır. Her bir boyut -1.0 ile +1.0 arasında değişen bir gerçek değere sahip olduğundan, öznitelik vektörü, her pozitif değer "1" ve her negatif değer "0" olacak şekilde işaret yönünden nicemlenmektedir. Bunun sonucunda sadece 87 bitten oluşan sıkıştırılmış bir biyometrik şablon elde edilmektedir.

Lim ve diğerleri, Gabor dönüşümü ile Haar dalgacık dönüşümünü karşılaştırarak, Haar dalgacık dönüşümünün tanıma oranının Gabor dönüşümüne göre %0.9 daha iyi olduğunu göstermişlerdir.

### 4.2.6 Gauss süzgeçlerinin laplasyanı

Wildes ve diğerlerinin sistemi öznitelik çıkarımı için, iris bölgesi imgesine Gauss süzgeçlerinin Laplasyanını uygulayarak iris bölgesini ayrıştırmaktadır. Süzgeçler denklem (4.7)'deki gibi verilmektedir.

$$\nabla G = -\frac{1}{\pi\sigma^4}\left(1-\frac{\rho^2}{2\sigma^2}\right)e^{-\rho^2/2\sigma^2} \tag{4.7}$$

Burada $\sigma$ Gauss işlevinin standart sapmasını, $\rho$ ise bir noktanın süzgecin merkezine olan radyal uzaklığını göstermektedir.

Süzgeçlenmiş imge, veriyi sıkıştırabilen bir Laplasyan piramidi şeklinde temsil edildiğinden, geriye sadece anlamlı veri kalmaktadır. Laplasyan piramitlerinin ayrıntıları, Burt ve Adelson [30] tarafından sunulmuştur. Bir Laplasyan piramidi, sıkıştırılmış bir iris şablonu üretmek üzere 4 farklı çözünürlük seviyesi ile oluşturulmaktadır.

## 4.3. Eşleştirme İçin Literatürde Kullanılan Yöntemler

### 4.3.1 Hamming mesafesi

Hamming mesafesi, iki ayrı bit örüntüsü arasında kaç tane bitin aynı olduğunun bir ölçütüdür. Hamming mesafesi kullanılarak iki bit örüntüsünün farklı ya da aynı iris oldukları kararı verilebilmektedir.

$X$ ve $Y$ bit örüntüleri karşılaştırılırken, $N$ bit örüntüsündeki toplam bit sayısını göstermek üzere Hamming mesafesi ($HM$), denklem (4.8)'de gösterildiği gibi farklı olan bitlerin toplamının ($X$ ve $Y$ arasındaki XOR'ların toplamı) $N$'e bölümü olarak tanımlanmaktadır.

$$HM = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} X_j (XOR) Y_j \tag{4.8}$$

Her bir iris bölgesi yüksek derecede kendine özgü öznitelik bilgisi içerdiğinden, her iris bölgesinin oluşturacağı bit örüntüsü diğer irislerinkinden bağımsız olacaktır. Diğer taraftan aynı iristen oluşturulan iki iris kodu birbirleriyle yüksek derecede benzerlik gösterecektir.

Eğer iki bit örüntüsü, iris şablonlarının farklı irislerden üretildiği durumda olduğu gibi birbirinden tamamen bağımsız ise, iki örüntü arasındaki $HM$ 0.5'e eşit olmalıdır. Bağımsızlık, iki bit örüntüsünün tamamen gelişigüzel olması anlamına geldiğinden dolayı bu sonuca varılmaktadır, yani herhangi bir biti "1" ya da "0" yapmak için 0.5'lik bir şans bulunmaktadır. Bu yüzden iki örüntü arasındaki bitlerin yarısı aynı, yarısı farklı çıkabilecektir. Eğer iki örüntü aynı iristen türetilmişse, ikisi arasındaki $HM$ sıfıra yakın olacaktır, çünkü yüksek derecede benzerlik göstermektedirler. $HM$ , Daugman tarafından uygulanan eşleştirme ölçütüdür ve sadece gerçek iris bölgesinden üretilen bitler için hesaplanmaktadır.

### 4.3.2 Ağırlıklı Öklid mesafesi

Ağırlıklı Öklid Mesafesi (Weighted Euclidean Distance - WED), öznitelikle şablonların tamsayı değerlerden oluştuğu durumlarda, iki şablonu karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Ağırlıklı Öklid mesafesi iki şablon arasındaki değerler kümesinin benzerliğinin bir ölçütünü vermektedir. Bu ölçüt Zhu ve diğerleri [20] tarafından uygulanmıştır ve denklem (4.9)'daki gibi tanımlanmaktadır.

$$WED(k) = \sum_{i=1}^{N} \frac{(f_i - f_i^{(k)})^2}{(\delta_i^{(k)})^2} \tag{4.9}$$

Burada $f_i$ bilinmeyen irisin $i$. özelliğini, $f_i^{(k)}$ iris şablonunun $i$. özelliğini, $k$ ve $\delta_i^{(k)}$ ise $k$ iris şablonundaki $i$. özelliğin standart sapmasını göstermektedir. Bilinmeyen iris şablonu, $WED$ $k$'da bir minimum iken, $k$ iris şablonuyla eşleştirilerek bulunmaktadır.

