

**YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÖZ İRİS GÖRÜNTÜLERİNDE KAOTİK YAPININ ANALİZİ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hüsniye Kevser BAYRAKTAR**

**Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Bilgisayar Mühendisliği Programı**

**HAZİRAN 2018**



**YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÖZ İRİS GÖRÜNTÜLERİNDE KAOTİK YAPININ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hüsniye Kevser BAYRAKTAR  
(145105007)**

**Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Bilgisayar Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Osman Hilmi KOÇAL**

**HAZİRAN 2018**



YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 145105007 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hüsniye Kevser BAYRAKTAR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**GÖZ İRİS GÖRÜNTÜLERİNDE KAOTİK YAPININ ANALİZİ**" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**

**Dr. Öğr. Üyesi Osman Hilmi KOÇAL**  
Yalova Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**

**Dr. Öğr. Üyesi Osman Hilmi KOÇAL**  
Yalova Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Adem TUNCER**  
Yalova Üniversitesi

**Prof. Dr. Tuncay ERTAŞ**  
Uludağ Üniversitesi

**Teslim Tarihi :** 16 Mayıs 2018

**Savunma Tarihi :** 20 Haziran 2018



## ÖNSÖZ

İnsanın kimlik saptama sürecinde iris tanıma uygulaması son derece popülerdir. Yapılan tez çalışmasında bu amaçla irisin yapısı analiz edilip tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. Görüntü inceleme teknikleri ile elde edilen iris dokusu farklı bir perspektiften ele alınmış ve sınıflandırılmıştır. Veri sınıflandırmanın temeli olan özniteliklerin çıkarılması işlemi, geliştirilen algoritmada irisin yapısındaki pikselleri kaotik kuram ile tanımlayan Lyapunov üstelleri yöntemiyle yapılmıştır. Görüntülerden çıkarılan tek bir öznitelikle veriler sınıflandırılmıştır.

Tez çalışmamın ilerlemesinde bilgi ve yardımlarıyla yol gösteren danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Osman Hilmi KOÇAL'a, çalışma sürecinde bana her zaman destek olan arkadaşım Özlem MUTLU'ya ve değerli aileme teşekkür ederim.

Haziran 2018

Hüsniye Kevser BAYRAKTAR  
(Bilgisayar Mühendisi)





## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR .....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY .....	xvii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Literatür Araştırması .....	3
1.2 Tez Düzeni .....	6
<b>2. İRİS TANIMA.....</b>	<b>9</b>
2.1 İris Tanıma Tarihçesi .....	10
2.2 İrisin Yapısı .....	10
2.3 İris Tanıma Algoritması .....	13
2.3.1 İris konumunun belirlenmesi .....	14
2.3.2 Normalleştirme.....	17
2.3.3 Öznitelik çıkarma.....	18
2.3.4 Karşılaştırma .....	19
2.3.5 Kümeleme ve sınıflandırma .....	19
<b>3. KAOS TEORİSİ.....</b>	<b>23</b>
3.1 Dinamik Sistemler.....	24
3.2 Kaos Teoremi Tarihçesi .....	24
3.3 Faz Uzayı ve Çekerler .....	26
3.3.1 Lorenz çekeri.....	28
3.3.2 Faz uzayının yeniden oluşturulması.....	29
3.4 Karşılıklı Bilgi Fonksiyonu .....	31
3.5 Hatalı En Yakın Komşuluk .....	32
3.6 Lyapunov Üstelleri.....	33
3.7 İris Görüntüsünün Zaman Serisine Dönüştürülmesi .....	35
<b>4. İRİS GÖRÜNTÜSÜNÜN KAOTİK YAPI ANALİZİ .....</b>	<b>37</b>
4.1 Göz Resminden İris Bölgesinin Çıkarılması .....	38
4.2 Normalleştirme.....	39
4.3 İrisin Zaman Serisine Dönüştürülmesi.....	40
4.4 Faz Uzayının Yeniden Oluşturulması .....	42
4.5 Lyapunov Üstellerinin Hesaplanması .....	43
4.6 İris Verilerinin Sınıflandırılması .....	46
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>49</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>51</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>55</b>



## KISALTMALAR

<b>ARP</b>	: Açısal Radyal Parçalama
<b>EBLÜ</b>	: En Büyük Lyapunov Üsteli
<b>EEG</b>	: Elektroensefalografi
<b>HKO</b>	: Hatalı Komşuluk Oranı
<b>HM</b>	: Hamming Mesafesi
<b>KBF</b>	: Karşılıklı Bilgi Fonksiyonu
<b>MATLAB</b>	: Matrix Laboratory
<b>TISEAN</b>	: Nonlinear Time Series Analysis
<b>TTO</b>	: Tümüleşik-Türev Operatörü



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 1.1</b> : Kaos çalışmalarındaki tarihsel süreç. ....	1
<b>Çizelge 3.1</b> : Akışkanlarda konveksiyon denklemleri parametre ve değişkenleri. ....	28
<b>Çizelge 4.1</b> : İris dokusunun Lyapunov üstelleri. ....	44
<b>Çizelge 4.2</b> : Zaman gecikmesi 3, gömme boyutu 5 değerleri ile 10 kişinin 5'er iris resmi için elde edilen EBLÜ değerleri. ....	44
<b>Çizelge 4.3</b> : Zaman gecikmesi 2, gömme boyutu 3 değerleri ile 10 kişinin 5'er iris resmi için elde edilen EBLÜ değerleri. ....	45
<b>Çizelge 4.4</b> : Zaman gecikmesi 4, gömme boyutu 5 değerleri ile 10 kişinin 5'er iris resmi için elde edilen EBLÜ değerleri. ....	45
<b>Çizelge 4.5</b> : Zaman gecikmesi 6, gömme boyutu 12 değerleri ile 10 kişinin 5'er iris resmi için elde edilen EBLÜ değerleri. ....	45
<b>Çizelge 4.6</b> : Sınıflandırma işlemi sonuçları.....	47



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Gözün anatomisi.....	10
Şekil 2.2 : Göz kaslarının hareketi.....	11
Şekil 2.3 : İrisin katmanlı yapısı.....	12
Şekil 2.4 : İrisin ön kısmının anatomik yapısı.....	12
Şekil 2.5 : İris tanıma basamakları.....	13
Şekil 2.6 : Daugman tümleşik-türev operatörü akış diyagramı.....	14
Şekil 2.7 : Işık yansıması örnek resim.....	16
Şekil 2.8 : İris alma açıları.....	16
Şekil 2.9 : Daugman lastik levha modeli.....	17
Şekil 2.10 : İris kod.....	19
Şekil 2.11 : Kümeleme işlemi basamakları.....	20
Şekil 3.1 : Poincaré 3-cisim problemi.....	25
Şekil 3.2 : Hareket eden sarkacın zaman serisi ve faz uzayı [29].....	27
Şekil 3.3 : a) Periyodik (sinüs), b) kaotik (Lorenz), c) gürültü (rastgele) sinyalleri ve faz uzayları [24].....	27
Şekil 3.4 : Akışkanlarda ısı farkı ile oluşan konveksiyon.....	28
Şekil 3.5 : Lorenz çekerisi.....	29
Şekil 3.6 : $T=10$ ve $M=3$ parametreleri ile oluşturulan bir faz uzayı [34].....	30
Şekil 3.7 : Üstellerin hesaplanması ((a) faz uzayı, (b) komşu iki yörünge) [21].....	33
Şekil 4.1 : UBIRIS veri setinden örnek görüntüler.....	37
Şekil 4.2 : İriste kaotik yapı analizi akış diyagramı.....	38
Şekil 4.3 : UBIRIS veri setinden iris sınırları belirlenmiş örnek bir resim.....	39
Şekil 4.4 : İrisin kutupsal koordinata dönüştürülmesi.....	40
Şekil 4.5 : İristen dairesel veriler alma.....	40
Şekil 4.6 : İristen alınan dairesel verilerin tek boyutlu vektörü.....	41
Şekil 4.7 : Kutupsal koordinat matrisinden verilerin alınması.....	41
Şekil 4.8 : Kutupsal koordinat verilerinin zaman serisine dönüşümü.....	42
Şekil 4.9 : İris görüntüsünün faz uzayı.....	42
Şekil 4.10 : Kutupsal koordinat matrisinden oluşturulan serinin faz uzayı.....	43
Şekil 4.11 : Test verilerinin kümelerdeki dağılımı.....	46





## GÖZ İRİS GÖRÜNTÜLERİNDE KAOTİK YAPININ ANALİZİ

### ÖZET

Tarih boyunca doğada zaman ve mekâna bağlı olayların çözümlenmesi ve anlamlandırılması bilimsel çalışmaların temel konusu olmuştur. Bu olayların yapısının dinamik, doğrusallık barındırmayan, determinist verileri içermesi kaotik kuramın ilgilendiği kavramlardır. Kaotik analiz matematik, fizik, felsefe gibi farklı disiplinlerde problemlerin analizinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, doğada bir sanat eseri olan irisin kaotik yapısı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve biyometrik sistemlerde kullanılmasına değinilmiştir.

Çalışmada kullanılan göz resimleri UBIRIS veri tabanından alınmıştır. Bu resimlerden incelenmesi istenen ham iris verileri Daugman'ın tümleşik-türev operatörü ile göz bebeği ve irisin sınırlarının tespit edilmesiyle bölütlenmiştir. Faz uzayının oluşturulması ve sonrasında kaotik yapı analizi için iris görüntüleri iki farklı yöntemle zaman serilerine çevrilmiştir. Bu aşamadan sonra bilgi olarak kullanılan nitelikler iris desenini oluşturan piksel değerleridir. Yapılan literatür araştırmalarında irisin kaotik analizinin yapılmasına dair bir uygulamaya rastlanmamıştır.

Dairesel yöntemle elde edilen zaman serilerinde üç boyutlu Lyapunov üstelleri hesaplanmış ve çıkan değerlerin en az birinin pozitif olduğu görülmüştür. Diğer yöntemde, iris görüntüleri kutupsal koordinata dönüştürülerek elde edilen dikdörtgen yapı zaman serisine dönüştürülmüştür. Bu yöntem, iris ve göz bebeğinin yapısından kaynaklanan iristeki bozulmaları azaltmak için tercih edilmiştir. İkinci yöntem ile elde edilen zaman serilerinden üstellerin hesaplanmasında kullanılan faz uzayının oluşturulmasında, farklı gecikme zamanı ve gömme boyutu değerleri kullanılarak hesaplanan en büyük üstel değerleri incelenmiştir. Sonuçta, en ideal gömme boyutu ve zaman gecikmesi değerleri kullanılarak elde edilen pozitif en büyük üstel değerleri ile 100 kişilik veri setinde sınıflandırma işlemi yapılmıştır.



# **ANALYSIS OF CAOTIC STRUCTURES IN EYE IRIS IMAGES**

## **SUMMARY**

Throughout history, analyzing and understanding the time and space related events has been main theme of scientific studies. Dynamic, nonlinear, and deterministic structures of these events are concepts tightly related to the chaotic theory. Chaotic theory is used in the analysis of problems in many diverse field of disciplines such as mathematics, physics, and philosophy.

In this work, the chaotic structure of iris is examined and the supporting experimental results are interpreted and their use in the biomedical field is evaluated. The eye images used in the thesis has been taken from the UBIRIS dataset. The raw iris data is segmented by detecting the pupil and iris boundaries using the Daugman's integro-differential operator. Iris images are transformed into time series by two different methods in order to form the phase space, in which the presence of chaotic structure is subsequently analysed. After this stage, the features to be used as information are the pixel values that make up the iris pattern. Such an application that converts iris region into time series and performs chaotic analysis does not exist in the literature.

Three dimensional Lyapunov exponents are calculated from the time series obtained by first using the circular method, which are found to be positive. In the second method, the rectangular structure obtained by transforming the polar coordinates of the iris images is transformed into time series. This method has been preferred in order to reduce the distortions caused by the structure of the iris and the pupil. The phase space is formed by examining various delay and embedding dimension values so as to obtain the largest exponent values, of whom the maximum ones are inspected among the others. Finally, classification has been performed in the data set of 100 persons using the largest exponent values obtained.



## 1. GİRİŞ

Verilerden anlam çıkarmak için çeşitli yöntemlerle ölçülmesi ve analiz edilmesi bilim insanlarının gündeminde tarih boyunca canlılığını korumuştur. Teknolojinin farklı alanlarda yaygınlaşması ile bilgisayar tarafından kullanılan veri miktarı artmaktadır. Bu durum verilerin analiz edilmesi, depolanması ve işlenmesinde farklı problemler oluşturmaktadır. Bundan dolayı bu konu üzerinde yapılan çalışmalar gittikçe önem kazanmaktadır.

Kaos birçok sistem değişkenine sahip verilerin analizinde farklı alanlarda araştırma konusu olmuştur. Kavram olarak, ufak başlangıç durumlarının sistemde çok farklı sonuçlar üretmesi ile düzensiz davranış gösteren durumları ifade eder. Tarihsel süreçte, değişkenlerin zaman içinde nasıl davrandığını araştıran Newton, farklı başlangıç noktalarına sahip, konum ve hız gibi iki değişkenli bir sistemin zaman içinde nasıl davranacağını hesaplayabilmekteydi. Bundan yola çıkılarak iki gezegenin yörüngeleri de matematiksel olarak modellenilebilmekteydi.

**Çizelge 1.1 : Kaos çalışmalarındaki tarihsel süreç.**

Tarih	Süreç
1890	Henri Poincaré 3-cisim probleminde gezegenlerin yörüngelerinin tahmin edilemez karmaşıklıkta olduğunu belirtmiştir.
1963	Edward Lorenz hava durumu analizinde kaotik yapılarıdaki başlangıç noktasına olan duyarlılığı göstermiştir.
1976	Tien-Yien Li ve James Yorke yaptıkları yayında kaos terimini literatüre kazandırmıştır.

Fakat değişken sayısının ikiden fazla olduğu durumda sistemin kararsız bir hal almasından dolayı olaya nasıl bakılacağı zor bir probleme dönüşmüştü. Örneğin, gezegen sayısı bir artırıldığında denklemlerle ifade edilse bile gezegenlerin bir sonraki yörüngeleri tahmin edilemiyordu. Matematikçi Henri Poincaré bu problemde gezegenlerin yörüngelerinin tahmin edilemez karmaşıklıkta olduğunu ispat etmiştir. Daha sonraki yıllarda Lorenz hava durumu tahmini için bilgisayar yardımıyla yaptığı hesaplamalarda farklı başlangıç koşullarının sonuçlarda muazzam derecede farklılık oluşturduğunu tespit etmiştir.

Bilgi gizliği veya güvenlik gerektiren ortamlarda bulunabilecek kişilerin kimlik tespitinin doğru şekilde yapılması önem arz etmektedir. Bu konuda biyometrik sistemler diğer yöntemlere kıyasla daha fazla tercih edilmektedir. Biyometrik sistemler içerisinde en başarılı sonuçlar iris tanıma sistemleri ile alınmaktadır. Birçok kişinin kayıtlı olduğu bu sistemlerde verilerin işlenme süresini azaltmak büyük fayda sağlar. Literatürde iris tanıma işlemindeki her bir basamak için kullanılan farklı yöntemler mevcuttur.

Herhangi bir nesneyi bilgisayar ortamında anlaşılır hale getirmek için üç temel aşama vardır. Bunlar görüntüdeki nesnelerin iyileştirilmesi, özelliklerinin çıkarılması ve amaca göre yorumlanmasıdır. Bu aşamalardan olan öznitelik çıkarma işlemi için bu çalışmada farklı bir yöntem sunulmuştur.

Tez çalışmasında, düzensizliğin düzenini ifade eden kaos ile iris yapısı ilişkilendirilmiştir. Böylece irisin karmaşık ve mükemmel yapısını modelleme sürecine farklı bir bakış açısı kazandırılmış ve irisin kaotik bir yapı içerip içermediği analiz edilmiştir. Elde edilen kaotik veriler irislerin gruplara bölünmesinde öznitelik olarak kullanılmıştır. Bu şekilde, eşlenecek verinin daha az veri içerisinden aranması hedeflenmiştir.

UBIRIS.v1 veri setinden [1] alınan görüntülerden sadece iris bölgesi üzerinde analiz yapılacağı için istenilen bölgenin ayrılması gerekir. İrisin göz bebeği ve göz akı arasında bulunması sebebiyle Daugman tümleşik-türev operator (TTO) ile piksellerin kontrast farkından yararlanarak göz bebeği ve irisin sınırları bulunur. Daha sonra dairemsi yapıda elde edilen iris lastik levha (rubber sheet) metodu ile dikdörtgen yapıya dönüştürülür. Elde edilen yapı, kaotik analizinin yapılması için öncelikle zaman serisine dönüştürülmüş ve faz uzayına geçirilmiştir. İrisin yapısının kaotik bir yapı olup olmadığını analiz etmek için Lyapunov üstelleri hesaplanmıştır. Her bir iris için elde edilen Lyapunov üstelleri iris görüntülerini özetleyen bir özniteliktir.

İris tanıma uygulamalarında kullanılan özneliğin boyutu birçok açıdan önemlidir. Öznitelik vektörünün büyük olması arama işlemlerinde hız ve zaman açısından sorun teşkil ederken çok alan kapladığı için veri tabanlarında depolama problemi oluşmaktadır. Öznitelik vektörünün çok küçük olması durumunda ise irisleri ayırt eden özellikler azalmış olur. Bu durum analizde tutarlı sonuçlar elde edilmesini zorlaştıracaktır.

Bu tez çalışmasında, irisin kaotik olduğu MATLAB ve TISEAN araçları kullanılarak hesaplanan Lyapunov üstellerinden en büyüğünün pozitif olmasıyla ispat edilmiştir. Bundan sonraki aşamada kaotik olması sonucunda elde edilen sonuçlar kümeleme sürecinde kullanılabilir mi sorusuna cevap aranmış ve elde edilen verilerin sınıflandırmadaki başarısı ölçülmüştür.

