

T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



SİMGESEL NOKTALARI KULLANARAK ŞEKİL VE GRİ DÜZEYDE  
GÖRÜNÜŞLERE DAYALI YÜKSEK AYRIMCI YÜZ TANIMA YÖNTEMİ

DOKTORA TEZİ

Fatih ŞAHİN

Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Bilgisayar Mühendisliği Bilim Dalı

Haziran, 2020

T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



SİMGESEL NOKTALARI KULLANARAK ŞEKİL VE GRİ DÜZEYDE  
GÖRÜNÜŞLERE DAYALI YÜKSEK AYRIMCI YÜZ TANIMA YÖNTEMİ

DOKTORA TEZİ

Fatih ŞAHİN  
(Y1615.610002)

Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Bilgisayar Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Taner ÇEVİK

Haziran, 2020

## **YEMİN METNİ**

Doktora Tezi olarak sunduğum ‘‘Simgesel Noktaları Kullanarak Şekil ve Gri Düzeyde Görünüşlere Dayalı Yüksek Ayrımcı Yüz Tanıma Yöntemi’’ adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.  
(26/06/2020)

**Fatih ŞAHİN**

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince kendilerinden yardım ve akademik destek gördüğüm danışmanım Sayın Doç. Dr. Taner ÇEVİK'e ve aileme en içten şükranlarımı sunarım.

**Haziran, 2020**

**Fatih ŞAHİN**

---

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ .....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
KISALTMALAR .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	viii
ŞEKİL LİSTESİ .....	ix
ÖZET .....	xi
ABSTRACT .....	xii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. BİYOMETRİ VE BİYOMETRİK SİSTEMLER .....</b>	<b>1</b>
2.1 Biyometri Kavramı ve Tanımı .....	1
2.2 Biyometrik Sistem Nedir? .....	2
2.3 Biyometrik Sistemlerin Kullanım Alanları .....	4
2.4 Biyometrik Sistem Teknolojileri .....	5
2.4.1 Parma izi tanıma teknolojisi .....	6
2.4.2 El geometrisi tanıma teknolojisi .....	8
2.4.3 Yüz tanıma teknolojisi .....	10
2.4.4 İris tanıma teknolojisi .....	12
2.4.5 Retina tanıma teknolojisi .....	13
2.4.6 Ses tanıma teknolojisi .....	13
2.4.7 Biyometrik teknolojilerin karşılaştırılması .....	15
<b>3. YÜZ VE YÜZ TANIMA SÜRECİ .....</b>	<b>17</b>
3.1 Yüz ve Özellikleri .....	17
3.2 Yüz Tanıma Süreçleri .....	17
3.2.1 Çıkarım süreci .....	18
3.2.2 Yüz eşleme süreci .....	19
3.2.3 Yüz tanıma sürecini etkileyen faktörler .....	20
3.2.3.1 Gürültü .....	21
3.2.3.2 Aydınlatmadaki değişim .....	22
3.2.3.3 Aksesuar nedenli kısmi engeller .....	24
3.2.3.4 Yüz ifadesindeki değişiklikler .....	25
3.3 Yüz İşaret Noktaları ve Ayırt Edici Faktörler .....	27
<b>4. YÜZ TANIMA YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>28</b>
4.1 Yerel Yüz Tanımlayıcı Tabanlı Tanıma Yöntemleri .....	28
4.1.1 Yerel ikili patern (LBP) .....	29
4.1.2 Yerel Gabor ikili patern (LGBP) .....	30
4.1.3 Merkez-simetrik yerel ikili patern (CS-LBP) .....	31
4.1.4 Yerel yönlü örüntü (LDP) .....	32
4.1.5 Weber benzeri yanıtlarla ortak yerel ikili örüntüler (JLBPW) .....	33
4.1.6 Piramit dönüşüm etki alanı yerel ikili örüntü (PLBP) .....	33
4.1.7 Yerel yönel eğim deseni (LDGP) .....	33