### 4.3.3 Normalleştirilmiş korelasyon

Wildes ve diğerleri, uyumlama için, elde edilen şablon ile veritabanı arasında standartlaştırılmış korelasyonu kullanmaktadırlar. Bu, (4.10)'da gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(p_1[i,j]-\mu_1)(p_2[i,j]-\mu_2)}{nm\sigma_1\sigma_2} \tag{4.10}$$

Bu denklemde $p_1$ ve $p_2$, $n \times m$ boyutundaki iki imgeyi; $\mu_1$ ve $\sigma_1$, $p_1$'in ortalama ve standart sapmasını; $\mu_2$ ve $\sigma_2$ ise $p_2$'nin ortalama ve standart sapmasını göstermektedir.

Normalleştirilmiş korelasyon, imge yoğunluğundaki standart korelasyon hesaplamasını bozan yerel değişimleri de hesaba katabildiğinden, standart korelasyona göre daha avantajlıdır.

### 4.3.4 Faz korelasyonu

Miyazawa [31,32]'deki çalışmalarında, faz korelasyonunu (Phase Correlation - PC) kullanan bir uyumlama yaklaşımı önermektedir. İmgeleri hizalamak ve uyum değerini hesaplamak için faz tabanlı imge eşleştirmeyi kullanmaktadır. PC, çapraz-faz spektrumunun 2-boyutlu Ters Ayrık Fourier Dönüşümü (Inverse Discrete Fourier Transform - IDFT) ile tanımlanmaktadır. İki benzer imgenin PC çıkışı keskin bir tepe değeri vermekte, benzerlik olmadığı durumda ise bu tepe değeri belirgin ölçüde düşmektedir. Bu yüzden benzerlik ölçütü olarak tepenin yüksekliği kullanılmaktadır. İki imge arasında uyumlama aşamasında bir gözün döndürülmesi, standartlaştırılmış imgede ötelemeye karşılık gelmekte ve PC çıkışında oluşan tepe merkezden uzaklaşmaktadır. En anlamlı faz bilgisi belirli bir frekans bandında bulunduğu için, Miyazawa, Bant-Sınırlı Faz Korelasyon (Band-limited Phase-Only Correlation - BLPOC) işlevini kullanmıştır.

Öznitelikle işaret ve imge işleme, süzgeçleme, konvolüsyon, frekans analizi ve güç spektrumu tahmini gibi alanlarda kullanışlı olan Fourier dönüşümü, sürekli bir işareti farklı frekanslardaki sinüsoidal bileşenlerin kombinasyonu olarak temsil etmektedir. Toplamın içindeki her bir sinüsoidal bileşenin genlik ve fazı, o frekans bileşeninin bütün işarete katkısını belirlemektedir. $f(t)$ sürekli işaretinin Fourier dönüşümü denklem (4.11)'de gösterildiği gibi verilmektedir.

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \tag{4.11}$$

Ayrık Fourier Dönüşümü (Discrete Fourier Transform - DFT) ise ayrık bir işaretin Fourier dönüşümünün frekans ekseninde eşit aralıklarla örneklenmiş şekline karşılık gelmektedir. Bu nedenle DFT sürekli bir değişkene bağlı bir işlev olmayıp yapı itibariyle bir dizidir.

İris tanımada, iris doku örüntülerinin sayısal imgeleri, gri-ölçekli yoğunluk değerlerinden Fourier katsayılarını elde etmek üzere DFT ile analiz edilmektedir. N dizi boyutu olmak üzere, DFT'nin hesaplanması için $N^2$ karmaşık çarpımı gerekmektedir. Birçok durumda ise hesaplama verimliliğini ve hızını arttırmak üzere Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) kullanılmaktadır. FFT ile karmaşık çarpım sayısı $N \log_2 N$ 'e düşürülmektedir.

Matematiksel kolaylık açısından indis sınırlarının $n_1 = -M_1, \cdots, M_1 (M_1 > 0)$ ve $n_2 = -M_2, \cdots, M_2 (M_2 > 0)$, yani $N_1 = 2M_1 + 1$ ve $N_2 = 2M_2 + 1$ olduğu, $N_1 \times N_2$ boyutlu $f(n_1, n_2)$ ve $g(n_1, n_2)$ imgeleri ele alınmaktadır. $F(k_1, k_2)$ ve $G(k_1, k_2)$ bu iki imgenin 2-boyutlu DFT'lerini göstermektedir. $k_1 = -M_1, \cdots, M_1$, $k_2 = -M_2, \cdots, M_2$, $W_{N_1} = e^{-j\frac{2\pi}{N_1}}$ ve $W_{N_2} = e^{-j\frac{2\pi}{N_2}}$ olmak üzere $F(k_1, k_2)$ ve $G(k_1, k_2)$ denklem (4.12) ve (4.13)'teki gibi verilmektedir.

$$F(k_1, k_2) = \sum_{n_1=-M_1}^{M_1} \sum_{n_2=-M_2}^{M_2} f(n_1, n_2) W_{N_1}^{k_1 n_1} W_{N_2}^{k_2 n_2} = A_F(k_1, k_2) e^{j\theta_F(k_1, k_2)} \tag{4.12}$$

$$G(k_1,k_2)=\sum_{n_1=-M_1}^{M_1}\sum_{n_2=-M_2}^{M_2} g(n_1,n_2)W_{N_1}^{k_1n_1}W_{N_2}^{k_2n_2}=A_G(k_1,k_2)e^{j\theta_G(k_1,k_2)} \tag{4.13}$$