### **1.1 Literatür Araştırması**

Göz irisi tanıma sistemlerinde kullanılan en güvenilir biyometrik özelliklerden biridir. İrisin dış etkenlere karşı daha korunaklı olması, yapısının insanın hayatı boyunca değişmiyor olması gibi sebeplerle kimlik tanıma sistemlerinde kullanılmaktadır. İrisin sahip olduğu bu özellikler iris tanıma üzerine birçok çalışma yapılmasını sağlamıştır. İris tanıma alanında Daugman [2] ve Wildes [3]'in geliştirdikleri yöntemler bu alanda ilklerden olup büyük başarı ortaya koymuşlardır. Daugman, yönteminin patentini alarak birçok ülkede kişi tanıma sistemlerinde kullanılmasını sağlamıştır.

Daugman görüntüden iris bölgesini ayırmak için tümleşik-türev operatörü kullanmıştır. Eşleme aşamasında aynı boyutta veriler üzerinde işlem yapabilmek için bölütlenen görüntü kutupsal koordinat sistemine (polar coordinate system) dönüştürülmüştür. Öznitelik çıkarımı aşamasında ise 2B-Gabor süzgeci ve faz kodlamadan faydalanılmıştır. Sonuçta elde edilen 2048 bitlik ikili-kod Hamming mesafesi yöntemi ile karşılaştırılarak eşleme yapılmıştır.

İris tanıma konusunda yüksek başarı elde eden diğer bir yöntem Wildes ve arkadaşları tarafından ortaya konmuştur [3]. Yöntemde Hough dönüşümü ile iris bölütleme işlemi yapıp farklı çözünürlüklerle oluşturulan Laplacian piramitleri ile iris kodu üretilmiştir. Eşleme için değiştirilmiş normalleştirilmiş korelasyon yöntemini kullanmıştır.

Günümüzde de iris tanıma üzerine yapılan çalışmalar devam etmektedir. Yakın zamanda Waheed [4] tarafından geliştirilen yöntemde göz bebeğinin siyahlığından yararlanılarak morfolojik işlemlerle iris konumu belirlenmiştir. Yapılan görüntü iyileştirme işlemlerinden sonra görüntü 10\*10 piksellik boyutlarda 100 bölüme ayrılmış ve her bölüm için standart sapma değeri hesaplanmıştır. Elde edilen standart sapma değerleri yapay sinir ağları için girdi olarak kullanılmış, %90 oranında başarı elde edilmiştir.

Açık kaynak kodlu yazılım geliştiren Masek [5], bölütleme için Hough dönüşümüne dayanan; göz kapakları, kirpikleri ve yansımaları kapatan; dairesel iris ve göz bebeği bölgesini belirleyebilen otomatik bir sistem oluşturmuştur. Çıkarılan iris bölgesini görüntüleme tutarsızlıklarını giderecek şekilde sabit boyutlara sahip dikdörtgen bir blok haline dönüştürmüştür. Son olarak, 1B Log-Gabor filtrelerinden elde edilen faz verileri çıkarıp irisin kendine özgü modelini ikili bir biyometrik şablona kodlamak için dört seviyeye kadar nicelleştirmiş, her pikselin faz değeri iki bit (0 ve 1) şeklinde elde edilmiştir.

İris şablonlarının sınıflandırılması için Hamming mesafesini kullanmış ve istatistiksel bağımsızlık testinin başarısız olduğu durumda şablonların eşleştiğini belirlemiştir. 624 görüntü içeren veri setinde yapılan testler %0,005 yanlış kabul ve %0,238 yanlış reddetme oranları ile sonuçlanmıştır.

[6]'daki çalışmada Daugman'ın kullandığı tümleşik-türev operatörü iris bölgesinin tespiti için kullanılmıştır. İrisin yapısını ortaya çıkarmak için 1-bit dönüşümü (1-BD) uygulanmıştır. Çıktı olarak elde edilen ikili iris görüntüsüne açısız radyal parçalama (ARP) uygulanarak görüntü bölgelere ayrılmaktadır. Bölgelerin her biri için hesaplanan kenar sayıları iris için özellik vektörü olarak kullanılmıştır.

İris tanıma sisteminde tanıma yapılacak iris görüntüsü, veri setindeki tüm iris görüntüleriyle tek tek eşlenmektedir. Bu durum, veri tabanlarında çok sayıda veri içeren sistemlerde işlem süresinin artmasına sebep olmaktadır. Bu problemin çözümü üzerine yapılan çalışmalardan biri Qiu ve arkadaşları [7] tarafından geliştirilmiştir. Yöntemde iris görüntülerinin ayrıntı olmayan genel özellikleri elde edilmeye çalışılmıştır. Bunun için 2B-Gabor filtresi ile görüntüler filtrelenmiştir. Çıkan değerler k-ortalama (k-means) yönteminde öznitelik olarak kullanılmıştır. Veriler beş gruba ayrılmış ve %95 oranında doğru sınıflandırma yapıldığı gözlenmiştir.



Fu ve arkadaşları [8] yaptıkları çalışmada irisleri renklerine göre sınıflandırmışlardır. Geliştirdikleri dokuz yapay renk filtresini iris görüntülerine uygulayarak elde ettikleri görüntülerdeki değeri 1 olan pikselleri saymışlardır. Bu piksellerin en çok bulunduğu filtrelenmiş görüntünün renginin filtre için tanımlı olan renk olduğu belirlenmiştir.

Patil [9] yönteminde iris tanıma sistemlerinin işlem süresini azaltmak amacıyla iris verilerini dört sınıfa ayırmıştır. İris bölgesi rastgele dairesel kontur metodu ile belirlenmiş, ardından Daugman'ın yöntemiyle boyutu 256x64 olan kutupsal koordinat sistemine çevrilmiştir. Oluşan görüntünün orta kısmı ve alt kısmı sekizer bölgeye ayrılarak iki grup oluşturulmuştur. Toplamda 32x32 boyutunda 16 bölge elde edilmiştir. Her bir bölge için kutu-sayma (box-counting) yöntemiyle kaotik yapı analizlerinde de kullanılan fraktal boyutu hesaplamıştır. İki grubun fraktal boyut değerlerinin ortalamasını alıp, iki grup için belirlediği eşik değerleri ile kıyaslayarak iris görüntülerini sınıflandırmıştır. Ortalama %92 oranında başarımla elde etmiştir.

Kaos ilk olarak 1960'ların başında meteoroloji uzmanı Edward Lorenz tarafından matematiksel modelleme ile gözlemlenmiştir. 1970'li yılların sonrasında ise kaos teoremine ilgi artmış ve bilim adamları tarafından farklı birçok alanda kaotik yapı incelemesi yapılmış, elde edilen veriler geleceğe yönelik tahmin, sınıflandırma, tanıma, hastalık tespiti gibi amaçlar için kullanılmıştır.

Kızılkaya [10] uyku apnesi rahatsızlığı üzerine yaptığı çalışmasında horlama sinyallerinin kaotik analizini yapmıştır. Horlama seslerinin kaotik yapı göstermesine dayanarak en büyük Lyapunov üsteli (EBLÜ) değerlerini hesaplamıştır. Üstel değerinin yanı sıra iraksama eğrisinin ortalama değeri ve en yakın yanlış komşu yüzdesi parametrelerini de kullanarak sınıflandırılma amacıyla kullanılacak öznelik değerlerini elde etmiştir. İleri beslemeli yapay sinir ağına belirlenen öznelikleri girdi olarak verip sınıflandırma işlemi yapmıştır. Uygulamanın başarımla oranı %98,29 olarak elde edilmiştir.

Alzaymır ve vasküler demans hastalarında lineer olmayan elektroensefalografi (EEG) aktivitesi ve değerlendirmesi yapan yazarlar [11], hasta ve sağlıklı denek grubunun EEG'lerinin korelasyon boyutu ve en büyük Lyapunov ss değerlerini hesaplamıştır. Bazı elektrotlardan alınan sinyallerden elde edilen korelasyon boyutu değerlerinin Alzaymır ve vasküler demans hastalarında sağlıklı gruba göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Alzaymır hastalarından alınan bazı elektrot sinyallerinde ve vasküler demans hastalarının tamamında Lyapunov üsteli değerlerinin sağlıklı kişilere göre düşük olduğu belirlenmiştir. Bu doğrusal olmayan EEG analizlerinin bu hastalıkların incelenmesinde faydalı olabileceği düşünülmektedir.

[12]'deki çalışmada konuşma seslerinin steganalizinde kaotik özelliklerin etkisi araştırılmıştır. İncelemede znelik olarak hatalı komşular oranı ve Lyapunov üstelleri değerleri kullanılmıştır. ıkan sonuçlar steganalizde kaotik özelliklerin ayırt edici olduğunu göstermektedir.

Gz seğirmesi ve göz kırpması ayırımı üzerine ilk kez Lyapunov üstelleri ve iraksama logaritması ortalaması kullanılarak bir araştırma yapılmıştır [13]. Faz uzayının oluşturulması için öncelikle öz ilinti (otokorelasyon) fonksiyonu ile zaman gecikmesi hesaplanmış, hatalı en yakın komşu algoritması ile de gömme boyutu belirlenmiştir. Sonuçta %97.1 oranında başarı elde edilmiştir.

## **1.2 Tez Düzeni**

Literatürde iris tanıma, sınıflandırma ve farklı sistemlerde kaotik analizler üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada da literatürde daha önce üzerinde çalışılmamış olan iris görüntülerinin kaotik yapı gösterip göstermediği analiz edilmiştir. İnceleme sonucunda iris görüntülerinin kaotik yapı gösterdiği belirlenmiştir. Son olarak irisin kaotik yapıda olduğunu gösteren en büyük Lyapunov üstelleri kullanılarak iris görüntüleri dört sınıfa ayrılmıştır.

Tez bölümleri řu şekilde sıralanmıştır:

İkinci bölümde, irisin yapısı ve iris tanıma ve sınıflandırma sürecindeki işlemlerden bahsedilmiştir. nc bölümde, kaos kavramı anlatılmıştır. Bölümün alt başlıklarında kaotik yapının tespitinde kullanılan faz uzayı, faz uzayı oluşturma parametrelerinin hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan ortalama karşılıklı bilgi fonksiyonu ile hatalı en yakın komşuluk yöntemi ve Lyapunov stellerinin tanımı ve

nasıl kullanıldığı açıklanmıştır. Diğer bölümde, geliştirilen yöntemin uygulama aşamaları ve elde edilen üstel değerleri ve sınıflandırma sonuçları aktarılmıştır. Son bölümde, yapılan çalışmanın faydalarından bahsedilmiş, sonuçlar değerlendirilmiştir.





## 2. İRİS TANIMA

Biyometrik sistemler yüz, parmak izi, retina, iris, ses, yürüyüş gibi kişileri birbirinden ayırabilen insandaki fizyolojik ve davranışsal farklılıkları inceler. Biyometrik sistemlerde amaç her bir insana ait özel bilgileri, finansal işlemlerde, uluslararası sınır geçişleri, pasaport kontrolü gibi birçok güvenlik uygulamalarında kişisel kimlik niteliğinde kullanmaktır. Bu tezde biyometrik özelliklerden olan iris üzerinde çalışma yapılmıştır.

İris tanıma yüksek ayırt ediciliğe sahip olması sebebiyle özellikle yüksek güvenlik gerektiren alanlarda kullanılmaktadır. Hollanda, Birleşik Arap Emirlikleri, Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Hindistan gibi ülkeler havaalanlarında kimlik tespiti için iris tanıma sistemini kullanmaktadır.

Biyometrik sistemlerden iris tanımanın temel özellikleri:

- İrisin dış etkilerden korunması, zamanla bozulmaması ve değiştirilememesi
- İris deseninin rastgele oluşması
- Genetiğin göz rengi haricinde etkisinin olmaması
- Gözün insanın yaşamını yitirmesinin ardından canlılığını en çabuk (3 sn) kaybeden organ olması
- Görüntü alımında cihazla birebir temasın olmaması

İris tanıma yönteminin dezavantajları:

- Yakın mesafeden görüntü alınması ve boyutunun küçük olması
- Göz bebeğinin boyutunun değişiminden etkileniyor olması
- İrisin önünde başka bir sıvı bir yapının olması
- Kirpik ve göz kapakları nedeniyle görüntü alımı sırasında iris görüntüsünün engellenmesi

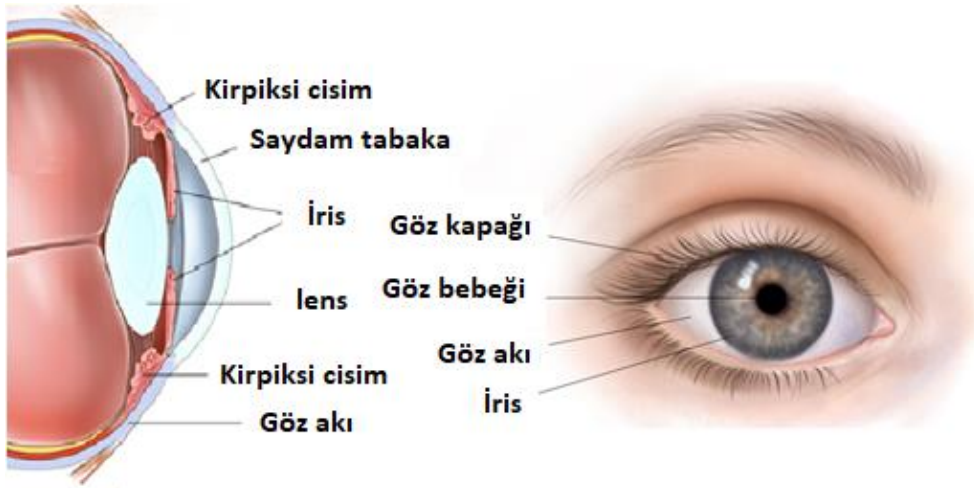
## 2.1 İris Tanıma Tarihçesi

1936'da göz doktoru olan Frank Burch, iris örüntüsünün ayırt edici özellik olarak kullanılma kavramını öne süren kişidir [14]. 1953'te Francis H. Adler irisin küçük mimarisini incelediğinde, insanların farklı parmak izleri olduğu gibi irisin de birçok kombinasyonları sonsuz bir dizi şeklinde kişiden kişiye farklılık göstereceğini klinik ders kitabında anlatmıştır [15].

1987'den sonra ise irisin biyometrik tanıma sistemlerinde kullanılması fikrini orataya koyup patentini alan Dr. Leonardo Flom ve Dr. Aran Safir, irislerin benzer doku özelliğine sahip olup olmadığı üzerinde çalışmışlardır. Ayrıca parmak izi ve yüz tanımda belirli noktaların bulunması ile tanımlama yapılırken iris tanımda ise özellikle desen arama yapılarak tanımlama yapılmıştır. Bu fikirlerinin uygulamadaki karşılığı John Daugman'ın temel algoritmaları geliştirmesi ile gerçekleşmiştir [14, 16, 17].

## 2.2 İrisin Yapısı

İris, gözde dairesel bir yapıya sahip olan ve katmanlardan oluşan renkli kısımdır. Görevi ise göz bebeğinin çapına bağlı olarak retinaya gelen ışığın miktarını ayarlamaktır. Tanıma sistemlerinde irisin tercih edilmesinin temel sebebi irisin anatomik yapısındaki ayırt edici özelliklerdir.



Şekil 2.1 : Gözün anatomisi.

İris deseni, halka şeklinde rastgele, kıvrımlı olan dokuların birbirine bağlanması ile insandan insana farklılık gösteren bir yapıdadır. İrisin yanlarında göz bebeği (karanlık bölge) ve göz akı (parlak bölge) yer alır. Önünde kornea (saydam tabaka) arkasında ise mercek bulunur. İnsan gözünün anatomisi Şekil 2.1'de gösterilmiştir [18].

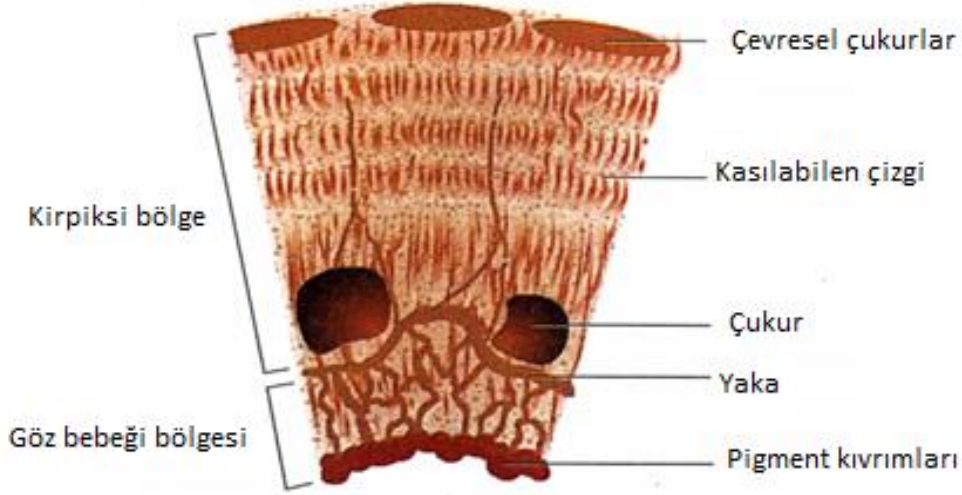
Kornea, ışığı odaklamak ve gözün koruması gibi görevleri olan bir zarıdır. Yapısı saydam olduğundan dolayı irisin rengi gözükür. Göz akı, göz küresinin arkasındaki büyük bölümü oluşturan sert ve sağlam bir yapıya sahiptir.



Şekil 2.2 : Göz kaslarının hareketi.

İrisin arka katmanında iki farklı kas tipi vardır. Birincisi sfinkter olup göz bebeğine yakın bölgede bulunan dairesel liflerden oluşmuştur. İkincisi dilatör olarak adlandırılan, göz bebeğinden irisin köküne radyal olarak uzanan liflerdir. İris, sfinkter ve dilatör kasların kasılması ile göz bebeği üzerinde farklı etkiler oluşturur. Böylece retinaya gitmesi gereken ideal ışık miktarını ayarlar. Eğer ışık miktarı fazla ise Şekil 2.2'de görüldüğü gibi sfinkter kasların daralması sonucunda göz bebeği küçülür. Bu şekilde retinaya giden ışık miktarı azaltılır. Yakın bir nesneye bakıldığı zaman da aynı etki oluşur. Aksi durumlarda ise dilatör kaslar kasılarak göz bebeğinin büyümesini sağlar. Sonucunda ise retinaya giden ışık miktarı artar.