4.1.8 Yerel faz miktarı (LPQ) .....	35
4.1.9 Yerel yön numarası deseni (LDNP).....	35
4.1.10 Degraderin histogramı (HoG) .....	35
4.1.11 Yerel üçlü örüntü (LTP).....	36
4.1.12 Gabor dalgacık dönüşümü .....	36
4.2 Bütüncül Tabanlı Yüz Tanıma Yöntemleri.....	37
4.2.1 Temel bileşen analizi (PCA).....	37
4.2.2 Doğrusal ayırtaç analizi (LDA).....	38
4.2.3 Bağımsız bileşen analizi (ICA).....	38
4.2.4 Gri seviye eşzamanlılık matrisleri (GLCM) .....	38
4.3 Yüz Tanıma Teknolojileri Gelecek Öngörülleri ve Pazar Büyüklüğü .....	39
<b>5. GEREÇ VE YÖNTEM.....</b>	<b>41</b>
5.1 Araştırmanın Kapsamı.....	41
5.2 Araştırmanın Amacı ve Önemi.....	41
5.3 Araştırmanın Yöntemi.....	42
5.3.1 Dönüm noktası tespiti .....	42
5.3.2 Şekil ve gri seviye görünüm esaslı özellik çıkarımı .....	46
5.3.2.1 Şekil-bazlı özellik seti .....	46
5.3.2.2 Görünüm-bazlı özellik seti.....	46
5.4 Verilerin Analizi.....	47
5.4.1 Stabilite analizi.....	47
5.4.1.1 Gürültü direnci analizi.....	47
5.4.1.2 Aydınlatmadaki değişim analizi.....	49
5.4.1.3 Aksesuar nedenli kısmi tıkanlıklar analizi .....	51
5.4.2 Doğruluk performansı analizi .....	52
<b>6. BULGULAR.....</b>	<b>54</b>
6.1 Dönüm Noktası Bulguları .....	54
6.2 Stabilite Analizi.....	57
6.2.1 Gürültü direnci analizi .....	57
6.2.2 Değişken aydınlatma direnci bulguları .....	59
6.2.3 Aksesuar nedenli kısmi tıkanlıklar bulguları .....	59
6.3 Doğruluk Performansı Bulguları .....	60
<b>7. TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b>	<b>62</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>70</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>81</b>

## KISALTMALAR

<b>AB</b>	Avrupa Birliği
<b>ABD</b>	Amerika Birleşik Devletleri
<b>CCTV</b>	Kapalı Devre TV
<b>CS-LBP</b>	Merkez-Simetrik Yerel İkili Patern
<b>GLCM</b>	Gri Seviye Eşzamanlık Matrisleri
<b>HoG</b>	Degradelerin Histogramı
<b>ICA</b>	Bağımsız Bileşen Analizi
<b>LBP</b>	Yerel İkili Patern
<b>LDA</b>	Doğrusal Ayrımcılık Analizi
<b>LDGP</b>	Yerel Yönel Eğim Deseni
<b>LDP</b>	Yerel Yönlü Örüntü
<b>LDNP</b>	Yerel Yön Numarası Deseni
<b>LGBP</b>	Yerel Gabor İkili Patern
<b>LJBPW</b>	Weber Benzeri Yanıtlarla Ortak Yerel İkili Örüntüler
<b>LPQ</b>	Yerel Faz Miktarı
<b>LTP</b>	Yerel Üçlü Model
<b>OPTS</b>	Otomatik Parmak izi Tanıma Sistemi
<b>PCA</b>	Temel Bileşen Analizi
<b>PLBP</b>	Piramit Dönüşüm Etki Alanı Yerel İkili Örüntü

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Çizelge 2.1:</b> Biyometrik Tanıma Sistemlerinin Çeşitlerinin Taradıkları Özellikler....	3
<b>Çizelge 2.2:</b> Biyometrik teknolojilerin karşılaştırılması.....	16
<b>Çizelge 6.1:</b> İşlenen yüz görüntüsüne ve ikili versiyonuna ait dönüm noktalarının koordinatları ( $X, Y$ ) .....	55