Burada $A_F(k_1,k_2)$ ve $A_G(k_1,k_2)$ genlik bileşenleri, $\theta_F(k_1,k_2)$ ve $\theta_G(k_1,k_2)$ ise faz bileşenleridir. $\overline{G(k_1,k_2)}$, $G(k_1,k_2)$'nin karmaşık eşleniği olmak üzere, $F(k_1,k_2)$ ve $G(k_1,k_2)$ arasındaki çapraz-faz spektrumu $R_{FG}(k_1,k_2)$ denklem (4.14)'te tanımlanmaktadır.

$$R_{FG}(k_1,k_2)=\frac{F(k_1,k_2)\overline{G(k_1,k_2)}}{\left|F(k_1,k_2)\overline{G(k_1,k_2)}\right|}=e^{j\{\theta_F(k_1,k_2)-\theta_G(k_1,k_2)\}} \tag{4.14}$$

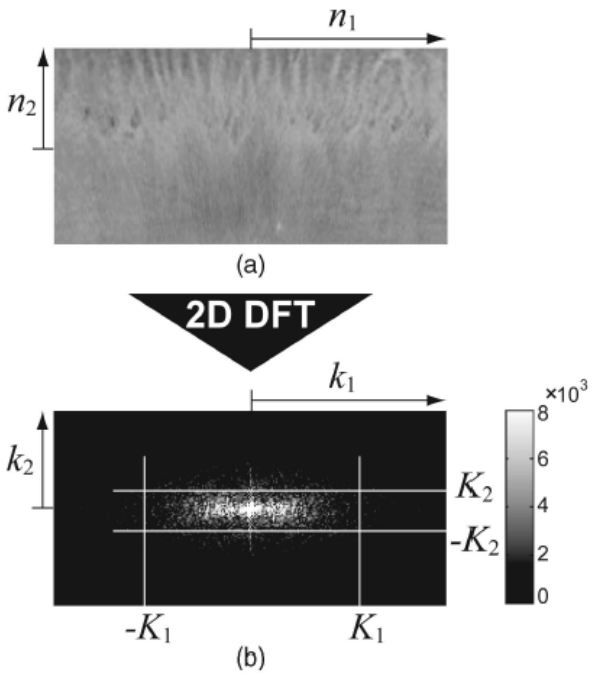
PC işlevi ise $r_{fg}(n_1,n_2)$, $R_{FG}(k_1,k_2)$'nin 2-B Ters DFT'sidir ve denklem (4.15)'teki gibi verilmektedir.

$$r_{fg}(n_1,n_2)=\sum_{k_1=-M_1}^{M_1}\sum_{k_2=-M_2}^{M_2} R_{FG}(k_1,k_2)\times W_{N_1}^{-k_1n_1}W_{N_2}^{-k_2n_2} \tag{4.15}$$

İki imge birbirine benziyorsa, PC çıkışı keskin bir tepe değeri vermektedir. $f(n_1,n_2)=g(n_1,n_2)$ olması durumunda, PC çıkışında $r_{fg}(n_1,n_2)$, Kronecker delta işlevi $\delta(n_1,n_2)$ haline gelmektedir. Eğer iki imge birbirine benzemiyorsa, tepe değeri belirgin oranda düşmektedir. Tepenin yüksekliği, imge eşlemede iyi bir benzerlik ölçütü olarak kullanılabilmekte ve tepenin yeri de bu iki imge için karşılık gelen yer değiştirmeyi göstermektedir.

Standartlaştırılmış iris imgeleri yüksek frekanslarda anlamsız faz bileşenleri içermektedir ve Şekil 4.2'de gösterildiği gibi standartlaştırılmış iris imgesindeki verimli frekans bandı genelde $k_2$ yönünden ziyade $k_1$ yönünde daha geniştir. Orijinal PC çıkışı $r_{fg}(n_1,n_2)$ daha düşük güvenilirliğe sahip olabilecek yüksek frekans bileşenlerine vurgu yapmaktadır. Bu, karşılaştırılan iki iris imgesi aynı gözden elde

edilmiş olsa bile, korelasyon tepesinin yüksekliğini belirgin ölçüde düşürmektedir. Diğer yandan BLPOC, iris dokusunun anlamlı frekans bandını kullanarak benzerliği değerlendirmeye olanak tanımaktadır.




Şekil 4.2: (a) Uzamsal düzlemde (b) frekans düzleminde standartlaştırılmış iris imgesi [31]

$0 \le K_1 \le M_1$ ve $0 \le K_2 \le M_2$ olmak üzere, iris dokusunun anlamlı frekans bandının sınırlarının $k_1 = -K_1, \cdots, K_1$ ve $k_2 = -K_2, \cdots, K_2$ olduğu varsayıldığında, frekans spektrumunun etkin boyutu $L_1 = 2K_1 + 1$ ve $L_2 = 2K_2 + 1$ olmaktadır. $n_1 = -K_1, \cdots, K_1$, $n_2 = -K_2, \cdots, K_2$ olmak üzere, BLPOC işlevi denklem (4.16)'daki gibi tanımlanmaktadır.