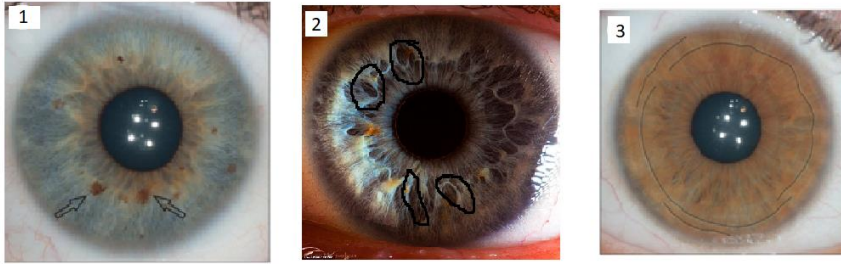
İrisin ön kısmının anatomik yapısı biyometrik veri olarak kullanılabilmesini sağlamaktadır. İrisin etkileyici ve karmaşık yapısını anlayabilmek için Şekil 2.3'te gösterilen irisin mikroskobik seviyede katmanlı yapısını analiz etmek gerekir.



**Şekil 2.3 :** İrisin katmanlı yapısı.

İris iki temel bölgeden oluşur. İlki göz bebeği bölgesi (pupillary zone) diğeri ise kirpiksi bölgedir (ciliary zone). Yaka (collarette) ise bu iki bölgenin sınırlarını oluşturan en kalın çizgidir. Göz bebeği bölgesinde yer alan pigment kıvrımları (pigment frill) iris ile göz bebeği arasındaki sınırı belirleyen kıvrımlı katmandır.

Yaka bölgesi, çıkıntılar (furrow) ve yoğun pigment kümelerini içerir. Pigment benekleri (pigment spot) ve çukurlar (crypts) irislerin birbirlerinden farklı olmasını sağlayan önemli özelliklerdir. Pigment benekleri Şekil 2.4(1)'de özellikle kirpiksi bölgesinde pigment hücrelerinin rastgele yerlere yoğunlaşmasıdır. Koyu renkli olup ben veya çil olarak adlandırılır.



**Şekil 2.4 :** İrisin ön kısmının anatomik yapısı.

Şekil 2.4(2)'deki çukurlar, esnek ve kesik kesik yapısından dolayı göz bebeğinin boyutunun değişmesine imkân sağlar. Çukurlar irisin arka tabakası nedeniyle koyu renklidir. Şekilde görüldüğü gibi irisin üzerinde ya da yaka yakınlarında bulunur. Pigment beneklerinde olduğu gibi bazı gözlerde bulunan kasılabilen çizgiler (contraction furrows) Şekil 2.4(3)'te görülmektedir.



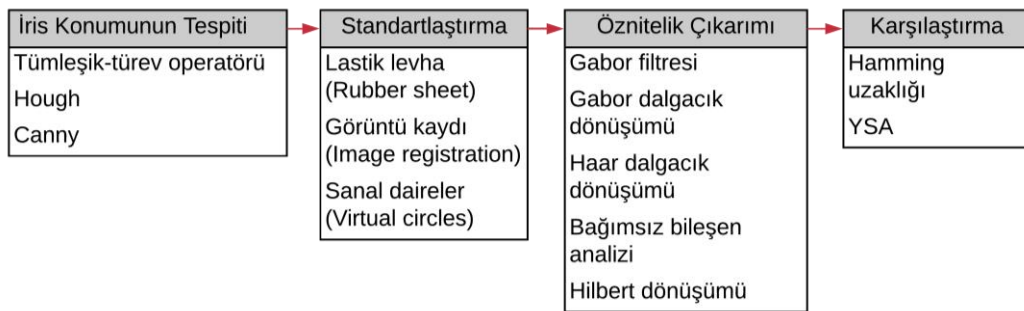
İrisin arka katmanında irise rengini veren pigmentli hücreler bulunur. İristeki pigmentasyon oranı çok olduğunda ışık pigmentli hücreler tarafından emilerek koyu renkli bir iris, az olduğu durumda ise gelen ışık emilemeyip arka epitel dokudan yansıtacağı için açık bir renk oluşacaktır.

İrisin birçok ilginç özelliği vardır. İnsanın embriyo gelişimi esnasındaki ortama göre şekillendiği için her insana has bir yapıya sahiptir. Yapısının çok karmaşık ve rastgele dokulardan oluşması sistemin rastgele bir model olduğunu ifade eder. İris göz rengi gibi genetik olarak belirlenmediği için epigenetiktir. Bunlardan dolayı iris tek yumurta ikizlerinde bile farklılık oluşturarak insanlar arasında ayırım yapılma işleminde güvenilir bir özelliktir. Ayrıca aynı insanın bile sağ ve sol gözü farklıdır [19].

İrisin yapısının daireler, lekeler, benekler, çukurlar gibi 250'den daha fazla belirleyici desenden oluşması kuvvetli ayırt edici niteliğinde olduğunu gösterir. Göz bebeği yarıçapı iris yarıçapının %10 ile %80'i aralığında değişebilir. Dairesel yapıda olan iris ve göz bebeğinin merkezleri arasında az bir fark bulunmaktadır [16].

### 2.3 İris Tanıma Algoritması

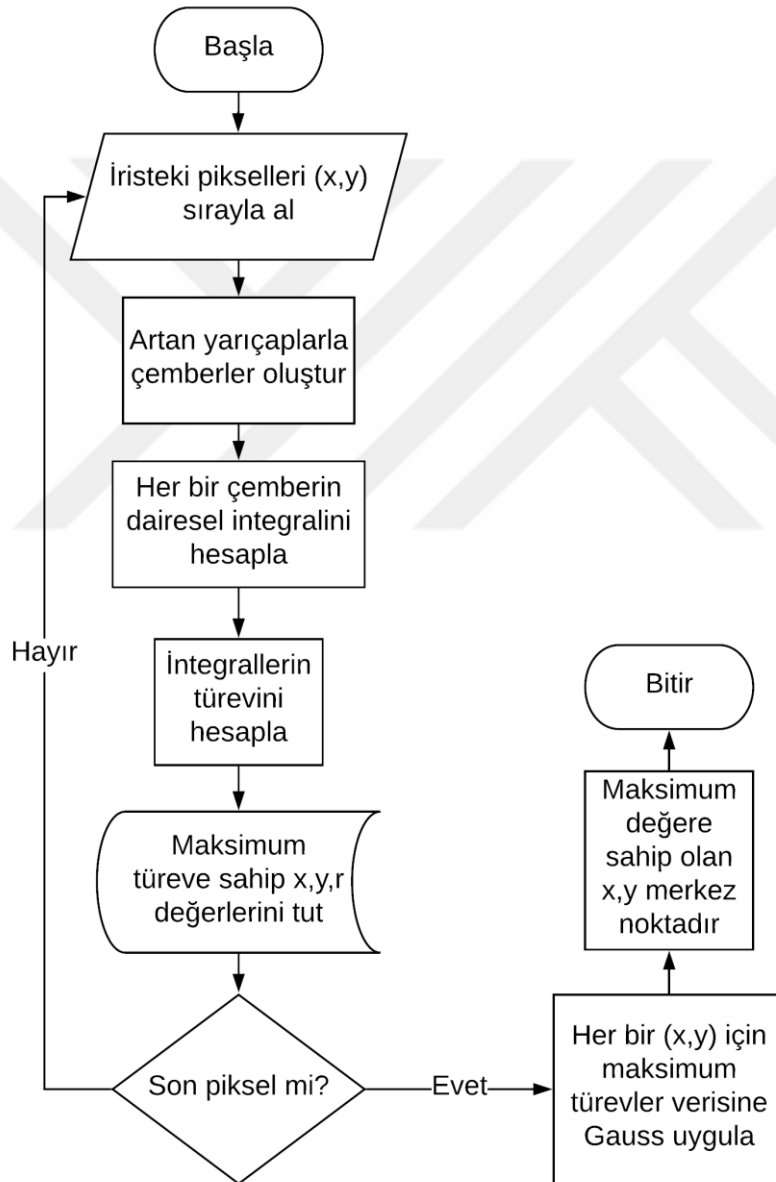
Daugman iris tanıma için gerekli bütün adımları oluşturmuş ve uygulama haline getirmiştir. Günümüzde geçerliliğini koruyan bu algoritmanın işlem basamakları ve bu basamaklar için geliştirilen bazı yöntemler Şekil 2.5'te özetlenmiştir.



Şekil 2.5 : İris tanıma basamakları.

### 2.3.1 İris konumunun belirlenmesi

Kişilerden alınan görüntülerde iris bölgesiyle birlikte göz kapağı ve göz akı gibi bölgeler de bulunmaktadır. Analiz sürecinde ise sadece iris bölgesinin olduğu kısım ilgi alanıdır. Bundan ötürü irisin istenilmeyen diğer bölgelerden ayrıştırılması gerekir. Ayrıştırma işlemi sonucunda iris ve göz bebeğinin dış sınırları belirlenir. Sınırların belirlenmesinde görüntülerdeki piksel yoğunluklarının farklılığından yararlanır.



Şekil 2.6 : Daugman tümleşik-türev operatörü akış diyagramı.

Bu tez çalışmasında iris konumunun belirlenebilmesi için Daugman'ın tümleşik-türev operatörü (2.1) kullanılmıştır. TTO iris görüntülerinin birinci türevini alarak, göz bebeği ve irisin merkez koordinatları ve çapının bulunmasını sağlar. Algoritmanın otomatik çalışması için tüm iris resimlerinin aynı boyuta sahip olması gerekir.

$$\max_{r,x_0,y_0} \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \int_{r,x_0,y_0} \frac{f(x,y)}{2\pi r} ds \right| \quad (2.1)$$

$G_\sigma(r)$  :  $\sigma$  standart sapmaya sahip Gauss fonksiyonu

$f(x,y)$  : iris görüntüsü

$(x_0, y_0)$  : daire merkez koordinatı

$\int_{r,x_0,y_0}$  : dairesel integral

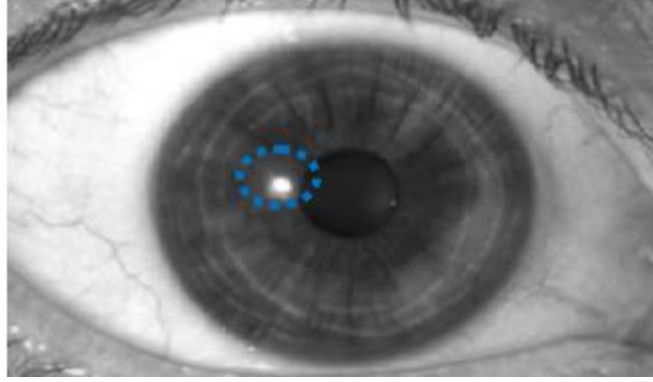
$s$  :  $r, x, y$  parametreleri ile hesaplanan çember konturu

Tümleşik-türev operatörü dairesel integral, türev ve Gauss fonksiyonlarından oluşur. İristeki tüm piksellerde  $(x, y)$  artan yarıçaplar  $(r)$  ile oluşturulan dairelerin üzerindeki pikseller toplanıp dairenin çevresine bölünerek dairesel integral hesaplanır. Daire üzerinde toplanması gereken piksellerin koordinatlarının bulunması için (2.2) eşitliğinden faydalanılır.

$$x_0^2 + y_0^2 - r_0^2 = 0 \quad (2.2)$$

Merkez olabilecek her bir  $(x, y)$  nokta aday  $r$  yarıçapı artırılarak hesaplanır.  $r$  yarıçapına ait olan dairesel integral  $r-I$  ait dairesel integralden çıkarma işlemi yapılır. Bu işlem formülde türev kısmına denk gelir. Bir  $(x, y)$  aday merkez koordinatına ait yarıçap sayısı kadar dairesel integrallerin türevleri saklanır. Bu değerlerden maksimum yarıçapına ait olan alınır. Bu işlem tüm  $(x, y)$  değerleri için yapılır. En son olarak da tüm  $(x, y)$  koordinatına ait  $r$  yarıçaplarının en büyük olanı yarıçap  $(x, y)$  koordinatları da merkez olarak alınır.

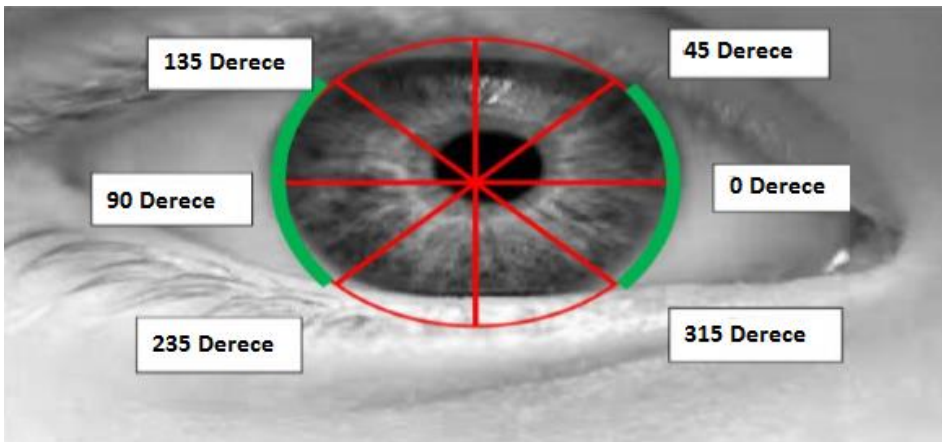
Bu yöntem hem türev operatörü hem de daire tespitinden dolayı Hough algoritmasına benzerlik göstermektedir. Göz kapaklarını ise tümleşik-türev operatöründe daire yerine eğri kullanarak tespit eder.



**Şekil 2.7 :** Işık yansımaları örnek resim.

Şekil 2.7'de görülen mavi çizgi içerisindeki ışık yansıması, TTO tarafından bulunun iris sınırlarını iki farklı yönde olumsuz etkileyecektir. Birincisi, ışığın yansıdığı yerde gerçek veri yerine yüksek yoğunluğa sahip veri gelerek veri kaybı oluşturacaktır. İkincisi, ışıktan etkilenen bölgenin çevre piksellerle olan yoğunluk farkı artacaktır. Bu nedenle tümleşik-türev operatörü, parlak olan kısımdaki dairesel piksel değerleri toplamı maksimum olacağı için irisin ve göz bebeğinin sınırlarını yanlış bulacaktır. Işıktan etkilenen bölge morfolojik işlemlerle, çevre piksellerin yoğunluk değerleri dikkate alınarak doldurulup ışık yansımaları giderilir.

TTO kullanılmadan önce göz akı ile iris arasındaki renk farkının artırılması ve irisin sınırlarının bulunmasını zorlaştıracak gürültülerin temizlenmesi için eşikleme, morfolojik işlemler gibi yöntemlerin uygulanması gerekir.



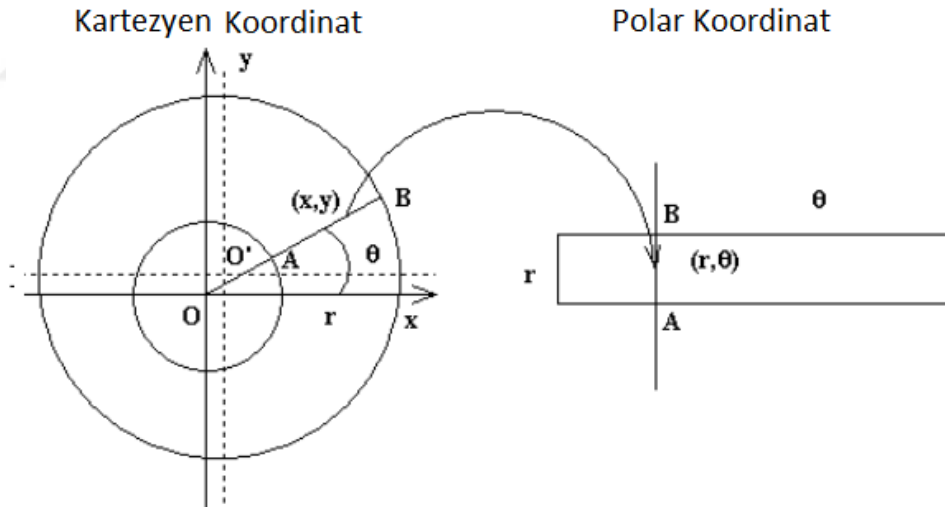
**Şekil 2.8 :** İris alma açıları.

İrisin üst kısmında göz kapağı, irisin daireselliğini bozacak şekilde irisin üstüne gelirse iris sınırlarının bulunmasında başarısız sonuçlar elde edilecektir. Daugman'ın bu probleme çözümü ise dairesel türevin tespiti için Şekil 2.8'de belirtilen açıların kullanımınıdır. Böylece göz kapaklarına denk gelmeyen yeşil renk ile çizilen kısım alınır.

### 2.3.2 Normalleştirme

Işıktan etkilenen göz bebeğinin büyümesi, kameranın göze olan uzaklığı, görüntü alınırken başın eğik durması, göz bebeği ile irisin merkezinin aynı olmaması ve gözün farklı açılardan çekilmesi gibi etkenler aynı insana ait irislerin boyutlarında farklılıklar oluşturacaktır.

İki farklı iris deseninin karşılaştırma yapmadan önce piksel değerlerinin pozisyonlarının aynı koordinata denk gelmesi gerekir. Bunun için gerekli ölçekleme işleminin yapılması gerekir. Bu işleme normalleştirme (standartlaştırma) denir. Çalışmada kullanılan yöntem ise lastik levha (rubber sheet) temelli bir modeldir.



Şekil 2.9 : Daugman lastik levha modeli.

Daugman'ın lastik levha modeliyle iris daire yapısından dikdörtgen yapıya dönüştürülür (Şekil 2.9). İris görüntüsündeki yarıçap ve açı dikdörtgenin boyutunu belirler.

