

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RADYOTERAPİ UYGULAMALARI İÇİN OTOMATİK İRİS  
LOKALİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Melih ÇAVUŞÇULU**

**Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. İmam Şamil YETİK**

**AĞUSTOS 2017**

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....  
**Prof. Dr. Osman EROĞUL**  
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans/Doktora derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

.....  
**Doç. Dr. Tolga GİRİCİ**  
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 141211031 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Melih ÇAVUŞÇULU**' nun ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**RADYOTERAPİ UYGULAMALARI İÇİN OTOMATİK İRİS LOKALİZASYONU**" başlıklı tezi **18.08.2017** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. İmam Şamil YETİK** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Bülent TAVLI (Başkan)** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Doç. Dr. Asım Egemen YILMAZ** .....  
Ankara Üniversitesi

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tez içerisindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Melih ÇAVUŞCULU

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### RADYOTERAPİ UYGULAMALARI İÇİN OTOMATİK İRİS LOKALİZASYONU

Melih ÇAVUŞÇULU

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İmam Şamil YETİK

Tarih: Ağustos 2017

Uveal melanom, erişkinlerde yaygın olarak görülen göz içi bir tümör tipi olmakla beraber, görme bozukluklarından göz kayıplarına hatta yüksek metastaz riski ile beraber yaşam kaybına sebep olabilmektedir. Geçmişten günümüze birçok tedavi yöntemi denenmekle birlikte hastalığın durumuna göre gözün tamamen çıkarılması ile sonuçlanabilmekte ya da radyoterapi tedavileriyle iyileştirilmesi sağlanabilmektedir. Günümüzde enükleasyon (organın çıkarılması) en son başvurulacak yol olarak görülmekte, bu noktada radyoterapi uygulamaları büyük önem kazanmaktadır. Radyoterapi tedavisinde yüksek teknoloji cihazlara gereksinim duyulmakta, radyoaktif ışınlarla göz tedavisi hassas bir biçimde yürütülmektedir. Operasyon sırasında kullanılan uyuşturma yöntemi, blefarosta ve vakum halkası gibi bazı ekipmanlar göz sağlığını riske atmakta, hastanın konforsuz bir tedavi geçirmesine sebep olabilmektedir. Bu tez çalışmasında, bahsedilen risklerin ve oluşabilecek olumsuz durumların önüne geçilebilmesi için göz operasyonlarında faydalanılmak üzere iris ve göz kapaklarının mevcut anlık durumlarına göre gözün uyuşturulmadan radyoterapi yapılabilmesini sağlayabilecek bir yöntem önerilmiştir. Bu algoritma, gerçek zamanlı bir sistem olup, çalışılmasında elde edilen görüntü örneklerinin bir öğrenme algoritması şemasına göre gözün açık veya kapalı olarak sınıflandırılmasına dayanmaktadır. Göz kapalı iken radyoterapi kesilecektir ve sağlıklı dokuların radyoterapiye maruz kalması önlenecektir. Algoritmanın tepki hızının gerçeğe yakın olması, böylelikle gözün mevcut durumunun herhangi bir değişikliğine anlık tepki vermesi hedeflenmektedir. Çalışmanın motivasyonu son yıllarda revaçta olan ve insan-bilgisayar ara yüzü, yorgunluk detektörü, ifade analizi gibi çalışmalarda kullanılmaya başlanan iris takibi, lokalizasyonu ve göz kırpma sezimi konularının temeline dayanmaktadır. Çalışmanın prensibi genel olarak değişken ortam

koşullarında alınan gerçek zamanlı video görüntüsünün lineer sınıflandırma ile işlenerek gözün açık veya kapalı durumda olduğunun saptanmasına dayanmaktadır. Çalışmada, ilk olarak alınan görüntüler üzerinde ön işlemler yapılmış, iris tespit edilmiştir. Sonraki adımda ayırıcı performansı yüksek olan ve aynı zamanda işlemsel karmaşıklığı az olan öz nitelikler belirlenerek aydınlık ve karanlık şartlar altında olmak üzere açık ve kapalı göz için kullanılarak öz nitelik vektörleri oluşturulmuştur. Bu öz nitelik vektörleri lineer sınıflandırma yöntemi ile sınıflandırılmış ve sistemin sınıflandırma performansı değerlendirilmiştir. Sınıflandırma performansı en yüksek görülen üç öz nitelik vektörü oluşan bir öz nitelik uzayı üzerinde çalışılmış ve başarılı sınıflandırma sonuçlarına ulaşılmıştır. Sistem çapraz geçerlilik metoduyla test edilmiş ve sınanmıştır. Işıklandırma koşullarından bağımsız olarak sistemin hızlı ve hatasız olarak çalıştığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü işleme, Öğrenme algoritması, Sınıflandırma, Iris takibi/lokalizasyonu



## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **AUTOMATED IRIS LOCALIZATION FOR RADIOTHERAPY APPLICATIONS**

Melih ÇAVUŞÇULU

TOBB Ekonomi ve Teknoloji University  
Institute of Science and Technology  
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. İmam Şamil YETİK

August 2017

Uveal melanom, being a widespread neoplasm in the eye, may cause vision defect, loss of the eye, even loss of life with the high level risk of metastasis. From past to the present there have been tried many treatment methods which are varying from enucleation at the end of treatment of the eye, to the medication with radiotherapy threatment in accordance with the status of the disease. Today, enucleation is the last way to apply, so radiotherapy occupies an important place. There is need for high-technology devices in radiotherapy treatment, the treatment is conducted sensitively with radioactive beam radiation. Some equipments used during operation like blepharostat and vacuum rings may lead some complications during operation and can make the patients have uncomfortable treatment. In this thesis, in order to eliminate the possible negative effects of therapy, we studied an algorithm which is for use in eye surgery, that can fix the therapy in accordance with the present instant state of iris and eyelids. This algorithm will be a real time system and will be based on the classification of the acquired image frames according to a learning algorithm. It is aimed that the speed of the algorithm is as close as possible to real time so that it can response instantly to any instant change in present eye state. The motivation of the study is based upon iris tracking, localization and blink detection which is now used frequently for human computer interface, fatigue detector, face analysis topics. The principle of the study is based on the detection of eye state, i.e. open or closed, in varying lighting conditions by a linear classification on real-time video frames. In the study, iris is detected first, then some features which have low computational

complexity and high classification performance are determined. Feature vectors are formed for bright and dark lighting conditions and these vectors were classified with linear discriminant analysis. We had successful results with chosen features and examined with cross validation method. There were no decremental effects of harder conditions.

**Keywords:** Image processing, Learning algorithm, Classification, Iris detection/localization



## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren sayın hocam Doç. Dr. İmam Şamil YETİK'e, değerli bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğretim üyelerine, emek ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Ülüfer Nayir'e ve burs sağladığı için TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne en samimi teşekkürlerimi sunarım.





## İÇİNDEKİLER

sayfa

ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİL LİSTESİ .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xii
KISALTMALAR.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xiv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Gözün Anatomik Yapısı .....	1
1.2 Gözün Biyometrisi Üzerine Uygulamalar .....	2
1.3 Uveal Melanom.....	3
1.4 Cerrahi Müdahale Ekipmanlarının Zararlı Etkileri .....	6
<b>2. MOTİVASYON, PROBLEM TANIMI VE TEZİN AMACI .....</b>	<b>8</b>
2.1 Tez Çalışmasının Amacı .....	8
<b>3. GELİŞTİRİLEN YÖNTEM .....</b>	<b>13</b>
3.1 Yöntem Özeti .....	13
3.2 Görüntü Alma.....	14
3.3 Görüntülerin Öznitelik Çıkarımından Önceki Önışlemlenmesi.....	14
3.3.1 Güç yasası dönüşümü (power-law transform) yöntemi [21] ile görüntü iyileştirme .....	15
3.3.2 Ayrıt sezimi için uygulanan önışlemler .....	19
3.3.2.1 Görüntüdeki objelerin doldurulması.....	20
3.3.2.2 Genişletme (Dilasyon).....	21
3.3.2.3 Aşındırma (Erozyon).....	22
3.3.2.4 Görüntü kapatma işlemi (Closing).....	22
3.3.2.5 Ayrıt görüntüsü .....	22
3.3.3 Dairesel hough dönüşümü ile iris tespiti .....	23
3.4 Sınıflandırma İçin Kullanılan Öznitelikler.....	26
3.4.1 Özniteliklerin tanımı .....	26
3.4.1.1 Lokal İkili Örüntü (Local Binary Pattern) .....	27
3.4.1.2 Görüntü'nün entropi değeri.....	28
3.4.1.3 Görüntü kesitinin ortalaması .....	29
3.4.1.4 Görüntünün varyansı .....	29
3.4.1.5 Görüntünün yatay ve dikey eksenindeki ortalama değeri.....	30
3.4.2 Öznitelik Diyagramları .....	32
<b>4. SONUÇLAR.....</b>	<b>40</b>
4.1 Sınıflandırma .....	40
4.1.1 Lineer Diskriminant Analiz (LDA) .....	40
4.2 Sistem Performansı .....	47

<b>5. VARGILAR VE ÇIKARIMLAR.....</b>	<b>49</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>51</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>54</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>56</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Göz genel görüntüsü ve anatomik yapısı [1].	1
Şekil 1.2 : Göz operasyonlarında kullanılan ekipmanlar [10]	7
Şekil 2.1 : Değiştirilebilir şablon (üstte) ile iris ve göz bulma (altta) [11]	10
Şekil 2.2 : Şablon modeli üzerinde kullanılan alansal kuvvet ve alansal tork [15]	11
Şekil 3.1 : Yöntem şematığı	13
Şekil 3.2 : Değişik ışık koşullarında elde edilmiş göz görüntüleri	14
Şekil 3.3 : Güç yasası dönüşümü eğrisi	16
Şekil 3.4 : Histogram görüntüsü	17
Şekil 3.5 : Güç yasası dönüşümü ve eşikleme sonucu elde edilen görüntüler	19
Şekil 3.6 : Yapısal element. 8-komşuluk(solda) ve 4-komşuluk(sağda)	20
Şekil 3.7 : Görüntü doldurma işlemi	21
Şekil 3.8 : Genişletme operatörü uygulanımı ve sonucu	21
Şekil 3.9 : Aşındırma operatörü uygulanımı ve sonucu	22
Şekil 3.10 : Dairesel hough dönüşümü prensibi [23]	24
Şekil 3.11 : Dairesel hough dönüşümü	24
Şekil 3.12 : Hough dönüşümü öncesi yapılan ön işlemler	25
Şekil 3.13 : Hough dönüşümü ile elde edilen iris görüntüsü	26
Şekil 3.14 : İşlem göreceğ göz bölgesinin elde edilmesi sonucu oluşan görüntüler..	26
Şekil 3.15 : Ön işlenmiş görüntünün lokal ikili örüntüsü	28
Şekil 3.16 : Açık/Kapalı göz görüntüsü yatay kesiti	29
Şekil 3.17 : Aydınlık/Karanlık koşullarda görüntünün yansı ortalama değeri	31
Şekil 3.18 : Aydınlık ışık şartlarında elde edilen ikili öznitelik diyagramları	33
Şekil 3.19 : Aydınlık ışık şartında elde edilen ikili öznitelik diyagramları	34
Şekil 3.20 : Karanlık ortam şartlarında elde edilen öznitelik diyagramları	35
Şekil 3.21 : Karanlık ortam şartlarında elde edilen öznitelik diyagramları	36
Şekil 3.22 : Aydınlık ortam koşullarında oluşturulan LİÖ, varyans ve entropi üçlü öznitelik diyagramı	37
Şekil 3.23 : Aydınlık(üstte) ve karanlık(altta) LİÖ, varyans ve entropi öznitelikleriyle oluşturulmuş serpilme diyagramları	38
Şekil 3.24 : Aydınlık ve karanlık durumların LBP, varyans ve entropi öznitelikleriyle oluşturulmuş topyekün serpilme diyagramı	39
Şekil 4.1 : Sw ve Sb sınıf içi ve sınıflar arası dağılımları	40
Şekil 4.2 : Sınıf ortalamalarının ayrılabilir izdüşüm eğrisi	41
Şekil 4.3 : Aydınlık durumda elde edilen ikili öznitelik diyagramlarının lineer sınıflandırılması	43
Şekil 4.4 : Aydınlık durumda elde edilen ikili öznitelik diyagramlarının lineer sınıflandırılması	44
Şekil 4.5 : Aydınlık durumda elde edilen ikili öznitelik diyagramlarının lineer sınıflandırılması	45

Şekil 4.6 : Karanlık durumda elde edilen ikili öznitelik diyagramlarının lineer sınıflandırılması .....	46
Şekil 4.7 : Entropi-lokal ikili örüntü-varyans özniteliklerinin sınıflandırılması.....	47
Şekil 5.1 : Açık göz ve kırılma anındaki göz görüntüleri .....	50
Şekil 5.2 : Şekil 5.1'deki görüntülerin fark görüntüsü ve eşiklenmiş hali .....	50
Şekil 5.3 : Aşındırılmış fark görüntüsü.....	50



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1 : Değişik test ve eğitim setlerine göre sınıflandırma hata oranı ve işlem zamanı.....	31
Çizelge 5.2 : Sistem işlem zamanı .....	32



## KISALTMALAR

<b>PET-BT</b>	: Pozitron Emisyon Tomografi-Bilgisayarlı Tomografi
<b>MRG</b>	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
<b>SVM</b>	: Support Vector Machine - Destek Vektör Makinesi
<b>LBP</b>	: Local Binary Pattern – Lokal İkili Örüntü
<b>LDA</b>	: Linear Discriminant Analysis – Lineer Diskriminant Analiz



## SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$\mu$	ortalama
$\sigma$	varyans
$w_1, w_2$	sınıf olasılıkları
$p_i$	piksele ait olasılık değeri
$L$	gri seviye sayısı ( $L \in 0-255$ )
$x, y$	düzlem koordinat değerler

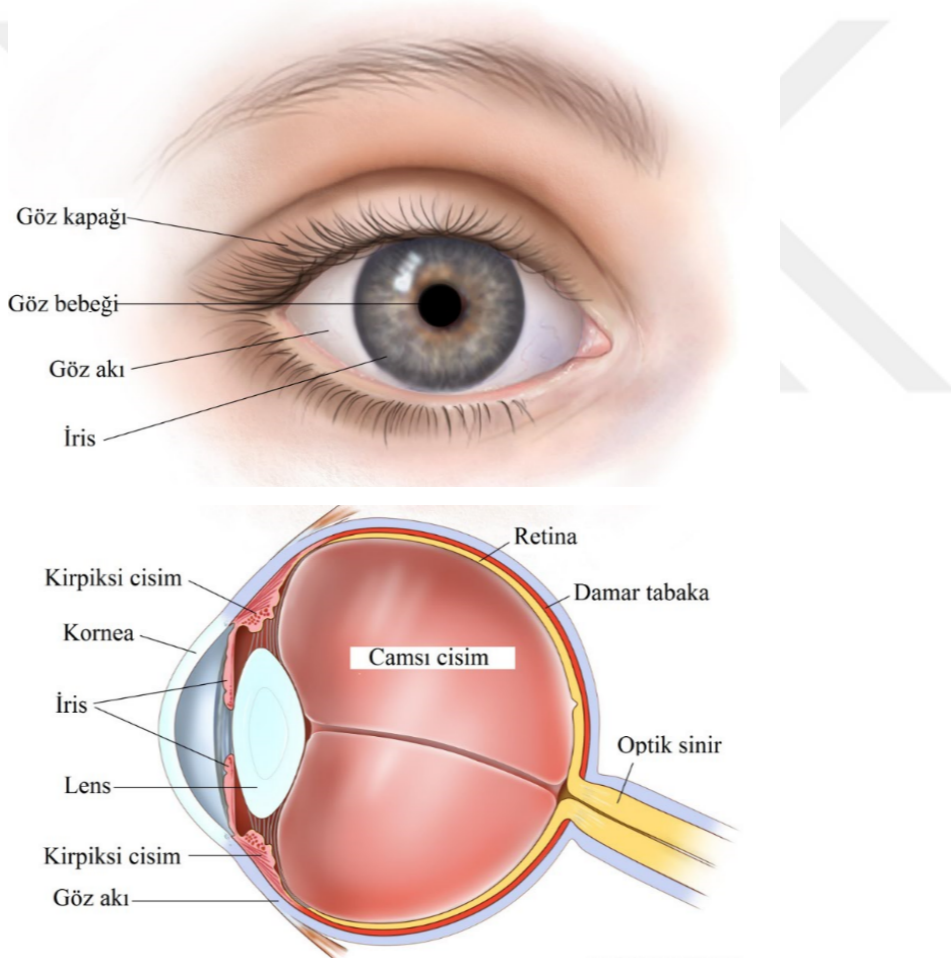




# 1. GİRİŞ

## 1.1 Gözün Anatomik Yapısı

Göz, insan vücudunda vücut dışı çevre ile temas eden en hassas duyu organı olup, ışığı geçirme ve kırma mekanizmasına sahip dış dünyayı sinirler vasıtasıyla beyinde işlenerek görüntüleştirilen benzersiz bir sistemdir. Her biri ayrı önemli görevlere sahip olan birkaç doku ve öz tabakasından oluşmuştur (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : Göz genel görüntüsü ve anatomik yapısı [1].

Sklera ve kornea gözün en dıştaki fibröz kılıfını oluşturur. Bu iki tabaka birbirinin devamı olup gözü koruyucu görev üstlenirler. Bu iki tabakanın üstünde ise konjonktiva

denilen göz kapağının iç kısmı ile sklera arasında sümüksel bir membran bulunur. Gözün en iç kısmında gece ve gündüz görüşü için özelleşmiş hücrelere sahip fotoreseptörlerin bulunduğu, görsel imgelerin oluşturulduğu retina tabakası vardır. Burada oluşturulan görüntü tıpkı dijital sinyaller gibi kodlanıp şifrelenerek optik sinir hücreleri yardımıyla beyne iletilir. Fibröz kılıf ve retina arasında göz yuvarlağı boyunca uzanan uvea (damarlı kılıf) iç ve dış tabakalar arası iletişimi sağlayan ve gözün canlılık için gerekli olan en önemli tabakayı oluşturur. Uvea; koroid, kirpiksi cisim ve iris kısımlarını kapsar. Kirpiksi cisim lensin şeklini değiştirerek ışığın kırılması ve retina üzerine odaklanmasını kontrol ederek, iris ise büyüyüp küçülerek retina üzerine düşecek bu ışığın miktarını ayarlayarak görüntü oluşumunda önemli rol oynar. Koroid ise retinanın dış kısmı için oksijen sağlanması ve beslenme görevleriyle gözün canlılığını sürdürmesi bakımından en önemli tabaka olma özelliğindedir.

Yukarıda anatomik yapısından söz edilen gözün tabakalarından herhangi birisinde oluşacak herhangi bir düzensizlik tüm görme sisteminde genel bir arızaya sebep olma riski taşımaktadır. Bu tezin konusu olan uveal melanom gibi göz yapısını ve görmeyi etkileyen birçok göz hastalığı mevcut olmakla beraber bu hastalıklar göz organını veya görme yetisinin tamamen kaybedilmesi ile sonuçlanabilir. Ancak daha önemlisi, sadece göz ve görme yetisinin değil, hayati riskin olduğu bozukluklar söz konusu olabilir. Bu noktada göz organı medikal terapi ve cerrahi tedavi alanlarına önemli bir konu olmaktadır.

## **1.2 Gözün Biyometrisi Üzerine Uygulamalar**

Göz, insanların sahip olduğu en karakteristik, ayırt edici özelliğe sahip yapılardan biridir. Göz irisi 8 ayda şekillendikten sonra hayat boyu değişmeyen ve istatistiksel olarak eşleşmesi DNA eşleşmesinden çok daha düşük olasılığa sahip bir biyolojik yapıdır. Göz üzerinde günümüze kadar birçok çalışma yürütülmüş ve sadece güvenlik konusunda değil buna ek olarak yüz ifadesi analizi, yorgunluk ve sürücü dikkati detektörü ve daha önemlisi, insan bilgisayar etkileşimi gibi konularda önemli gelişmeler elde edilmiştir. Tüm bu kullanım alanları için birçok çalışma yapılmış, çeşitli modeller önerilmiştir. Bu çalışmalar genel olarak göz ve iris lokalizasyonu, iris ve göz kapağı takibi, göz kırpma sezimi ve gözün anlık durumunu anlamaya yönelik metotlar üzerine kurulmuştur. Yukarıda sıralanan kullanım alanlarının ortak özelliği gerçek zamanlı olmasıdır fakat gecikme (delay) hayati öneme sahip değildir.

Bu çalışmada ise hedeflenen, gerçek zamanlı uygulama alanında gecikmeyi ihmal edilecek bir düzeye indirmesi için gerekli algoritmayı tasarlamaktır. Bu algoritmanın işlem hızının artırılması için, halihazırda olan yöntemlerden farklı olarak bir sınıflandırma yöntemi geliştirilmesi önerilmektedir. Önerilen bu yöntemin sınıflandırma ve tepki başarımını düşürmeden hızını arttırması hedeflenmektedir.

Tez için geliştirilecek algoritmanın tam olarak anlaşılabilmesi için, var olan üzerinde çalışılmış metot ve modellerin açıklanması yararlı olacaktır. Bunun için gelecek bölümde (Bölüm 2.2) bu çalışmaya temel hazırlayan diğer birtakım çalışmalar aktarılmaktadır.

Çalışmanın kapsama alanı göz üzerine cerrahi dalında uygulanabilir teknoloji konusu olmasından dolayı göz karakteristiğinin ve tıp alanında göz üzerine halihazırda yapılan uygulamaların bilinmesi önem taşımaktadır. Bu nedenle bu bölümde gözün genel anatomik yapısı (Bölüm 1.1) ve göz alanındaki günümüz cerrahi uygulamaları (Bölüm 1.4) genel ifadelerle anlatılmaktadır.

### **1.3 Uveal Melanom**

Uveal melanom, erişkinlerde görülen en yaygın göz içi neoplazma (tümör) oluşumu olmakla beraber %90 olasılıkla koroid, geri kalan kısımda iris veya kirpiksi cisim kaynaklı ortaya çıkmaktadır. Tüm melanomlar arasındaki %5'lik dilime sahip olup yılda her 1 milyonda 6 vakaya rastlanır [2]. Etki altındaki gözde görme kaybına sebep olurlar.

Bu melanom türünün riskinin genelde ultraviyole ışına (kesin kanıt olmamakla beraber), RF dalgalarına maruz kalma miktarı, açık göz & ten rengi, cilt veya iris benekleri ve genetik yatkınlık (doğuştan gözde olan melanosis, nörofibromatozis vb.) gibi faktörlerden etkilendiği çalışmalarca ortaya konulmuştur [3].