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

<b>Şekil 2.1:</b> Parmak İzi, İris, Avuç İzi ve Yüz Tanıma İşlemlerinde Elde Edilen Karakteristik Veriler .....	2
<b>Şekil 2.2:</b> Personel takip sistemi .....	2
<b>Şekil 2.3:</b> Çoklu Model Biyometrik Sistem Akış Diyagramı .....	4
<b>Şekil 2.4:</b> Biyometrik karakteristikler a) Kulak b) Yüz c)Yüz Isı Dağılımı d)El Isı Dağılımı e) El Geometrisi f) DNA g) Parmak İzi h) İris i) Retina j) İmza k) Ses.....	5
<b>Şekil 2.5:</b> Öznitelik noktaları (uç ve çatal) .....	7
<b>Şekil 2.6:</b> OPTS'nin tanıma modunda çalışmasını gösteren ekran görüntüsü.....	7
<b>Şekil 2.7:</b> OPTS'nin onaylama/doğrulama modunda çalışmasını gösteren ekran görüntüsü .....	8
<b>Şekil 2.8:</b> El geometrisinin alınması .....	9
<b>Şekil 2.9:</b> Avuç bölgesinin elde edilme işlemi ve belirleme noktaları ile avuç içinde alınan bölüm .....	9
<b>Şekil 2.10:</b> Yüz metriği yöntemi ile tanıma.....	10
<b>Şekil 2.11:</b> ICAO Standartlarındaki Biyometrik Vesikalık Fotoğraflar İçin Aranılan Özellikler ve biyometrik fotoğraf şablonu.....	11
<b>Şekil 2.12:</b> Gözün yapısı ve iris .....	12
<b>Şekil 2.13:</b> Örnek bir ses tanıma modeli.....	13
<b>Şekil 2.14:</b> 8000 Hz ile örneklenmiş 'sıfır' kelimesi ses sinyalinin spektrumu .....	14
<b>Şekil 3.1:</b> Yale yüz veritabanında elde edilen en yüksek eşleşme sayılarına göre yüzler ve elde edilen başarı oranları .....	20
<b>Şekil 3.2:</b> (a) Yüz resimleri arasında ilgi noktalarının eşleştirilmesi (b) Çoklu eşleşmeler elendikten sonra geriye kalan eşleşmeler .....	20
<b>Şekil 3.3:</b> Gürültüsü ve gürültülü şablon uyuşturma .....	21
<b>Şekil 3.4:</b> Farklı tekniklerle gürültü giderme işlemlerinin karşılaştırılması (a) gürültülü görüntü (b) Wiener filtresi (c) Gauss filtresi (d) Kuwahara filtresi (e) Median filtresi (f) Morph. Yumuşatma.....	22
<b>Şekil.3.5:</b> a) Normal ışıklandırma altında çekilmiş yüz için hizalama sonucu, (b) Kötü ışıklandırma altında çekilmiş yüz için hizalama sonucu. ....	23
<b>Şekil 3.6:</b> Tam hizalanmış yüz için Ratio-Image (RI) onarım sonucu. a) Ortalama yüz, b) giriş görüntüsü, c) RI yüz normalizasyon sonucu .....	23
<b>Şekil 3.7:</b> RI yöntemi kullanılarak elde edilen aydınlatma normalizasyonu sonuçları: a) Giriş görüntüleri, b) Normalize edilmiş görüntüler.....	24
<b>Şekil 3.8:</b> Aksesuar olmayan yüz bölgelerinden LBP histogramı eldesi ve 64 parçaya bölünmüş LBP histogramları .....	24
<b>Şekil 3.9:</b> Farklı yüz ifadelerine ait görüntüler.....	25
<b>Şekil 3.10:</b> Bir görüntü ve yüz kısmının ayrıştırılmış hali .....	25
<b>Şekil 3.11:</b> Farklı noktalar için Bezier eğrileri ve bir uygulama çalışması örneği ....	26
<b>Şekil 3.12:</b> Bir portre çizimi örneği ve nirengi noktalarının belirlenmesi.....	27
<b>Şekil 4.1:</b> Yüz Tanıma Yöntemleri.....	29

<b>Şekil 4.2:</b> Orijinal Yerel İkili Örüntü Operatörü.....	30
<b>Şekil 4.3:</b> (a) Orijinal görüntü (b) Parlaklığı arttırılmış görüntü (c) Parlaklığı azaltılmış görüntü .....	30
<b>Şekil 4.4:</b> (a) Gabor filtreleme işlemi (b) Yerel Gabor İkili Patern İşlemi.....	31
<b>Şekil 4.5:</b> CS-LBP yaklaşımı.....	32
<b>Şekil 4.6:</b> Temel LBP operatörü .....	32
<b>Şekil 4.7:</b> PLBP süreç akışı (a) orijinal örüntü (b) işlenmiş örüntü (c) farklı Gauss piramidi ve (d) PLBP referans noktaları.....	33
<b>Şekil 4.8:</b> Yüksek dereceli LDGP, LVP and LDP (a) orijinal griölçek görüntü, (b) 0 ° yönünde 2nci dereceden LDP, (c) 45 ° yönünde 2nci dereceden LDP, (d) 90 ° yönünde 2nci dereceden LDP, (e) 135 ° yönünde 2nci dereceden LDP, (f) 0 ° yönünde 2nci dereceden LVP, (g) 45 ° yönünde 2nci dereceden LVP, (h) 90 ° yönünde 2nci dereceden LVP, (i) 135 ° yönünde 2nci dereceden LVP, (j) 2nci dereceden LDGP, (k) 3ncü dereceden LDGP, (l) 4ncü dereceden LDGP.....	34
<b>Şekil 4.9:</b> Bir örnek imajın Gabor dalgacık dönüşümü (a) Dönüşümün magnitudü (b) Dönüşümün gerçek bölümü.....	36
<b>Şekil 5.1:</b> Önerilen yöntemin operasyonel blok şemasını .....	44
<b>Şekil 5.2:</b> Tanımlanmış dönüm noktaları (n=66).....	46
<b>Şekil 5.3:</b> CASPEAL-R1 veri setinden seçilen farklı kategorilerden yüz ifadeleri... 50	50
<b>Şekil 5.4:</b> ExtendedYaleB veritabnından alınan yüz görüntüleri .....	52
<b>Şekil 5.5:</b> Face94 veritabnından alınan yüz görüntüleri .....	52
<b>Şekil 5.6:</b> JAFFE veritabnından alınan yüz görüntüleri .....	53
<b>Şekil 6.1:</b> Örnek görüntü ve ikili versiyonuna ait açıklamalı yüz dönüm noktaları .. 54	54
<b>Şekil 6.2:</b> Tuz-biber gürültüsüne maruziyet ve tanınma doğruluğu değerleri.....	58
<b>Şekil 6.3:</b> Gauss gürültüsüne maruziyet ve tanınma doğruluğu değerleri.....	58
<b>Şekil 6.4:</b> Değişen aydınlanma ve tanınma doğruluğu değerleri.....	59
<b>Şekil 6.5:</b> Aksesuar nedenli kısmi tıkanıklıklar ve tanınma doğruluğu değerleri.....	59
<b>Şekil 6.6:</b> ExtendedYaleB veri kümesi yüz tanınma doğruluk performansı bulguları .....	60
<b>Şekil 6.7:</b> Face94 veri kümesi yüz tanınma doğruluk performansı bulguları.....	60
<b>Şekil 6.8:</b> JAFFE veri kümesi yüz tanınma doğruluk performansı bulguları.....	61