$$r_{fg}^{K_1 K_2}(n_1, n_2) = \frac{1}{L_1 L_2} \sum_{k_1=-K_1}^{K_1} \sum_{k_2=-K_2}^{K_2} R_{FG}(k_1, k_2) \times W_{L_1}^{-k_1 n_1} W_{L_2}^{-k_2 n_2} \tag{4.16}$$

İki imge birbirine benziyorsa, BLPOC işlevleri, PC işlevine göre daha da keskin bir tepe değeri vermektedir. $f(n_1, n_2) = g(n_1, n_2)$ ise, $r_{fg}^{K_1 K_2}(n_1, n_2) = \delta(n_1, n_2)$ olmaktadır. BLPOC işlevinin korelasyon tepesinin maksimum değeri her zaman 1'e

standartlaştırılmaktadır ve $L_1$ ile $L_2$ değerlerine bağlı değildir. Ayrıca iki imge arasındaki yer değiştirme, korelasyon tepe konumuyla öngörülebilmektedir.

Bu eşleştirme algoritmasında, $K_1 / M_1$ ve $K_2 / M_2$, alınan iris özniteliklerinin frekans katkısını kontrol ettikleri için en önemli kontrol parametreleridir. Kullanılan veritabanına göre, bu parametreler için uygun değerlerin seçilmesi gerekmektedir.

Pratik bir iris tanıma sisteminde, yetki verilen ve verilmeyen insanları birbirinden ayırmak için BLPOC işlevinin tepe değeri için de uygun bir eşik değeri belirlenmelidir.

## 4.4. Önerilen Yöntem

Bu tez çalışmasında öznitelik çıkarımı ve eşleştirme için Miyazawa'nın önerdiği BLPOC işlevi kullanılmaktadır. Oppenheim ve Lim [28]'in de gösterdiği gibi bir imge içindeki en anlamlı bilgi genlik bilgisi değil, faz bilgisidir. İmgedeki faz bilgisini ortaya çıkarmak için Fourier dönüşümünden yararlanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, gözkapakları ve kirpiklerin olumsuz etkilerini en aza indirerek başarımı arttırabilmek için, standartlaştırılmış iris kodunda gözbebeğinin sağ ve sol tarafından 90º'lik bölgeler, iki etkin bölge olarak alınmaktadır. Bu iki etkin bölge ile veritabanındaki şablonların aynı derecelere karşılık gelen etkin bölgeleri arasındaki BLPOC işlevleri ayrı ayrı hesaplanarak karşılaştırma yapılmaktadır ve daha büyük değerli olan BLPOC sonucu, nihai sonuç olarak kabul edilmektedir. Bu nihai sonuca göre de eşleşme olup olmadığına karar verilmektedir.

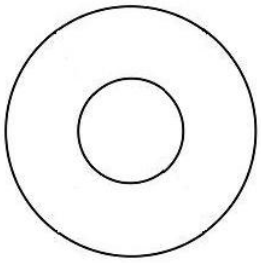
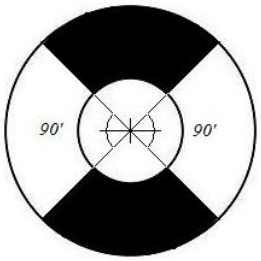
## 4.5. Deneysel Sonuçlar

Bu tez çalışmasında karşılaştırma için ilk aşamada faz korelasyonu işlevi kullanılmaktadır. Öncelikle 360 derecelik tüm iris kodu kullanılarak yapılan karşılaştırmada %97.12 başarım elde edilmektedir. Başarımı arttırmak amacıyla, Bölüm 4.4'te anlatıldığı gibi iris içerisindeki kirpik ve gözkapağı etkisini minimuma indirecek şekilde gözbebeğinin sağ ve sol taraflarından 90º'lik açılarda iki bölge

alınması yöntemi uygulanmaktadır. Bu iki karşılaştırma sonucunda elde edilen başarım sonuçları Tablo 4.1'de gösterilmektedir.

Bu bölümde belirtilen tüm başarım oranları sadece eşleştirme başarımı değil bölütleme ve standartlaştırmayı da içeren tüm sistemin toplam başarımıdır.

Tablo 4.1: Eşleştirme için sadece faz korelasyonu işlevinin kullanılması durumunda elde edilen başarım oranları

| Maske Yapısı | Açı | Başarım Oranı |
|---|---|---|
|  | 360° | %97.12 |
|   | 90°-90° | % 97.52 |

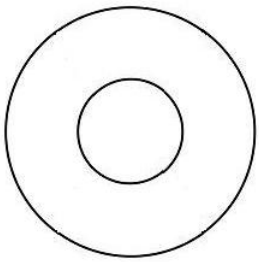
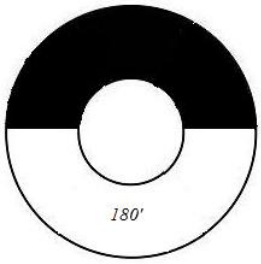
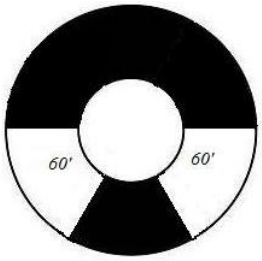
Tablo 4.1'deki sonuçlardan görüldüğü gibi 90º'lik bölgelerin eşleştirmesinde elde edilen başarım daha yüksek olmaktadır.