Kötü huylu ve agresif olmaları açısından çabuk tedavilerin hastaların hayatta kalma şansını etkilediği bilinmektedir. Tedavideki herhangi bir gecikme melanomun birden gelişmesine, ani görme kayıplarına, göz organ hatta metastaz nedeniyle can kaybına neden olabilmektedir. Tanı koyma aşamasında ilk önce ultrason taraması ve gerekiyorsa biyopsi yapılır. Gözdeki tümörün 2 mmden büyük olması, subretinal sıvının söz konusu olması, herhangi bir görüntü semptomunun (bulanıklaşma vb.) olması, tümörün üzerinde turuncu pigmentleşmeler, tümör alanının optik sinir

disklerine yakınlaşması gibi klinik bulgular hastalığın ilerlemesinin ve metastaz durumunun ivme kazanmasında birer risk faktörü olmaktadır [4]. Bu gibi durumlarda ise ileri taramalara geçilip tedavi yöntemleri geliştirilmelidir. Hastaya bu noktada uygulanabilecek ileriki yöntemler;

- Tam kan sayımı ve karaciğer fonksiyon testi,
- Göğüs ve karın bilgisayarlı tomografisi,
- Tüm vücut PET-BT
- Karaciğer MRG ve göğüs tomografisidir.

Bu yöntemlerle söz konusu melanomun metastaz durumu ve riski kontrol edilip, hastalığın boyutuna ve riskine göre tedavi yöntemleri belirlenir. Uveal melanomlarında uzak metastaz riski fazla olmakla beraber, tümör büyüklüğü ile orantılı olarak artış göstermektedir. Yapılan bir çalışmada, 8033 hastadan oluşan bir toplulukta 10 yıllık metastaz oranı 1mm yoğunluğundaki bir tümör için %5, 2 mm tümör için %10, 6 mm için ise %30 olarak belirlenmiştir [5].

Uveal melanomlarda en büyük risk mikrometastaz riskidir. Mikrometastazı anlamaya yönelik günümüzde bile bir teknik geliştirilememiş olup yıllar geçtikçe ve mikrometastaz yayıldıkça kendini göstermektedir. İşbirlikçi Oküler Melanom Çalışması (COMS) 5 ve 10 yılda metastazın sırasıyla %25 ve %30 kadar ilerleme gösterdiğini tümör hücrelerinin ise %90 karaciğer, %24 akciğer, %16 ise kemik hücrelerini etkilediklerini ortaya koymuştur [6]. Dolayısıyla, uvea tabakasında melanom oluşumu görüldüğü anda tedavi yöntemlerini uygulamak atılacak en doğru ve sağlam adımdır. Tedavi yöntemlerini seçerken tümörün özellikleri ve tedavinin olası sonuçları göz önüne alınmalıdır.

Uveal melanomlarda radyoterapi kullanılmadan önce alışılmış terapi şeklinin gözün enükleasyonu yani tamamen çıkarılması şeklinde olduğu bilinmektedir. Ancak sonradan edinilen sonuçlar, gözün tamamen insan vücudundan alınmasının, ölüm oranını düşürmediği yönünde olmuştur. Bunun olası sebebi ameliyat anında göz küresine uygulanan etkilerin intraoküler (göz içi) basıncı artırması ve tümör hücrelerine baskı oluşturarak metastaz sonucunu doğurması olarak düşünülmüştür [7]. Enükleasyonun yönteminin olumsuz başka bir sonucu ise tek gözün alınmasıyla derinlik kavramının kaybolarak insan yaşamını zorlaştırmasıdır. Bu yüzden, enükleasyon tedavi seçeneği tümörün boyutunun fazla büyük olması durumu haricinde

optimal seçenek olmadığı saptanmıştır. Bu noktadan sonra, bilimsel gelişmeler ve disiplinler arası çalışmalar sonucunda oftalmologlar (göz hekimi) tarafından gözün tamamen alınması yöntemine alternatif olabilecek yöntemler üzerinde çalışılmış, radyoterapi, fotokoagülasyon ve cerrahi parça çıkarma gibi teknikler ortaya konulmuştur. Radyoterapinin radon çekirdeklerinin melanomun içine yerleştirilmesiyle birlikte kullanılmaya başlanmasından sonra brakiterapi yöntemi geliştirilmiş ve ilgi görerek kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemin esası radyoaktif bir kaynağın melanomun içine ya da yakınına yerleştirilip bir süre tedaviden sonra tekrar operasyonla alınmasına dayalıdır. Tedavide kullanılan radyoaktif plakların kobalt-60, rutenyum 106 ve iodin-125 olmak üzere işlevlerine göre zamanla değişiklik göstermiştir.

Yukarıda sıralanan yöntemler arasında, en etkili yöntem radyoterapi olarak görülmektedir. Ancak iyonlaştırıcı radyasyon terapi yönünden çok etkili olmasına karşın sağlıklı dokulara zarar verme riski çok yüksektir. Bu yönüyle, uygulama safhasında radyasyon uygulanırken komşu dokulara son derece dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunun yanında radyoterapinin uygulanacak formu da önemli olmakla beraber, brakiterapi, proton ışın radyoterapi, karbon-iyon radyoterapi, stereotaktik radyoterapi bu formlardır. Bu radyoterapi formları birbirinden uygulanış yönü ve şekliyle farklılık gösterdiği gibi terapi sonrası etki ve gözün sağlık durumu (tümör regresyonu) da değişiklik göstermektedir. Tümör regresyonunun en hızlı olduğu yöntem proton ışınması yapıldıktan sonra ruthenium-106 plak radyoterapi tedavisi uygulamasını içerdiği formda olduğu açıklanmıştır [4,8].

Günümüze kadar bulunmuş ve uygulanmış en yaygın yöntem olan radyoterapi tedavisi üzerinde, etkili ve hastanın en az zararlı geri dönüşünü sağlayan çalışmalar yapılmaktadır. Ancak tedavi esnasındaki uygulamaların olası zararları ve hastanın konforu göz önüne alındığında, radyoterapi tedavisinin gözün uyuşturulması veya ekipman kullanılması gibi etkenler olmadan yapılabilmesinin tedavi kalitesini artıracığı düşünülmektedir.

Bu tezin amacı, mevcut radyoterapi tedavisi üzerinde uygulanmak üzere, iris ve gözün anlık lokalizasyonu ve hareketlerinin izlenmesine, göz kırılması sezimine olanak sağlayacak gerçek zamanlı bir sistem geliştirilerek bu tedavi yönteminin daha güvenilir ve sağlıklı bir duruma getirilmesidir. Böylece göz uyuşturulmadan

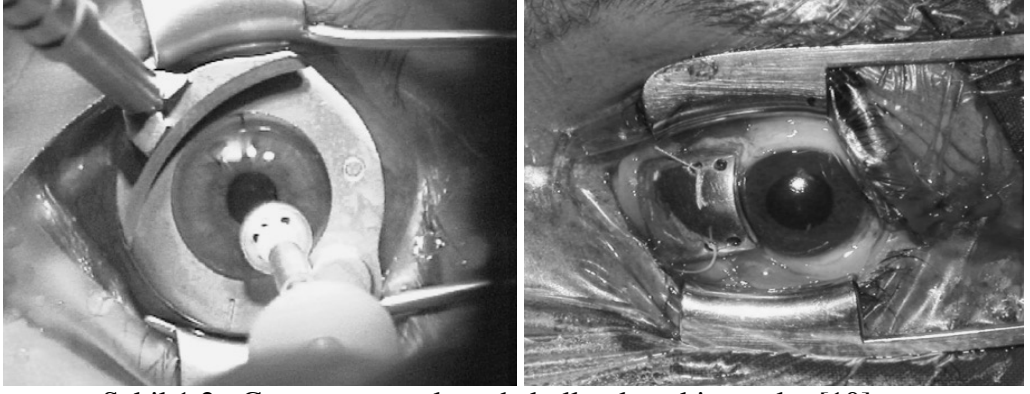
radyoterapi uygulanabilecektir. Bu sistemin en önemli performans parametresi gecikmenin ihmal edilebilecek bir düzeye indirilirken sistem başarımının olabildiğince yüksek tutulmasıdır.

Yukarıda melanom hastalığı ile ilgili genel bir bilgi verilmiş ve tedavi süresince uygulanan genel yöntemlerden bahsedilmiştir. Bu bölümde çalışma için önem taşıyan metot radyoterapi metodu olmakla beraber ileriki bölümlerde radyoterapi tedavisinin anestezi ve cerrahi ekipman olmadan uygulanabilmesini sağlayacak olan yöntemin detayları anlatılmaktadır.

#### **1.4 Cerrahi Müdahale Ekipmanlarının Zararlı Etkileri**

Önceki bölümde uveal melanom tümörü hastalığı, tedavi çeşitleri ve operasyon türleri ile ilgili bilgi verilmiştir. Bu bölümde, açıklanan operasyonların öncesindeki donanımsal hazırlık evresine ait birtakım bilgiler verilmektedir. Tedavi öncesi hazırlıkta, hasta düşük ısılı termoplastik tahdit cihazı kullanılarak hareketsiz hale getirilmekte, kafa kısmı bir blok yardımıyla sıkıştırılarak hareketi engellenmekte ve en son operasyonun gerçekleşeceği göz jel kullanımı ile birlikte blefarosta ve vakum halkaları gibi yardımcı aparatlar kullanılarak sabit hale getirilmeye çalışılmaktadır. Ancak bu ekipmanlar göz küresinin sabitlenmesini garantili bir şekilde sağlayamamanın yanı sıra göz kapaklarında bulunan kas ve bağlara zarar verebilmekte, gözyaşı kanallarının kasılmasına ve işlevselliğine olumsuz etki yapabilmekte, göz küresinin yüzeyinde hasar meydana getirebilmekte ve göz kapaklarının iç yüzeyindeki bakteriyel toksinleri harekete geçirerek iltihaplanmalara yol açabilmektedir [9].

Şekil 1.2 plak kullanılarak uygulanan radyoterapi tedavisine ait görüntüler içermektedir. Tedavi esnasında uygulanan bu donanımsal yöntemlerin gözde zarara yol açabileceği ve kesin bir önlem sağlamayacağı Şekil 1.2'deki görüntülerden kolayca öngörülebilir. Önceki bölümde bahsedildiği gibi en ufak bir sapmanın sağlıklı hücreler için çok tehlikeli olduğu bilinmektedir. Bu durum göz önüne alındığında, yukarıda bahsedilen riskin ortadan kaldırılabilmesi için hem sağlık hem de hatasızlık yönüyle yeni yöntemler geliştirilmesi öngörülmektedir. Sonraki bölümde tez çalışmasının bu konu ile bağlantısı ortaya konulmaktadır.



Şekil 1.2 : Göz operasyonlarında kullanılan ekipmanlar [10].



## **2. MOTİVASYON, PROBLEM TANIMI VE TEZİN AMACI**

Günümüz göz radyoterapisinde kullanılan yöntemler anestezi içerdiğinden önceki bölümde özetlendiği gibi riskler taşımaktadır. Hastanın göz reflekslerinden doğabilecek herhangi bir hareket sarı noktanın geri dönülmez hasar almasına neden olabilmektedir. Buna ek olarak, bu hareket riski tamamen sıfıra indirilememektedir. Bu bölümde, cerrahi müdahale sırasında doğabilecek olan bu durumun önüne geçilebilmek için ortaya konulacak çözüm yöntemimizden bahsedilmektedir. Bu çözüm üzerinde çalışılırken konuyla ilgili yapılan literatür araştırmaları ve yöntemler bu bölümde paylaşılmıştır.

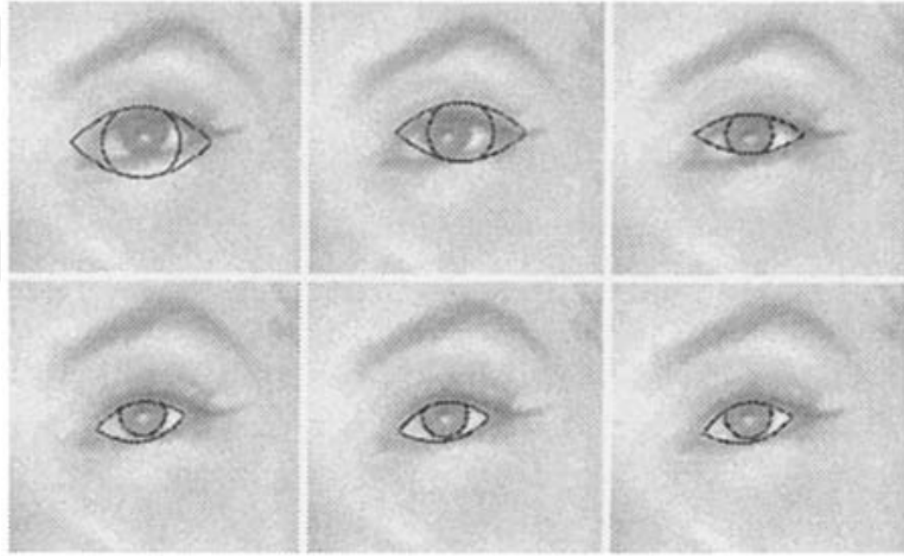
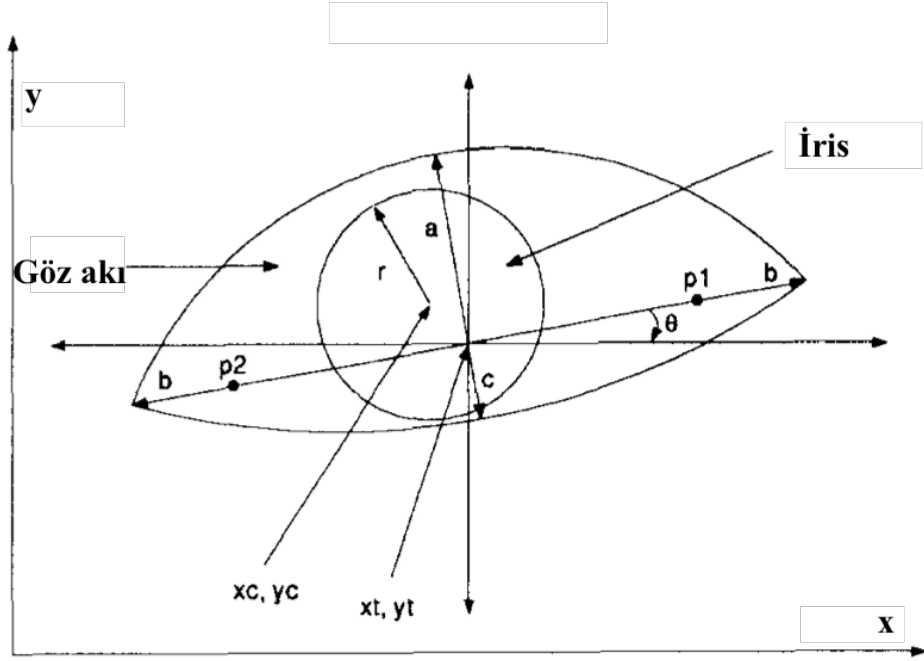
### **2.1 Tez Çalışmasının Amacı**

Bu tez çalışması kapsamında, bilgisayar destekli radyoterapi sistemi önerilmektedir. Radyoterapi sırasında göz kürenin herhangi bir hareketinde; irisin lazer odak noktasından sapması durumunda, terapiyi sonlandırmak amaçlı iris takip ve göz kırılması sezimi misyonlarını gerçekleştirecek bir algoritma geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Algoritma, gerçek zamanlı yürütülebilir olup, çevresel faktörlere (ortam ışık düzeyi) karşı dayanıklı ve tutarlı olmalıdır. Bu amaçla, görüntü işleme, sınıflandırma, makine öğrenmesi teknikleri bir arada kullanılmakta olup detaylı algoritma aşamalarına ve metotlarına sonraki bölümde yer verilmiştir.

Genel olarak bu çalışma, yukarıdaki bölümde yer verilen eski tip tedavi yöntemlerine alternatif bir yöntem oluşturmayı, bu sayede daha sağlıklı ve daha kesin tedavi sonuçları almaya yönelik bir sistem ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bunun yanında, hassasiyetle yürütülmesi gereken bu operasyonların insan hatasından kaynaklanabilecek kötü sonuçlarının akıllı algoritmalar ile engellenebileceği düşünülebilir. Günümüzde uygulanan yöntemlerin sağlık yönünden oluşturduğu riskin böylelikle ortadan büyük ölçüde kaldırılacağı düşünülmektedir. Konuyla İlişkili Literatür Çalışmaları



İlk bölümdeki uygulama örneklerini düşündüğümüzde; gerek insan bilgisayar ara yüzünde göz kırpmalarının ve ekranda bakılan bölgelerin girdi olarak alınması, gerekse yüz ifadesi analizinde gözlerin hareketlerinin önemli bir parametre olması gözle ilgili detayların söz konusu yöntem/algoritma tarafından işlenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bunun için göz ile yürütülen çalışmaların hemen hemen hepsi gözü detaylı tasvir için parametrize eden modeller üzerine olmuştur. Çeşitli yöntemlerle göz ve iris bulunması hedeflenmiş bunun için değişik matematiksel yöntemler ve görüntü işleme metotları kullanılmıştır. Bu amaç için, yani gözün özellik haritasını çıkarmak için kullanılmış zincir kodu (chain code), montaj hattı parçası (fitting line segments), otoregresif modeller (autoregressive models), fourier tanımlayıcı (fourier descriptor), aktif kontur modeli (active contour model) gibi birçok yöntem olmasına karşın, önemli görülen ve diğer çalışmalara temel olmuş çalışma değiştirilebilir şablon (Deformable Template) modelidir (Şekil 2.1). Bu model gözün yapısını gözün belirli özelliklerine göre seçilmiş parametrelerle modelleyerek etkili bir biçimde ortaya koyarken, iterasyonlarla göz ve irisi başarılı bir şekilde tespit eder. Göz yapısı ile orantılı, bir başlangıç şablonu oluşturup her iterasyonda, değişken parametreler o anki şablonun hesaplanan enerji fonksiyonlarına göre yenilenir ve işlenen görüntüdeki göz bu sayede sezimlenir. Enerji fonksiyonları çukur alanların potansiyeli, sınır çizgilerinin potansiyelleri, görüntünün genel yeğlilik potansiyeli ve görüntünün pik noktalarındaki potansiyel değerleri hesaba katılarak oluşturulur [11]. Bu model göz ve irisi bulma yönünden başarılıdır ancak çok iterasyon ve parametre optimizasyonu gerektirdiği için yavaştır. Gözün lokasyonunun belirlenmesi ve izlenmesi için geliştirilmiş yöntemler çoğunlukla değiştirilebilir şablon (deformable template) modelinden baz alınarak oluşturulmuş ve uygulanmıştır. Şekil 2.1'deki ilk görüntü göz modeli için karakteristik parametrelerle oluşturulmuş şablon modeline aittir. Figürdeki a, b, c parametreleri göz sınırlarını modellemek için, r parametresi irisi modellemek için kullanılır. Figürdeki p1 ve p2 parametreleri göz akının merkez noktaları olarak modellenmiş tüm bu parametrelerin merkez noktaları da tutulmuştur. İkinci figür ise bu modelle elde edilen iterasyon basamaklarına ait sonuçları içermektedir. İlk resimde başlangıç konumunda olan şablon her basamakta enerji fonksiyonlarına göre güncellenerek en son resimdeki gibi göz ve iris tespit edilmiştir.

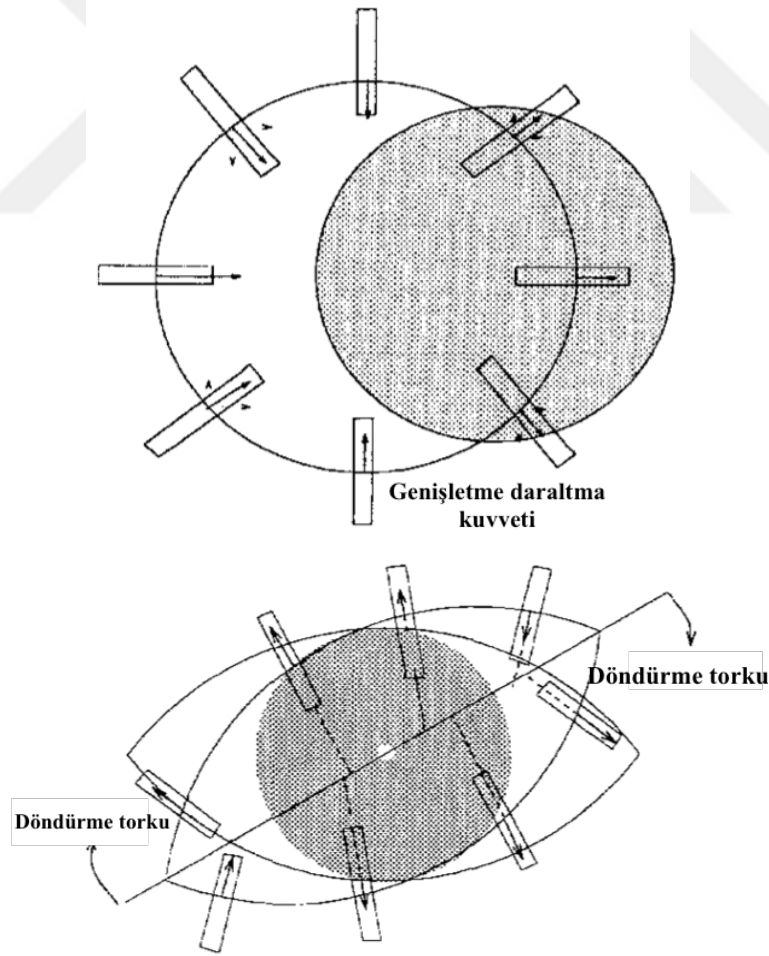


Şekil 2.1 : Değiştirilebilir şablon (üstte) ile iris ve göz bulma (altta) [11].

Tian ve ekibi, değiştirilebilir şablon modeli üzerine kurulu, gözün açık ve kapalı durumları dikkate alınan, ikili durum parametrik göz takipçisi modelini geliştirmişlerdir [12]. Tian ve ekibi gözün en sabit ve hareketlere duyarsız noktasının gözün iç köşeleri olduğunu düşündükleri için, ilk görüntü karesinde göz lokasyonu ve şablonu gözün iç köşesine göre belirlenip özellik noktası izleme metoduyla izlenmiştir. Gözün şekil bilgilerine göre iç köşe noktaları kullanılıp dış köşe noktaları bulunmuş, sonrasında iris, yeğinlik ve ayırıt bilgisiyle bulunup takip edilmiştir. İris saptandıysa, göz açık kabul edilmiş ve göz kapakları yine özellik nokta takibi ile takip edilmiş aksi taktirde göz kapalı kabul edilmiş ve takibe gerek olmadığı açıklanmıştır.

Bu çalışma üzerine Tan ve Zhang, Xie ve ekibinin iyileştirmek üzerine çalışmaları olmuş, Tan ve Zhang yeğnlik ve ayırıt bilgisini Tian gibi seri olarak değil eş zamanlı uygulamışlar [13-14], Xie ise şablon modelinde iterasyon süresini daha etkili hale getirebilmek için parametre sayısını değiştirerek daha etkili bir algoritma tasarlamaya çalışmışlardır [15]. Bir diğer taraftan Deng ve Lai yine Yuille'nin değiştirilebilir şablon modeli ile aynı prensip üzerine çalışmış ancak farklı olarak göz ve iris tespitinde alansal kuvvet ve alansal torktan yararlanıp (Şekil 2.2) parametrelerin hata ile olduğundan büyük veya küçük değerlere yakınsamasını önlemek üzerine başarılı bir çalışma elde etmişlerdir [16].