# SİMGESEL NOKTALARI KULLANARAK ŞEKİL VE GRİ DÜZEYDE GÖRÜNÜŞLERE DAYALI YÜKSEK AYRIMCI YÜZ TANIMA YÖNTEMİ

## ÖZET

Bilim ve teknolojiadaki gelişmeler kimlik doğrulama ve tanımlama işlemlerinin hızlı, etkin ve otomatik gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bireyleri, diğerlerinden ayıran biyometrik özelliklerden birisi ise yüz verileridir. Yüz verilerinden kimlik doğrulama işlemi yüz dönüm noktaları ve kafadan pozlama için yoğun kullanılmasına rağmen, ayırt edici performansı yeterince araştırılmamıştır. Bu çalışmada, yüzlerin şekil ve gri düzey özelliklerini birleştiren yüksek düzeyde ayırt edici bir yüz tanıma yöntemi önermek ve dönüm noktasının yüz tanıma açısından ayırt edici performansı analiz etmek amaçlanmıştır. Araştırmanın özgün yönü, yüz işaret noktalarının kişiye özgün olması nedeniyle, kimlik doğrulama için kullanılması ve dönüm noktası noktalarının birbirleri arasındaki Öklid mesafelerinin ev gri seviye değerlerinin özellik setine dâhil edilmesidir. Bu bağlamda, hedef yüz görüntüsünde dönüm noktası tespiti yapılmış, yüze ait şekil ve gri seviye görünüm esaslı özellikleri çıkarılmış ve sınıflandırılmıştır. Elde edilen bulgular, stabilite (gürültü direnci, aydınlatmadaki değişim ve aksesuar nedenli kısmi engeller altında tanıma performansı) ve tanıma doğruluk performansı yöntemleri ile analiz edilmiştir. Bu analizlerin devamında, önerilen yöntem, CASPEAL-R1, ExtendedYaleB, Face94 ve JAFFE veri kümelerinden seçilen görüntüler ile dayanıklılık ve stabilite bakımından diğer rakip yöntemlere göre performans karşılaştırmasına alınmıştır. Sonuç olarak, kapsamlı simülasyon çalışmaları, önerilen yöntemin tanıma doğruluğu, kısmi tıkanma, gürültü, ifade değişiklikleri ve aydınlatmadaki farklılıklara karşı sağlamlık açısından dikkate değer ve rekabetçi performans sergilediğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Yüz tanıma, simge, şekil, görünüm, gri-seviye görünümü, kısmi engel, gürültü, aydınlatma, poz, ifade.*