Kartezyen koordinat, uzayda  $x$  ve  $y$  koordinatlarında gösterilmelidir. Kutupsal (polar) koordinat ise noktanın açısı ve merkeze olan uzaklığını ölçen yarıçapa sahiptir. Böylece kutupsal koordinattan kartezyen koordinata, kartezyen koordinattan kutupsal koordinata dönüşüm yapılabilir.

İris görüntülerinde göz bebeği ile irisin merkez noktaları genellikle aynı konumda değildir. Bu sebeple kutupsal koordinat dönüşümünde, alınan verilerin açısal değere göre ölçeklenmesi gerekmektedir [5]. Ölçekleme işlemi denklem (2.3) ile yapılmaktadır.

$$r' = \sqrt{\alpha} \beta \pm \sqrt{\alpha \beta^2 - \alpha - r_i^2} \quad (2.3)$$

$$\alpha = o_x^2 + o_y^2 \quad (2.4)$$

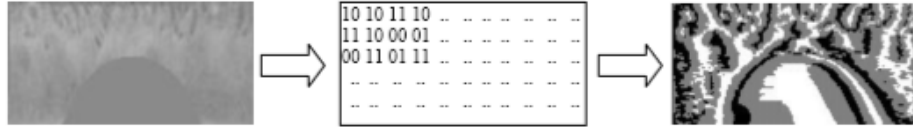
$$\beta = \cos(\pi - \arctan(o_y / o_x) - \theta) \quad (2.5)$$

Denklemden  $r_i$  irisin yarıçapıdır.  $\alpha$  ve  $\beta$  değerlerinin hesaplandığı (2.4) ve (2.5) eşitliklerinde  $o_x$  ve  $o_y$  göz bebeği merkezinin iris merkez koordinatlarına uzaklığını ifade etmektedir.  $r'$  ise  $\theta$  değeri için irisin dış kenar çizgisi ile göz bebeği dış kenar çizgisi arasındaki uzaklıktır.

Kutupsal koordinat dönüşümü ile görüntülerin alınması sırasında kameraya olan uzaklık, ortam ışığı vb. etkilerden dolayı oluşabilecek ölçekleme hataları yok edilmektedir. Bu şekilde öznitelik çıkarımında oluşabilecek hatalar azaltılmış olacaktır.

### 2.3.3 Öznitelik çıkarma

Bu aşamada irisin etkileyici dokusundaki bazı veriler ayıklanarak yapıyı özetleyen ayırt edici özelliklerin çıkarılması temel amaçtır. Öznitelik çıkarma, karşılaştırma işlemi için büyük verilerden küçük veri parçalarının elde edilme sürecidir. Literatürde öznitelik çıkarma işlemi için genel olarak filtre kullanılır. Bunlardan en çok tercih edilen dalgacık filtreleridir.



**Şekil 2.10 : İris kod.**

Bu aşamada, uygulanan Gabor dalgacık algoritması ile bir önceki aşamada elde edilen dikdörtgen şeklindeki iris görüntüsünün her bir pikseli iki bit ile tanımlanır. İkili bitlerden oluşan bu yapı iriskod olarak adlandırılır. Örneğin, kartezyen-kutupsal dönüşümünde belirlenen dikey ve yatay örnek sayısı  $256*40$  ise iriskod  $250*40*2$  bitlik öznitelik matrisi olacaktır. Bu tez çalışmasında özniteliklerin çıkarılması, irisin faz uzayının oluşturulması sonucu elde edilen en büyük Lyapunov üsteli değerlerinden oluşmaktadır.

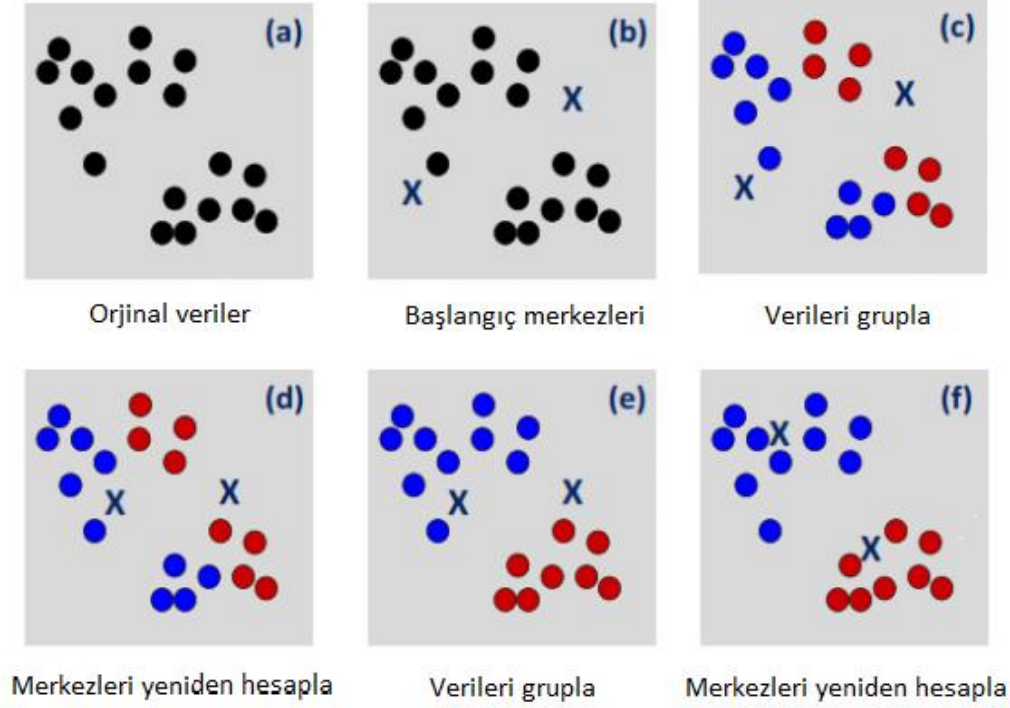
#### **2.3.4 Karşılaştırma**

İris desenlerinin benzerlik veya farklılıkları çeşitli algoritmalarla hesaplanması sonucu belirlenen eşik değeri ile karşılaştırılarak aynı kişiye ait olup olmadığına karar verilir.

Karar vermede bit temelli (bitwise) verilere uygulanabilen Hamming mesafesi (HM) yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, iki görüntü verisi arasında hangi bitlerin aynı olduğunu ölçen istatistiksel bir karşılaştırma yöntemidir. Bu yöntemde kıyaslanacak görüntülerden elde edilen bitlerin XOR işlemiyle karşılaştırması yapılarak iki görüntünün aynı kişiye ait olma olasılığı hesaplanır.

#### **2.3.5 Kümeleme ve sınıflandırma**

İris tanıma yöntemleri irislerdeki karakteristik özellikleri ortaya çıkararak her iris için ayırt edici nitelikleri bulmaya çalışırlar. Fakat bu işlem eşleme yapılacak iris verisinin bütün veri setiyle tek tek kıyaslanmasını gerektirir. Özellikle veri setinin çok büyük olduğu durumlarda bu işlem çok fazla zaman almaktadır. Veri tabanlarını farklı alt gruplara bölerek yeni gelen verinin daha az veri içerisinde aranması işlem hızını artırıp hesaplama karmaşıklığını azaltacaktır.



**Şekil 2.11** : Kümeleme işlemi basamakları.

Tezde kümeleme için k-ortalama (k-means) yöntemi kullanılmıştır (Şekil 2.11). K-ortalama yöntemi ile veri seti k adet gruba bölünür. Bu yöntemle, her grup kendi içinde benzer veriler içerirken gruplar arası benzerliğin ise en az seviyede olması sağlanır. K değerinin ne olacağına dair geliştirilmiş bazı algoritmalar olmakla birlikte çoğunlukla verilerde denemeler yapılarak karar verilir.

$$\mu_j = \frac{1}{|S_j|} \sum_{x_i \in S_j} x_i \quad (2.6)$$

K-ortalama algoritmasında k adet küme ( $S_1, S_2, \dots, S_K$ ) için rastgele başlangıç noktaları merkez olarak alınır. Verilerin ( $x_1, x_2, \dots, x_N$ ) belirlenen k adet merkeze olan uzaklıkları hesaplanır. Her veri en yakın olduğu merkezin bulunduğu kümeye dahil edilir. Ardından her kümenin ortalaması ( $\mu_j$ ) hesaplanır ve böylece kümeler için yeni merkez noktaları belirlenmiş olur. Başlangıçta yapılan işlem tekrarlanarak her verinin bu yeni merkezlere olan uzaklıkları hesaplanarak kümeler güncellenir. Hesaplanan ortalama değerlerinde artık herhangi bir değişimin olmadığı durumda iterasyon sonlandırılır.



Çalışmada iris görüntülerinin bir kısmı eğitim, kalanlar ise test için ayrılmış ve eğitim verileri k-ortalama yöntemiyle kümelendi. Ardından, test verisinin aynı kişinin eğitim verisinin bulunduğu kümeye girip girmediği incelenmiştir. Aynı gruba dâhil olma durumuna bakılarak verilerin sınıflandırılma başarımı ölçülmüştür.





### 3. KAOS TEORİSİ

İnsanın yaratılışından gelen bir geleceği bilme isteği vardır. Bu istek, insanın geleceği tahmin ederek çevresindeki süreçleri yönetim altına alma çabasını ortaya çıkarmıştır. Yer bilimciler yeryüzünde oluşan sismik dalgalar, gaz birikmeleri gibi bilgilerden faydalanarak deprem zamanını; biyologlar canlı nüfuslarındaki değişimleri; meteoroloji uzmanları dünya hava akımları, nem oranı vb. bilgilerle hava durumunu tahmin etmek isterler [20]. Evrende gerçekleşen çoğu olay ise birçok parametreye bağlı, çözümlemesi zor olan karmaşık durumlardır. Fakat bu karmaşa kendi içinde bir düzeni de barındırmaktadır. Bu tip karmaşık, gelecekte nasıl bir davranış göstereceği tahmin edilemeyen fakat determinist (belirlenimci) olan sistemler kaotik sistem olarak adlandırılmaktadır. Kaotik sistemler doğrusal olmayan dinamik bir yapıya sahiptir [21]. Kaotik sistemlerin en temel özellikleri [22, 23];

- Periyodikimsi yapı sergilemeleri
- Başlangıç koşullarına olan aşırı duyarlılık
- Deterministlik

Dinamik bir sistemin geçmişteki davranışını bire bir tekrar etmemesi fakat geçmişte aldığı değerlere yakın değerler alabiliyor olması sistemin periyodikimsi bir davranışa sahip olduğunu gösterir.

Kaotik sistemlerdeki parametre değerlerinde oluşan en ufak bir farklılık sistemin büyük tepkiler vermesine sebep olmaktadır. Örneğin, ağaçtan kopan bir yaprak düşerken; yer çekimi, yaprağın ağırlığı, anlık olarak değişen rüzgâr hızı, hava sıcaklığı gibi birçok parametre tarafından etkilenmektedir. Yaprığın tam olarak nereye ve ne zaman düşeceğini bilmek için yaprağa etki eden tüm parametrelerin değerlerini en hassas doğrulukta bilmek gerekir. Kaotik sistemler doğrusal olmadıkları için yapılacak en ufak bir hata zamanla üstel olarak artacaktır [24].

Sistemin parametre deęerleri bilindięinde yapraęın nereye ve ne zaman dūseceęinin hesaplanabiliyor olması olayın deterministik olduęunu yani rastgelelik ięermedięini gōsterir. Fakat tūm parametre deęerlerinin en hassas Őekilde Őlęölmesi mūmkūn deęildir. Őlęölme yapılacak en ufak bir hata beklenmedik bir sonuę oluŐturacaktır. Bundan dolayı bu tip olaylar Őngörülemez bir yapısı sahiptir ve kaotiktir.

Kaotik sistemlerin analizinde Newton'un temellerini attığı klasik deterministik yaklaŐımlar yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple kaotik sistemlerin analizi için yeni algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalar yaygın olarak kullanılanları Poincaré haritalama, Lyapunov üstelleri ve fraktal boyut analizidir [25].

### **3.1 Dinamik Sistemler**

Dinamik sistemler zamanla değişim gōsteren sistemlerdir. Hava olayları, bir sarkacın hareketi, denizde oluşan dalgalar, insan beynindeki aktiviteler dinamik sistemlere Örnek verilebilir.

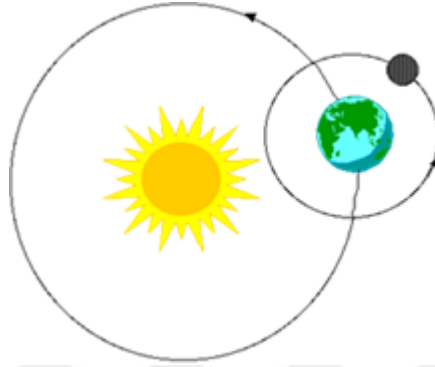
Dinamik bir sistemin zaman içinde sahip olduğu değişim belirli bir kurala bağlı ve alacağı değerler her durum sonrası tek bir değerse bu sisteme doğrusal (linear) dinamik sistem denir. Bu yapılarda sistemin değişkenleri birbirlerini etkilemezler ve sistem modellenmesi doğrusal diferansiyel denklemlerle yapılır. Örneğin bir sisteme uygulanan dış etki artırıldığında sistemin üreteceği sonuçta aynı oranda artıyorsa sistem doğrusal bir yapıdadır. Eğer sistemin üreteceği sonuçta artış aynı oranda değilse veya azalma varsa sistem doğrusal değildir.

Doęrusal olmayan dinamik sistemler genelde karmaŐıktır. Doęrusal olmayan (nonlinear) denklemlerle tanımlanabilen bu sistemlerin analitik çōzūmleri genellikle zordur. Bu sebeple doęrusal olmayan dinamik sistemler ięin geometrik çōzūmler geliŐtirilmiŐtir.

### **3.2 Kaos Teoremi Tarihęesi**

17. yūzyılda geliŐtirdięi teoride Isaac Newton, bir sistemin baŐlangıę deęerleri bilinebiliyorsa sistemin gelecekteki durumun da bilinebileceęini belirtmiŐtir. Bu teori determinist yaklaŐım olarak bilinir [25, 26].

Newton aynı dönemde, bugün 2-cisim problemi olarak bilinen problem üzerinde çalışmıştır. Bu problemi çözerek dinamik bir yapı gösteren, güneş ile dünya arasındaki etkileşimi matematiksel olarak modelleyebilmiştir. Dünyanın sahip olduğu eliptik yörünge de bu çözümden ortaya çıkmıştır. Newton'un 3-cisim problemini, yani güneş, dünya ve ayın birbiri ile olan etkileşimini, çözmek için yaptığı çalışmalar ise sonuçsuz kalmıştır.



**Şekil 3.1** : Poincaré 3-cisim problemi.

İlerleyen dönemlerde Euler, Gauss gibi ünlü bilim insanlarının 3-cisim problemi üzerine yaptığı çalışmalar da başarısızlıkla sonuçlanmıştır. 19. yüzyıla gelindiğinde Fransız matematikçi olan Jules Henri Poincaré bu problemin çözümünü keşfetmiştir. Poincaré problemin çözümünde matematiksel hesaplamaların yanı sıra günümüzde faz uzayı olarak bilinen geometrik bir yaklaşımdan da yararlanmıştır. Yaptığı çalışmalar sonucunda sistemin öngörülemez karmaşıklıkta olduğunu belirtmiş.

Poincaré'ın bu keşfi o dönemdeki bilim çevreleri tarafından ilgi görmemiştir. Bunun temel sebebi 1900'lerin başında, klasik mekanik konusu olan kuantum mekaniği, izafiyet kuramı gibi konular üzerine yoğunlaşmış olmasıdır.

1960'lı yıllarda Amerikalı bir matematikçi ve meteorolog olan Edward Lorenz kaos kuramını asıl ortaya çıkaran kişi olarak bilinir. 1950'li yıllarda bilgisayarın keşfi matematiksel hesaplamaları kolaylaştırması açısından bilim insanları için büyük bir keşif olmuştur.

Lorenz, hava tahmini üzerine çalışma yaparken bilgisayarına gireceği başlangıç değerlerindeki ondalık kesir kısmının üç basamak sonrasını önemsemeyerek eksik girmiştir. Bilgisayarın hesaplamaları bitirmesiyle çıkan sonuçların beklediği sonuçlardan çok farklı olduğunu gözlemlemiştir. Başlangıçta bu değişimin bilgisayardaki hesaplama hatasından kaynaklandığını düşünse de aslında hava durumunun başlangıç değerlerine karşı hassas bir yapıda olmasından dolayı sonuçların farklı çıktığını fark eder.

Dünyanın herhangi bir yerindeki bir kelebeğin kanat çırpmasının Amerika'da fırtınaya sebep olabileceği benzetmesi *kelebek etkisi* olarak tanımlamıştır. Lorenz yaptığı çalışma hakkında yazdığı makalede *deterministik aperiodyik akım* terimini kaosu ifade etmek için kullanmıştır. Günümüzde kullanılan *kaos* sözcüğü ise, Jim Yorke ve birlikte çalıştığı bilim adamları tarafından 1975 yılında literatüre kazandırılmıştır.

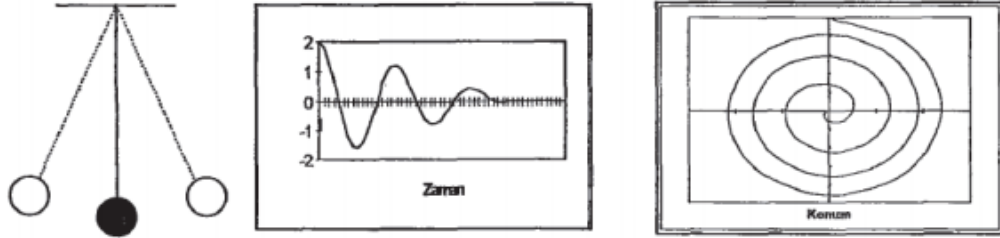
### 3.3 Faz Uzayı ve Çekerler

Doğrusal olmayan dinamik sistemlerin çözümlenmesi için yoğun olarak geometrik metotlara başvurulmaktadır. Geometrik bir yöntem olan faz uzayı, bir sistemde sistem değişkenlerinin alacağı değerlere karşılık sistemin ürettiği sonuçların temsil edildiği grafiklerdir [28]. Faz uzayı, durum uzayı olarak da isimlendirilmektedir. Faz uzayı ile sistem değişkenlerinin birbirleriyle ilişkili olan davranışları gözlenebilmektedir.