Liu ve ekibi [17], çalışmalarında iki detektör ile irisi takip etmiş; bir detektör gözün açık/kapalı durumunu anlamak için renklerin saturasyonunu takip etmiş, Hough transform ve ayırıt haritası kullanarak irisi tespit etmiştir.



Şekil 2.2 : Şablon modeli üzerinde kullanılan alansal kuvvet ve alansal tork [15].

Çalışma [18]'de, göz kırpmasını anlayabilen bir algoritma üzerinde çalışılmış, gözün üst kapağı takip edilip orta noktası ile irisin merkezi arasındaki uzaklık tutulmuş ve buna göre gözün kırılma anı tespit edilebilmiştir. Morris ve ekibi de bu konu üzerine eğilmiş varyans haritası kullanarak göz kırpmasını tespit etmişlerdir. Yöntemlerinde varyans haritası ve imge ortalaması tanımlayıp üzerinde çalıştıkları formüllere göre bu varyans ve ortalama değerlerini her yeni dizide güncellemişlerdir. Güncelleme sonunda eşiklenen ve eşiği geçen varyans haritası değerlerinin sayısı sınırlayıcı kutudaki sayıdan büyükse göz kırılmış anlamına gelmektedir [19].

Lee ve ekibi göz kırpması üzerinde çalışmışlar, göz bölgesini Adaboost algoritmasına dayalı detektörlerle elde ettikten sonra iki öznelik ile gözün kapalı ya da açık olduğunu belirlemişlerdir. Bu iki öznelik, hareketsiz görüntüdeki göz bölgesinin yükseklik genişlik oranı, ikincisi ise adaptif eşikleme kullanılarak ikili ardışık görüntüler arasındaki siyah piksellerin sayısının kümülatif farkıdır. Lee ve ekibi ortamın ışık koşullarını aydınlatma normalleştirme yaparak alınan özneliklerin etkilenmesini önlemişlerdir. Destek vektör makinesi kullanarak yukarıda bahsedilen iki öznelikle bir taban oluşturmuş ve destek vektör makinesi sınıflandırıcısını (SVM classifier) uygun olarak seçerek çalışma testlerini başarı ile tamamlamışlardır [20].

Bu tez çalışmasında önerilen yöntem, yukarıda aktarılan bir şablon eşleşmesine ya da çok sayıda parametreye gerek olmadan, yüksek ayırt edici özellikli ve kolay elde edilebilen özneliklerin sınıflandırılarak yüksek zaman kazancı ve tespit oranı sunabilmektedir. Bu sayede daha az işlemsel kalabalıkla daha hızlı sonuçlar alınabilmektedir.

### 3. GELİŞTİRİLEN YÖNTEM

Bu tez çalışmasının amacı olan göz kırpması sezimi için bir algoritmanın geliştirilmesi ve test edilmesi için izlenecek yöntemler bu bölümde anlatılmaktadır. Çalışmada kullanılmak için geliştirilen yöntemin işleyişi ve özellikleri Bölüm 3.1’de özetlenmektedir. Algoritmanın test çalışmalarında kullanılan görüntülerin elde edilme düzeni ve teknikleri Bölüm 3.2’de anlatılmaktadır. Bölüm 3.3’te elde edilen görüntülerin önışleme mekanizması, önışleme kısmında kullanılan metotlar ve iris lokalizasyonu için kullanılan yöntem (Hough transform) ayrıntılarıyla açıklanmaktadır. Bölüm 3.4’te önışleme sonrası gözün anlık durumunu (açık/kapalı) belirlemek için kullanılan öznitelikler detaylarıyla beraber incelenmekte, bu özniteliklerle oluşturulmuş diyagramlar gözlemlenmektedir.

#### 3.1 Yöntem Özeti

Bu çalışmada teorik olarak geliştirilecek algoritmanın gerçek yaşam senaryolarında uygulanabilir olması için tespit hızının gerçek-zamanlı kadar yüksek hata oranının ise sıfıra yakın olması gerekmektedir. Önerilmekte olan sınıflandırma-öğrenme yönteminin, şimdiye kadar denenmiş algoritma çalışmalarından daha hızlı olabileceği değerlendirilmektedir. Gerçek-zaman hızını yakalayabilmek için işlemsel karmaşıklığı yüksek olan öznitelikler yerine, yüksek sınıflandırma özelliklerine sahip ve işlem karmaşıklığı düşük özniteliklerin belirlenmesi büyük öncelik ve önem taşımaktadır. Bunun için, çalışmada öncelikle basit ancak ayırıcı nitelikte olan özniteliklere öncelik tanınmış ve ileriki adımlardan önce sistemin ön değerlendirmesi bu şekilde yapılmıştır.



Şekil 3.1 : Yöntem şematığı.

Önerilen yöntemin ilk aşamasında hızlı sınıflandırma öznitelikleri kullanılmış, göz durumunun öznitelikler yönünden ayırt edilebilirliği gözlenmiştir. Önerilen yöntemde çevresel faktörler de önemli yer tutmaktadır. Ortamdaki ışığın miktarına ve açısına göre sınıflandırma sonuçları değişmeksizin tutarlı ve dayanıklı bir sistem tasarlanması oldukça önem taşımaktadır. Bu yüzden öznitelikler değişik ortam şartlarında test edilip değerlendirilmiş ve sınıflandırma yönünden kuvvetleri gözlemlenmiştir.

### 3.2 Görüntü Alma

Bu çalışmada kullanılmakta olan görüntüler, 4K iSight kamera ile saniyede 30 kare görüntü (fps) ile çekilen yüksek çözünürlüklü ios sistemli cihaz videolarından, 1280x720 çözünürlüklü ve videoları saniyede 30 kare görüntü ile işleyen 1.73GHz x64 tabanlı i7 işlemciye sahip bir bilgisayar ile işlenerek elde edilmiştir. Görüntüler elde edilirken herhangi bir ekstra ışık kaynağından yararlanılmamış, tamamen gün ışığı kullanılmıştır. Işık şartlarının değişikliği için sabah ve akşam olmak üzere farklı videolar kaydedilmiş, test görüntüleri için bu farklı ışık şartlarına sahip videolar kullanılmıştır. Kamera ile sadece göz bölgesini kapsayacak şekilde kayıt yapılmıştır ve her görüntü için tüm teknik koşullar sabittir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Değişik ışık koşullarında elde edilmiş göz görüntüleri.

### 3.3 Görüntülerin Öznitelik Çıkarımından Önceki Önışlemlenmesi

Elde edilen görüntülerin öznitelikleri çıkarılmadan önce, işlenmeye uygun hale getirilmesi için birtakım işlemler yapılmıştır. Bu işlemler sayesinde üzerinde çalışılacak görüntülerin daha net ve doğru sonuç vermesi, işlem süresinin de çalışmaya avantaj sağlayacak derecede iyileştirilmesi öngörülmüştür. Bölüm 3'te yer verilen çalışmaların büyük çoğunluğunda da ayırt detektörleri, yeğlilik iyileştirilmesi, histogram normalizasyonu gibi operasyonlar kullanılarak üzerinde çalışılan görüntülerin iyileştirilmesi sağlanmıştır. Kullanılacak önışlem metotlarının hızlı ve

efektif şekilde uygulanabilmesi için öncelikle kaydedilen video görüntü karelerine ayrılarak imge görüntüsü şeklinde tutulmuştur. Tutulan bu görüntüler renkli formattan renksiz formata çevrilerek görüntü matrisleri oluşturulmuştur. Böylelikle görüntülerin boyutu düşürülmüş, üzerinde işlem yapılabilmesi kolaylaşmıştır.

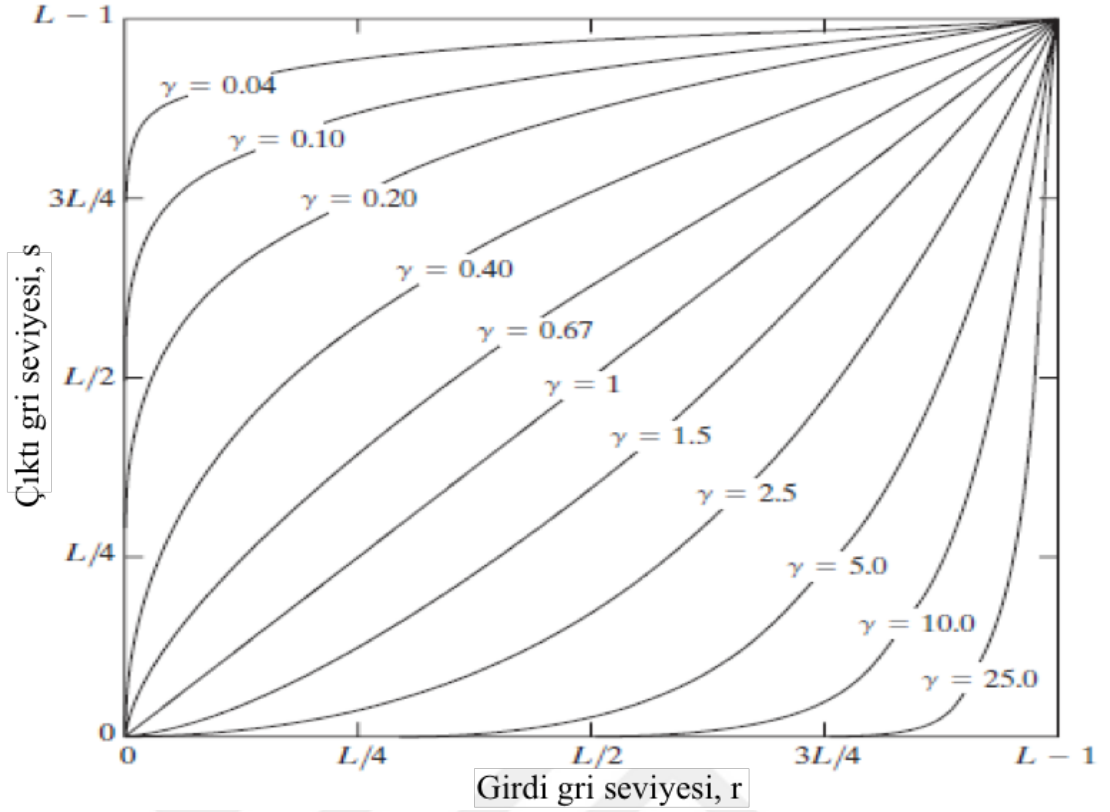
### **3.3.1 Güç yasası dönüşümü (power-law transform) yöntemi [21] ile görüntü iyileştirme**

Güç yasası dönüşümü (power-law transform), görüntülerin işlenebilir kılınma safhasının ilk adımıdır. Bu dönüşüm uzamsal bir görüntü geliştirme operatörü olup görüntünün parlaklık seviyesini dinamik bir şekilde değiştirir. Bu çalışmada operatörün bu özelliği görüntünün aydınlatma seviyesini normalleştirerek yansımaların bozucu etkisini ortadan kaldırmak amaçlı kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Güç yasası dönüşümü aşağıdaki forma sahiptir :

$$s = C r^\gamma$$

Bu metot, 'r' girdi görüntüsü için ' $\gamma$ ' kökünden 'C' kuvveti içeren bir dönüşümdür. Bu işlemde  $\gamma$  değeri değiştikçe görüntü kontrast karakteristiği de değişmektedir. Şekil 3.3'te  $\gamma$  değişkenine göre girdi görüntüsüne göre 's' çıktı görüntüsünün gri seviye karakteristiği grafiği verilmiştir. Şekilden anlaşılacağı gibi  $\gamma = 1$  iken görüntünün kontrastında değişiklik olmayacağı, görüntünün genel yeğinliğinin sadece C değerine bağlı olarak değişiklik göstereceği söylenebilir.  $\gamma=1$  doğrusunun üzerinde metodun girdi görüntüsüne göre gri seviye değerleri olarak daha yüksek değerlere sahip çıktı görüntüsü vereceği,  $\gamma=1$  doğrusu altında ise tam tersi olarak girdi görüntüsüne göre daha düşük gri seviyede görüntü çıktısı vereceği görülebilir. Kısacası,  $\gamma>1$  olduğu zaman görüntü kararmakta  $\gamma<1$  iken ise görüntünün parlaklığı artmaktadır.

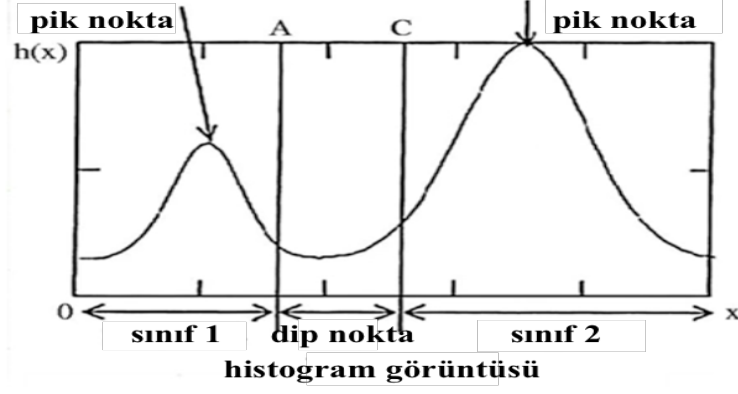


Şekil 3.3 : Güç yasası dönüşümü eğrisi.

Elde edilen renksiz (gri-seviye) görüntüleri ilk adımda normalize edilerek üç yasası dönüşümü işleminden geçirilmiştir. Çalışmada,  $C=2$ ,  $\gamma=0.8$  değerleri seçilmiş, bu değerler Şekil 3.3 göz önünde bulundurularak tecrübe/gözlem yoluyla bulunmuştur. Bu işlemden sonra görüntü eşiklenerek siyah-beyaz biner görüntü elde edilmiştir. Görüntüler teker teker ele alınarak her görüntü için ayrı eşik değerleri bulunmuş ve bu değere göre biner hale getirilmiştir. Eşikleme işlemi her görüntü için Otsu metodu kullanılarak yapılmaktadır [22]. Otsu metodunda optimal eşik değeri diskriminant kriterine göre seçilir, gri seviyeleri farklı iki sınıfın ayrılabilirliğinin maksimize edilmesine bakılır. İdeal bir görüntünün histogramı Şekil 3.4'teki görüntüye benzer, yani pik değerlerine ve dip değerlerine sahiptir. Otsu metodu bu değişkenleri göz önüne alarak global bir eşik değeri seçer ve bu değere bağlı olarak Denklem 3.1'deki gibi basit eşikleme yapar.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } f(x, y) \geq T \\ 0, & \text{diğer.} \end{cases} \quad (3.1)$$





Şekil 3.4 Histogram görüntüsü.

Otsu metodu, renksiz görüntüye çevirilmiş ve güç yasası dönüşümüyle yansıma etkileri ortadan kaldırılmış görüntüye ait histogram değerlerine bakarak aranan obje ve arka plan adayları olan pikselleri en iyi şekilde ayırabilecek eşik değerine bakar. Bunu yaparken değişken eşik değerine bağlı sınıf içi ve sınıflar arası varyans değerleri bulunarak değerlendirilir.

$$\sigma_{sınıfiçi}^2(k) = w_1(k)\sigma_1^2(k) + w_2(k)\sigma_2^2(k), \quad (3.2)$$

$$\sigma_{sınıflararası}^2 = w_1(k)w_2(k)[\mu_1(k) - \mu_2(k)]^2 \quad (3.3)$$

Otsu metodunda amaç sınıf içi varyansın düşük tutulmasını, yani sınıflar arası varyans değerinin yüksek tutulmasını sağlayacak bir eşik ('k') değeri bulmaktır. Denklem 3.3 ve 3.4'te verilen  $w_1$  ve  $w_2$  sırasıyla piksel değerinin birinci veya ikinci sınıfa ait olma olasılığı,  $\mu_1$  ve  $\mu_2$  ise birinci ve ikinci sınıf ortalama değerleridir. Sınıf olasılıkları hesaplanırken görüntü histogramı normalize edilir;

$$p_i = n_i/N, \quad p_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^L p_i = 1$$

$n_i$  = i.nci gri seviyedeki piksel sayısı, N = toplam piksel sayısı. L = gri seviye

Böylece sınıfların olasılıkları aşağıdaki gibi dağılmaktadır.

$$w_1(k) = \sum_{i=1}^k p_i \quad ve \quad w_2(k) = \sum_{i=k+1}^L p_i, \quad w_1 + w_2 = 1. \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'te yer alan  $w_1$  ve  $w_2$  degerleri  $f(x, y)$  pikselinin birinci ve ikinci sınıfa ait olma olasılıklarını ifade eder. Buradan, sınıflardaki piksellerin ortalama yeğinlik değerleri;

$$\mu_1 = \sum_{i=1}^k iP(i|C_1) = \sum_{i=1}^k i p_i / w_1,$$

$$\mu_2 = \sum_{i=k+1}^L iP(i|C_2) = \sum_{i=k+1}^L i p_i / w_2,$$

şeklinde bulunur. Buradan kümülatif ve global ortalama;

$$\mu(k) = \sum_{i=1}^k i p_i, \quad \mu_T = w_1\mu_1 + w_2\mu_2 = \sum_{i=1}^L i p_i,$$

Sınıf varyansları ise;

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=1}^k (i - \mu_1)^2 p_i / w_1,$$

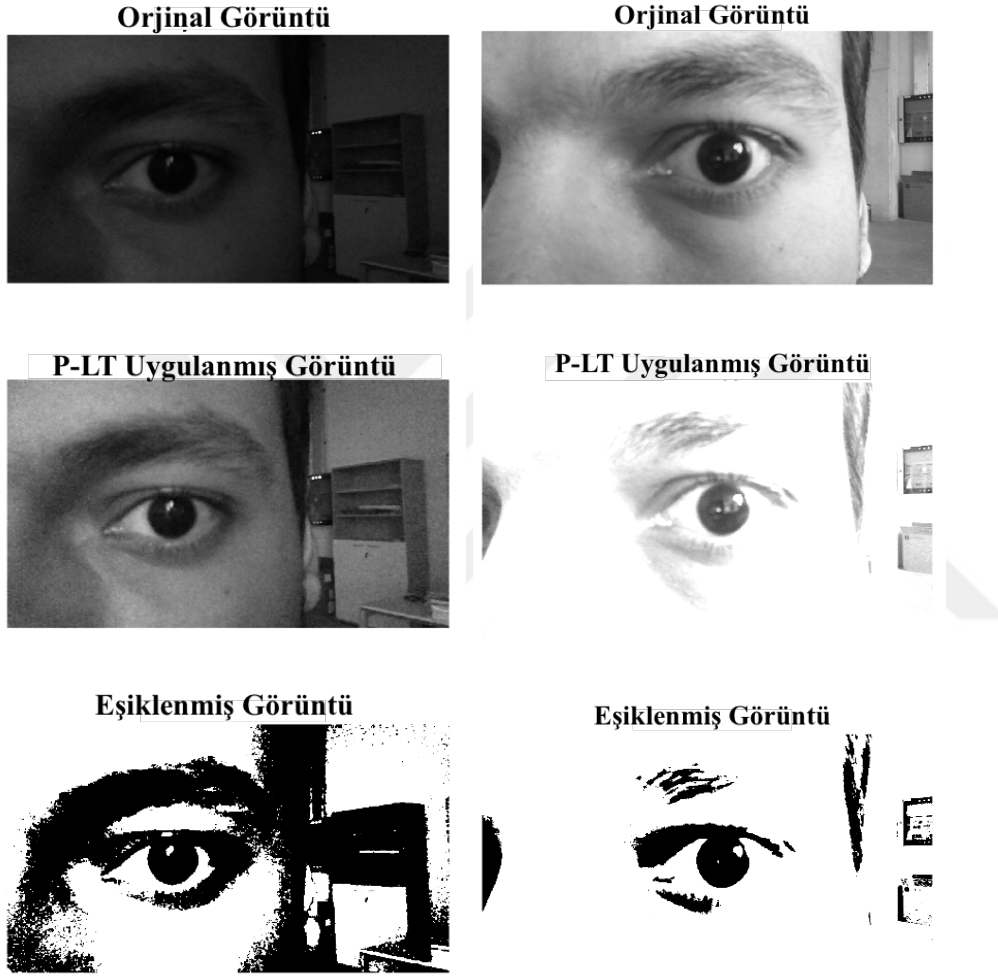
$$\sigma_2^2 = \sum_{i=k+1}^L (i - \mu_2)^2 p_i / w_2,$$

olur. Sınıf varyansları arasındaki farklar kullanılarak 3.2 ve 3.3 denklemleri elde edilir. Bütün değerler arasında en ideal değer Denklem 3.15'i sağlayan 'k' değeri olarak bulunup bu değer eşik değeri olarak kabul edilir.

$$\sigma_{Sınıfarası}^2(k^*) = \max_{1 \leq k < L} \sigma_{Sınıfarası}^2(k) \quad (3.5)$$

Görüntüler bu değerle eşiklenir ve sonucunda Şekil 3.5'teki gibi eşiklenmiş görüntü ortaya çıkar.

Şekil 3.5'te farklı ışık ortamlarında oluşturulan görüntülerin kullanılarak güç yasası dönüşümü ve eşikleme uygulanımı sonrası elde edilen görüntülere yer verilmiştir. Her iki ışıklandırma şartı altında güç yasası dönüşümünün etkili bir sonuç verdiği görülebilmektedir. Sonrasında ise görüntüler eşiklenerek önışleme safhası için biner görüntüler haline getirilmiştir. Biner görüntülerde irisin kolaylıkla tespit edilebilir kontrast ve yeğilinlikte olduğu görülmüştür.



Şekil 3.5 : Güç yasası dönüşümü ve eşikleme sonucu elde edilen görüntüler.

### 3.3.2 Ayırıt sezimi için uygulanan önışlemler

Morfolojik işlemler görüntüdeki kusurları ortadan kaldırmak, görüntüdeki objelerin etraf şekillerini işlemek için kullanılan lokal dönüşüm operatörleridir. Bu operatörlerin her biri belirlenmiş komşuluk çapında etkinlik göstererek kendileri için özgül bir modele göre hareket ederler. Bu işlemler genelde biner görüntüler üzerinde gerçekleştirilir, bu yüzden bu operatörlere aynı zamanda mantıksal

transformasyonlardır denilebilir. Morfolojik operatörler bir biner görüntünün girdi operatörünün filtre gibi davrandığı lineer olmayan bir sistem olarak düşünülebilir. Yapısal elementler biner görüntünün üzerine uygulanan bir maske olarak görülebilir (Şekil 3.6).

1	1	1
1	1	1
1	1	1

0	1	0
1	1	1
0	1	0

Şekil 3.6 : Yapısal element. 8-komşuluk(solda) ve 4-komşuluk(sağda).

Yapısal elementler biner bir dizidir. Elimizdeki biner görüntüleri de  $I(u, v)$  piksel lokasyonlarının seti olarak düşünebiliriz.

$$e_I = \{ (u, v) \mid I(u, v) = 1 \}$$

Sonuç olarak morfolojik operasyonlar iki biner matris arasında gerçekleşen mantıksal operatörlerdir ve set operasyonları ile işlemlenir denebilir.