Bundan sonra sınıflar arası ayırt edicilik faz korelasyonunda az olduğu için ayırt ediciliği arttırmak için en anlamlı faz bilgisinin bulunduğu belirli bir frekans bandını kullanan bant-sınırlı faz korelasyonu yöntemi denenmiştir. Bu tez çalışmasında CASIA-IrisV3-Interval-R veritabanı için Bölüm 4.3.4'te tanımlanan $(K_1 / M_1, K_2 / M_2)$ parametre kümeleri için $(0.5, 0.5)$ değerleri kullanılmaktadır. 360 derecelik tüm iris kodu kullanılarak yapılan karşılaştırmada %98.64 başarım elde edilmektedir. Kirpiklerin etkisini azaltacağı düşünülerek sadece iris bölgesinin alt

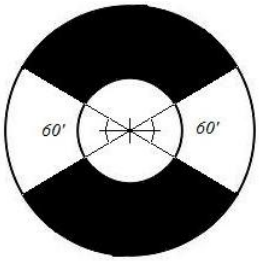
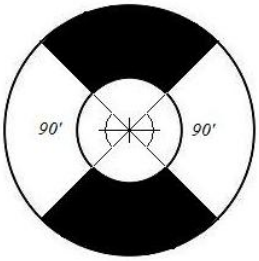
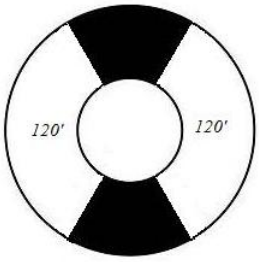
tarafındaki 180º'lik iris kodu kullanılarak karşılaştırma yapıldığında ise elde edilen başarım %98.40 olmaktadır. Beklenilenin aksine, bu durumda başarım düşmektedir.

Bant-sınırlı faz korelasyonu kullanılarak değişik açılar için elde edilen başarım sonuçları ise Tablo 4.2'de gösterilmektedir.

Tablo 4.2: Eşleştirme için bant sınırlı faz korelasyonunun kullanılaması durumunda elde edilen başarım oranları

| Maske Yapısı | Açı | Başarım Oranı |
|---|---|---|
|  | 360° | %98.64 (1234/1251) |
|   | 180° | %98.40 (1231/1251) |
|   | 60°-60° | %98.72 (1235/1251) |

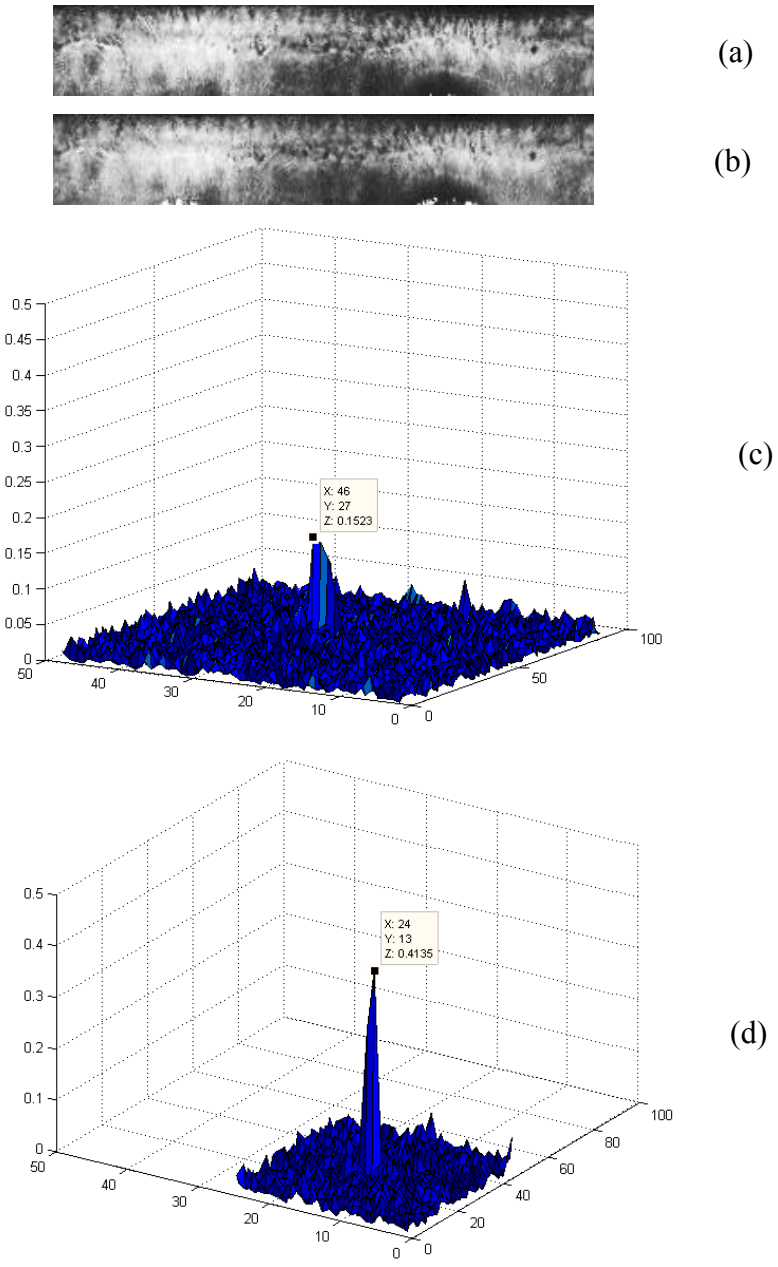
Tablo 4.3: Eşleştirme için bant sınırlı faz korelasyonunun kullanılaması durumunda elde edilen başarım oranları (devamı)

| Maske Yapısı | Açı | Başarım Oranı |
|---|---|---|
|   | 60°-60° | %99.12 (1240/1251) |
|   | 90°-90° | %99.20 (1241/1251) |
|   | 120°-120° | % 99.20 (1241/1251) |