Bir sistemin faz uzayı üzerinde takip ettiği yol yörünge olarak adlandırılır. Faz uzayı, matematiksel modeli olmayıp sadece zaman serileri bulunan sistemlerin analiz edilmesini de mümkün kılmaktadır.

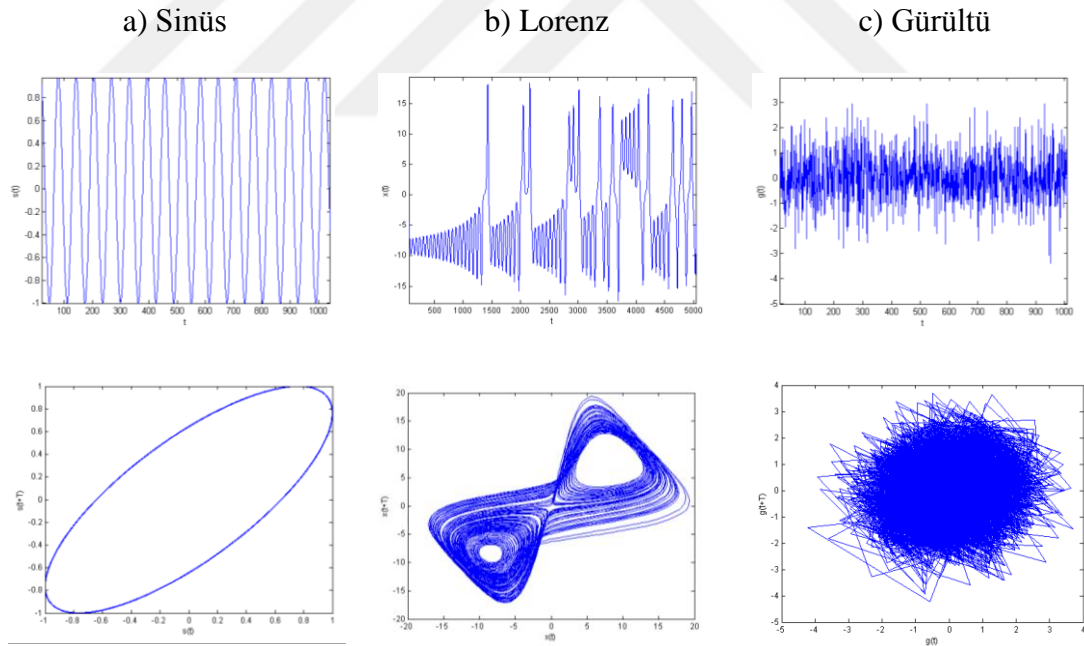
Dinamik sistemlerde, faz uzayındaki yörüngeler belirli merkez noktalar tarafından çekiliyormuş gibi bir örüntüye sahip ise bu yapıya *çeker* denilmektedir. Korolasyon boyutu (fraktal boyut) kesirli sayı olan, diğer bir ifadeyle kaotik yapı gösteren çekerlere ise *garip çeker* adı verilmektedir. Garip çekerlerde yörüngeler birbirlerinden üstel olarak uzaklaşırlar, faz uzayının sonlu bir hacminde sınırlı olarak kalırlar ve birbirleriyle çakışmazlar.

Urbach [27], iki veya daha az boyutlu bir faz uzayında karmaşıklığın yetersiz kaldığını, bu sebeple sadece sabit nokta veya limit çevrim çekerlerinin oluşabileceğini söylemiştir. Bu çalışmayla, dinamik bir sistemin kaotik özellik gösterebilmesi için en az üç boyutlu olması gerektiği gösterilmiştir.



**Şekil 3.2 :** Hareket eden sarkacın zaman serisi ve faz uzayı [29].

Basit bir sarkacın hareketi ile ortaya çıkan zaman serisi ve sarkacın zamanla değişen konumunun faz uzayı Şekil 3.2'de görülmektedir. Faz grafiğinde en basit çeker olan sabit nokta çekeri görülmektedir. Sarkacın başlangıç koşulu ne olursa olsun, bir süre sonra sarkaç denge konumuna gelecektir.

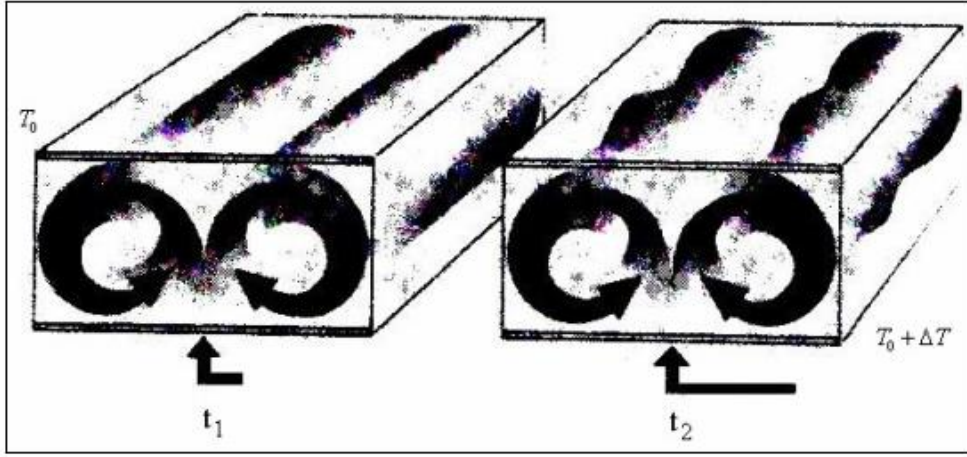


**Şekil 3.3 :** a) Periyodik (sinüs), b) kaotik (Lorenz), c) gürültü (rastgele) sinyalleri ve faz uzayları [24].

Şekil 3.3a'da görülen periyodik bir sinyalin faz uzayında, sinyal belirli aralıklarla aynı değerleri tekrar ettiği için yörüngeler üst üste gelmiştir. Kaotik bir sinyalde ise garip çekerin etkisiyle birbirine yakın geçen fakat örtüşmeyen yörüngeler oluşmuştur. Bu kaotik sinyallerin en belirgin özelliğidir. Rastgele (stokastik) bir sinyalin faz diyagramında da yörüngeler karmaşık olarak yerleşmiştir.

### 3.3.1 Lorenz çekeri

Edward Lorenz hava tahmini üzerine yaptığı çalışmasında atmosferde oluşan ısı aktarımı yapısının basit bir modelini oluşturan akışkanlarda konveksiyonu tanımlayan diferansiyel denklemleri incelemiştir [30].



Şekil 3.4 : Akışkanlarda ısı farkı ile oluşan konveksiyon.

Bu denklemler ve denklemlerdeki parametreler ve değişkenler (Çizelge 3.1);

$$\frac{dx}{dt} = \sigma(y - x) \quad (3.1)$$

$$\frac{dy}{dt} = x(\rho - z) - y \quad (3.2)$$

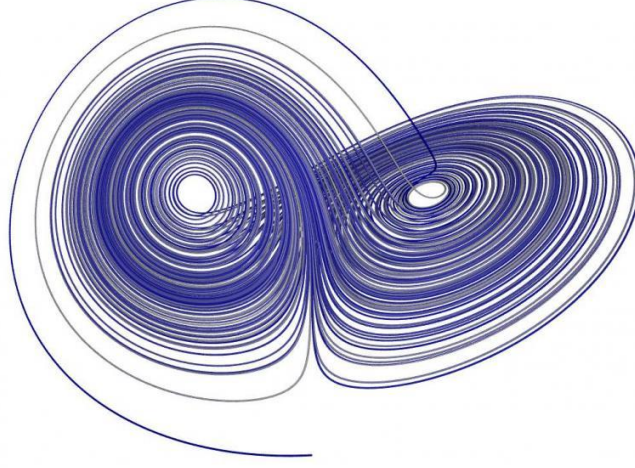
$$\frac{dz}{dt} = xy - \beta z \quad (3.3)$$

Çizelge 3.1 : Akışkanlarda konveksiyon denklemleri parametre ve değişkenleri.

Parametreler	Değişkenler
$\sigma$ : Prandtl sayısı	$x$ : Isıl aktarım
$\rho$ : Rayleigh sayısı	$y$ : Yatay sıcaklık değişimi
$\beta$ : Geometrik çarpan	$z$ : Hücredeki normal sıcaklıktaki sapma değeri



Eşitliklerin sol tarafındaki ifadeler değişkenlerin zamana ( $t$ ) göre türevini belirtir. Lorenz denklemleri doğrusal olmayan yapıda, adi diferansiyel denklemlerdir (ordinary differential equations). Ayrıca sistem determinist yapıdadır [30, 31].



**Şekil 3.5 :** Lorenz çekeri.

Bu denklemlerdeki parametrelerin aldığı değerlere göre sistem periyodik veya kaotik davranış gösterebilmektedir. Sistemin kaotik davranış göstermesini sağlayan parametre değerleri;  $\sigma=10$ ,  $\rho=28$  ve  $\beta=8/3$ . Parametre değerleri bu şekilde seçildiğinde sistem değişkenlerinde oluşan en ufak bir değişiklik sistemin çok farklı sonuçlar üretmesine neden olmaktadır. Üç bağımsız değişken bulunduğu için üç boyutlu oluşturulan Lorenz çekeri Şekil 3.5'te görülmektedir.

### 3.3.2 Faz uzayının yeniden oluşturulması

Diferansiyel denklemleri bilinen sistemlerde temelde, her bir eksene denklemin bir bağımsız değişkeni yerleştirilerek bağımsız değişken sayısı boyutunda bir faz uzayı oluşturulur.

Takens yaptığı çalışmada, sistemin sadece bir bağımsız değişkeninin bilgisi kullanılarak da faz uzayının oluşturulabileceğini ispatlamıştır. Buna *gecikmeli yerleştirme kuramı* (*delay embedding theorem*) denir [32, 33]. Ayrıca sistemin gerçek özelliklerinin gecikmeli yerleştirme kuramı ile oluşturulan faz uzayına doğru şekilde yansıtılabilmesi için  $M \geq 2d + 1$  koşulunun sağlanması gerektiği de belirtilmiştir. İfadede  $M$  gömme boyutu  $d$  ise sistemin gerçek boyutudur.

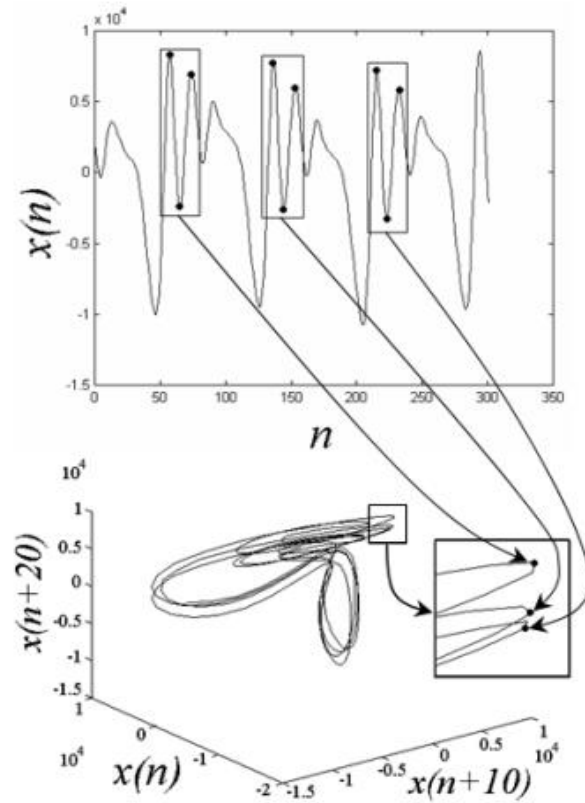
Bu yöntem, denklemleri tanımlanamayan sistemlerde kolaylıkla kullanılabilir. Bir sistemin bir süre boyunca alınan verileri ( $x$ ) üzerinde belirli bir miktar zaman gecikmesi ( $T$ ) uygulanarak elde edilen yeni sinyaller ile faz uzayı oluşturulur.

$$x = \{x_n, n = 1, 2, \dots, N\} \quad (3.4)$$

$$X = \{x_n, x_{n+T}, \dots, x_{n+(M-1)T}\} \quad n = 1, 2, \dots, N - (M - 1)T \quad (3.5)$$

$$X = \begin{bmatrix} x_{1+(M-1)T} & \cdot & x_{1+T} & x_1 \\ x_{2+(M-1)T} & \cdot & x_{2+T} & x_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_N & \cdot & x_{N-(M-2)T} & x_{N-(M-1)T} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

(3.5)'te genel tanımı yapılan eşitliğin ayrıntılı tanımı (3.6)'da gösterilmiştir.  $X$  matrisindeki her bir satır faz uzayındaki bir noktayı ifade etmektedir. İfadedeki her bir sütun ise faz uzayındaki koordinatları tanımlayan sinyallerdir. Şekil 3.6'da  $T=10$ ,  $M=3$  değerleri ile oluşturulan faz uzayında sinyalin periyodikimsi yapısı yörüngelerin birbirine benzer formda oluşmasını sağlamıştır.



Şekil 3.6 :  $T=10$  ve  $M=3$  parametreleri ile oluşturulan bir faz uzayı [34].

Zaman gecikmesi değerinin çok küçük seçilmesi, yörüngelerin birbirine çok yakın olmasına sebep olacak ve sinyalin faz uzayı geometrisi bozulacaktır. Zaman gecikmesi değerinin çok büyük olması ise yörüngelerin birbirinden bağımsız olmasına neden olacak ve faz uzayı geometrisinde saçılma meydana getirecektir. Zaman gecikmesi değerinin belirlenmesinde çoğunlukla ortalama karşılıklı bilgi ve öz ilinti fonksiyonları tercih edilmektedir [29].

Gömme boyutunun yeteri kadar yüksek seçilmesi sistemin doğru analiz edilmesi için önemlidir. Boyutun doğru belirlenmesi faz uzayı yörüngelerinin birbiriyle çakışmamasını sağlayacaktır. Genelde en yakın komşuluk yöntemi kullanılarak gömme boyutu hesaplanır [24].

### 3.4 Karşılıklı Bilgi Fonksiyonu

Faz uzayının elde edilmesi işleminde gecikme zamanının ( $T$ ) belirlenmesi için kullanılan Karşılıklı Bilgi Fonksiyonu (KBF) Shannon [35] tarafından geliştirilmiştir. Karşılıklı bilgi fonksiyonu ( $I_{xx_T}$ ) ile bir zaman dizisindeki geçmiş noktalardan gelecekteki noktaların ortalama tahmin edilebilirliği hesaplanır.  $I_{xx_T}$  değerinin sıfır olması iki verinin birbirinden bağımsız bilgi içerdiğini gösterir.

$$X=\{x(n):n=1,\dots,N\} \quad (3.7)$$

$$X_T=\{x(n+T):n=1,\dots,N\} \quad (3.8)$$

Shannon'un karşılıklı bilgi için tanımladığı (3.7) ve (3.8) eşitliklerinde  $X$  ve  $X_T$  sırasıyla asıl ve  $T$  kadar ötelenmiş seriler,  $x(n)$  ve  $x(n+T)$  ise bu serilerin elemanlarıdır. Karşılıklı bilgi fonksiyonu ( $I_{xx_T}$ ),  $X_T$  serisinin  $X$  serisi hakkında ne oranda bilgi içerdiğini ölçer.

$$I_{xx_T} = I_{X_T X} = \sum_{x(n),x(n+T)} P_{xx_T}(x(n),x(n+T)) \log_2 \left\{ \frac{P_{xx_T}(x(n),x(n+T))}{P_X(x(n))P_{X_T}(x(n+T))} \right\} \quad (3.9)$$

(3.9)'daki  $P_X(x(n))$  ve  $P_{X_T}(x(n+T))$ ,  $X$  ve  $X_T$  serilerinden sırasıyla  $x(n)$  ve  $x(n+T)$ 'nin seçilebilme olasılığıdır.  $P_{xx_T}(x(n), x(n+T))$  ifadesi ise  $X$  ve  $X_T$ 'nin birleşik olasılığını gösterir.

Doğrusal olmayan veri analizlerinde, bir zaman serisinin  $T$ 'nin artan değerleri ( $T=1,2,\dots$ ) ile hesaplanan karşılıklı bilgi değerlerinde ilk lokal minimumu oluşturan zaman gecikmesi bilgisi, faz uzayı oluşturulurken kullanılması gereken zaman gecikmesi için en uygun değer olacaktır [36].

### 3.5 Hatalı En Yakın Komşuluk

Doğrusal olmayan bir sisteme ait faz uzayı oluşturulurken yörüngelerin birbirlerini kesmeyeceği bir gömme boyutu seçilmelidir. Hatalı en yakın komşuluk yöntemiyle [37] gömme boyutunu belirlerken öncelikle  $m$ 'inci boyuttaki yörüngeler üzerindeki yakın komşu olan noktalar ( $x$  ve  $x^{NN}$ ) arasındaki Öklid uzaklığı ( $R_M(n)$ ) hesaplanır. Ardından  $(m+1)$ 'inci boyuttaki noktalar için de yakın komşular arasındaki mesafe hesaplanır.

$$R_M(n) = \sqrt{\sum_{m=0}^{M-1} [x(n+(m)T) - x^{NN}(n+(m)T)]^2} \quad (3.10)$$

$$\frac{\|x(n+(m+1)T) - x^{NN}(n+(m+1)T)\|}{\|x(n+(m)T) - x^{NN}(n+(m)T)\|} > \rho \quad (3.11)$$

(3.11) eşitliğinde elde edilen değer eşik değerinden ( $\rho$ ) büyükse komşuluk yanlış olarak işaretlenir. Eşik değeri Kennel ve arkadaşlarının farklı veriler üzerinde yaptığı çalışmalar sonucunda 10 olarak belirlenmiştir, fakat kesin ispatı olmadığından  $\rho = 10$  için anlamsız sonuçlar elde edildiğinde diğer  $\rho$  değerlerini de denemek gerekecektir.