Bu çalışmada, seçilmiş morfolojik operatörler hough dönüşümü yönteminin başarısını ve kolaylığını artırmaya yönelik görev yapmaktadır. Bu bölümde önceki bölümde yapılmış güç yasası dönüşümünün sonucunda elde edilen biner görüntünün üzerinde yapılan sıralı işlemler tanıtılmaktadır (Şekil 3.12). Önışlem safhasında yapılan işlemler bilgi işleme anlamında ağır olmayıp, basit ve kolaylaştırıcı yöntemler olarak görülebilir.

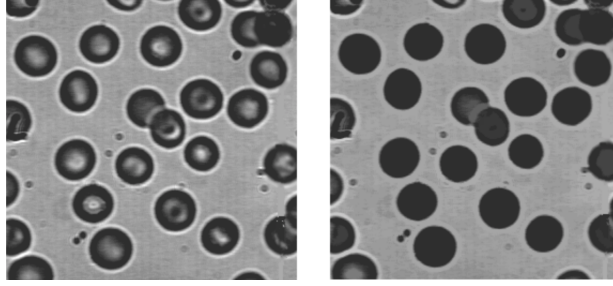
### 3.3.2.1 Görüntüdeki objelerin doldurulması

Bu adımda eşiklenmiş biner görüntüdeki bağlantılı noktaların içerisi obje sınırlarına gelinene kadar doldurulur. Bu operatör dilasyon, komplementasyon ve kesişim işlemlerinin kombinasyonu ile yapılır.

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A^c \quad k = 1, 2, 3 \dots$$

Yukarıdaki formülde  $X_0 = p$ , B simetrik yapısal element, p ise sınırlar içinde operasyona başlamak için seçilen pikseldir. Tüm arka plan 0 olarak işaretlenir ve p'ye 1 atanarak sınır içerisi 1 olacak şekilde alan taranır. Çalışma için önemli olan iris tespit edilebilir hale getirilmesidir. Bu yöntemle işlemin komplementi (tersi) alınarak iris içerisindeki yansımalar doldurularak üzerinde çalışacağımız şeklin netleştirilmesi

üzerinde çalışılmıştır. Aşağıdaki şekilde, yöntemin çalışma prensibi açıkça görülmektedir.



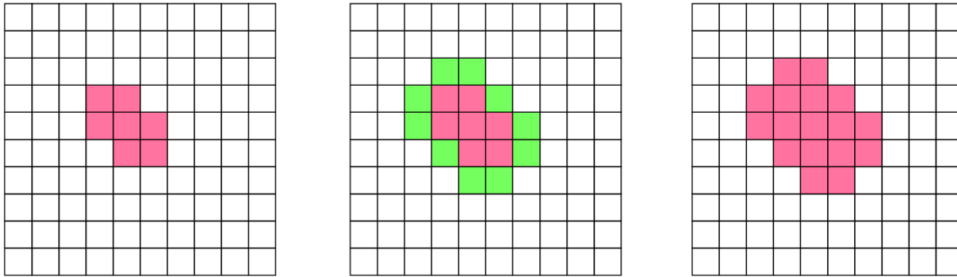
Şekil 3.7 : Görüntü doldurma işlemi.

### 3.3.2.2 Genişletme (Dilasyon)

Bu yöntem biner görüntülerdeki sınırları genişleten bir matematiksel morfolojik operatördür, yani adından da anlaşılacağı gibi görüntü sınırlarını piksel alanını genişleten bir operasyondur.

$$D = I \oplus S = \{(p + q) \mid p \in I, q \in S\}$$

Genişletme operatörü  $\oplus$  sembolü ile gösterilir ve yukarıdaki ifadeye belirtildiği gibi görüntü piksellerine belirli komşuluk çapındaki yapısal element piksellerinin eş merkezli olarak eklenmesiyle uygulanır. Böylece, yapısal element merkezi biner görüntüdeki objelerin sınır pikselleri üzerine gelecek şekilde maskelenerek operasyon gerçekleşir. Sonuç olarak önceki bölümde bahsedildiği gibi 'I' ve 'S' girdileri ile sistem yeni bir 'D' çıktısı üretmiş olur (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Genişletme operatörü uygulanımı ve sonucu.

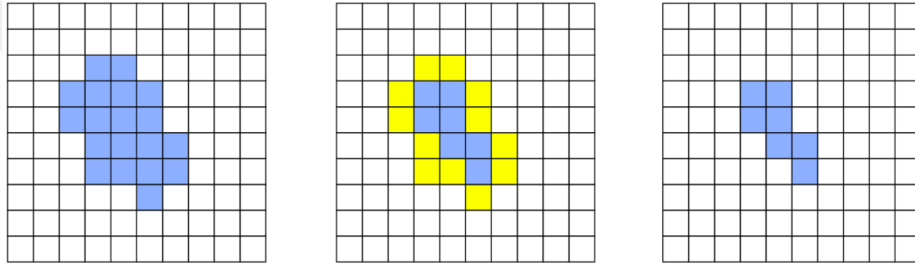
Bu işlem görüntüde üzerine çalışılan objenin etrafında olan gürültülerden kurtulmak için ya da obje hatlarını iyileştirmek için kullanılabilir. Yukarıdaki şekilde 4-komşuluk çapında bir yapısal element kullanılarak genişletilmiştir.

### 3.3.2.3 Aşındırma (Erozyon)

Bu yöntem biner görüntülerdeki sınırları daraltan matematiksel bir morfolojik operatördür. Mantıksal olarak dilasyonun tam tersi görev üstlenir ve görüntü sınırlarının piksel alanını daraltır. Erozyonun genel tanım ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$E = I \ominus S = \{p \in \mathbb{Z}^2 | (p + q) \in I, \text{ for } \forall q \in H\}$$

Aşındırma operatörü  $\ominus$  sembolü ile ifade edilir ve tıpkı dilasyon gibi görüntü piksellerine belirli komşuluk çapındaki yapısal element piksellerinin eş merkezli olarak orijinal obje sınırlarından çıkarılması ile uygulanır. Operatör sembollerinden anlaşılacağı üzere, dilasyon ve erozyon belirli bir yapısal elementle işleme girmek kaydıyla tıpkı cebirsel bir toplama (+) ve çıkarma (-) işlemi gibi düşünülebilir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Aşındırma operatörü uygulanımı ve sonucu.

### 3.3.2.4 Görüntü kapatma işlemi (Closing)

Bu operasyon sıralı olarak dilasyon sonrasında erozyon operatörlerinin uygulanmasıdır. Yani önce sınırları görüntüdeki obje sınırlarını genişleterek sonra daraltmaktadır.

$$I \bullet H = (I \oplus H) \ominus H$$

Bu operasyonun da dilasyon ve erozyon gibi bir girdisi yapısal elementtir ve genelde uygulanma sebebi ön plandaki bu yapısal element boyutunda ya da daha küçük boşlukları doldurmak ve görüntünün işlenebilirliğini artırmaktır. Bu işlem genel olarak biner görüntülerde gölge efektlerinden, gürültülerden ya da istenmeyen küçük objelerden kurtulmak için uygulanır.

### 3.3.2.5 Ayrıt görüntüsü

Önişleme safhasında uygulanan morfolojik operatörler sonrasında ayrıt görüntüsü elde edilmiştir. Bu yöntem görüntüdeki yeğlilik kesikliklerini algılayarak objelerin

sınırlarını belirler. Aslında ayırt görüntüsünü elde etmek iki görüntüyü birbirinden çıkarmak gibi basit bir işleme dayanır.

$$\beta(A) = A - (A \ominus B)$$

Yukarıdaki işlem anlaşılacağı gibi görüntünün yapısal element boyutunda aşındırılıp sonra işlem görmeden önceki görüntüden çıkarılması görevini gerçekleştirir.

Bu adım sonraki kısım olan hough dönüşümü için girdi olarak kullanılmak için yapılır. Bazı ön işleme basamaklarında elde edilen görüntüler ŞekilEk 1 ve ŞekilEk 2’de sırasıyla gösterilmiştir.

### 3.3.3 Dairesel hough dönüşümü ile iris tespiti

Çalışmanın bu safhasında, önceki bölümde ön işlemler sonucunda elde edilen görüntüler kullanılarak iris lokasyonunun tespit edilebilmesi için kullanılan hough dönüşümü metodu ve metod uygulanımıyla elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

Dairesel hough dönüşümü görüntüdeki belirli çaptaki dairesel formdaki objeleri bulmak için kullanılan bir metottur. Genel çalışma prensibi olarak bu metod görüntü içerisindeki tüm aday dairesel şekilleri oylayarak içerisinde lokal olarak maksimum olasılığa sahip olanını seçer. Bu metod dairesel objeleri evrişim(konvolüsyon) yöntemine benzer bir yöntemle tespit eder. Dairesel hough dönüşümü genel çember denklemine dayanarak belirli koordinatlarda daireler oluşturur [23].

$$r^2 = (x - a)^2 + (y - b)^2$$

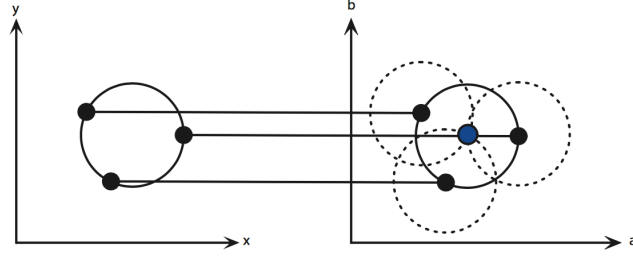
Yukarıdaki denklemde yer alan parametreler ‘ $r$ ’ yarıçap, ‘ $a$ ’ ve ‘ $b$ ’ çemberin merkez koordinat değerleri olmak üzere bir çember denklemi belirtir. Çemberin parametrik gösterimi ise;

$$\begin{aligned} x &= a + r \cos \theta, \\ y &= b + r \sin \theta \end{aligned}$$

şeklinde ifade edilir. Yukarıda verilen ifadelerden anlaşılacağı gibi dairesel hough dönüşümü 3 parametreye dayanır. Bu ise görüntü işlenirken işlem hacmi ve zamanının artması anlamına gelmektedir. İşlem zamanından ve yükünden kazanmaya yönelik olarak genelde yarıçap değeri üzerinde çalışılan görüntünün sağladığı bilgiye göre belirli bir aralıkta seçilebilir.

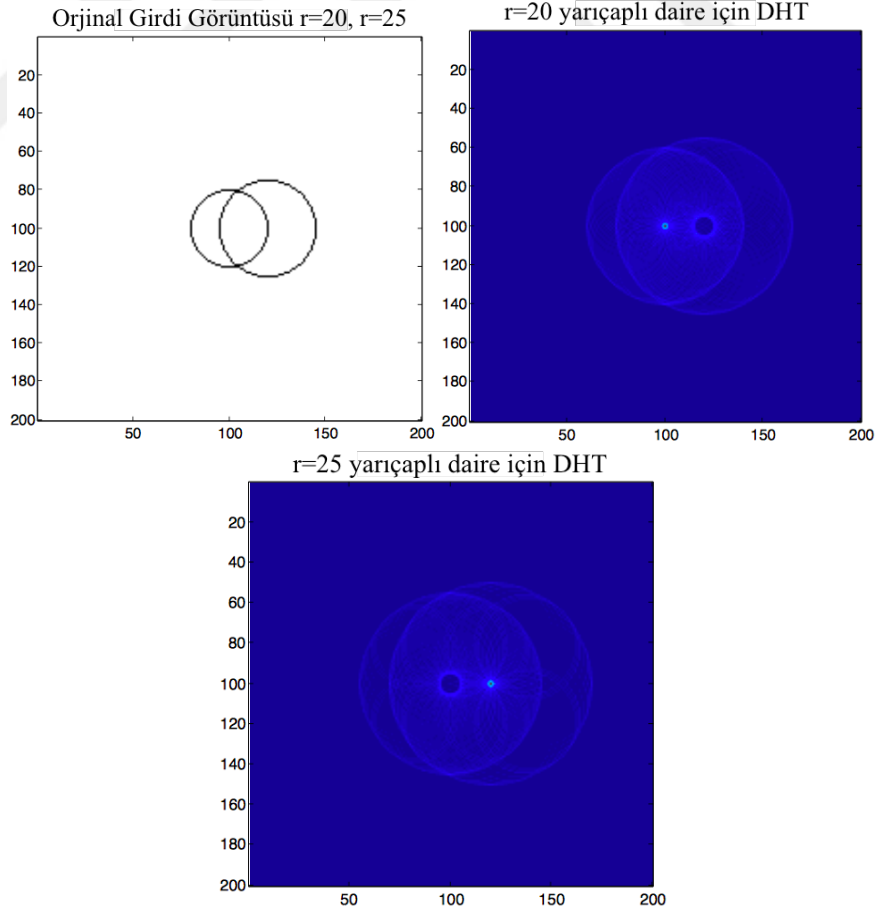
Dairesel hough dönüşümü uygulamadan önce morfolojik operasyonlar kullanılarak

görüntünün ayırıt bilgisi çıkarılır. Bu adım tamamlandıktan sonra ise görüntüdeki her ayırıt noktası üzerinde, merkezi bu nokta olmak üzere istenen aralıktaki yarıçaplara sahip daireler çizdirilir.



Şekil 3.10 : Dairesel hough dönüşümü prensibi [23].

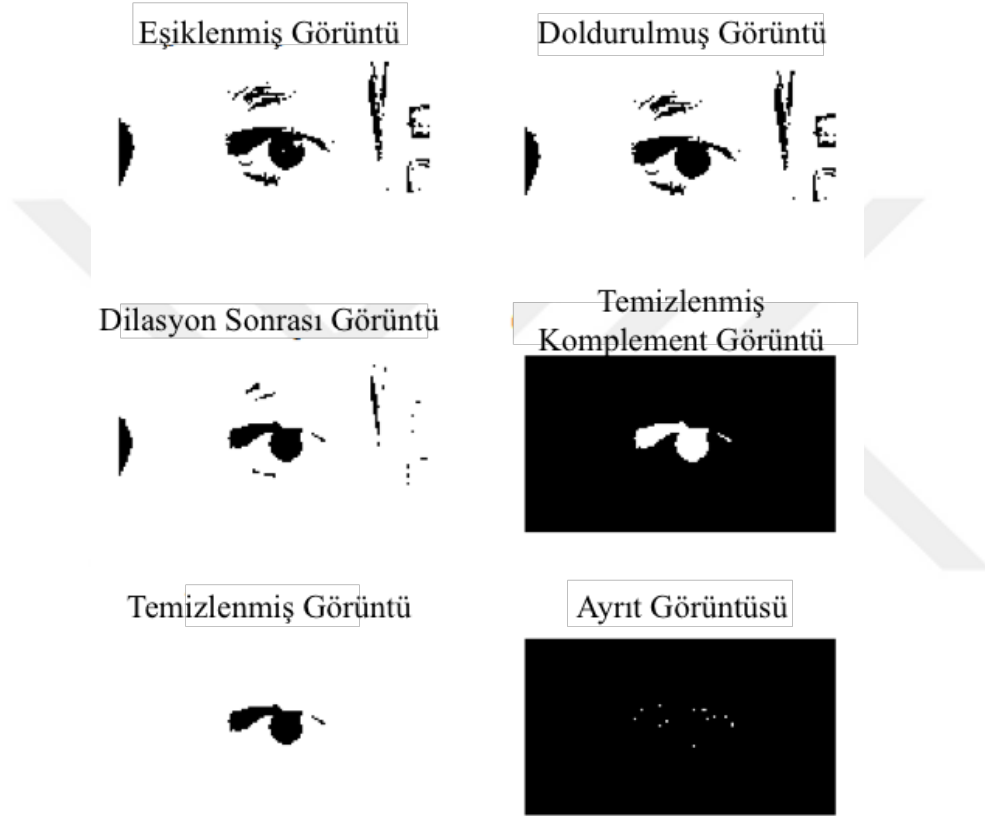
Tüm aday daireler çizdirildikten sonra, çizdirilen dairelerin çevresindeki tüm noktaların koordinatları akümülatör matrisinde tutulur. Tüm yarıçap ve daireler taranırken, aynı zamanda farklı ayırıt noktalarında merkezlenmiş dairelerin çevre noktaları ortak noktalarda kesişir. Bu kesişme noktalarının koordinatlarının akümülatördeki sayıları artar.



Şekil 3.11 : Dairesel hough dönüşümü.



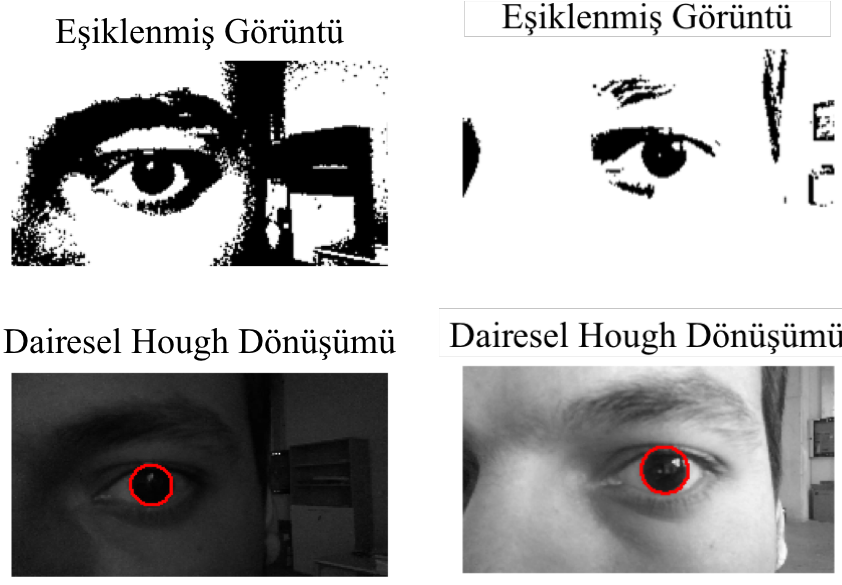
Yukarıda değişik yarıçaplardaki ayırıt görüntüleri için uygulanmış dairesel hough dönüştürme metodunun akümülatörünün oluşturduğu görüntüler verilmiştir. 20 ve 25 birim yarıçaplı dairelerin ayırıtlarının her bir noktasının üzerinde oluşturulan dairelerin çevrelerini oluşturan noktaların en çok kesiştiği noktaların, orjinal dairelerin merkezlerinin olduğu kolayca görülebilir. Bu şekilde merkezi parlak noktalar olan ve parlak noktaların akümülatör değerini oluşturan dairelerin yarıçapında daireler çıktı olarak başarılı bir şekilde üretilir.



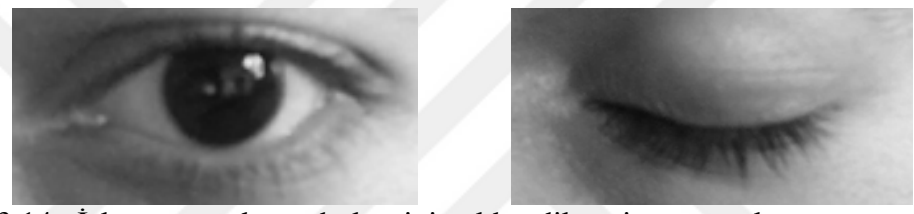
Şekil 3.12 : Hough dönüştürme öncesi yapılan ön işlemler.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilene benzer olarak, elde edilen görüntüler üzerinde iris lokasyonunu bulmak için ön işleme sonucu elde edilen ayırıt görüntüsü kullanılmıştır. Elde edilen ayırıt görüntüsü dairesel hough dönüştürme ile işlenmiştir. Bu yöntemde girdi verilen ayırıt görüntüleri işlenerek 10 ile 100 piksel yarıçaplı küresel yapılar tespit edilmiş, bu sayede iris başarı ile tespit edilmiştir (Şekil 3.13).

Oluşturulan görüntü matrislerinde iris tespit edildikten sonra işlem görecektir kısmın bir algoritma ile otomatik olarak kaşları kapsamayacak şekilde sadece göz bölgesinin olduğu biçimde elde edilmesi sağlanmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.13 : Hough dönüşümü ile elde edilen iris görüntüsü



Şekil 3.14 : İşlem görecek göz bölgesinin elde edilmesi sonucu oluşan görüntüler.

### 3.4 Sınıflandırma İçin Kullanılan Öznitelikler

Elde edilen görüntülerdeki gözün durumunun anlaşılabilmesi için yüksek ayırt etme özelliğine sahip olan öznitelikler kullanılarak değişik ışık şartlarındaki açık ve kapalı göz görüntü örnekleri için öznitelik vektörleri çıkarılmakta, sistem sınıflandırma işlemine uygun hale getirilmektedir. Öznitelik vektörlerinin her biri işleme/elde edilme yönünden birbirinden değişiklik göstermektedir. Bölüm 3.4.1’de söz konusu öznitelikler açıklanmış, Bölüm 3.4.2’de ise, aydınlık ve karanlık ortam şartlarında açık ve kapalı göz durumları için, açıklanan özniteliklerle oluşturulmuş sınıflandırma diyagramları ve elde edilen sonuçlar anlatılmaktadır.

#### 3.4.1 Özniteliklerin tanımı

Sınıflandırma için kullanılacak öznitelikler, Bölüm 4.3’te bahsedilen işlemler uygulandıktan sonra elde edilen görüntü matrisleri üzerinde uygulanmaktadır. Seçilen özniteliklerin matematiksel yönden hızlı olması, işlemsel karmaşıklığının az olması

hedeflenmiştir. Bu alt bölümde, bu özneliklerin bilgileri, özellikleri ve ne şekilde kullanıldıkları özetlenmiştir.

### 3.4.1.1 Lokal İkili Örüntü (Local Binary Pattern)

LİÖ, görüntülerde doku sınıflandırılmasında kullanılan bir metot olup görüntülerin örüntülerini açıklayan etkili bir operatördür. Bu algoritma, tüm görüntüyü piksel bazında ele alarak her bir pikseli komşu pikseller ile karşılaştırır ve üzerinde işlem yapılan piksele biner değer atar.