# **A HIGH DISCRIMINATIVE FACIAL RECOGNITION METHOD BASED ON SHAPE AND GREY-LEVEL APPEARANCES USING LANDMARK POINTS**

## **ABSTRACT**

Recent advances in the science and technology make possible the ID authentication and recognition fast, effectively and automatically. The face-related features are one of the biometrics that can be used for differentiating each individual from others. Although the ID authentication using facial characteristics is intensively used for facial landmark points and head posing, its highly discriminative performance has not been investigated adequately yet. The objective of this study was to assess a high discriminative facial recognition method based on shape and grey-level appearances using landmark points. Based on the fact that facial landmark points are characteristic to individuals, hence can be exploited for recognition. Hence, the originality of this work comes from the inclusion of the spatial relationships of these landmark points, namely, their Euclidean distances between each other are included in the feature set. Besides, the mean grey-level values calculated at the vicinity of these landmark points are also considered as a discriminative factor and incorporated into the feature set. To do this, the robustness of the proposed method against noise, the behavior of the proposed method in the occasion of exposure to variances in illumination, and the resistance of the proposed descriptor under variable partial occlusions were analyzed. Following that, the analysis of the stability and robustness of the proposed method was performed on the challenging datasets, including CASPEAL-R1, ExtendedYaleB, and Face94, and JAFFE, respectively. Overall, the results of the comprehensive simulations showed a remarkable and competitive performance of the proposed method regarding recognition accuracy, as well as robustness against partial occlusion, noise, expression changes, and variances in illumination.

**Keywords:** *Facial recognition, landmark, shape appearance, grey-level appearance, partial occlusion, noise, illumination, pose, expression.*

## 1. GİRİŞ

Modern bilim ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte, kimlik doğrulama ve tanımlama işlemlerinin hızlı, etkin ve otomatik olarak gerçekleştirilmesi, yani herhangi bir insan müdahalesine gerek kalmadan yapılması hızla artmaktadır (Liu ve ark., 2018).

Bireyler, onları diğerlerinden ayıran, metrik denilen bazı biyolojik özelliklere sahiptir (Jain, Hong ve Pankanti, 2000). Biyometri, fizyolojik ve davranışsal olarak kategorize edilen bu metriklerle ilgilidir (Jain ve Ross, 2008). Biyometri, sürveyans, tanımlama, insan-bilgisayar etkileşimi gibi birçok alanda insanlar arasında farklılaşma konusundaki yüksek performanslarından dolayı büyük ilgi görmüştür ve son yıllarda geniş uygulama alanı kazanmıştır (Zhong ve Zhang, 2013; Guan ve ark., 2010; Cevik, Cevik ve Gurhanli, 2019).

Bireyler hakkında sunduğu bilgi miktarı ve bu bilgilerin herhangi bir rahatsızlık ve insan müdahalesi olmadan uzak, kamera benzeri cihazlar kullanılarak toplanabilmesi nedeniyle kişinin kimliği, kastı, duygusu gibi birçok sözel olmayan ve anlamsal bilgi, bir bireyin yüzüne bakarak elde edilebilir. Bilim ve teknolojideki gelişmeler kimlik doğrulama ve tanımlama işlemlerinin hızlı, etkin ve otomatik gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bireyleri, diğerlerinden ayıran biyometrik özelliklerden birisi ise yüz verileridir.

Yüz verileri, kameralar gibi cihazlar aracılığıyla herhangi bir rahatsızlık ve fiziksel temas olmadan ve herhangi bir insan müdahalesine gerek kalmadan, aynı zamanda yüksek ayırt edici performansı ile gerçek zamanlı olarak toplanıp işlenebilmesinin önde gelen biyometrelerinden biridir (Dubey, 2017; Jafri ve Arabnia, 2009). Bu nedenle, yüz tanıma ticari ve kolluk uygulamalarının güvenlik alanında yaygın olarak tercih edilmiştir (Huang, Li ve Liu, 2012; Chen ve Zhang, 2012; Duan, ve ark., 2018; Lu, Liong ve Zhou, 2018; Abudarham, Shkiller ve Yovel, 2019).

Yüz verilerinden kimlik doğrulama işlemi yüz dönüm noktaları yüz ifadelerinin tanınması ve kafadan pozlama için yoğun kullanılmasına rağmen, ayırt edici performansı yeterince araştırılmamıştır. Bu çalışmanın amacı; simgesel noktaları kullanarak şekil ve gri düzeyde görünümlere dayalı yüksek ayırmacı bir yüz tanıma yöntemi önermek ve dönüm noktasının yüz tanıma açısından ayırt edici performansı analiz etmektir.