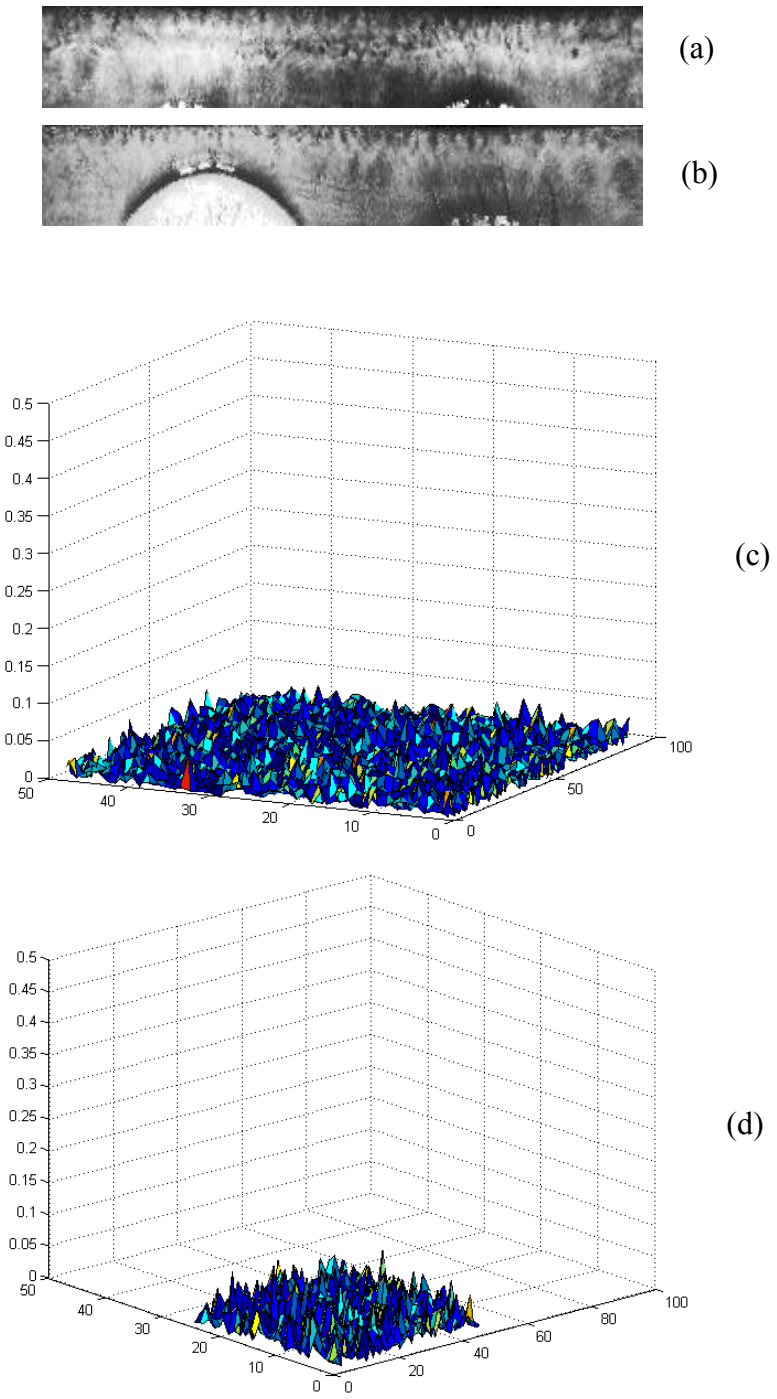
Tablo 4.2'deki sonuçlardan görüldüğü gibi en iyi başarım 90º ve 120º'lik bölgelerin eşleştirmede kullanılması ile elde edilmektedir. Her ne kadar bu iki açı değerindeki bölgeler için aynı başarım sonucu elde edilse de kullanılan bit sayısının daha az, dolayısıyla işlem süresinin daha kısa olmasından dolayı bu tez kapsamında 90º'lik bölgeler kullanılarak eşleştirme yapılmaktadır.

Ayrıca 90º'lik bölgeler için $(K_1 / M_1, K_2 / M_2) = (0.6, 0.3)$ ve $(K_1 / M_1, K_2 / M_2) = (0.6, 0.2)$ parametre kümeleri kullanılarak eşleştirme gerçekleştirilmiş ve başarımın %99.12'ye gerilediği görülmüştür.