Çalışmada, tüm görüntünün LİÖ değerine bakarak örüntüsü hakkında bilgi edinmek mümkün olmuştur. Bu noktada, ışık koşulları değiştiğinde LİÖ operatöründen elde edilen sonuçların da değişiklik gösterdiği görülmüştür. Görüntü üzerine düşen ışık miktarı ile piksellerin ikili örüntü değerlerinin orantılı olduğu görülmüştür. Görüntünün ikili örüntüsü aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$LiÖ_{P,R} = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c)2^p, \quad s(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x \geq 0 \\ 0, & \text{diğer.} \end{cases}$$

$g_c$ : merkezi pikselin gri seviyesi,  $g_p$ : komşu pikselin gri seviyesi,  $P$ : komşu piksellerin sayısı,  $R$ : komşuluk yarıçapı olacak şekilde merkez pikselle komşuluğundaki tüm pikseller karşılaştırılarak komşu piksellere biner değerler atanır. Bu şekilde tüm imge filtre edilir ve elimizde 0, 1 biner değerlerine sahip bir görüntü oluşur. Sonrasında ise elde edilen yeni biner görüntünün histogramı bulunur.

$$H(k) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J f(LiÖ_{P,R}(i,j), k), \quad k \in [0, K],$$

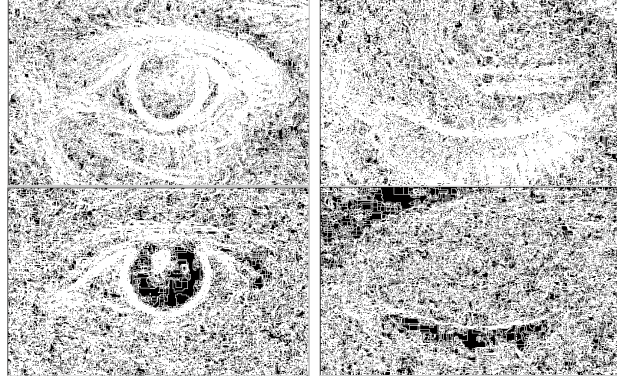
$$f(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x = y \\ 0, & \text{diğer.} \end{cases}$$

$K$ : maksimal LİÖ değeri,  $U$ : uzaysal 0/1 bit değişimi, yani;

$$U(LiÖ_{P,R}) = |s(g_{p-1} - g_c) - s(g_0 - g_c)| + \sum_{p=1}^{P-1} |s(g_p - g_c) - s(g_{p-1} - g_c)|.$$

Adımlar tamamlandıktan sonra elde edilen histograma ait değerler normalleştirilerek öznelik vektörü haline getirilir. Öznelik vektörüne çevrilen lokal ikili örüntü

görüntüleri Şekil 3.15'te verilmiştir. Soldaki ilk iki görüntü aydınlık ortam diğer görüntüler ise karanlık ortam açık ve kapalı göz görüntülerine aittir.



Şekil 3.15 Önişlenmiş görüntünün lokal ikili örüntüsü.

Çalışmada LİÖ'nin öznitelik uzayında sınıflandırma yapılırken kullanılabilmesi için görüntünün lokal ikili örüntüsünün ortalama (mean) değerine bakılmış ve öznitelik vektörü bu değerlerle atanmıştır.

#### 3.4.1.2 Görüntü'nün entropi değeri

Çalışmada sınıflandırma uzayı için kullanılmış bir diğer öznitelik entropidir. Entropi, görüntünün karmaşıklığını açıklayan bir nicelik olup bu sayede görüntünün ne kadar bilgi içerdiğini; kontrast, piksel benzerlik/farklılıklarını, görüntü dokusunu kestirmeyi mümkün kılar.

$$entropi = - \sum_i P_i \log_2(P_i)$$

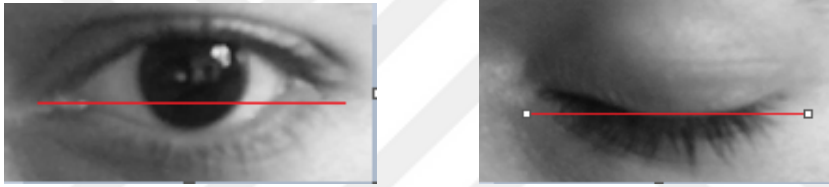
Yukarıdaki ifadedeki  $P_i$ : ardışık iki pikselin farkının  $i$  değerine eşit olma olasılığıdır. Çalışmada ön işlem sonrası elde edilen değişken ışık koşullarında açık ve kapalı durumdaki göz görüntülerinin entropi değerleri öznitelik vektörü haline getirilmiş öznitelik uzayında kullanılmaya uygun hale getirilmiştir. Bu sayede görüntüdeki doku ve piksel değişikliklerine bir sınıflandırma yapabilmek mümkün olmaktadır. Işık şartlarına göre elde edilen entropi değerleri değişiklik göstermekte, görüntünün gri düzeyi değerleri azaldıkça görüntüdeki yeğinlik farkları da azalmaktadır. Görüntülerin entropi değerleri sayısal olarak elde edilerek öznitelik vektörü olarak tutulmuştur. Bölüm 3.4.2'de yeğinlik farkına bağlı değişiklikler, elde edilen diyagramlar üzerinden net olarak gösterilmiştir.

### 3.4.1.3 Görüntü kesitinin ortalaması

Görüntü piksellerinin yeğliliklerinin ortalama değeri, genel ön izlemesi bilinen gri görüntülerde içerik ile ilgili bilgi verebilir. Bu çalışmada, elde edilen göz görüntüsünün alt ve üst göz kapaklarının tam ortasına denk gelen noktadan yatay olarak alınan kesitin ortalamasına bakılmıştır.

$$\mu_{S_{xy}} = \sum_{(s,t) \in S_{xy}} r_{s,t} p(r_{s,t})$$

Şekil 3.16' da görüldüğü gibi açık göz durumu ele alındığında irisin düşük irisin etrafındaki göz beyazının ise yüksek gri seviye değerlerine, kapalı durumda ise kirpiklerin ve göz kapağının gri seviyelerinin düşük gri seviyeye sahip olduğu görülmekte, bu sayede açık ve kapalı göz görüntülerinden alınan ortalama değerler de farklı olmaktadır.



Şekil 3.16 Açık/Kapalı göz görüntüsü yatay kesiti.

Görüntü kesit ortalaması, işlemsel karmaşıklığı az olmasına rağmen diğer öznitelikler ile kıyaslandığında ayrıştırılabilirlik olarak daha az performans gösterebilmiştir. Karanlık ortam şartlarında ise performans ek olarak değişiklik göstermiştir.

### 3.4.1.4 Görüntünün varyansı

Görüntünün varyansı, görüntüdeki komşulukların kontrast ölçüsüdür. Açık ve kapalı durumdaki göz görüntülerinden anlaşılacağı gibi, kapalı göz daha sabit bir yeğlilik düzeyine sahipken açık göz durumunda sapma daha fazladır.

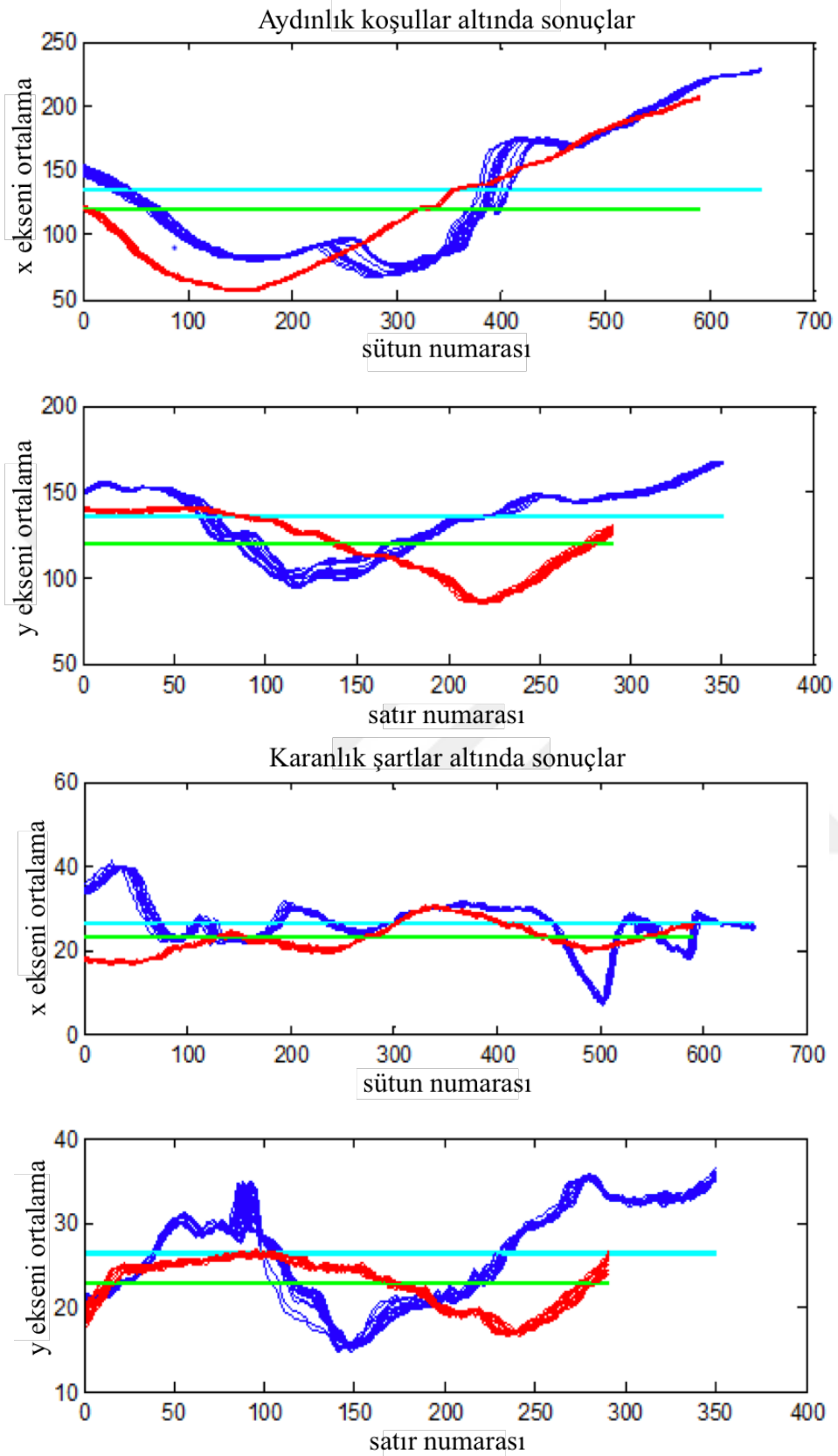
$$\sigma_{x,y}^2 = \sum_{s,t \in S_{xy}} (r_{s,t} - \mu_{S_{xy}})^2 p(r_{s,t}),$$

$S_{xy}$ : komşuluk pikselleri,  $r_{s,t}$ :  $(s, t)$  koordinatındaki piksel değeridir. Bu yönüyle görüntünün varyansı bu çalışmada basit ama hızlı olabilecek bir öznitelik olarak kullanılmaktadır. Varyans değerleri kıyaslandığında bu öznitelik faktörünün aydınlık ve karanlık ışık şartlarında performans olarak başarılı olduğu görülmüştür.

### 3.4.1.5 Görüntünün yatay ve dikey eksenindeki ortalama değerleri

Açık ve kapalı durumdaki göz görüntülerinin aydınlık ve karanlık ortam koşullarında dikey ve yatay eksene yansılarının ortalama değerleri karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki grafikte de olduğu gibi görüntülerin ortam şartlarındaki ortalama değerleri bir sınıflandırma sağlayacak kriterleri sağlamaktadır. Görüntülerde mavi renkli sinyal numaralı sinyal gözün açık durumlarının gri seviye değerlerini, kırmızı sinyaller numaralı sinyaller kapalı durumlarının gri seviye değerlerini, açık mavi ve yeşil renkli sinyaller ve numaralı sinyaller sırasıyla açık durum ve kapalı durum ortalama değerlerini göstermektedir.

Şekil 3.17’de üstte aydınlık altta ise karanlık ışık koşullarındaki görüntülerin x ekseni üzerine projeksiyonunun (üstte) ve y ekseni üzerine projeksiyonunun (altta) değerleri gösterilmiştir. Bu öznelik değerlendirilirken açık ve kapalı göz için lokal minimum değerlerinin kullanılması öngörülmüştür. Yukarıdaki grafiklerde anlaşılacağı gibi açık ve kapalı göz durumları için lokal minimumlar ve bu minimumların olduğu lokasyon pikselleri değişiklik göstermektedir. Lokal minimum değerlerin lokasyonlarının sınıflandırılmasıyla gözün açık veya kapalı durumda olduğu duruma karar verilebilir. Ancak genel olarak değerlendirildiğinde bu özneliğin gerek işlemsel olarak gerekse ayrıştırma performansı olarak diğer özneliklere kıyasla güçsüz kaldığı görülmüştür.



Şekil 3.17 : Aydınlik/Karanlık koşullarda görüntünün yansı ortalama değeri.

### 3.4.2 Öznitelik Diyagramları

Önceki bölümde açıklanan öznitelikler aydınlık ve karanlık ortamda elde edilen açık ve kapalı göz görüntüleri için elde edilmiş ve her ikili öznitelik grubu için serpilme diyagramları çizdirilmiştir. Diyagramların genel durumlarına bakılarak özniteliklerin sınıflandırma için gereken uygunluğu sağlayıp sağlamadığına bakılmıştır. Aydınlık ve karanlık ortamlardaki görüntülerin yeşinlik değerleri fark gösterdiğinden öznitelik değerleri de yeşinlik değerlerine bağlı olarak fark göstermiştir. Bu durumu ortadan kaldırmak için öznitelik vektörleri üzerinde normalleştirme yapılmıştır. Normalleştirme yöntemi olarak z-score normalizasyonu kullanılmıştır. Z-score yöntemi her sınıf için sınıf elemanlarından ortak sınıf ortalamasını çıkararak ortak sınıf varyansına böler:

$$z_i = \frac{x_i - \mu_x}{\sigma}$$

Yukarıdaki formülde,  $x_i$  : normalizasyon uygulanan sınıf elemanlarının vektörü,  $\mu_x$  : aynı öznitelik diyagramı üzerinde çalışılacak tüm sınıf eleman vektörlerinin ortalaması,  $\sigma$  ise aynı diyagram üzerinde değerlendirilen ortak sınıf varyansdır.

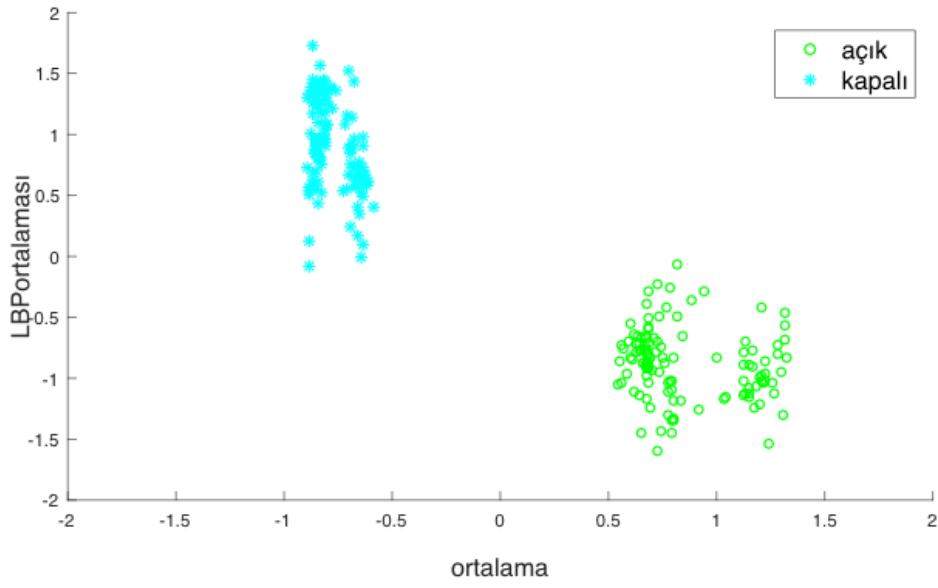
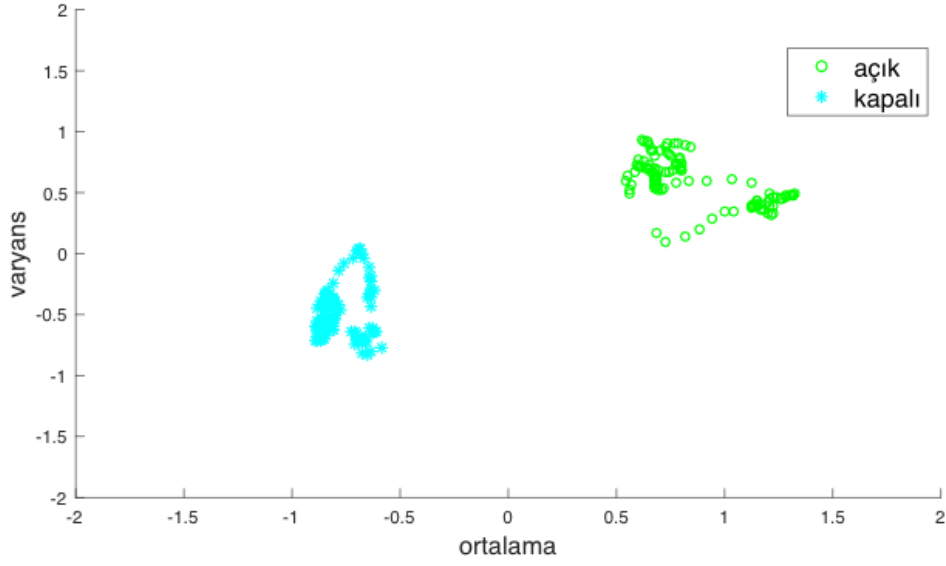
Örneğin Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'daki varyansa ait diyagramların elde edilmesi safhasında, açık göz varyansının normalizasyonu yapılırken açık ve kapalı göz durumlarının varyanslarının ortalaması açık göz durumu varyans değerlerinden çıkarılarak açık ve kapalı gözün ortak varyansına bölünür. Z-score normalizasyonu skor setlerini sıfır ortalamalı ve birim varyanslı sete çevirerek farklı gözlem setlerini aynı skalaya oturtur. Böylelikle tüm değerler aynı değer aralığına oturtulmuş ve gereken gözlemler elde edilmiştir. Şekil 3.18, 3.19, 3.20, 3.21'de aydınlık ve karanlık durumda olmak üzere elde edilen iki ayrı ikili öznitelik diyagramları verilmiştir.

Şekil 3.18 ve 3.19'da aydınlık ortam görüntülerinden oluşturulmuş özniteliklerin diyagramları gösterilmiştir. Diyagramlara bakıldığında gözün açık ve kapalı durumlara ait öznitelik değerlerinin birbirinden çok ayrı olduğu ve kolayca sınıflandırılabilceği gözlenmiştir.

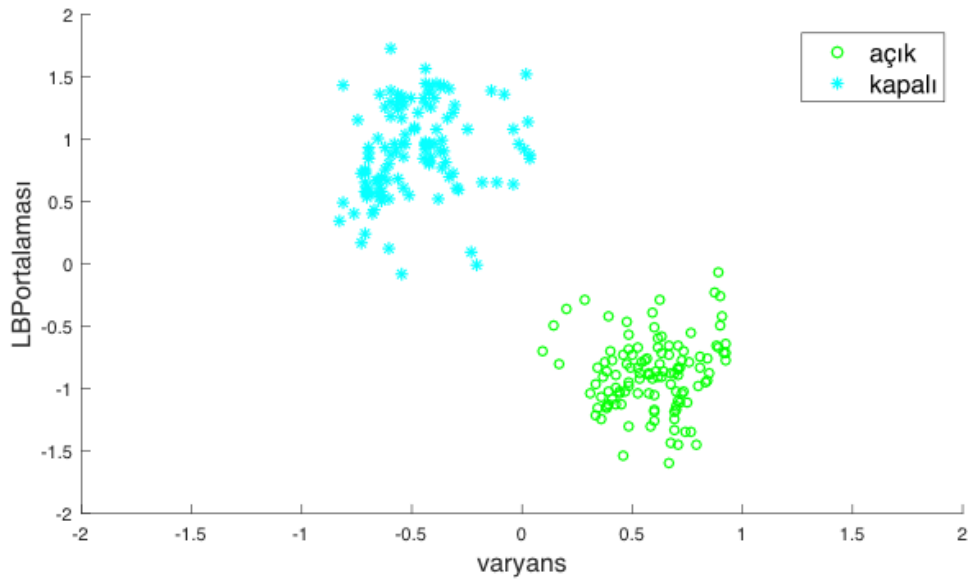
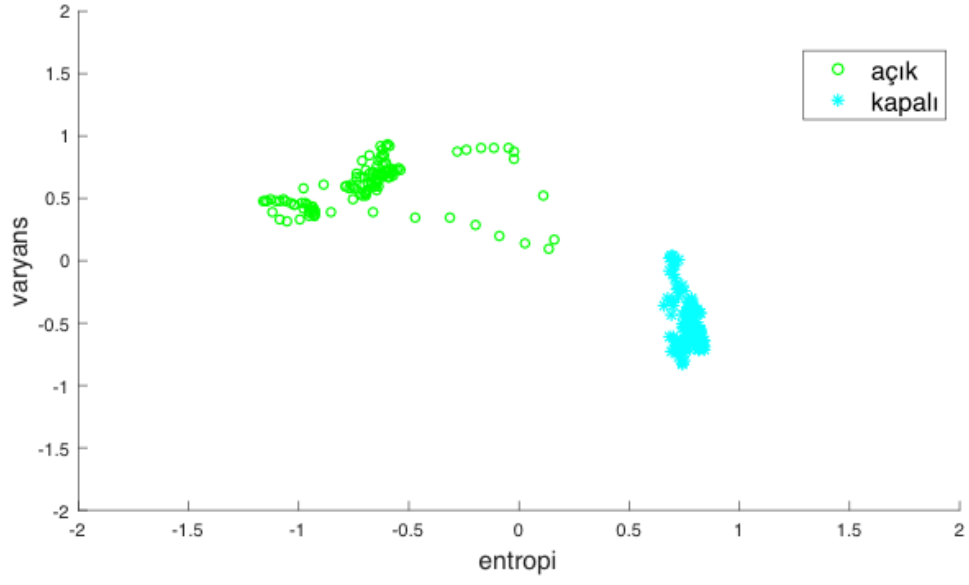
Karanlık ışık şartlarında elde edilen diyagramlar ise Şekil 3.20 ve 3.21'de verilmiştir. Karanlık durum için yeşinlik değerlerinin etkisinin sınıflandırma performansını



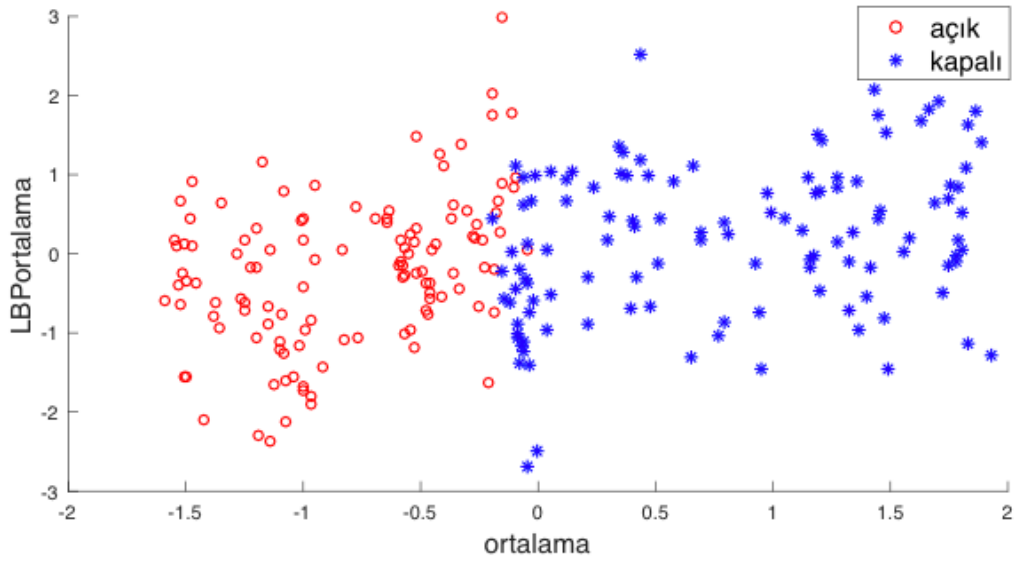
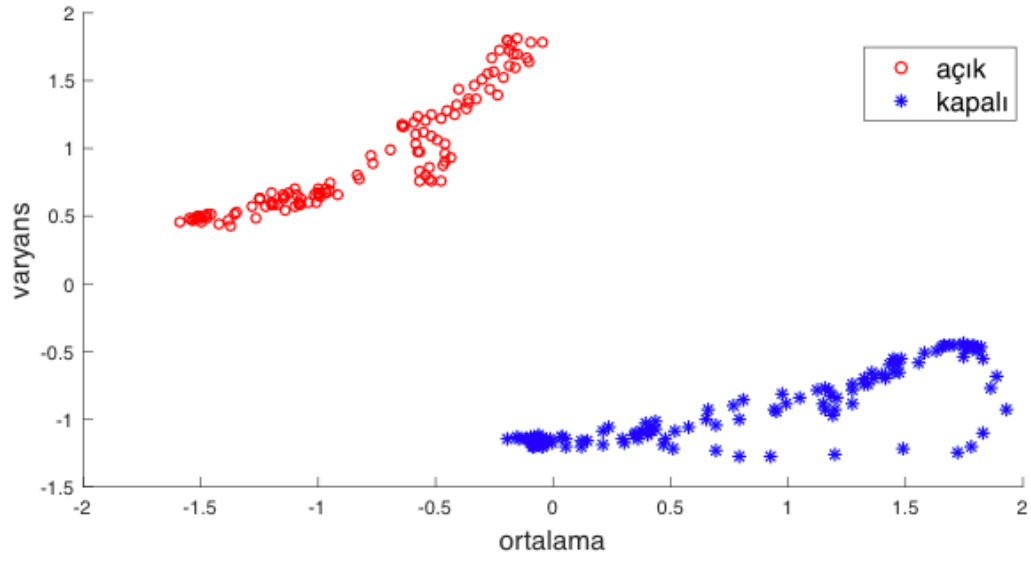
düşürdüğü görülmüştür. Özellikle görüntü ortalaması özneliğinin lokal ikili örüntü özneliğinin ortalaması ile ayrıştırılmasının zorlaştığı anlaşılmıştır.