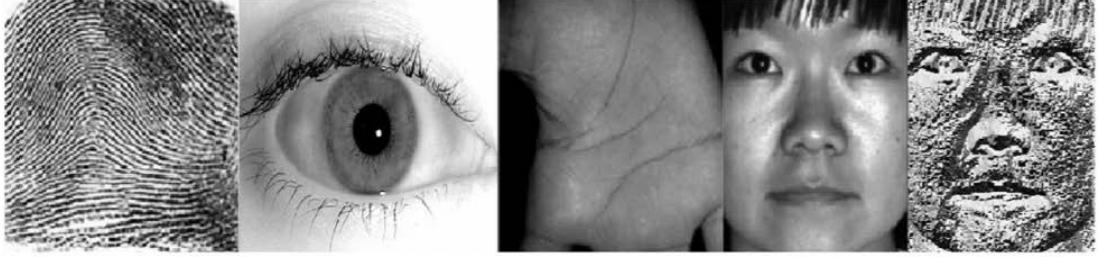
## 2. BİYOMETRİ VE BİYOMETRİK SİSTEMLER

### 2.1 Biyometri Kavramı ve Tanımı

Biyometri, köken olarak eski Grek dilinde *bios* (yaşam) ve *metron* (ölçü) sözcüklerinden oluşan bir terimdir. Anlam karşılığı kişinin ölçülebilir fizyolojik ya da davranışsal özelliklerine karşılık gelmektedir. Bu bağlamda, bir diğer ifadeyle kişinin fiziksel özelliklerinin algoritmalar yoluyla değerlendirilerek elektronik bir depolama aygıtında saklanması ve devamında ortam veritabanındaki hazır bilgiler ile eşleştirilerek yapılan bir tür tanımlama yöntemidir (Kaya ve Güneş, 2016).

Biyometrik yöntemler, fiziksel ve davranışsal olarak iki başlık altında toplanmaktadır. Fiziksel biyometri, kişinin vücut uzuvlarından direkt ölçümlerle elde edilen veriler olup; örnek yöntemler olarak yüz tanımlama, parmak izi, iris tanıma, damar izi tanıma, avuç haritası, el geometrisi, diş haritası, kulak şekli ve vücut kokusu verilebilir. Diğer taraftan, davranışsal özellikler kişi tarafından ortaya konulan eylemleri esas almakta olup; örnek olarak, yürüyüş şekli, ses, konuşma ve imza şekli verilebilir. Fiziksel yöntemler, davranışsal yöntemlere göre daha yaygın biçimde ilgi ve uygulama alanı bulmuş yaklaşımlardır (Evliyaoğlu, 2015).

Biyometrik tanıma işlemini başlıca dört adımda gerçekleştirilmektedir. Bu aşamalar veya basamaklar sırasıyla; görüntü elde etme, özellik çıkarma, veri tabanı depolama ve eşleştirme'dir. Biyometrik sistemler oldukça pahalı teknolojiler olup; kullanım alanları donanımsal ekipmanların durumu ve taşınabilirlik bakımından bazı kısıtlamalara sahiptir (Arslan ve Sağıroğlu, 2016).



**Şekil 2.1:** Parmak İzi, İris, Avuç İzi ve Yüz Tanıma İşlemlerinde Elde Edilen Karakteristik Veriler

## 2.2 Biyometrik Sistem Nedir?

Kimlik tanıma ve doğrulama, çağımızda pek çok alanda (iş günü takibi, banka, seyahat, sağlık ve sosyal güvenlik gibi) yapılması adeta zorunlu hale gelmiş işlemlerdir. Bu alanlarda kimlik tanıma ve doğrulama işlemleri için kullanılan sistemlerden birisi de biyometrik kimlik tanıma ve doğrulama sistemleridir. Biyometrik sistemler, kimlik tanıma (identification) ve kimlik doğrulama (authentication) olmak üzere başlıca iki fonksiyonu yerine getirirler (Koç, 2019).



**Şekil 2.2:** Personel takip sistemi

Biyometrik sistem uygulamaları en basit biçimiyle dahi olsada antik dönemlere kadar uzanmaktadır. Eski Mısır Uygarlığında tahıl ve erzak dağıtımında ilk defa biyometrik sistem uygulamalarının örneklerine rastlanmaktadır. İncelemeler, kişilere merkezi depolardan gıda dağıtımında yara, göz rengi, ten rengi ve boy uzunluğu gibi fiziksel niteliklerin biyometrik referanslar olarak kullanıldıklarını



göstermektedir. Zamanla, özellikle 19. Yüzyılda, adli suç araştırmacıları kişilerin fiziksel özelliklerini suç meilli olup olmadıklarını anlayabilmek amacıyla kullanmışlar ve biyometrik sistemler üzerine ilginin artmasına yol açmışlardır. Bu gibi adımların ilk somut sonucu emniyet güçlerinin parmak izi alımını ve referans kabul etmesini sağlayan ilk uluslararası metodoloji açısından kabul görmüş olmasıdır (Yalçın ve Gürbüz, 2015).