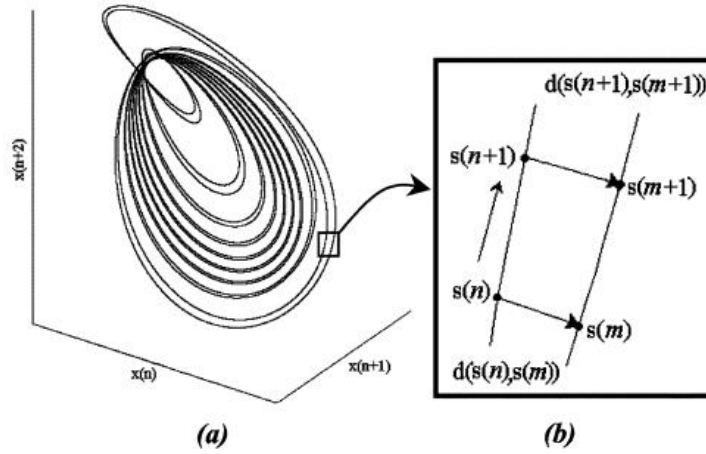
$$HKO = \frac{\text{Hatalı en yakın komşu sayısı}}{\text{En yakın komşuların toplam sayısı}} \times 100 \quad (3.12)$$

Tahmini gömme boyutu ile oluşturulan faz uzayındaki tüm noktalarda aynı işlemler yapıldığında, Hatalı Komşuluk Oranı (False Neighbourhood Fraction) değeri belirlenen eşik değerinden büyükse komşulukların çoğu hatalı olarak işaretlendiğinden tahmini gömme boyutu yetersiz demektir. Hatalı Komşuluk Oranı (HKO) koşulu sağlanana kadar gömme boyutu artırılarak faz uzayı oluşturmada kullanılacak ideal gömme boyutu elde edilir.

### 3.6 Lyapunov Üstelleri

Lyapunov üstelleri hesabı, dinamik sistemlerdeki kaotik yapıyı tanımlamada kullanılan en temel yöntemdir. Wolf ve diğ. yaptıkları çalışmayla deneysel zaman serilerinden Lyapunov üstellerinin hesaplanabileceğini göstermişlerdir. Çalışmada, kaotik sistemlerde başlangıç anındaki bilginin üstel bir hızla yok olduğunu, bu sebeple gelecekteki sistem davranışının tahmininin zorlaştığını ortaya koymuşlardır.

Lyapunov üstelleri matematiksel olarak faz uzayındaki birbirine yakın olan yörüngelerin zamanla ıraksama veya yakınsamalarının ortalama üstel oranlarını ifade eden niceliksel bir ölçüttür [38]. İraksama durumunda üstel değeri pozitif olurken, yakınsama durumunda negatif ve değişim gözlenmediği durumda ise sıfır olacaktır. Üstel değerlerinin büyüklüğü yörüngeler arasındaki mesafenin değişim hızını belirlerken, değerlerin büyük olması sistemin uzun vadede tahmin edilebilirliğinin daha zor olduğunu gösterir.



**Şekil 3.7 :** Üstellerin hesaplanması ((a) faz uzayı, (b) komşu iki yörünge) [21].

Şekil 3.7a'da zaman gecikmesi 1 olan 3 boyutlu bir faz uzayı görülmektedir. Şekil 3.7b'de,  $s(n)$  başlangıç referans noktası,  $s(m)$  ona en yakın komşu ve  $d(s(n),s(m))$  ise bu iki komşu nokta arasındaki Öklid uzaklığıdır. Devamındaki iki nokta arasındaki uzaklık ise  $d(s(n+1),s(m+1))$  ifadesiyle tanımlanmıştır.

$$\lambda = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \ln \frac{d(s(n+1),s(m+1))}{d(s(n),s(m))} \quad (3.13)$$

Denklem (3.13) ile faz uzayındaki her bir ( $N$  adet) nokta için aynı eksene denk gelen değerlerin Öklid uzaklıkları oranının logaritması hesaplanıp elde edilen değerler toplamının ortalaması alınarak Lyapunov üsteli bulunur. Bu işlem, faz uzayındaki bütün eksenler için tekrarlanır. Sonuçta  $M$  boyutlu bir sistem için  $M$  adet Lyapunov üsteli  $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M)$  hesaplanacaktır [39].

Wolf vd. tarafından geliştirilen yöntem veri miktarına ve gürültüye karşı hassastır. Rosenstein bu eksikleri gideren en büyük Lyapunov üsteli (EBLÜ) hesaplama yöntemini sunmuştur [40]. Geliştirilen bu yöntem küçük veri kümelerinde de çalışabilen, gürültüye hassasiyeti az olup güvenilir sonuçlar üreten, uygulanması kolay ve hızlı çalışan bir yöntemdir.

Rosenstein yönteminde de Wolf yönteminde olduğu gibi başlangıçta zaman serisinden faz uzayı oluşturulur. Oluşturulan faz uzayındaki yörünge için her bir noktasının en yakın komşuları Öklid uzaklıkları hesaplanarak belirlenir. En yakın komşu belirlenirken komşular arasındaki zamansal ıraksamanın (uzaklaşmanın yani indis farkının) ortalama periyottan büyük olması kısıtı da dikkate alınır. Böylece, bir noktanın komşusu belirlenirken ortalama periyottan daha yakın olan noktalar komşu nokta olarak hesaba katılmaz. Burada ortalama periyot, sinyalin güç spektrumunun ortalama periyodudur (frekansının tersidir).

En büyük Lyapunov üsteli, Wolf yöntemine benzer şekilde en yakın komşuların ortalama ayrılma oranı hesaplanarak belirlenir.

$$d_j(i) \approx C_j e^{\lambda_1(i \cdot \Delta t)} \quad (3.14)$$

En yakın komşu iki nokta arasındaki uzaklığın  $j$ . komşu uzaklığa gelindiğindeki ıraksama miktarı EBLÜ ile orantılıdır. Eşitlik (3.14)'te  $C_j$  başlangıç durumundaki komşu noktaların birbirine uzaklığı  $d_j$  ise  $j$ . komşu noktaların uzaklığıdır.

Denklemin her iki tarafının logaritması alındığında;

$$\ln d_j(i) \approx \ln C_j + \lambda_1(i \cdot \Delta t) \quad (3.15)$$

denklik (3.15) ile  $j = 1, 2, \dots, K$  için Lyapunov üsteli ile orantılı eğime sahip yaklaşık olarak birbirine paralel eğriler kümesi elde edilir.  $K$  gecikmeli yerleştirme kuramına dayanarak belirlenmiştir.

$$y(i) = \frac{1}{\Delta t} \langle \ln d_j(i) \rangle \quad (3.16)$$

Eğrilerden, denklem (3.16) ile ortalama değer ( $\langle \dots \rangle$ ) hesaplanarak elde edilen sonuçlardan (noktalardan) en küçük kareler yöntemiyle eğri oluşturulur. Bu eğrinin eğimi en büyük Lyapunov üsteli olarak belirlenir. Bu ortalama alma işlemi, diğer Lyapunov algoritmalarına kıyasla küçük ve gürültülü veri kümelerinde daha doğru değerleri hesaplamının temelini oluşturur.

### 3.7 İris Görüntüsünün Zaman Serisine Dönüştürülmesi

Bilim insanları farklı veri tiplerine sahip sistemleri yorumlayabilmek için farklı çözüm yöntemleri geliştirmektedir. Bazı veri tipleri için geliştirilen yöntemler sistemin çözümlenmesinde yetersiz kalmakta veya başka eksiklikleri barındırmaktadır. Bu duruma çözüm üretebilmek için incelenecek sistemin verisi farklı bir veri formatına dönüştürülüp veriler yeni yöntemlerle analiz edilmiştir. Zaman serilerinin görüntülere dönüştürülerek incelenmesi [41] ve görüntülerdeki nesne sınırlarının zaman serilerine dönüştürülerek yapılan nesne tanıma uygulaması [42] bu tarz dönüşümlere örnek gösterilebilir.

Bu tez çalışmasında da iris görüntüleri zaman serilerine çevrilerek tek boyuta indirgenmiş, zaman serileri için geliştirilmiş olan Lyapunov üstelleri hesaplama yöntemi görüntüler üzerine uygulanabilir hale getirilmiştir. Görüntülerin zaman serisine dönüştürülme işlemi dördüncü bölümde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.





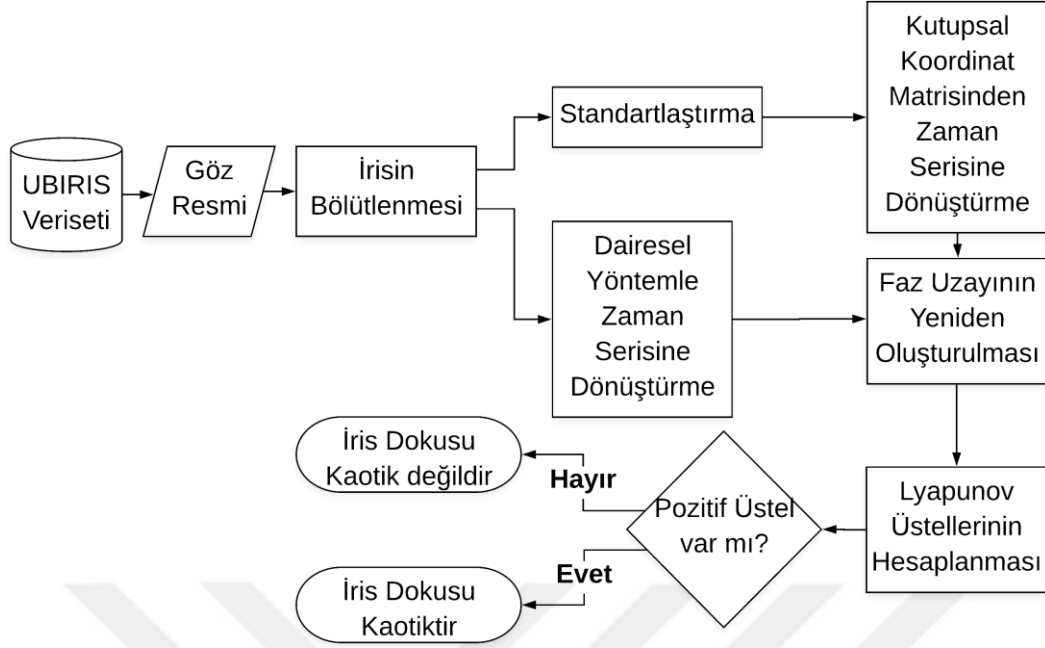
#### 4. İRİS GÖRÜNTÜSÜNÜN KAOTİK YAPI ANALİZİ

Bu bölümde, tez çalışmasının işlem basamakları detaylı olarak anlatılmıştır. Yapılan literatür araştırmasında, iris görüntülerinde kaotik yapı analizi üzerine herhangi bir çalışma bulunmaması tezin içeriğini özgün kılmaktadır. İris resimleri için toplam 241 kişiye ait 1877 görüntü UBIRIS.v1 [1] veri setinden alınmıştır. Resimler 24 bit, 800\*600 piksel çözünürlüğündedir. İki gruba ayrılmış olan veri setinde ilk grubun görüntülerinde odaklama, yansıma gibi sebeplerden oluşan gürültü miktarı çok daha azdır. Bu sebeple uygulamada ilk grup veri seti tercih edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : UBIRIS veri setinden örnek görüntüler.

Uygulama yazılımı MATLAB üzerinde geliştirilmiş, Lyapunov üstellerinin hesaplanması için açık kaynak kodlu TISEAN 3.0.0 (Time Series Analysis) paketinde bulunan *lyap\_spec* fonksiyonu kullanılmıştır. Sınıflandırma aşamasında kullanılan en büyük üstel değerleri ise MATLAB'te, Rosenstein'in algoritmasını geliştirdiği yöntemle hesaplanmıştır.



**Şekil 4.2 :** İriste kaotik yapı analizi akış diyagramı.

Geliştirilen yöntemde, Şekil 4.2'deki akış diyagramında görüldüğü gibi öncelikle göz resminden iris bölgesi bölütlenmiştir. Bölütlenen iris iki farklı yöntemle zaman serisine çevrilmiştir.

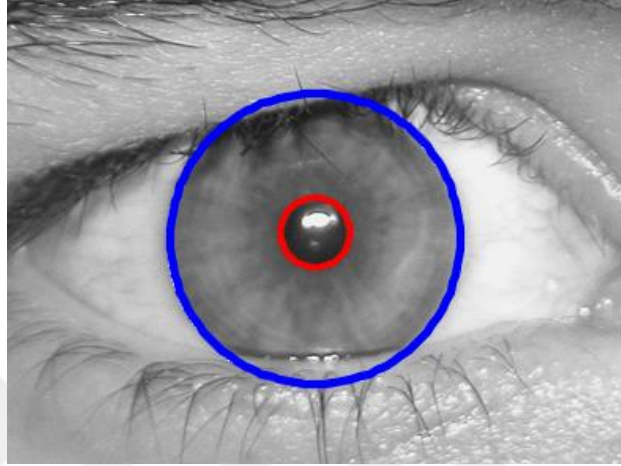
İlkinde, iristen art arda alınan dairelerin birleştirilmesi ile zaman serisi elde edilmiştir. Oluşturulan serinin üç boyutlu Lyapunov üstelleri hesaplanmış ve üstellerden en az birinin pozitif olduğu gözlenmiştir. İkincide ise zaman serisi, Daugman'ın irisi kutupsal koordinata dönüştürme yöntemiyle elde edilen matrisin satırları art arda birleştirilerek oluşturulmuştur. Serilerden hesaplanan en büyük üstel değerleri öznitelik olarak kullanılarak iris görüntüleri kümelenmiştir. Yapılan testlerde %85 doğrulukla sınıflandırma yapılmıştır.

#### 4.1 Göz Resminden İris Bölgesinin Çıkarılması

Lyapunov üstelleri hesaplanacak iris bölgesinin, göz bebeği ve iris dış sınırının bulunması (lokalizasyon) için Daugman'ın geliştirdiği ve yaygın olarak kullanılan tümleşik-türev operatörü tercih edilmiştir.

Daugman operatörü, yarıçapı ( $r$ ) ve merkezi ( $x, y$ ) değiştirerek piksel değerlerindeki türevin maksimum olduğu yeri arar. Operatör, Gauss yumuşatma miktarını devamlı azaltarak doğru konumu bulana kadar çalışır.

Tüm iris resminde yarıçap artırılarak elde edilen dairelerdeki piksellerin dairenin çevresine oranı bulunur. Her yarıçap artırıldığında iki komşu dairedeki piksel yoğunlukları ortalaması arasındaki fark kayıt edilir. Tüm aramaların sonunda, komşu konturlar arasındaki farkın en büyük olduğu konum irisin merkezi olarak belirlenir.  $x$ ,  $y$  ve  $r$  değişkenleri için yapılacak hesaplama sayısı  $x*y*r$  kadar olur. Her bir piksel için toplam yarıçap kadar arama sayısı gereklidir.

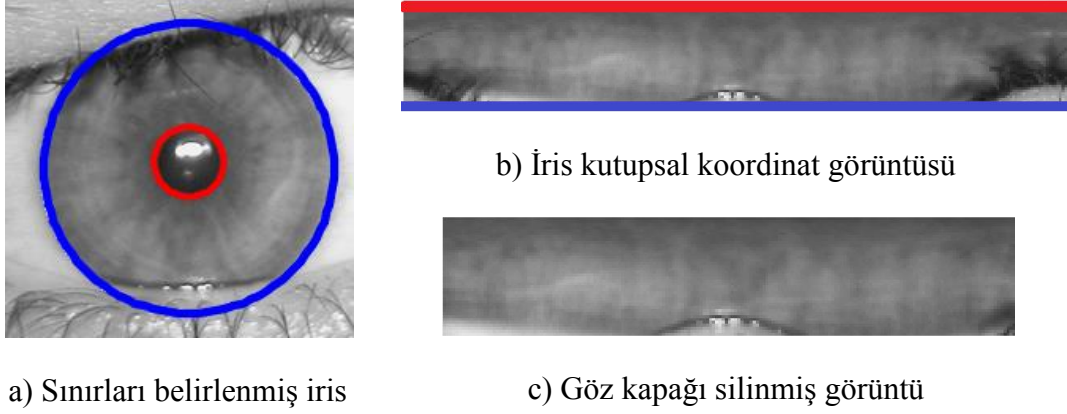


**Şekil 4.3 :** UBIRIS veri setinden iris sınırları belirlenmiş örnek bir resim.

Şekil 4.3'te veri setindeki bir görüntünün tümleşik-türev operatörü ile göz bebeği ve iris dış sınırları doğru bir şekilde tespit edildiği görülmektedir. Veritabanındaki görüntülerin az bir kısmında göz kapağının kapalı olması, göz bebeğinde büyük ışık yansımalarının bulunması, çekilen görüntünün bulanık çıkması ve göz bebeği ile iris arasındaki kontrastın düşük olması gibi sebeplerle lokalizasyon işlemi başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Bu durum ileriki aşamadaki öznitelik çıkarımını olumsuz etkilemiştir.

## 4.2 Normalleştirme

Göz bebeği farklı aydınlatma koşullarında büyüyüp küçülmektedir. Bununla beraber görüntü alınırken karşılaşılan durumlar da iris boyutlarının değişmesine neden olmaktadır. Normalleştirme (standartlaştırma) işlemiyle bu sorun çözülerek aynı kişiye ait iris görüntülerinde oluşacak farklılıklar azaltılmıştır. Tümleşik-türev operatörü ile dış sınırları ve merkezi bulunan iris, Daugman tarafından geliştirilen ve birçok çalışmada kullanılan yöntemle standartlaştırılmıştır.