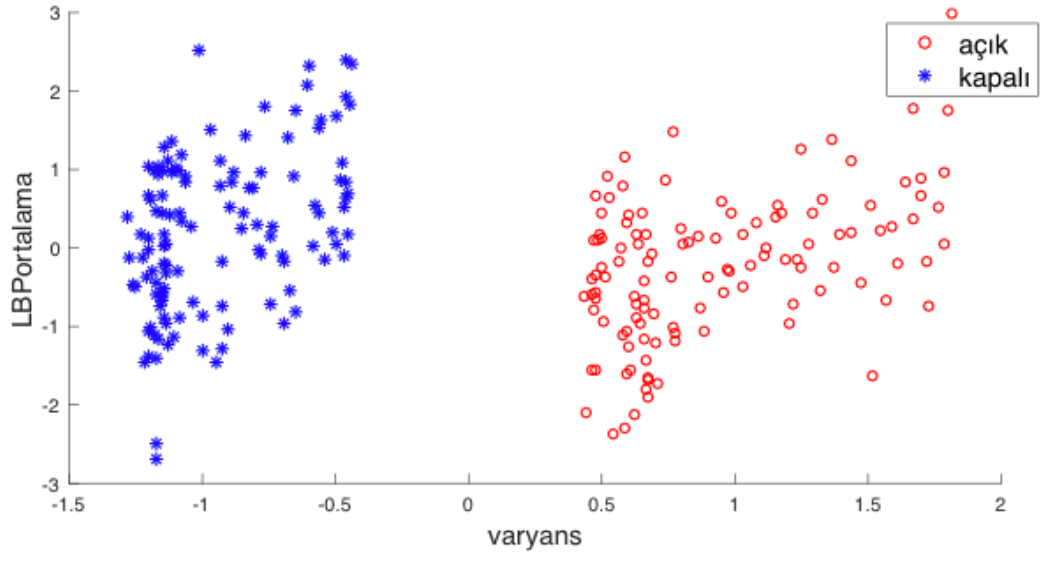
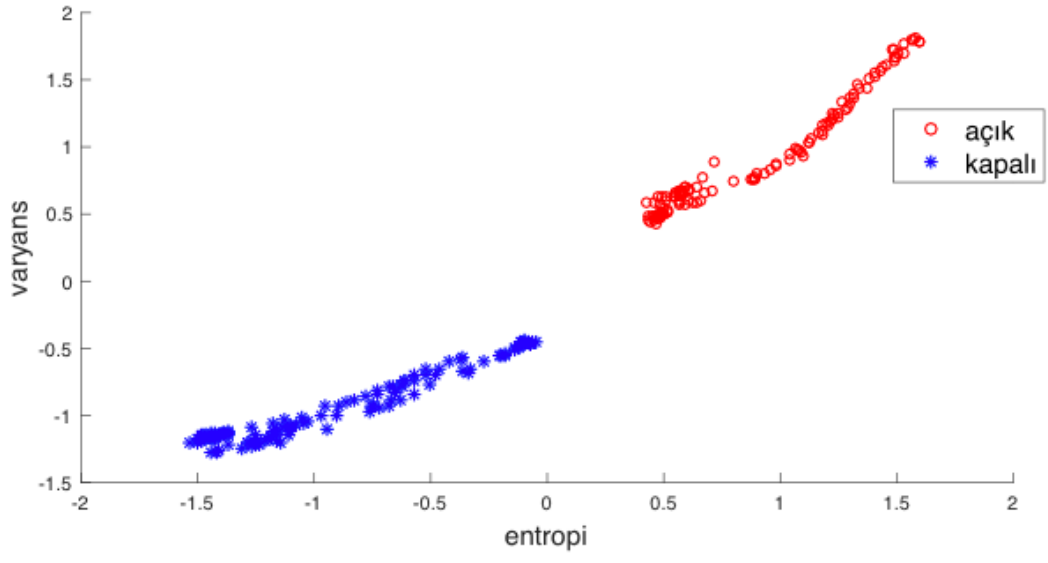
Şekil 3.18 : Aydınlık ışık şartlarında elde edilen ikili öznelik diyagramları.



Şekil 3.19 : Aydınlik ışık şartında elde edilen ikili öznelik diyagramları.

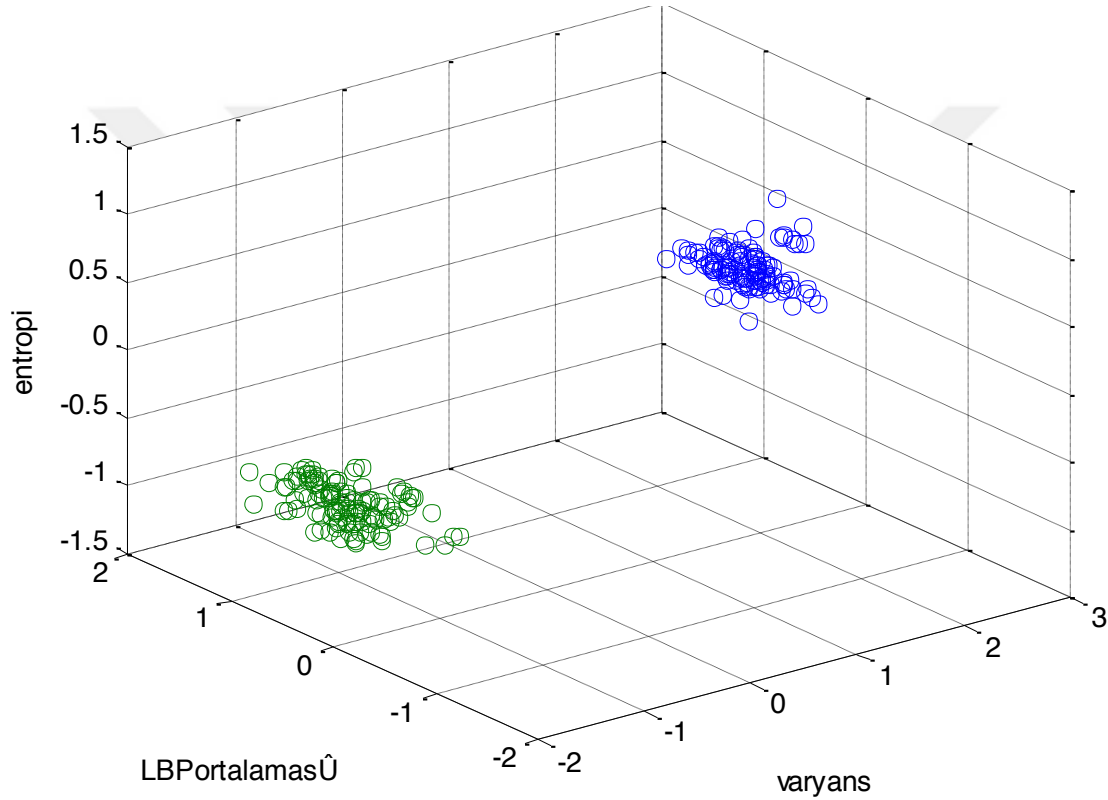


Şekil 3.20 : Karanlık ortam şartlarında elde edilen öznelilik diyagramları.

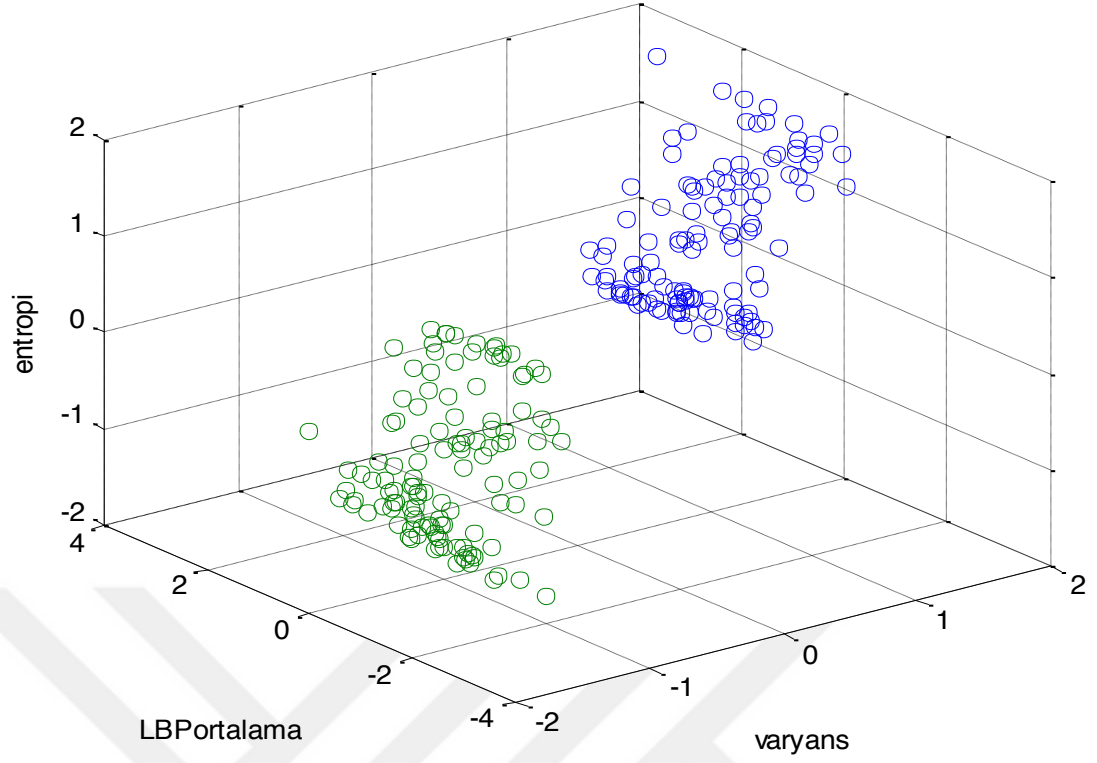


Şekil 3.21 : Karanlık ortam şartlarında elde edilen öznelik diyagramları.

Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’de aydınlık ve karanlık durumlar için ayrı olarak, lokal ikili örüntü-varyans-entropi üçlü diyagramlarına yer verilmiştir. Şekil 3.24’te ise bu iki ortam koşulu için ortak bir diyagram oluşturulmuştur. Üçlü öznelik diyagramlarına bakıldığında her iki aydınlanma koşulu altında elde edilen sonuçlar sınıflandırılabilirlik açısından yeterli uygunluk göstermektedirler. Yukarıdaki ikili öznelik diyagramlarına benzer olarak aydınlık şartlardaki sonuçların karanlık ortamdaki sonuçlara göre ayrılabilirlik olarak daha yüksek performans gösterebilecekleri görülmüştür.

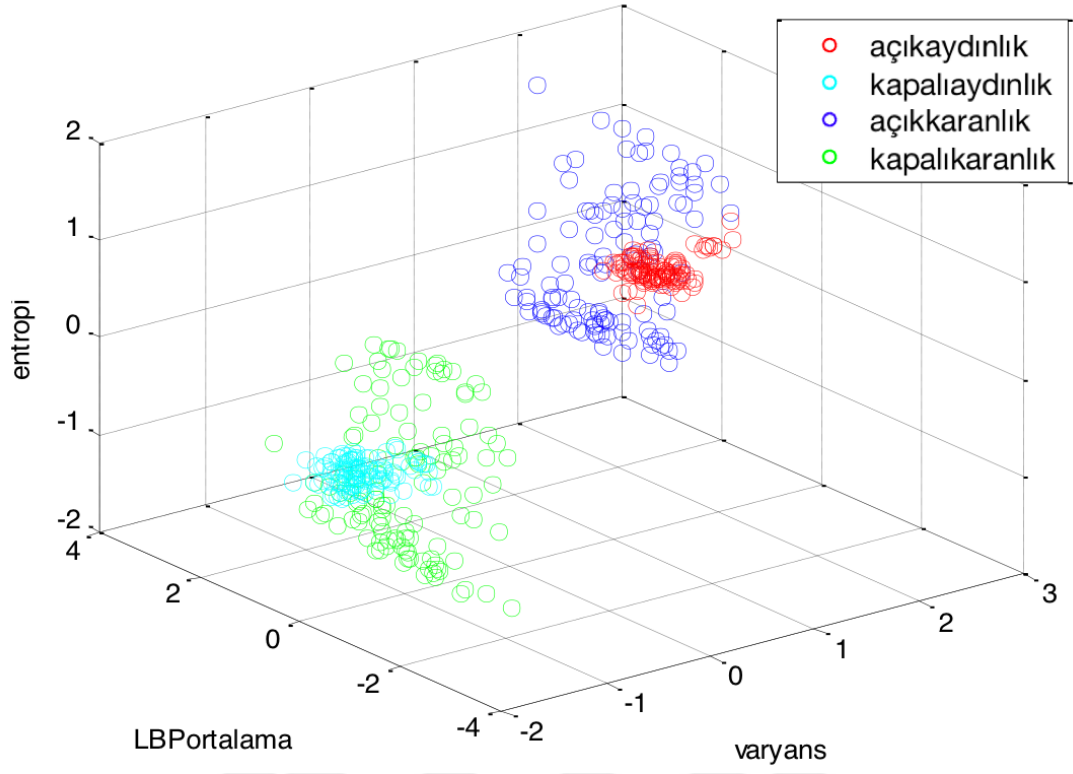


Şekil 3.22 : Aydınlık ortam koşullarında oluşturulan LİÖ,varyans ve entropi üçlü öznelik diyagramı.



Şekil 3.23 : Aydınlık(üstte) ve karanlık(alta) LIÖ, varyans ve entropi öznitelikleriyle oluşturulmuş serpilme diyagramları.

Şekil 3.24'te görüldüğü gibi tüm data noktaları tek bir diyagramda toplanıp aydınlık ve karanlık durumlarda gözün açık ve kapalı durumlarının başarılı bir şekilde sınıflandırılabilceği görülmüştür. Ancak önceki bölümlerde de belirtildiği gibi karanlık ortam şartlarında elde edilen sonuçların, ortamdaki kontrast farklarının aydınlık ortama kıyasla daha az olmasının sonucu olarak ayrıştırılabilirlik açısından daha düşük performansa sahip olduğu görülebilmektedir.



Şekil 3.24 : Aydınlik ve kararlık durumların LBP, varyans ve entropi öznelilikleriyle oluşturulmuş topyekün serpilme diyagramı.

## 4. SONUÇLAR

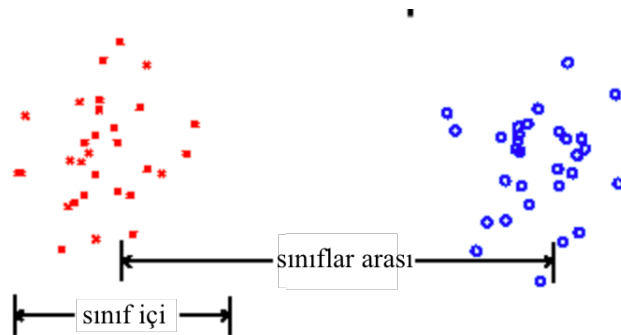
Bu bölümde önceki bölümlerde seçilmiş olan öznelikler ile oluşturulmuş öznelik uzayına ait diyagramlar üzerindeki lineer sınıflandırma sonuçlarına ve üzerinde çalışılan algoritmanın performans özelliklerine değinilmiştir. Sınıflandırma için seçilen Lineer diskriminant analiz metodunun çalışma prensibi matematiksel ifadelerle açıklanmış ve sonuç diyagramlarına yer verilmiştir.

### 4.1 Sınıflandırma

#### 4.1.1 Lineer Diskriminant Analiz (LDA)

Lineer Diskriminant Analiz, istatistiksel sınıflandırma yöntemlerinden biridir. Diskriminant fonksiyonlarının bulunması için eğitim verisi kullanır. Diskriminant fonksiyonları farklı sınıflar ile kestirim uzayı arasındaki sınırları belirler. Sınıflandırıcı, kestirim verilerine dayanarak sınıflar arasında ayırım yapar. Özellik vektörleri sınıflandırıcı tarafından sağlanır. Bu analizde sınıflandırıcının eğitimi daha hızlı ve uygulaması daha basittir [26-27].

LDA'de amaç farklı sınıflardan gelen verilerin izdüşümlerinin ayrık olacağı bir doğru bulmaktır. Bu metodun mekanizması basit bir şekilde değişik ortalama değerlere sahip iki sınıfın sınıflar arası dağılımını artırırken sınıf içi dağılımını olabildiğince azaltmaktır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1  $S_w$  ve  $S_b$  sınıf içi ve sınıflar arası dağılımları.



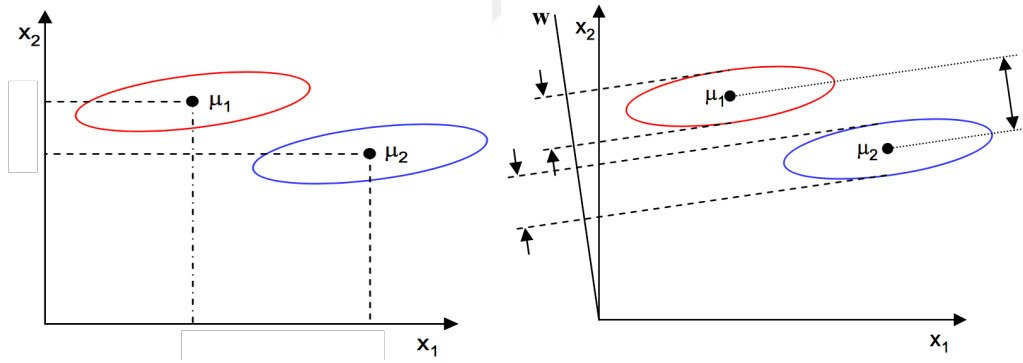
LDA algoritmasının temeli Denklem 5.1'deki Jacobian Denklemlerine dayanmaktadır.  $\mu$ 'ler yansıtılan verilerin ortalaması,  $S$ 'ler 1. ve 2. sınıfın varyanslarını temsil etmektedir.

$$J(w) = \frac{(\mu_1 - \mu_2)^2}{S_1^2 + S_2^2} \quad (5.1)$$

Denkleme göre lineer bir şekilde sınıflandırma yapılabilmesi için yansıtılmış ortalamaların mümkün olduğunca birbirinden uzak olması gerekir. Bunun için  $J(w)$  ifadesinin payının minimize edilmesi gerekir. Ayrıca sınıfların varyanslarının da mümkün olduğunca küçük olması gerekmektedir. Jacobian Denklemi ele alındığında Denklem 5.2'deki forma dönüşmektedir. Burda  $w$  ve  $w^T$ 'lar sınıflandırıcıları,  $S_B$  sınıflar arası dağılımları,  $S_W$  sınıf içi dağılımları göstermektedir.

$$J(w) = \frac{W^T S_B W}{W^T S_W W} \quad (5.2)$$

$S_B$ 'yi sınıflar ayırık olsun diye artırılmalı,  $S_W$ 'yi varyanslar küçük olup, ortalamanın etrafında toplansın diye azaltılmalıdır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Sınıf ortalamalarının ayrılabilir izdüşüm eğrisi.