Şekil 4.3 ve 4.4'te her bir alt şekil orijinal $r_{fg}(n_1,n_2)$ PC ve $r_{fg}^{K_1K_2}(n_1,n_2)$ BLPOC işlevlerini karşılaştırmak üzere, CASIA-IrisV3-Interval-R iris imge veritabanı için, sırasıyla, doğru ve hatalı eşleşmelere örnekler gösterilmektedir. Doğru eşleşme durumunda, BLPOC işlevi, orijinal PC işlevinden daha yüksek bir korelasyon tepesi sergilerken, hatalı eşleşme durumunda işlevlerin hiçbiri belirgin bir korelasyon göstermemektedir. Yani BLPOC işlevi, orijinal PC işlevinden çok daha yüksek bir ayırt etme yeteneği sunmaktadır.




Şekil 4.3: (a) Karşılaştırılan iris imgesi, (b) Eşleştirilen iris imgesi, (c) Faz korelasyonu sonucu (Tepe değeri: 0.1523), (d) Bant-sınırlı faz korelasyonu (Tepe değeri: 0.4135)




Şekil 4.4: (a) Karşılaştırılan iris imgesi, (b) Farklı bir iris imgesi, (c) Faz korelasyonu sonucu, (d) Bant-sınırlı geçiren faz korelasyonu

Şekil 4.4'de görüldüğü üzere iki farklı iris imgesi için PC ve BLPOC ile elde edilen tepe değerleri oldukça düşmekte ve Şekil 4.3'de görüldüğü gibi belirgin bir tepe oluşmamaktadır.

# 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında biyometrik sistemler tanıtılmış, en güvenilir biyometrik özniteliklerden biri olan irisi temel alan iris tanıma sistemleri incelenerek literatürdeki çalışmalar incelenmiş ve kızılötesi ışık altında elde edilmiş CASIA-IrisV3-Interval-R veritabanındaki göz imgeleri kullanılarak bir iris tanıma sistemi gerçekleştirilmiştir.

Canny kenar bulma algoritması ile gözbebeği-iris sınırı belirlenmiş, daha sonra da gözbebeğinin koordinatları bulunmuştur. Bu yöntemlerle veritabanındaki imgeler için gözbebeği bulunmasında %100 başarım elde edilmiştir. Bu bilgilerle yeri belirlenen iris bölgesi, anlamlı bilginin yoğun olarak gözbebeğine yakın bölgede bulunduğu göz önünde tutularak Daugman'ın lastik levha modeli temel alınıp 50 piksellik bir iris örüntüsü şeklinde standartlaştırılmıştır, böylece oluşturulacak şablonlardaki boyut farkı ortadan kaldırılmıştır. Bu standartlaştırılmış imgelerden, orijinal iris imgesinde sağ ve soldaki 90º'lik alanlara karşılık gelen bölgeler alınıp şablonlar oluşturulmuş, böylece gözkapaklarının ve kirpiklerin imge üzerindeki etkileri azaltılarak eşleşmeye yönelik olarak daha güvenilir karar verilebilmesi sağlanmıştır. İris imgelerindeki farklılığı sağlayan en anlamlı bilgi olan faz bilgisi Fourier Dönüşümü kullanılarak ortaya çıkarılmış, eşleşme kararını vermek üzere de BLPOC işlevi kullanılmıştır. Çalışmanın başarımını test etmek için kullanılan 1251 göz imgesinden 1241 tanesini doğru tanımlamaktadır. Çalışmanın iris tanıma başarımı % 99.20'dir.

Bu tez kapsamında gözbebeği çember olarak kabul edilerek bölütleme işlemi gerçekleştirilmiştir. İleriki çalışmalarda sistemin başarımını arttırmak için gözbebeği gerçekte olduğuna yakın olarak eliptik yapıda ya da aktif çevrit modeli kullanarak standartlaştırmanın yapılması ve eşleştirme aşamasında hatalı sonuçlara yol açan durumların ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca standartlaştırma sonrasında

gözkapakları ve kirpikler için maske oluşturulması da sözkonusu gürültülerin eşleştirme sonucuna etki etmesini önleyeceğinden başarımı arttıracaktır.

## KAYNAKLAR


1. Çiçek, F., 2007, *Fiziksel Özelliklerinden Yararlanarak Kimlik Tespit Etme* [online], http://www.elektrik.gen.tr/icerik/fiziksel-%C3%B6zelliklerden yararlanarak-kimlik-tespit-etme **(Ziyaret Tarihi: 12 Aralık 2009).**

2. Jain, A., Ross, A., Prabhakar, S., "An Introduction to Biometric Recognition" Invited Paperformation, ***IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology,*** Vol.14, No.1, 4-20, (2004).

3. Farhabi, A., Alipour, M., Ravazi, N., *Introduction to human eye and Iris biomedical features* , Institute for Studies in Theoretical Physics and Mathematics, http://math.ipm.ac.ir/scc/vision/iris/Iris-Recognition.html **(Ziyaret Tarihi : 1 Aralık 2009).**

4. Daugman, J., "High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence", ***IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence***, Vol. 15, No. 11, (1993).

5. Wildes, R., "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology", ***Proceeding of the IEEE***, Vol. 85, No. 9, 1348-1363, (1999).

6. Daugman, J., "How iris recognition works", ***Proceedings of 2002 International Conference on Image Processing***, Vol. 1, (2002).

7. Sanderson, S., Erbetta, J., "Authentication for secure environments based on iris scanning technology", ***IEE Colloquium on Visual Biometrics***, (2000).