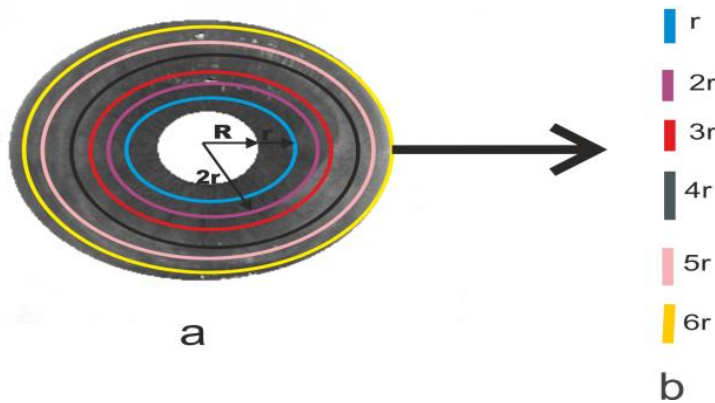
**Şekil 4.4 :** İrisin kutupsal koordinata dönüştürülmesi.

Yapılan çalışmada uygulanan lastik levha modeliyle iris bölgeleri  $40 \times 256$  boyutunda bir matrise dönüştürülmüştür (Şekil 4.4b). Göz resimlerinde iris bölgesinin bir kısmı göz kapağı tarafından örtülmektedir. Alınan iris bölgelerinde anlamsız bilgilerin olmaması için kutupsal koordinat matrislerinin sağ ve sol bölgelerinden toplam 72 sütunluk göz kapağının olduğu kısımlar silinmiştir (Şekil 4.4c).

### 4.3 İrisin Zaman Serisine Dönüştürülmesi

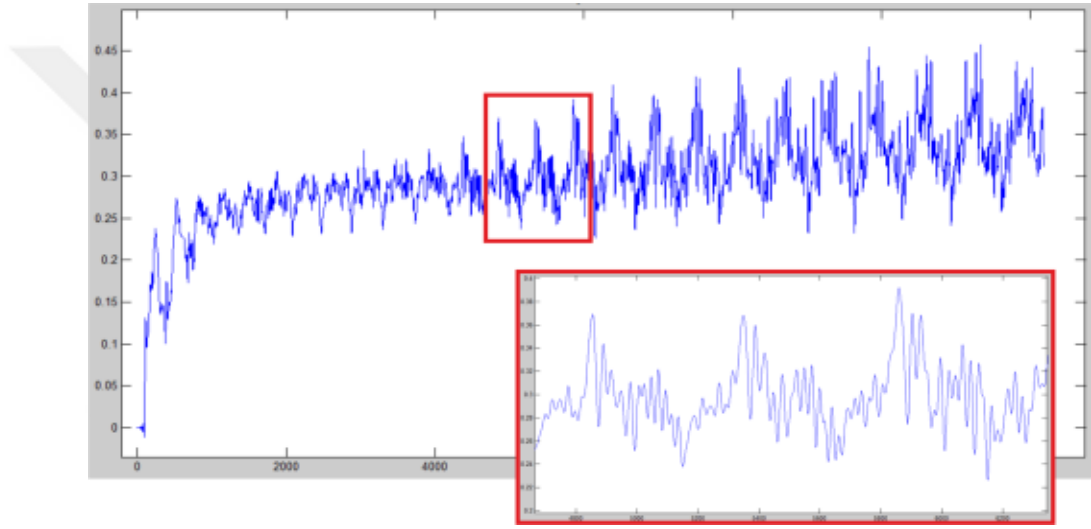
İki boyutlu olan iris görüntüleri zaman serilerine dönüştürülerek kaotik analizi yapılmıştır. Zaman serisine dönüştürme işlemi iki farklı şekilde yapılmış ve her ikisi için de sonuçlar incelenmiştir.

Uygulanan ilk yöntemde, dış sınırları belirlenen iris görüntüsünden belirli bir oranda artan yarıçaplarla daire kesitleri alınıp (Şekil 4.5a) bu kesitler art arda dizilerek birleştirilmiştir (Şekil 4.5b).



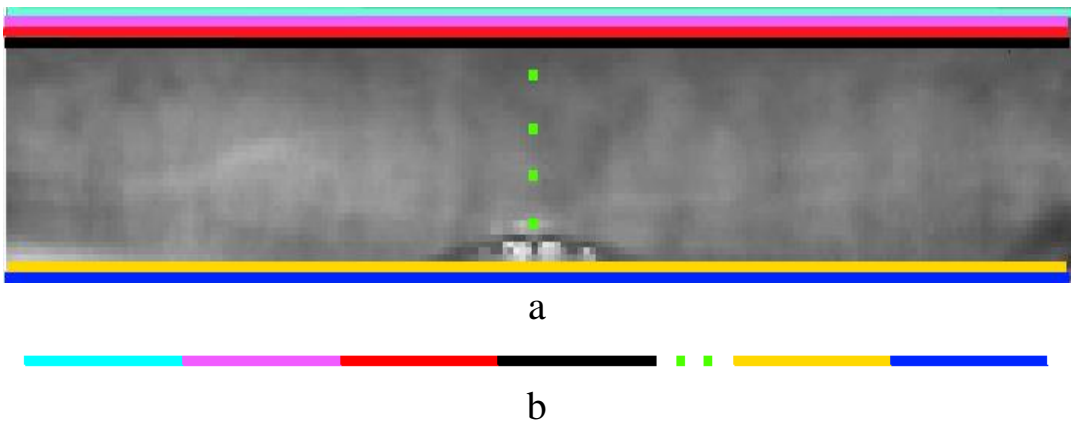
**Şekil 4.5 :** İristen dairesel veriler alma.

Şekilde görüldüğü gibi ilk daire göz bebeğine yakın konumdan alınıp piksel değerleri sıralı olarak yerleştirilip bir vektör elde edilmiştir. Vektörün devamına bir üst konumdaki çember pikselleri sıralanarak eklenmiştir. Bu işlem iris dış sınırına ulaşana kadar tekrarlanmıştır. Elde edilen zaman serisine gürültü gidermek için alçak geçiren filtre uygulanmıştır. Bu yöntemde, göz bebeğinin ışık etkisiyle çapının değişmesi veya kameranın görüntüleri çekme mesafesi gibi sebeplerle oluşacak olumsuz etkiler dikkate alınmamıştır. Bu sebeple, aynı kişiden alınmış farklı görüntülerden elde edilen zaman serilerinin benzerlikleri daha az olup, seri boyutları da farklılık göstermektedir. Şekil 4.6'da dairesel verilerle oluşturulan bir zaman serisi görülmektedir.



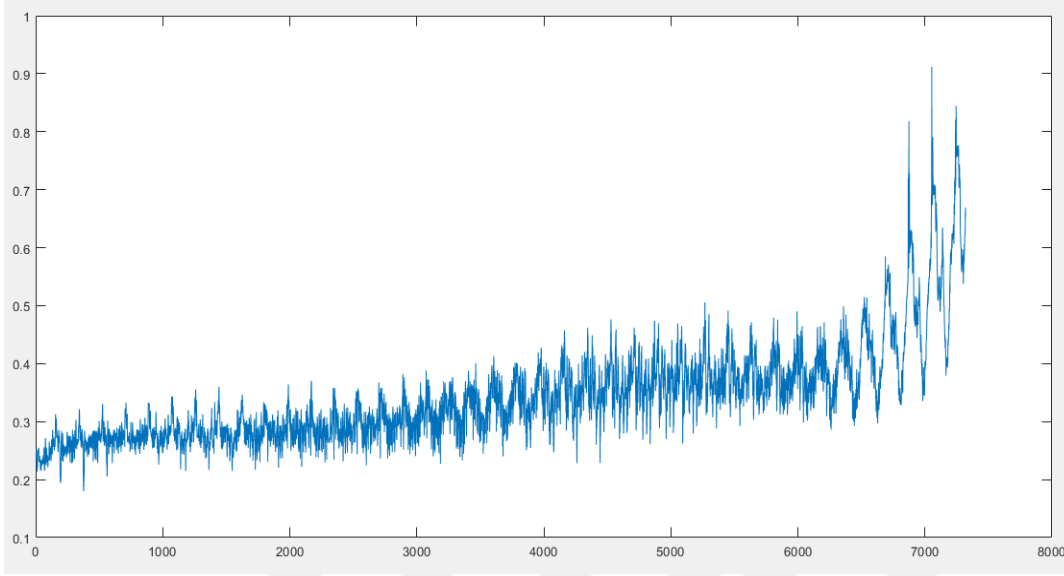
**Şekil 4.6 :** İristen alınan dairesel verilerin tek boyutlu vektörü.

Zaman serileri oluşturulurken aynı kişilerin verilerindeki benzerliğin daha fazla olmasını sağlamak için ikinci yöntemde kutupsal koordinat matrisi üzerinden zaman serisine dönüşüm yapılmıştır (Şekil 4.7).



**Şekil 4.7 :** Kutupsal koordinat matrisinden verilerin alınması.

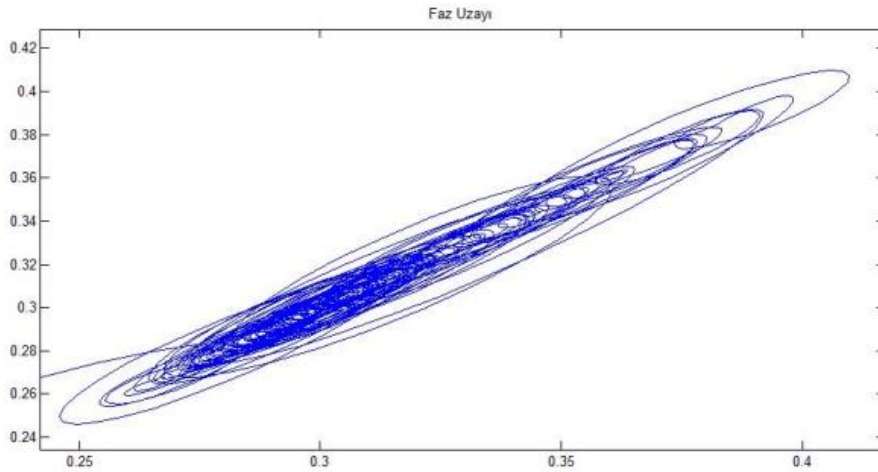
Göz kapağı bölgesi silindikten sonra 40 satırdan oluşan matrisin (Şekil 4.7a) göz bebeğine yakın olan kısmının bulunduğu ilk satırdaki veriler vektör olarak alınmıştır. Artan sırayla matris üzerindeki satırlardan alınan veriler art arda aynı vektörün devamına eklenmiştir (Şekil 4.7b). Sonuçta tüm iris resimleri için 7360 elemanlı vektörler elde edilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 : Kutupsal koordinat verilerinin zaman serisine dönüşümü.

#### 4.4 Faz Uzayının Yeniden Oluşturulması

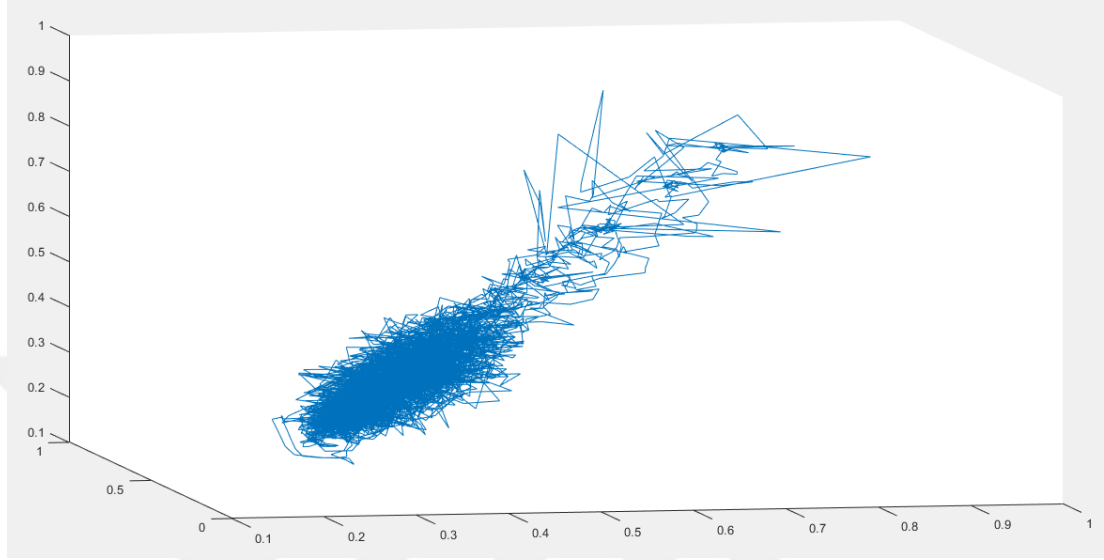
Zaman serilerinin kaotik yapıya sahip olma durumu, niceliksel bir hesaplama yöntemi olup kesin sonuçlar üreten Lyapunov üstelleri ile hesaplanmıştır. Lyapunov üstellerinin hesaplanabilmesi için seriye gecikme uygulanarak elde edilen yeni sinyaller kullanılarak faz diyagramı oluşturulmuştur.



Şekil 4.9 : İris görüntüsünün faz uzayı.

Şekil 4.9'da ilk yöntemde anlatıldığı şekilde dairesel veriler alarak elde edilen bir zaman serisinin iki boyutlu faz uzayı görülmektedir.

Geliştirilen diğer yöntem ile oluşturulan zaman serisinin gecikme ve gömme boyutu değeri 3 alınarak çizilen diyagramı ise şekildeki gibidir.



**Şekil 4.10 :** Kutupsal koordinat matrisinden oluşturulan serinin faz uzayı.

Faz diyagramının yeterli boyutta ve doğru gecikme zamanı ile oluşturulması serinin doğru analiz edilebilmesi için büyük önem arz etmektedir. Aynı kişinin iris görüntüleri için hesaplanan üstel değerlerinin birbiriyle tutarlı, farklı kişiler için ise birbirinden uzak değerler alacağı doğru gömme boyutu ve zaman gecikmesinin belirlenmesi için gömme boyutu  $m=3,4,\dots,14$  ve gecikme süresi  $t=2,3,\dots,16$  alınarak farklı değerler için en büyük Lyapunov üstelleri hesaplanmıştır. Bu değer aralığı sadece kutupsal koordinat verileri ile elde edilen zaman serilerine uygulanarak sonuçları incelenmiştir.

#### 4.5 Lyapunov Üstellerinin Hesaplanması

Belirlenen gecikme zamanı ve gömme boyutu değerleri ile oluşturulan faz uzayları üzerinde Lyapunov üstelleri hesaplanmıştır.

İristen daireler alınarak oluşturulan zaman serilerinden bazılarının üstel değerleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Veri tabanındaki 50 kişinin 5'er resmi üzerinde yapılan incelemelerde üstel değerlerinden en az birinin pozitif olması irislerin kaotik bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 4.1 :** İris dokusunun Lyapunov üstelleri.

	1. Lyapunov Üsteli	2. Lyapunov Üsteli	3. Lyapunov Üsteli	Kaos Analizi
1	6.129047e-002	-2.181212e-003	-7.072407e-002	Kaotiktir
2	4.499470e-002	-6.490098e-003	-4.931766e-002	Kaotiktir
3	3.636041e-002	3.421851e-003	-5.100879e-002	Kaotiktir
4	4.731833e-002	-3.758361e-00	-5.637153e-002	Kaotiktir

Kutupsal koordinat dönüşümü ile oluşturulan serilerden hesaplanan üstellerde, aynı kişiye ait görüntülerden çıkarılan üstel değerlerinin benzerliği ve farklı kişilere ait görüntülerdeki üstellerin farklılık oranı incelendiğinde en başarılı sonuçların gecikme değeri 3, gömme boyutu değeri 5 ve gecikme değeri 2, gömme boyutu değeri 3 verilerek hesaplandığında elde edildiği görülmüştür. Bu parametreler ile 10 kişinin 5'er iris görüntüsü üzerinden hesaplanan üsteller Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelgede kişilere ait üstel değerlerinin kendi içlerindeki uyumluluğu ve diğer kişilerle olan farklılıkları görülmektedir. Aynı kişilere ait değerlerin bazılarındaki uyumsuzluklar lokalizasyon işleminin başarısızlığı, göz kapağı vb. gürültülerin fazla olması gibi etkenlerden kaynaklanmaktadır.

**Çizelge 4.2 :** Zaman gecikmesi 3, gömme boyutu 5 değerleri ile 10 kişinin 5'er iris resmi için elde edilen EBLÜ değerleri.

Kişi\İris	1	2	3	4	5
1	0,306699	0,324812	0,321069	0,311794	0,326629
2	0,783786	0,805668	0,788077	0,570328	0,594574
3	0,465041	0,46068	0,463888	0,453899	0,46351
4	0,484862	0,482738	0,463145	0,498909	0,451336
5	0,388597	0,417136	0,404676	0,414903	0,407329
6	0,542153	0,505119	0,486352	0,496929	0,513001
7	0,54948	0,54076	0,541771	0,546029	0,538998
8	0,537019	0,514136	0,528856	0,541345	0,497007
9	0,371226	0,363418	0,389468	0,363049	0,367271
10	0,237061	0,220362	0,216852	0,205123	0,223078



**Çizelge 4.3 :** Zaman gecikmesi 2, gömme boyutu 3 değerleri ile 10 kişinin 5'er iris resmi için elde edilen EBLÜ değerleri.

Kişi\İris	1	2	3	4	5
1	1,038061	1,026089	1,040301	1,093040	1,110744
2	0,9691870	1,207104	1,149462	1,514204	1,219531
3	1,674828	1,604103	1,622157	1,592881	1,645008
4	1,641583	1,346798	1,396429	1,363388	1,369003
5	1,522511	1,608202	1,555796	1,600505	1,585482
6	1,285715	1,278289	1,287122	1,232596	1,288916
7	1,198434	1,229619	1,184636	1,219109	1,197144
8	1,232913	1,260760	1,226889	1,170626	1,302263
9	1,198522	1,175753	1,240727	1,184061	1,211262
10	1,484921	1,5154483	1,523583	1,554742	1,511711

Gecikme değerinin 4 ve 5 alındığı durumlarda, değerlendirilen tüm gömme boyutlarında benzer sonuçlar gözlenmiştir. Çizelge 4.4'te gecikme miktarı 4, gömme boyutu 5 alınarak elde edilen sonuçlar listelenmiştir. Sonuçlardaki EBLÜ değerlerinin bazılarının negatif olması seçilen gecikme zamanı ve gömme boyutu değerlerinin iris verilerinin faz uzayında tanımlanması için uygun olmadığını göstermektedir.