$J(w)$ 'yi maksimize eden Rayleigh Quotient Equations Denklem 5.3'te verilmektedir.  $\lambda$  değeri eigen value olurken  $w$ 'lar bu denklikte eigen vektörleri temsil etmektedir.

$$S_W^{-1} S_B w = \lambda w \quad (5.3)$$

Fakat bu denklikte  $S_B w$  ifadesi hep  $\mu_1 - \mu_2$  yönünde çıktığı için denklemin özel çözümü ile ifade Denklem 5.3'deki son halini alır. Bu şekilde eigen vektörler çözülmeyen,  $w$  yani LDA sınıflandırıcısı hesaplanabilmektedir.

$$w = S_W^{-1} (\mu_1 - \mu_2) \quad (5.4)$$

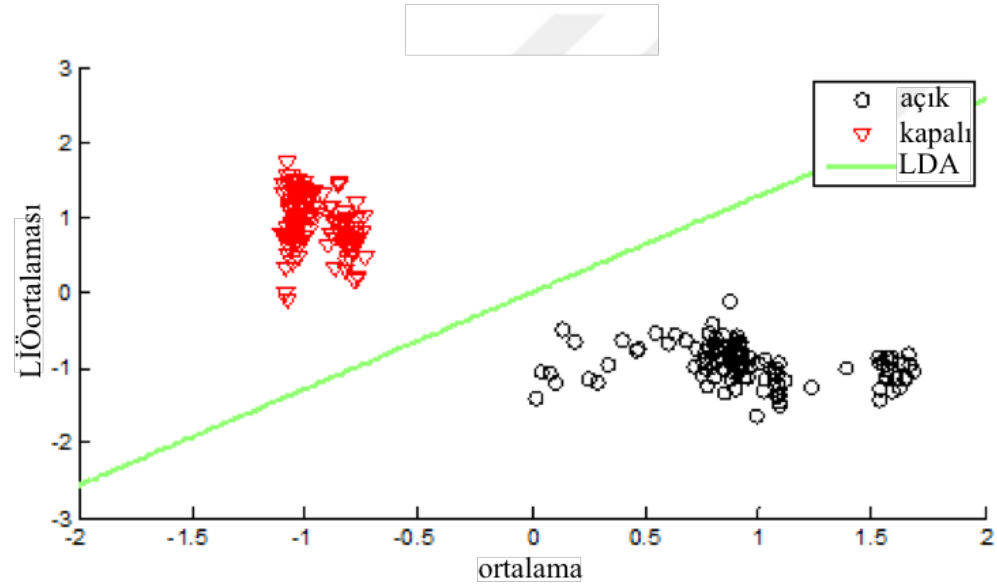
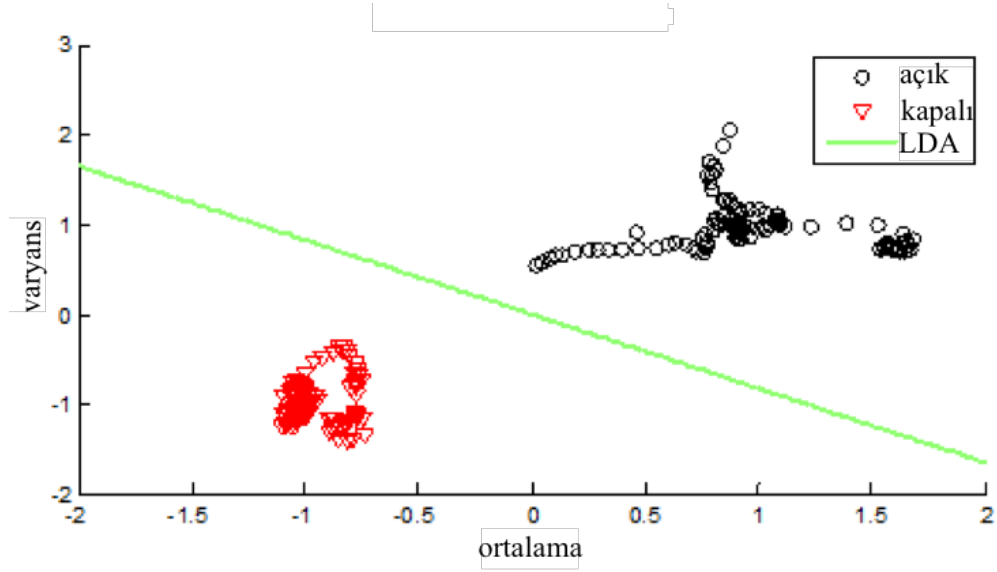
Tüm bu teorik derivasyonun ışığında LDA algoritmasının 5 temel adımı aşağıda verilmektedir:

- 1- Verilere ait ortalamalar hesaplatılır.
- 2- Verilere ait dağılım matrisleri hesaplandıktan sonra  $S_W$  sınıflar arası dağılım matrisi hesaplatılır.
- 3-  $S_W$  matrisinin tersi hesaplatılır.
- 4-  $w = S_W^{-1}(\mu_1 - \mu_2)$  denklemi kullanılarak  $w$  sınıflandırıcısı hesaplatılır.
- 5-  $y = w^T X$  yapılarak yansıtılan veriler hesaplatılır.

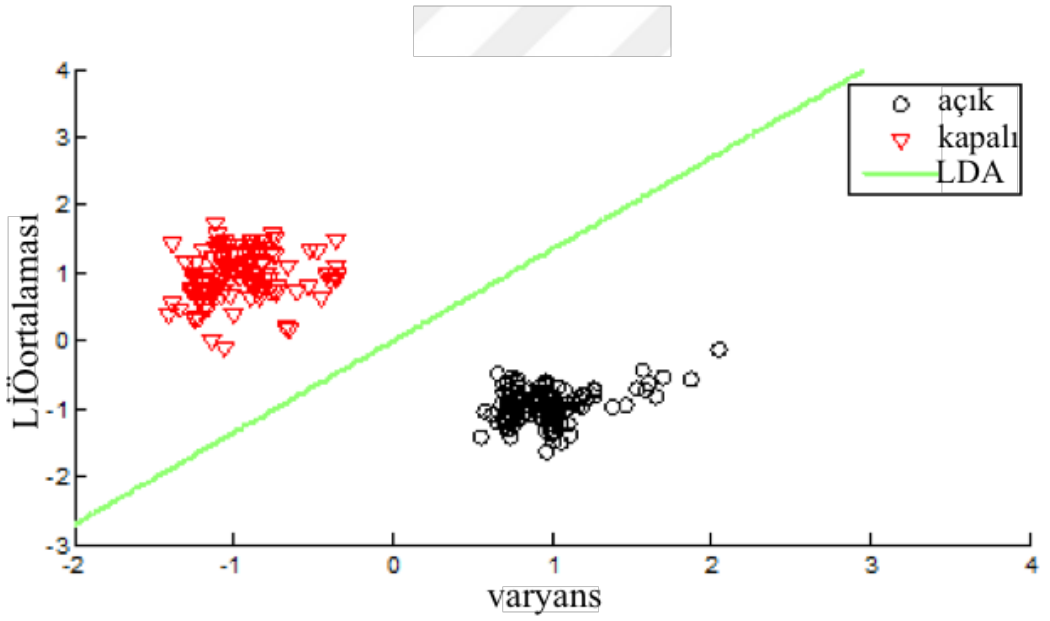
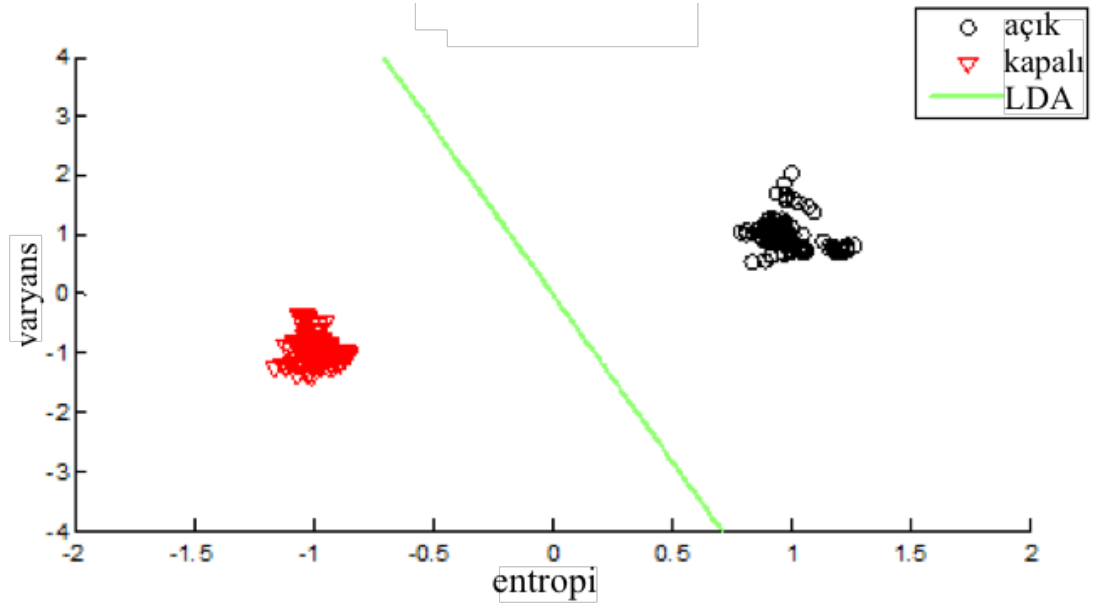
Bölüm 3.4.2'deki ikili öznitelik diyagramları incelendiğinde data noktalarının sınıflandırma için çoğunlukla ayrıştırılabilir olduğu gözlemlenebilmektedir. Şekil 4.3, 4.4, 5.4 ve 4.6'da Bölüm 3.4.2'deki bölümdeki ikili serpilme diyagramlarının lineer sınıflandırılmaları sonucu elde edilen grafikler verilmiştir. Sınıflandırma yukarıda açıklanan lineer diskriminant analiz yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

şğıdaki grafiklerde görüldüğü gibi aydınlık ortam koşullarında sınıflandırma basit ve başarılı bir şekilde gerçekleşmiş, karanlık ortam şartlarında ise görüntü ortalaması-lokal ikili örüntü ortalaması özniteliklerinde Bölüm 4.4.2'de öngörüldüğü gibi sınıflandırma problemi ortaya çıktığı görülmüştür.

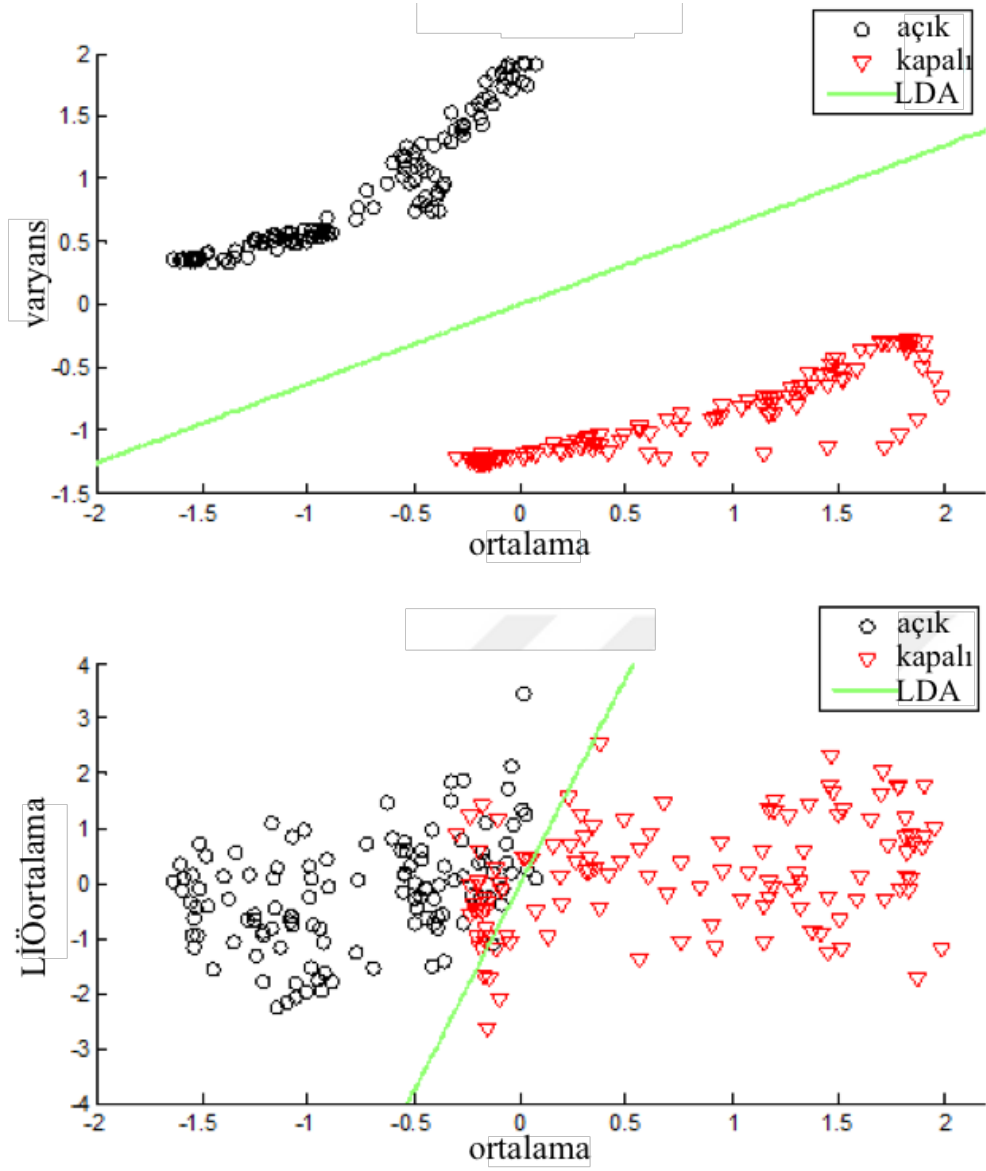
Bölüm 4.4.2'de ikili öznitelik diyagramları çıkarıldıktan sonra Şekil 3.24'te entropi-LBP ortalaması-varyans üçlü öznitelik diyagramı üç boyutlu olarak çıkarılmıştır. Bu bölümde, çıkarılan üç boyutlu öznitelik uzayı için lineer bir ayırıcı düzlem taşarlanmıştır.



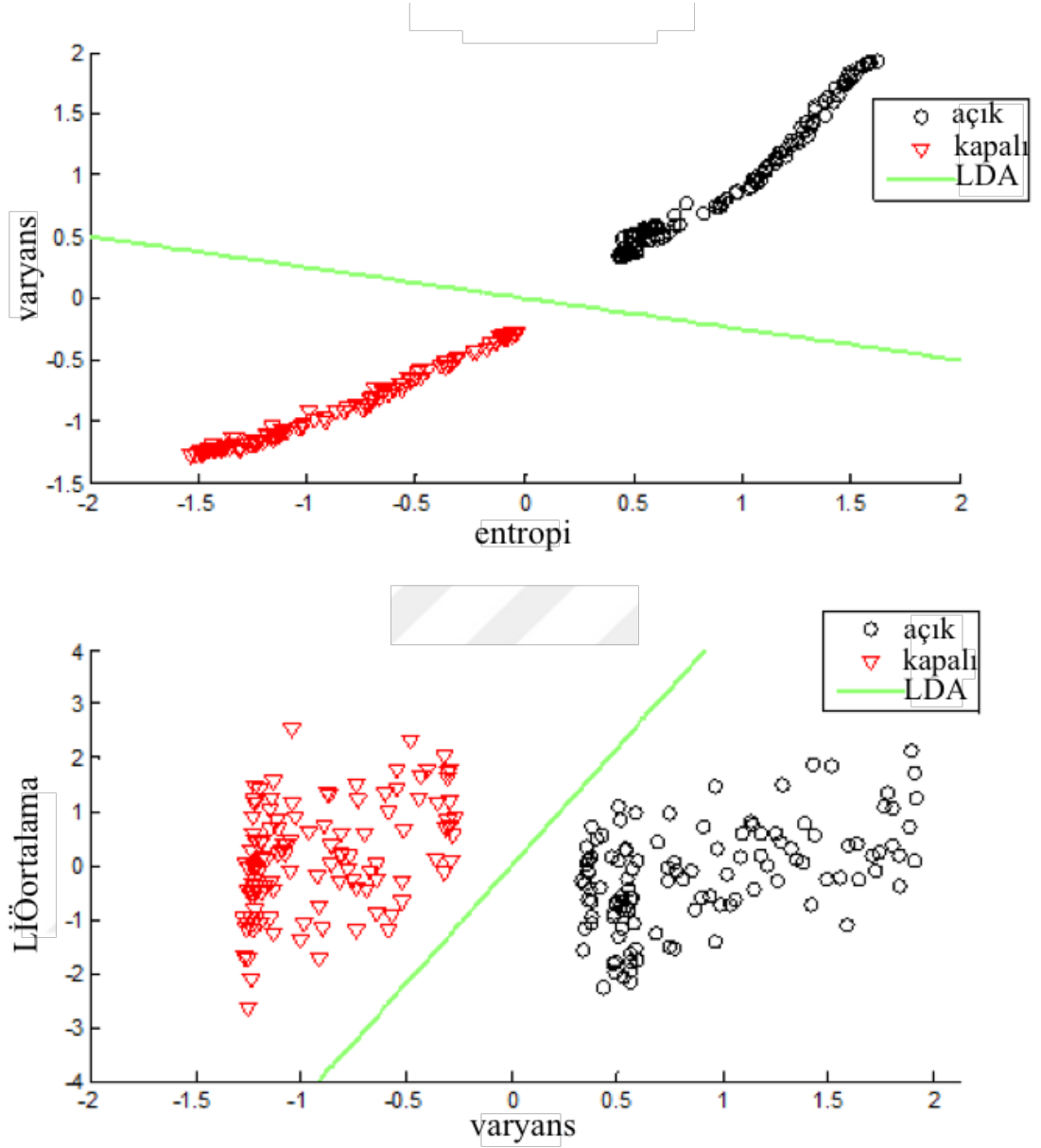
Şekil 4.3 : Aydınlık durumunda elde edilen ikili öznelik diyagramlarının lineer sınıflandırılması.



Şekil 4.4 : Aydınlık durumunda elde edilen ikili öznelik diyagramlarının lineer Sınıflandırılması.

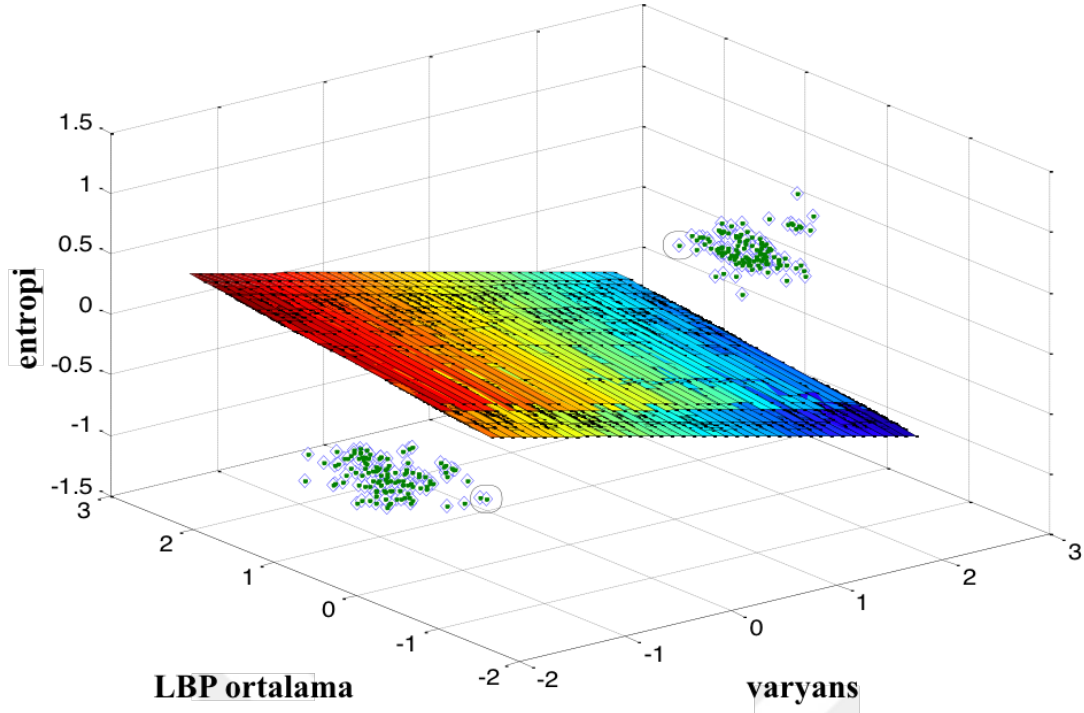


Şekil 4.5 : Aydınlık durumunda elde edilen ikili öznelik diyagramlarının lineer sınıflandırılması.



Şekil 4.6 : Karanlık durumda elde edilen ikili öznitelik diyagramlarının lineer sınıflandırılması.

Aşağıdaki diyagram Şekil 3.24’de verilen öznitelik diyagramı üzerindeki değerlerin lineer sınıflandırılmasıyla elde edilmiştir. Bu diyagram farklı ortam şartlarında elde edilen ve sisteme sokulan görüntülerin başarılı bir şekilde sınıflandırılabilirdiğini göstermektedir. Şekil 4.7’deki siyah çember içerisindeki noktalar destek değerleri olup sistemin başarılı olarak sınıflandırılabilirdiğini göstermektedir.



Şekil 4.7 : Entropi-lokal ikili örüntü-varyans özneliklerinin sınıflandırılması.

#### 4.2 Sistem Performansı

Sistem, sınıflandırılabilirliği seçilmiş özneliklerle değerlendirildikten sonra, çapraz geçerlilik (cross validation) metoduyla defalarca performansı açısından değerlendirilmiştir. Çapraz geçerlilik testi, çalışmada işlenen video görüntülerinden elde edilen göz bölgesini kapsayan görüntülerin toplanarak eğitim seti ve test seti olarak derlenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın kullanılacağı ortam medikal bir ortam olup sadece hastanın gözü üzerinde yoğunlaşacağı için dışarıdan başka data toplanmasına gerek görülmemiştir. Bunun için üzerinde çalışılacak ve sonuç elde edilecek tüm dataların söz konusu hastalara ait olması önemli görülmüştür. Elde edilen görüntü kareleri değişken sayılarda eğitim seti ve test seti olarak ayrılmıştır. Bu kısımda değişik ortam koşullarında açık kapalı toplamda 480 adet göz görüntüsü kullanılmıştır. Denemelerde sınıflandırma koşullarının zorluğunu artırmak için eğitim ve test setlerinin büyüklükleri değiştirilmiştir. Ancak en zor durum şartında (en küçük eğitim seti en büyük test seti) bile hata oranı 0 olarak gözlemlenmiştir (yalnızca bir denemede %1,39 hata oranı alınmıştır, bunun sebebi görüntülerden birisi işlenirken meydana gelebilecek hatalardan dolayı öznelik değerinin farklı hesaplanmış olabilmesidir). Test ve eğitim setlerinin büyüklüklerinin değişmesi ise işlem süresinde sadece küçük varyanslara sebep olmuştur (Tablo 1.).

Çizelge 1. Değişik test ve eğitim setlerine göre sınıflandırma hata oranı ve işlem Zamanı

Eğitim Veri	384	288	240	192	96	48
Test Veri	96	192	240	288	384	432
Hata Oranı(%)	0	0	0	0	0	0
Tamamlama Zamanı(sn)	0,86	0,82	0,84	0,83	0,86	0,84

Öznitelik değerleri video görüntüleri işlenerek data.mat dosyası olarak kaydedilmiş, yukarıdaki tablo bu dosyalardaki önceden kaydedilmiş verilerle deneniştir oluşturulmuştur. Tablodaki zaman skorları ardışık denemelerin ortalama değerleridir.

Sistemin uygulama zamanı için her bölümü ayrı ayrı çalıştırılmış ve not edilmiştir. En büyük zaman kaybı öznitelik değerlerinin çıkarılıp tutulması kısmında gerçekleşmektedir. Bu bölümde tüm video görüntüleri ayrı görüntü karelerine dönüştürülüp işlenerek her görüntü karesi birer öznitelik değerine dönüştürülür ve öznitelik vektöründe tutulur. Sınıflandırmanın ise çok kısa zamanda gerçekleştiği gözlemlenmiştir (0,015 saniye).

Çizelge 2. Sistem işlem zamanı

Metot	Süre(sn.)
Güç Yasası Dönüşümü	0,5
Önişleme ve Hough Transform	2,3
Lineer sınıflandırma	0,015

Algoritma ile değişik ışık şartları altında alınmış videolardan öznitelik çıkarımı ve sınıflandırma başarı ile yapılabilmektedir. Sistemimiz başarı oranı yüksek olmakla beraber zaman konusunda ufak gecikmeler içermektedir. Algoritma sadece açık ve kapalı durumdaki göz kriterleri göz önünde tutularak geliştirilmiştir, açık kapalı arasındaki geçiş durumları önemsenmemiştir.