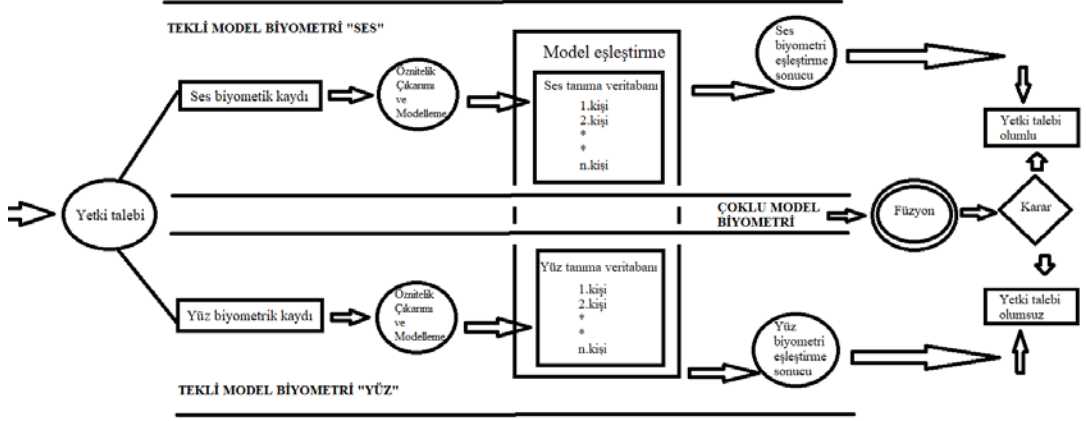
Bir biyometrik sistemi oluşturabilmek için gerekli bazı kıstaslar kullanılmalıdır. Bu kıstaslara “biyometrik ölçüler” denilmektedir. Bahsedilen kıstasların şifrelerde kullanımını Uluslararası Bilgi Teknolojileri Standartları Komitesi (INCITS) tarafından meydana getirilen uluslararası bir standarta göre hazırlanmaktadır. Örneğin, bu standart yardımıyla yaşadığı ülkedeki hesabının olduğu bankanın otomatik para çekme ünitesinden parmak izini kullanarak yapacağı para çekme işlemini aynı bankanın bir diğer ülkedeki cihazından benzer biçimde gerçekleştirebilmektedir (Yalçın ve Gürbüz, 2015).

**Çizelge 2.1:** Biyometrik Tanıma Sistemlerinin Çeşitlerinin Taradıkları Özellikler

<b>Biyometrik özellik</b>	<b>Açıklama</b>
Parmak izi	Parmak satıları, gözenek yapısı
İmza tanıma	Basınç ve hız ile yazma farkları
Yüz geometrisi	Göz, burun vs. arası uzaklıklar
İris tanıma	İris deseni
Retina	Retina desenine göre
El geometrisi	Parmak ve avuç içi özelliklerine göre
Parmak geometri	Parmak ölçme
El damar yapısı	Elin arkası, parmak ya da avuç içi damar yapısı
Kulak formu	Kulağın belirgin boyutları
Ses	Ton veya ses rengi
DNA	Genetik (kalıtsal) özellikler
Koku	Kokunun kimyasal bileşimi
Klavye vuruş	Klavye vuruşlarının ritmi

Biyometrik esaslı sistemler özellikle kimlik tespitinden yüksek güvenlik ve başarı seviyesi vaat etmektedir. Ancak, yinede birden fazla biyometrik özellik kullanan ve güvenlik seviyeleri daha arttırılmış olanlara duyulan gereksinim gün geçtikçe artmakta ve araştırmalar bu konu üzerinde yoğunlaşmaktadır. Alanyazında, kimlik belirleme uygulamalarında her ne kadar yüksek güvenlik ve başarı düzeyi vaadetsede de, birden fazla biyometrik özelliğın kullanımı ile bu sistemlerin güçlendirilmesi ve güvenlik düzeylerinin daha da arttırılması için

çalışmalar sürdürülmektedir. Tek bir biyometrik özelliğin uygulandığı sistemler “tekli model biyometrik sistemler” olarak adlandırılırken, birden fazla biyometrik özelliğin sorgulandığı sistemlere ise “çoklu model biyometrik” sistemler adı verilmektedir (Şekil 2.3) (Dede ve Sazlı, 2010).