8. Daugman, J., "Biometric personal identification system based on iris analysis", ***United States Patent***, Patent No: 5,291,560, (1994).

9. Wildes, R., Asmuth, J., Green, G., Hsu, S., Kolczynski, R., Matey, J., McBride, S., "A system for automated iris recognition", ***Proceedings IEEE Workshop on Applications of Computer Vision,*** Sarasota, FL, 121-128, (1994).

10. Boles, W., Boashash, B., "A human identification technique using images of the iris and wavelet transform", ***IEEE Transactions on Signal Processing***, Vol. 46, No. 4, 1185-1188, (1998).

11. Lim, S., Lee, K., Byeon, O., Kim, T., "Efficient iris recognition through improvement of feature vector and classifier", ***ETRI Journal***, Vol.23, No.2, Korea, (2001).

12. Noh, S., Pae, K., Lee, C., Kim, J., "Multiresolution independent component analysis for iris identification", ***The 2002 International Technical Conference on Circuits/Systems,*** Computers and Communications, Phuket, Thailand, (2002).

13. Daugman, J., *G.,* "Statistical Richness of Visual Phase Information: Update on Recognizing Persons by IrisPatterns", ***International Journal of Computer Vision***, Vol. 45, No. 1, 25-38, (2001).

14. Mallat, S., G., "Zero-crossing of a Wavelet Transform", ***IEEE Transactions, on Information Theory***, Vol. 37, No. 14, 1019-1033, (1991).

15. Sanchez-Avila, C., Sanchez-Reillo, R., Martin-Roche, D., "Iris recognition for biometric identification using dyadic wavelet transform zero-crossing", ***Proceedings of the IEEE 35th International. Camahan Conference on Security Technology***, 272-277, (2001).

16. Dargham, J., A., Chekima, A., Liau, C., Lye, W., "Iris recognition using sev-organizing neural network", ***Student Conference on Research and Development***, 169 -172, (2002).

17. Ma, Li, Tan, Tieniu, Wang, Yunhong, "Iris recognition based on multichannel Gabor filtering, ***Proceedings of the International Conference on Asian Conference on Computer Vision***, 1-5, (2002).

18. Ma, Li, Tan, Tieniu, Wang, Yunhong, "Iris recognition using circular symmetric filters", ***Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition***, V01.2, 414-417, (2002).

19. Chen, W., Yuan, S., "A Novel Personal Biometric Authentication Technique Using Human Iris Based on Fractal Dimension Features, Proceedings of the International Conference on Acoustics", ***Speech and Signal Processing***, (2003).

20. Zhu, Y., Tan, T., Wang, Y., "Biometric Personal Identification Based on Iris Patterns", ***Proceedings of the IEEE International Conference on Pattern Recognition***, 2801-2804, (2000).

21. Tisse, C., Torres, L., Robert, M., "Person Identification Technique Using Human Iris Recognition", ***Proceedings of the 15th International Conference on Vision Interface*** (2002).

22. Chinese Academey of Sciences- Inst. of Automation, "*Casia Iris Image Database"*, http://www.sinobiometrics.com **(Ziyaret Tarihi: 30 Haziran 2008).**

23. Kong, W., Zhang, D., "Accurate iris segmentation based on novel reflection and eyelash detection model", ***Proceedings of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia***, Video and Speech Processing, Hong Kong, (2001).

24. Tisse, C., Martin, L., Torres, L., Robert, M., "Person identification technique using human iris recognition", ***International Conference on Vision Interface***, Canada, (2002).

25. Ritter, N., Owens, R., "Location of the Pupil-Iris Border in Slit-Lamp Images of the Cornea", ***International Conference on Image Analysis and Proceedings***, 740-745, 27-29 Eylül (1999).

26. Wikipedia The free encylopedia, *Sobel Operator*, electronic document, http://en.wikipedia.org/wiki/Sobel_operator **(Ziyaret Tarihi: 10 Şubat 2009).**

27. Canny, J., "A computational approach to edge detection", ***IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence***, 8:679–698, Kasım (1986).

28. Oppenheim, A., Lim, J., "The importance of phase in signals", ***Proceedings of the IEEE 69***, 529-541, (1981).

29. Field, D., "Relations between the statistics of natural images and the response properties of cortical cells", ***Journal of the Optical Society of America,*** (1987).

30. Burt, P., Adelson, E., "The laplacian pyramid as a compact image code", ***IEEE Transactions on Communications***, Vol. COM-31, No. 4, (1983).

31. Miyazawa, K., Ito, K., Aoki, T., Kobayashi, K., Katsumata, A., "An Iris Recognition System Using Phase-Based Image Matching", ***IEEE International Conference on Image Processing***, 325-328, (2006).

32. Wolff, E., "Anatomy of the Eye and Orbit", Seventh edition, ***H.K. Lewis & Co. Ltd***, (1976).

33. Masek, L., "Recognition of Human Iris Patterns for Biometric Identification", BS Dissertation**,** ***The University if Western Australia*****,** (2003)

34. Ertürk, S., "Digital Image Processing", ***University of Kocaeli***, (2003)

## ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Uşak'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Afyon'da tamamladı. 1998 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 2002 yılında mezun oldu. 2006 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans'a devam etmektedir. Ekim 2007 tarihinden bu yana Türk Telekom'da çalışmaktadır.