**Çizelge 4.4 :** Zaman gecikmesi 4, gömme boyutu 5 değerleri ile 10 kişinin 5'er iris resmi için elde edilen EBLÜ değerleri.

Kişi\İris	1	2	3	4	5
1	-0,17213	-0,18053	-0,17363	-0,15612	-0,15445
2	0,352871	0,357096	0,176478	0,234055	0,22797
3	-0,01765	0,010825	-0,00055	0,002192	0,040374
4	0,03032	0,030538	0,028301	0,048098	-0,00371
5	-0,03184	-0,02929	-0,01067	-0,0223	-0,01698
6	0,136418	0,097835	0,058296	0,090636	0,074922
7	0,104517	0,120071	0,129904	0,111866	0,092748
8	0,026196	0,023518	0,026761	0,04221	-0,00936
9	-0,13174	-0,14427	-0,15227	-0,15236	-0,16866
10	-0,25649	-0,27358	-0,26287	-0,2801	-0,28057

**Çizelge 4.5 :** Zaman gecikmesi 6, gömme boyutu 12 değerleri ile 10 kişinin 5'er iris resmi için elde edilen EBLÜ değerleri.

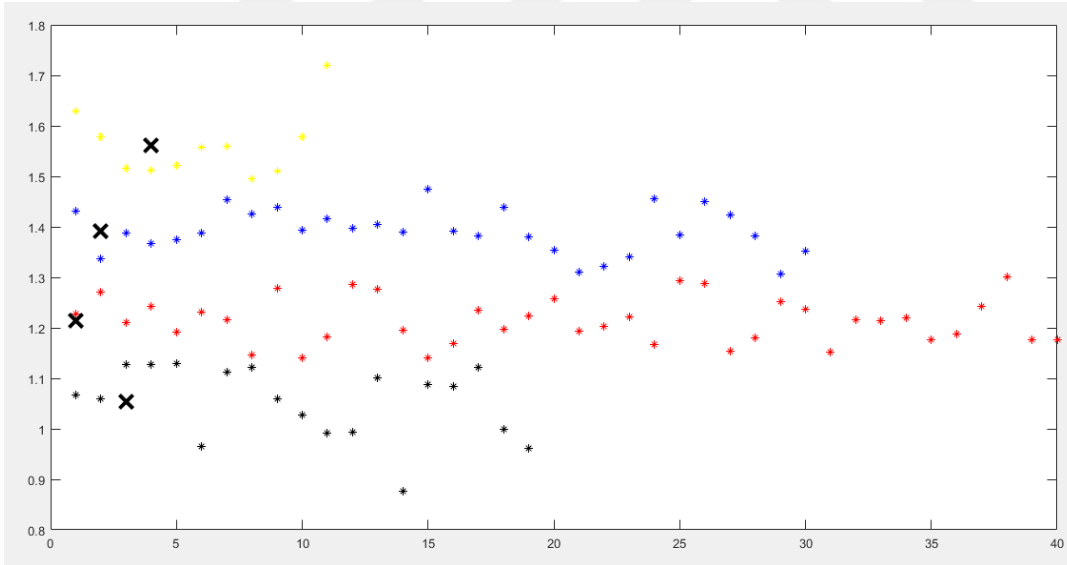
Kişi\İris	1	2	3	4	5
1	0,090701	0,095241	0,087615	0,078185	0,092228
2	0,153055	0,145408	0,19159	0,166985	0,131427
3	0,100234	0,093826	0,079242	0,087386	0,094642
4	0,102573	0,105026	0,105075	0,094823	0,083568
5	0,069589	0,11787	0,099624	0,087185	0,076745
6	0,087267	0,088353	0,080594	0,107577	0,129073
7	0,103784	0,100246	0,100454	0,101169	0,109368
8	0,103987	0,103294	0,096411	0,082089	0,095068
9	0,093755	0,090702	0,084696	0,079263	0,070779
10	0,086188	0,055082	0,057515	0,063775	0,035194

Çizelge 4.5'te 50 iris görüntüsü için tüm üstel değerleri pozitif çıkmıştır fakat aynı kişiye ait görüntülerde üstel değerlerinin benzerliği Çizelge 4.2 ile kıyaslandığında daha düşüktür.

#### 4.6 İris Verilerinin Sınıflandırılması

DeneySEL çalışma sonrası belirlenen gömme boyutu ve zaman gecikmesi değerleri ile oluşturulan faz uzayı bilgisiyle en büyük Lyapunov üstelleri hesaplanmıştır. 100 kişinin 5'er resmi için bulunan üsteller k-ortalama yöntemiyle iris görüntülerinin dört kümeye ayrılmasında kullanılmıştır [9].





Her kişinin ilk dört resmi eğitim son bir resmi ise test için kullanılmıştır. Her kişi için ilk dört resmin üstel değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanan değerler k-ortalama yöntemiyle kümelendirilmiştir. Test verilerinin üstel değerleri kümelerin ortalama değerlerinden çıkarılarak verilerin küme merkezlerine olan Öklid uzaklıkları belirlenmiştir. Uzaklığın en az olduğu küme test verisinin atanacağı küme olarak belirlenmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 : Test verilerinin kümelerdeki dağılımı.

Ardından, aynı kişinin eğitim ve test verileri aynı kümede ise test verisinin doğru şekilde sınıflandırıldığına karar verilmiştir. Çapraz doğrulama (cross validation) yöntemiyle beş veriden hepsi sırayla test grubu olarak kullanılıp kalan her dört değer de eğitim için kullanılmıştır.

**Çizelge 4.6 : Sınıflandırma işlemi sonuçları.**

	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4
İris Görüntüsü				
Merkez Nokta	1.2001	1.3890	1.5619	1.0210
Veri Dağılımı	40	30	11	19

Çizelge 4.6'da dört kümeye ait örnek resimler, kümelerin merkez değerleri ve sınıflandırma işlemiyle her kümeye düşen test verisi miktarı belirtilmiştir. Sonuçta, ortalama %85 başarı ile sınıflandırma yapıldığı gözlenmiştir.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında güvenlik uygulamalarında kullanılan iris yapısı farklı açılardan ele alınmıştır. Farklı iris desenlerinin içerdiği verilerin benzerliği ve farklılığı incelenmiştir.

İris verileri karmaşık ve rastgele yapısından dolayı doğrusal olmayan bir yapı içerir. Lyapunov üstelleri doğrusal olmayan yapıların karmaşık yapısını incelemek için kullanılır. Bu bilgiler ışığında iris verilerinin kaotik bir yapı içerip içermediği sorusuna cevap aranmıştır.

Yakın zamanda yapılan bir çalışmada karmaşık biyolojik görüntülerdeki kaotik yapıyı analiz eden fraktal boyut kullanılmıştır [9]. Kaotik analiz için kullanılan Poincaré haritalama, fraktal boyut, Lyapunov üstelleri gibi farklı yöntemler vardır. Bu araştırmalar ışığında tez çalışmasında biyolojik yapı olarak etkileyici iris dokusunu analiz için Lyapunov üstelleri kullanılmıştır.

Çalışmada, iris dokusunda kaotik bir yapının var olup olmadığını görsel ve nicel olarak incelemek amacıyla UBIRIS veri tabanından alınan gözler üzerinde çeşitli yöntemler uygulanmıştır. Göz resminden iris dokusu zaman serisi olarak çıkarıldı. Öncelikle iris dokusunun kaotik davranış gösterip göstermediğini zaman boyutunda görsel olarak görmek için veriler faz uzayına aktarılmıştır. Faz uzayı periyodikimsi kapalı bir eğri olup kaotik bir yapı göstermektedir. İkinci aşamada nicel olarak kaotikliğini ispat etmek için Lyapunov üstelleri kullanılmıştır. Çıkan sonuçlar incelendiğinde, veriler için en az bir adet pozitif üstel bulunmasından dolayı iris görüntülerinin kaotik yapıya sahip olduğu görülmüştür.

Literatürdeki öznitelik çıkarımı yöntemlerinden farklı olarak bu çalışmada en büyük Lyapunov üsteli kullanılarak irise ait öznitelikler belirlenmiş, sonraki adımda bu değerler ile iris görüntüleri sınıflandırılmıştır. Deneyler sonucunda, verilerin gruplara ayrılmasında başarılı ve anlamlı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu şekilde, iris verilerinin gruplara ayrılmasını sağlayarak günümüzde gittikçe artan veri setlerindeki arama süresinin azaltılması hedeflenmiştir. Çalışma iris verilerinin yorumlanmasına ve analizine yeni bir bakış açısı getirmiştir.

Yapılan tez çalışmasının geliştirilmesi için ileriye yönelik olarak aşağıdaki uygulamalar önerilmektedir:

- Her bir gözü temsil eden tek özneliğin sayısı iris görüntüsünün bölünmesi vb. yöntemlerle artırılarak kümeleme başarımının incelenmesi
- Sadece en büyük değil diğer üsteller de hesaplanarak kümeleme başarımının incelenmesi
- Farklı yöntemlerle alınmış ve fazla sayıda iris görüntüsü içeren veri tabanları üzerinde bu uygulamaların gerçekleştirilmesi ve doğrulama sonuçlarının analiz edilmesi
- Farklı kümeleme yöntemlerinin denenmesi

## KAYNAKLAR

- [1] “UBIRIS Dataset”, 2005, Alındığı Tarih: 05.01.2018, Adres: <http://iris.di.ubi.pt/ubiris1.html>.
- [2] **Daugman J.**, 2004, “How Iris Recognition Works”, *IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY*, c. 14, sayı 1, ss. 21–30.
- [3] **Wildes R. P., Asmuth J. C., Green G. L., Hsu S. C., Kolczynski R. J., Matey J. R., McBride S. E.**, 1994, “A system for Automated Iris recognition”, içinde *Proc of The Second IEEE Workshop on Applications of computer Vision*, ss. 121–128.
- [4] **Waheed M.**, 2014, “Iris Recognition Using Image Processing and Neural Network”. Yüksek Lisans Tezi, Near East University, Applied Sciences
- [5] **Masek L.**, 2003, “Recognition of human iris patterns for biometric identification”, University of Western Australia, Computer Science and Software Engineering
- [6] **Taşyapı Çelebi A., Güllü M. K. ve Ertürk S.**, 2009, “Bir-Bit Dönüşümü ve Açısız Radyal Parçalama Kullanan Düşük Karmaşıklıkta Sahip Tanıma Sistemi”, SİU2009
- [7] **Qiu X., Sun Z. ve Tan T.**, 2007, “Coarse Iris Classification by Learned Visual Dictionary”, *International Conference on Biometrics - Advances in Biometrics*, ss. 770–779
- [8] **Fu J., Caulfield H. J., Yoo S. M. ve Atluri V.**, 2005, “Use of Artificial Color filtering to improve iris recognition and searching”, *Pattern Recognition Letters*, c. 26, sayı 14, ss. 2244–2251.
- [9] **Patil P. S.**, 2015, “IRIS Classification based on Fractal Dimension Box Counting Method”, c. 112, sayı 11, ss. 21–27.
- [10] **Kızılkaya M.**, 2013, “Horlama Seslerinin Kaotik Yapısına Dayalı Olarak Uyku Apnesinin Tespiti”. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
- [11] **Jeong J., Chae J., Kim S. Y. ve Han S.**, 2001, “Nonlinear Dynamic Analysis of the EEG in Patients with Alzheimer’s Disease and Vascular Dementia”, *Journal of Clinical Neurophysiology*, c. 18, sayı 1, ss. 58–67.
- [12] **Koçal O. H., Yürüklü E. ve Avcıbaş İ.**, 2005, “Speech Steganalysis Using Chaotic-Type Features”, 13th European Signal Processing Conference.

- [13] **Korda A. I., Asvestas P. A., Matsopoulos G. K., Ventouras E. M. ve Smyrnis N.**, 2018, “Automatic identification of eye movements using the largest lyapunov exponent”, *Biomedical Signal Processing and Control*, c. 41, ss. 10–20.
- [14] **Tisse C., Martin L., Torres L. ve Robert M.**, 2002, “Person Identification Technique Using Human Iris Recognition”, içinde *15th International Conference on Vision Interface*, ss. 294–299.
- [15] **Adler F. H.**, 1959, *Physiology of the eye: clinical application*. Mosby.
- [16] **Tekyıldız A.**, 2011, “Faz Korelasyonu Temelli Gömülü İris Tanıma Sistemi”, Kocaeli Üniversitesi.
- [17] **Leonard F. ve Safir A.**, 1987, “Iris Recognition System”, paylaşım kodu: US4641349A.
- [18] **Wildes R. P.**, 1997, “Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology”, *Proceedings of the IEEE*, c. 85, sayı 9, s. 1347.
- [19] **Kronfeld P. ve G. Anatomy**, 1962, *Embryology of the Eye*. London: Eye, Acad. Press.
- [20] **Small M.**, 2003, *Applied nonlinear time series analysis: application physics, physiology and finance*. World Scientific Publishing Company.
- [21] **Yardım F. E. ve Afacan E.**, 2010, “Lorenz-Tabanlı Diferansiyel Kaos Kaydırmalı Anahtarlama (DCSK) Modeli Kullanılarak Kaotik Bir Haberleşme Sisteminin Simülasyonu”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 25, sayı 1, ss. 101–110.
- [22] **Ural Ş.**, 2007, “Kaos: Yeni Bir Paradigma Mı?”. *Felesefe ve Sosyal Bilimler Dergisi*, sayı 5, ss. 101-114.
- [23] **Pamuk N.**, 2013, “Dinamik Sistemlerde Kaotik Zaman Dizilerinin Tespiti”, *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi Cilt*, c. 15, sayı 1, ss. 77–91.
- [24] **Y. ve Güler N. F.**, 2006, “Kaotik Zaman Serisinin Analizi Üzerine Bir Araştırma”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, c. 21, sayı 4, ss. 759–779.
- [25] **S. H.**, 1994, *Nonlinear Dynamics an Chaos*, Perseus Books, ISBN: 0-201-54344-3.
- [26] **Çoban G.**, 2007, “Zaman Serilerinde Faz Uzayının Oluşturulması Ve Kaosun Tespiti: Döviz Kurları Üzerine Bir Uygulama”, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [27] **Yılmaz N.**, 2016, “Dalgacık Skalogram, Skalogram Ölçek Endeksi Ve Güç Spektrumu Yöntemleri İle Bölgesel Depremlerin Analizi”, İstanbul Üniversitesi.
- [28] **Genç F.**, 2012, “Bölgesel Depremlerin İncelenmesinde Zaman Serisi Yöntemi”, İstanbul Üniversitesi.
- [29] **Lorenz E. N.**, 1963, “Deterministic Nonperiodic Flow”, *Journal of the Atmospheric Sciences*, c. 20, ss. 130–141.
- [30] **Yılmaz N.**, 2010, “Elektroensefalogram (EEG) Dalgalarında Lyapunov Üstelleri”, İstanbul Üniversitesi.



- [31] **Aktekin Ö.**, (t.y.), “Lorenz Denklemi”, Alındığı tarih: 05.01.2018, Adres: <http://ozguraktekin.blogspot.com.tr/2015/10/lorenz-denklemi.html>.
- [32] **Takens F.**, 1981, “Detecting strange attractors in turbulence”, *Springer-Verlag*, c. 898, ss. 366–381.
- [33] **Yürüklü E.**, 2013, “Kaotik Özelliklerin Konuşma Sesleri Steganalizinde Kullanımı”, ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ.
- [34] **Özkaynak F. ve Öksüztepe E.**, 2010, “Kaotik zaman serilerinin analizi”, *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu*, c. 2, ss. 1447–1459.
- [35] **Shannon C. E.**, 1948, “A mathematical theory of communication”, *The Bell System Technical Journal*, c. 27, ss. 379–423.
- [36] **Jeong J., Gore J. C. ve Peterson B. S.**, 2001, “Mutual information analysis of the EEG in patients with Alzheimer’s disease”, *Clin.Neurophysiol.*, c. 112, ss. 827–835.
- [37] **Kennel M. B., Brown R., ve Abarbanel H. D. I.**, 1992, “Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using geometrical construction”, *Phys. Rev. A*, c. 45, sayı 6.
- [38] **Wolf A., Swift J. B., Swinney H. L., ve Vastano J. A.**, 1985, “Determining Lyapunov exponents from a time series”, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, c. 16, sayı 3, ss. 285–317.
- [39] **Shaw R.**, 1981, “Strange attractors, chaotic behavior, and information flow”, *Z. Naturforsch. Teil A*, c. 36A, ss. 80–112.
- [40] **Rosenstein, Michael T., Collins J. J. ve De Luca C. J.**, 1993, “A practical method for calculating largest Lyapunov exponents from small data sets”, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, c. 65, sayı 1–2, ss. 117–134.
- [41] **Wang Z. ve Oates T.**, 2015, “Encoding Time Series as Images for Visual Inspection and Classification Using Tiled Convolutional Neural Networks”, *Workshops at the Twenty-Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence*, sayı January 2015, ss. 40–46.
- [42] **Keogh E. J., Wei L., Xi X., Vlachos M., Lee S-H. ve Protopapas P.**, 2006, “LB\_Keogh Supports Exact Indexing of Shapes under Rotation Invariance with Arbitrary Representations and Distance Measures”, *Vldb*, ss. 882–893.



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:**Hüsniye Kevser BAYRAKTAR

**E-Posta:** kevser184@hotmail.com

**Lisans:** Yalova Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği

**Yüksek Lisans:** Yalova Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği ABD

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

▪ **Bayraktar, H.K., Mutlu, Ö., Koçal, O.H.,** Lyapunov Üstelleri İle İris Örüntüsünün Kaotik Yapısının İncelenmesi, *MSU Fen Bİlimleri Dergisi*,5(1), s. 405-408,2017, Muş,Turkey.