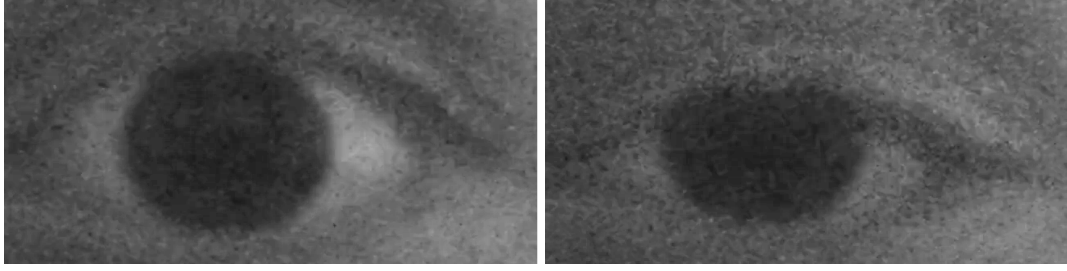


## 5. VARGILAR VE ÇIKARIMLAR

Çalışmada radyoterapi tedavisinde hastanın daha konforlu ve verimli bir operasyon geçirmesi için kullanılmak üzere geliştirilen iris lokalizasyonu algoritması geliştirilmiş, testlerle denenmiş ve sonuçları kaydedilmiştir. Bölüm 1’de gözün anatomik yapısı, biyometrisi ve tedavinin sebebi olan uveal melanom hastalığından bahsedilmiş, Bölüm 2’de çalışmanın amacı açıklanmış ve çalışmaya destek olan literatür araştırmaları paylaşılmıştır. Bölüm 3’te toplanan bilgiler ışığında geliştirilen yöntem ayrıntılarıyla açıklanmış, kullanılan metotlar formül ve açıklamalarıyla verilmiştir. Bölüm 4’te ise yöntemle elde edilen sonuçlar ve yöntemin başarı ve hız performansı değerlendirilmiştir. Genel itibariyle geliştirilen yöntem irisin bulunması ve gözün açık kapalı durumlarının ayrıştırılması bakımından başarı sağlamıştır. Özniteliklerin ayrıştırma performansları, çapraz geçerlilik metoduyla eğitim ve test verilerinin değişken büyüklüklerde seçilip sınanmış ve başarı sağlanmıştır. Aynı şekilde özniteliklerin işlemsel yükleri de işlem zamanlarına bakılarak test edilmiştir. Sonuç olarak çalışma, gerçek zamana yakın performansta çalıştırılmakta gözün açık veya kapalı durumlarının sınıflandırma işlemi saniyenin kat kat altında yapılabilmektedir.

Çalışmanın sonunda, gözün anlık durumuyla ilgili bilgiye sınıflandırma sonucu başarıyla ulaşılmaktadır. Çalışmada açık ve kapalı olmak üzere iki durum değerlendirilmiştir. Çalışmanın ileriki safhası olarak iki durum arasındaki geçiş durumunun değerlendirilmesinin yapılabileceği düşünülmüştür.

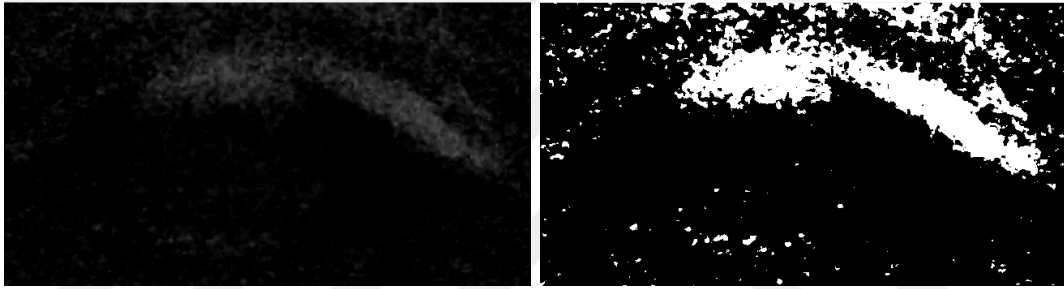
Göz kırpma anında irisin yuvarlak formu göz kapağı ile engellenmektedir. Yani, iris ve göz akı bölgesinin görünür alanı azalmaktadır. Burada bu iki önemli parametreye ek olarak göz kapağının konumu da kullanılabilir bir etken olarak görülmüştür. Çalışmada geçiş durumunu kavramak için göz kapağının konumunun değişiminin iris ve göz akının durumunun değişiminden daha hızlı sonuç verebileceği düşünülmüştür. Göz kapağının konumu ardışık iki anda farklılık göstereceğinden, ardışık göz görüntülerinin farkları takip edilmiş, fark görüntüsü belli bir eşiği aştığında ise gözün kırılma durumuna geçtiği kabul edilmiştir.



Şekil 5.1. Açık göz ve kırılma anındaki göz görüntüleri.

Yukarıdaki görüntüler gözün kırılmaya geçiş anına aittir. Görüldüğü gibi göz kapağı, iris ve göz akı yukarıda verilen bilgilere benzer şekilde değişiklik göstermiştir. Şekil 5.2’de yukarıdaki iki görüntünün fark görüntüsü verilmiştir.

Fark görüntüsünde göz kapağının değişikliği piksel değerlerinden gözlenebilmektedir. Piksel farklarının net gözlemlenebilmesi için fark görüntüsü eşiklenmiş ve Şekil 5.2’de sağda verilen görüntü elde edilmiştir.



Şekil 5.2 : Şekil 5.1’deki görüntülerin fark görüntüsü(solda) ve eşiklenmiş hali(sağda).

Şekil 5.2’deki görüntüye eşikleme yapıldığında gürültü görünümü küçük piksellerin yanlış sonuca sebep olabileceği ihtimali oluşturduğu düşünülmüştür. Bunun için Bölüm 4’te yer alan morfolojik operatörlerden aşındırma işlemi kullanılmıştır. Aşındırma işlemi sonrasında Şekil 5.3’deki görüntü elde edilmiştir. Elde edilen görüntünün piksel bazında eşiklenme işlemine uygun hale getirildiği görülebilmektedir.



Şekil 5.3 : Aşındırılmış fark görüntüsü.

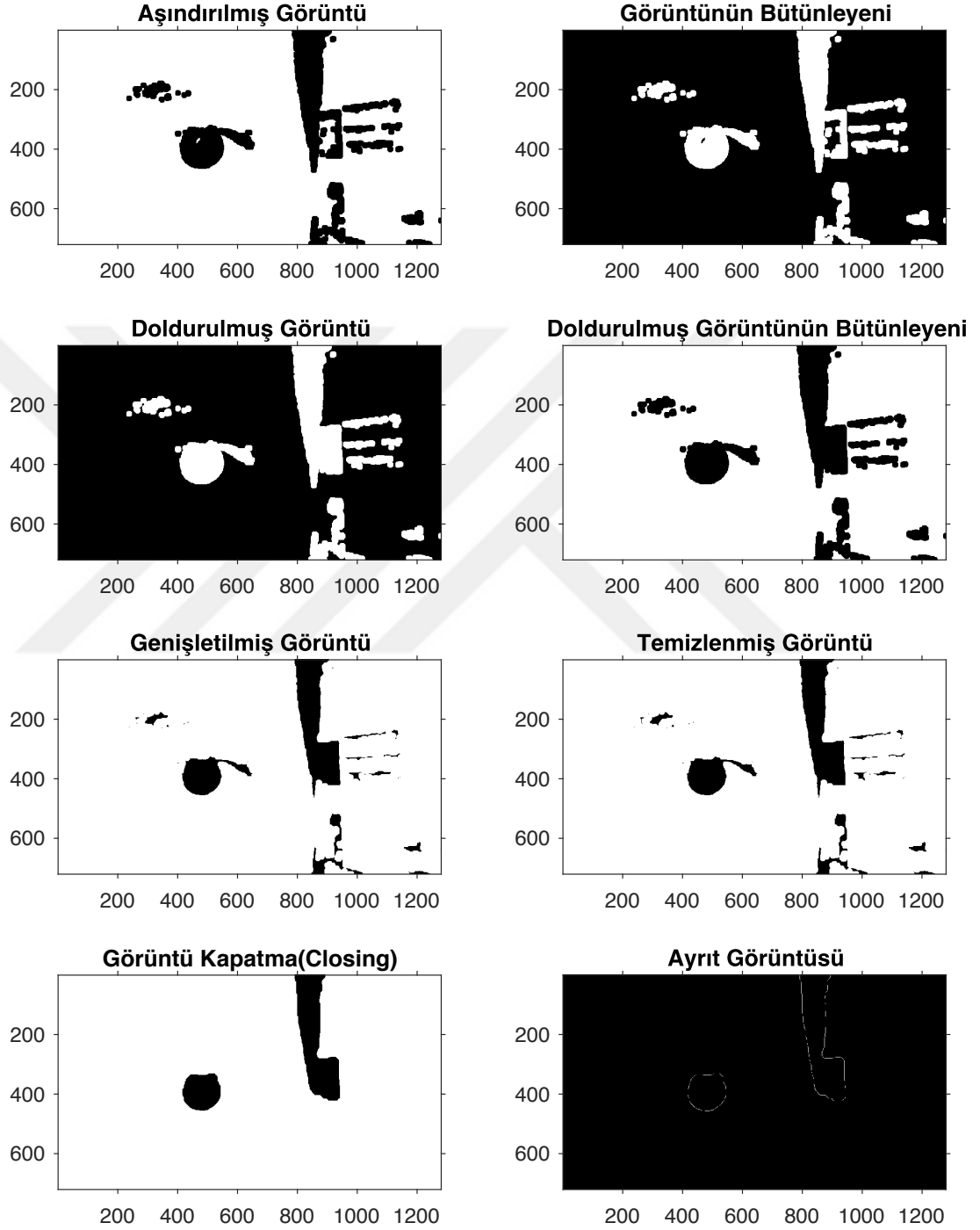
## KAYNAKLAR

- [1] "Combining science with humanity, Cure makes cancer understandable. | Cure Today", *Curetoday.com*, 2017. [Online]. Available: <http://www.curetoday.com>. [Accessed: 11- Mar- 2017].
- [2] **E. Weis, T. Salopek, J. McKinnon, M. Larocque, C. Temple-Oberle, T. Cheng, J. McWhae, R. Sloboda and M. Shea-Budgell**, "Management of uveal melanoma: a consensus-based provincial clinical practice guideline", *Current Oncology*, vol. 23, no. 1, p. 57, 2015.
- [3] **P. Guenel, L. Laforest, D. Cyr, J. Fevotte, S. Sabroe, C. Dudour, J. M. Lutz, E. Lynge**, "Occupational risk factors, ultraviolet radiation, and ocular melanoma: a case-control study in France." *Cancer Cases & Control*, vol.12, issue 5., pp. 451-459, 2001.
- [4] **I. Rennie**, "Uveal melanoma: The past, the present and the future", *Eye*, vol. 11, no. 2, pp. 255-264, 1997.
- [5] **Shields CL, Furuta M, Thangappan A, Nagori S, Mashayekhi A, Lally DR, Kelly CC, Rudich DS, Nagori AV, Wakade OA, Mehta S, Forte L, Long A, Dellacava EF, Kaplan B, Shields JA**. Metastasis of Uveal Melanoma Millimeter-by-Millimeter in 8033 Consecutive Eyes. *Arch Ophthalmol*. 2009;127(8):989-998. doi: 10.1001/archophthalmol.2009.208
- [6] **Jovanovic, Predrag et al.** "Ocular Melanoma: An Overview of the Current Status." *International Journal of Clinical and Experimental Pathology* 6.7(2013): 1230-1244. Print.
- [7] **R. M. Conway, W. C. Chua, CQureshi, F. A. Billson** "Primary iris melanoma: diagnostic features and outcome of conservative surgical treatment", *Br J Ophthalmol*, vol. 85, pp. 848-854. 2001.
- [8] **C. Stannard, W. Sauerwein, G. Maree and K. Lecuona**, "Radiotherapy for ocular tumours", *Eye*, vol. 27, no. 2, pp. 119-127, 2012.
- [9] **S. Boyd and B. Boyd**, *New trends in ophthalmology*, 1st ed. Panama: Jaypee-Highlights Medical Publishers, Inc., pp. 72-73.
- [10] "Laser in situ Keratomileusis (LASIK)-American Academy of Ophthalmology", *-Aao.org*, 2017. [Online]. Available: <https://www.aao.org/munnerlyn-laser-surgery-center/laser-in-situ-keratomileusis-lasik-3>. [Accessed: 02- Apr- 2017].
- [11] **A. L. Yuille, P. W. Hallinan and D. S. Cohen**, "Feature extraction from faces using deformable templates," *Int. J. Computer Vision*, Vol.8, No.2, pp.99-111, 1992.
- [12] **Ying-li Tian, T. Kanade and J. F. Cohn**, "Dual-state parametric eye

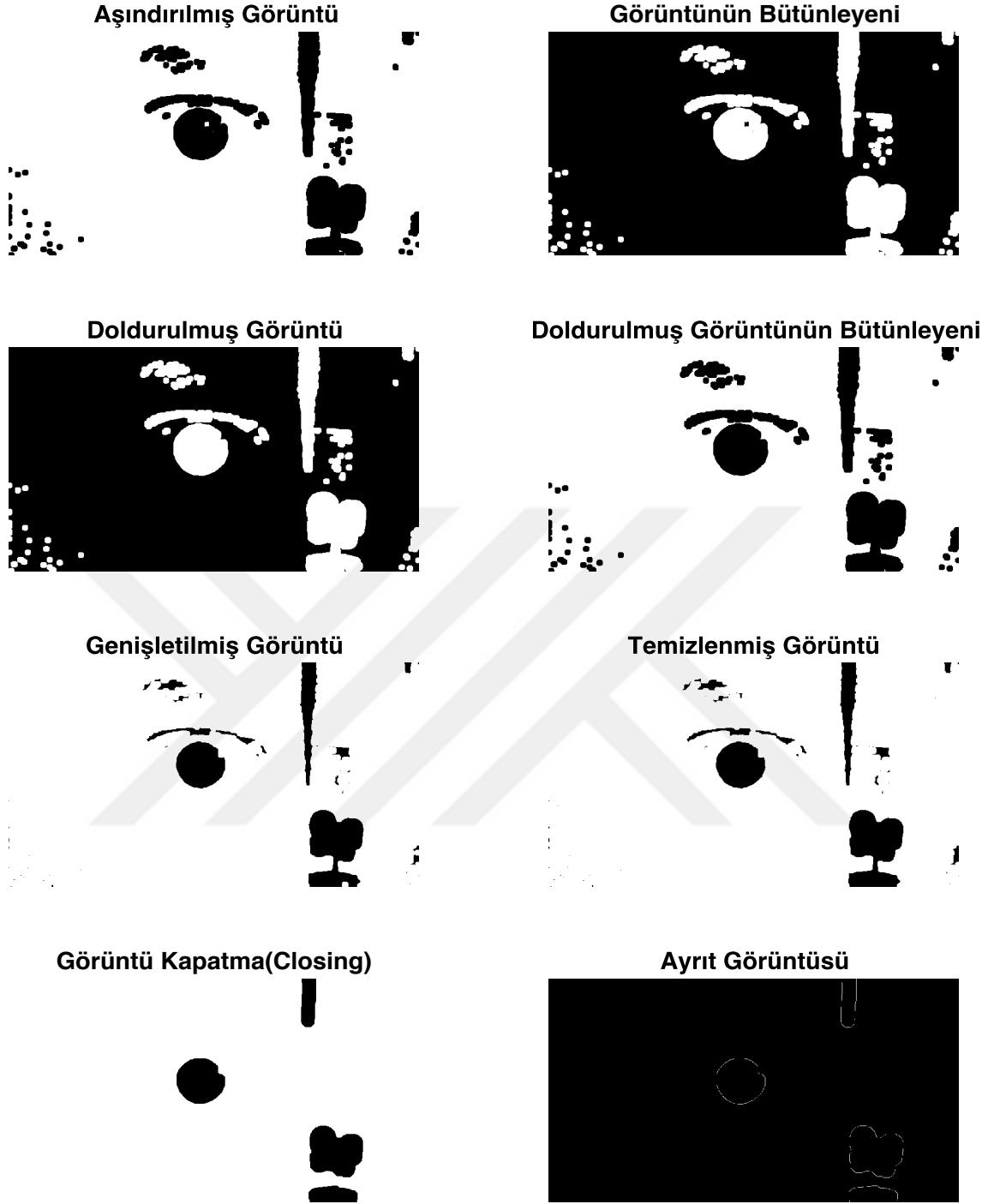
- tracking," *Proceedings Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (Cat. No. PR00580)*, Grenoble, 2000, pp. 110-115.
- [13] **H. Tan, Y. Zhang.** "Detecting eye blink states by tracking iris and eyelids". *Pattern Recognition Letters*, vol. 27, pp. 667-675, Dec. 2005.
- [14] **H.Tan, Y.Zhang and R.Li,** "Robust eye extraction using deformable template and feature tracking ability", *ICICS-PCM*, 2003.
- [15] **X. Xie, R. Sudhakar, H. Zhuang.**" On improving eye feature extraction using deformable templates". *Pattern Recognition Letters*, vol. 27, issue 6, pp. 791-799, June 1994.
- [16] **J. Y. Deng, F. Lai.** "Region-based template deformation and masking for eye-feature extraction and description". *Pattern Recognition Letters*, vol. 30, pp. 403-419, March 1997.
- [17] **H. Liu, Y. Wu, H. Zha.** "Eye states detection from color facial image sequence" National Lab. On Machine Perception, Peking University, 100871, Beijing, China.
- [18] **Huachun Tan, Yu-Jin Zhang,** Detecting eye blink states by tracking iris and eyelids, *Pattern Recognition Letters*, Volume 27, Issue 6, 2006, Pages 667-675
- [19] **T. Morris, P. Blenkhorn, Farhan Zaidi,** Blink detection for real-time eye tracking, *Journal of Network and Computer Applications*, Volume 25, Issue 2, 2002, Pages 129-143.
- [20] **W. Lee, E. Lee and K. Park,** "Blink detection robust to facial poses, *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 193, pp. 356-372, 2016.G. O.Young, "Synthetic structure of industrial plastics (Book style with papertitle and editor)," in *Plastics*, 2nd ed. vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 15–64.
- [21] **R.C. Gonzales and R. E. Woods,** "Digital Image Processing" 2.nd Edition, Prentice Hall, 2002.
- [22] **Nobuyoku Otsu,** "A Treshold Selection Method from Gray-Level Histograms" *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics*, vol. 9, pp. 62-66. 1979.
- [23] **Chester F. Carlson.** Lecture 10: Hough circle transform. Rochester Institute of Technology: Lecture Notes, October 11, 2005.
- [24] **Mohamed Rizon, Haniza Yazid, Puteh Saad, Ali Yeon Md Shakaff, Abdul Rahman Saad, Masanori Sugisaka, Sazali Yaacob, M.Rozailan Mamat, and 1M.Karthigayan.** Object detection using circular hough transform. *American Journal of Applied Sciences 2 (12)*, 2005.
- [25] **T. Kawaguchi, D. Hidaka and M. Rizon,** "Detection of eyes from human face by hough transform and seperability filter", *Electronics and Communications in Japan*, vol. 88, Issue 5, May 2005, Pp. 29–39.

- [26] **M. Li and B. Yuan**, "2D-LDA: A statistical linear discriminant analysis for image matrix", *Pattern Recognition Letters*, vol. 26, pp.527-532, 2005.
- [27] **J. Yang, D. Zhang, X. Yong and J. Yang**, "Two-dimensional discriminant transform for face recognition", *Pattern Recognition*, vol.38, pp.1125-1129,2005.
- [28] **Alkan, Ahmet**. "EEG İşaretlerinin Sınıflandırma Ve Kümeleme Teknikleri İle Analizi." *NWSA: Engineering Sciences* 6.1 (2011): 477-485
- [29] **C. Groenewald, L. Konstantinidis and B. Damato**, "Effects of radiotherapy on uveal melanomas and adjacent tissues" *Eye*. [On-line].vol. 27, pp. 163-171, Available: [www.nature.com/eye](http://www.nature.com/eye) [Nov. 2012].
- [30] **F. Song, X. Tan, S. Chen and Z. Zhou**. "A literature survey on robust and efficient eye localization in real life scenarios". *Pattern Recognition*, vol. 46, pp. 3157-3173, May 2013.
- [31] **R. Mitelman, M. Joshua, A. Adler, H. Bergman**. "A noninvasive, fast and inexpensive tool for the detection of eye open/closed state in primates". *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 178, pp. 350-356, Dec.2008.
- [32] **U. T. Tania, S. M. Motakabber and M. I. Ibrahimy**. "Edge detection techniques for iris recognition system". In *Proc. IOP-ICOM*, 2013.
- [33] **S. A. Sahnoud, I. S. Abuhaiba**. "Efficient iris segmentation method in unconstrained environments". *Pattern Recognition*, vol. 46, pp. 3174-3185, June 2013.
- [34] **J. R. Sekar, S. Arivazhagan, S. S. Priyadharshini, S. Shunmugapriya**. "Iris recognition using combined statistical and co-occurrence multi-resolutional features". *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 27(1), 2013.online.
- [35] **A. Fassi, M. Riboldi, C. F. Forlani and G. Baroni**. "Optical eyetracking system for noninvasive and automatic monitoring of eye position and movements in radiotherapy treatments of ocular tumors". *Applied Optics*, vol. 51(13), pp. 2441-2451, May 2012.
- [36] **S. Just and K. Pedersen**, "Circular Hough Transform" Aalborg University, *Vision, Graphics, and Interactive Systems*, November 2007.
- [37] **D. J. Kerbyson and T. J. Atherton**, "Circle detection using Hough transform filters," *Fifth International Conference on Image Processing and its Applications, 1995.*, Edinburgh, 1995, pp. 370-374.

## EKLER



ŞekilEk 1 : Önışlem safhasında aydınlık ortam şartlarında oluşturulan görüntü üzerinde yapılan işlemlerin çıktı görüntüleri.



ŞekilEk 2 : Önışlem safhasında karanlık ortam şartlarında oluşturulan görüntü üzerinde yapılan işlemlerin çıktı görüntüleri.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER:

**Ad-Soyad :** Melih Çavuşculu

**Uyruğu :** T.C

**Doğum Tarihi ve Yeri :** 20/05/1990, Çankaya/Ankara

**E-posta :** [e.cavusculu@gmail.com](mailto:e.cavusculu@gmail.com)

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans :** Ocak 2014, Bilkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği. Ankara.
- **Yüksek Lisans :** Ağustos 2017, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı. Ankara.

### MESLEKİ DENEYİM:

**Ocak 2015-Ağustos 2017** TOBB ETÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Tam Burslu Yüksek Lisans Öğrencisi / Türkiye.

### YABANCI DİL:

**İngilizce :** İleri Düzey

**Almanca :** Başlangıç

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR ve PATENTLER:

M. Çavuşculu, İ.Ş. Yetik ve M. Yeğiner, “Radyoterapi Uygulamaları için Otomatik İris Lokalizasyonu”, Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 2017.

M. Cavusculu , I.S. Yetik and M. Yeginer, “Iris Tracking for Eye Surgery”, Engineering in Medicine and Biology Society, 2017.