Şekil 2.3: Çoklu Model Biyometrik Sistem Akış Diyagramı

### 2.3 Biyometrik Sistemlerin Kullanım Alanları

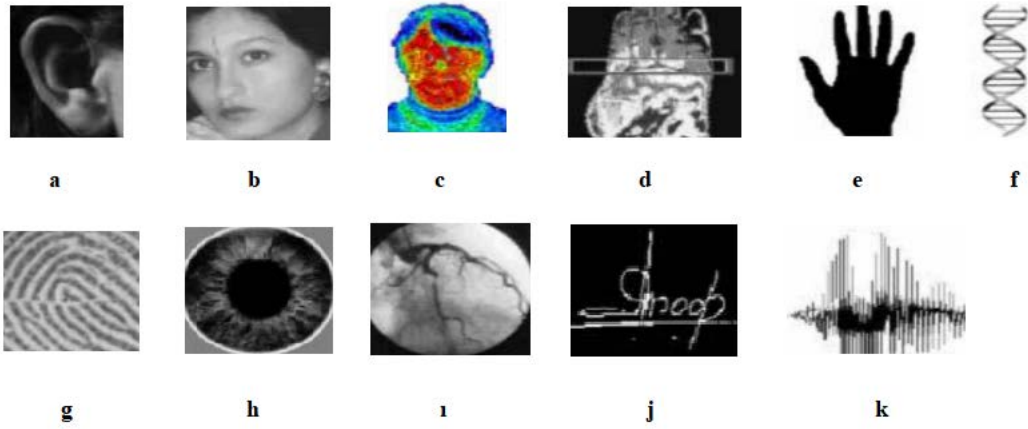
Biyometrik kimlik tanıma ve doğrulama sistemlerinin kullanıldığı başlıca alanları şu şekilde sıralayabiliriz (Yalçın ve Gürbüz, 2015; Koç, 2019):

- Çek sahteciliğine karşı kullanıcı güvenliği,
- Farklı bilet uygulamaları,
- Banka ve ATM'lere erişim kontrolü ve kullanıcı tanımlama,
- Sürücü ehliyeti ve pasaport gibi evraklarda kimlik tespiti,
- E-bilet satışı,
- Müşteri ihtiyaç yönetimi uygulamaları,
- E- belgeleme ve ödeme işlemleri,
- Satış noktası terminallerinde kullanıcı tanımlama işlemleri,
- Havalimanlarında giriş/çıkış işlemlerinde,
- Hudutlar ve hudut kapılarından giriş/çıkış kontrolü,
- İnternet bankacılığında kimlik kontrolü ve kullanıcı tanımlama,
- Kurumsal ağ güvenliği,
- Kişisel bilgisayar güvenliği,
- Kiralık kasalara erişim güvenliği,
- Hasta takibi ve kimlik doğrulaması,

- Kişisel telefon ve dizüstü bilgisayar gibi elektronik cihazlarda kullanıcı giriş güvenliği sağlama,
- E- ticaret kullanıcı tanımlama,
- Uzaktan eğitim ve belge gönderimi işlemleri,
- Akıllı ev sistemler ve eve giriş-çıkış kontrolü,
- İş yerleri, fabrikalar, kamu ve özel kurumların personel giriş/çıkış denetimi.

## 2.4 Biyometrik Sistem Teknolojileri

Günümüzde geniş kullanım alanları bulan biyometrik sistem teknolojilerinden başlıcaları; parmak izi, el geometrisi, yüz, iris, retina, ses ve imzadır. Bu teknolojilere ek olarak, damar tanıma, el yazısı tanıma, yürüyüş tanıma, el ve damar tanıma, kulak biyometriğine göre kimlik tespiti, tuş vuruşu gibi farklı yöntem de biyometrik sistem teknolojiler arasında yer almaktadır (Yalçın ve Gürbüz, 2015).



**Şekil 2.4.** Biyometrik karakteristikler a) Kulak b) Yüz c)Yüz Isı Dağılımı d)El Isı Dağılımı e) El Geometrisi f) DNA g) Parmak İzi h) İris i) Retina j) İmza k) Ses

Biyometri sektörü, tüm dünyada kimlik hırsızlığı, veri hackleme ve güvenlik ihlalleri gibi olumsuz durumlar nedeniyle en hızlı büyüyen sektörler arasında yerini almıştır. Bu konuda çok sayıda teknoloji firması yoğun araştırma ve geliştirme çalışmaları sürdürmektedir. Biyometrik tanıma sistemleri teknolojileri başta sağlık sektörü olmak üzere istihdam ve iş dünyasının pek çok yerinde kullanılmaktadır. Global ID Summit tarafından yayımlanan “Identity in a Digital Age: A Glance at the Countries Leading the Revolution” başlıklı

rapora göre, küresel biyometrik teknoloji pazarının 2022 yılına kadar 34,5 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Bölge olarak en hızlı büyüyen coğrafya ise Asya-Pasifik bölgesi ve bu bölgedeki Hindistan ve Çin'dir. Bu iki ülke dışında biyometrik sistemlere en çok yatırım yapan ülkeler; Avustralya, Brezilya, Avrupa Birliği (AB), Singapur, Güney Afrika Cumhuriyeti, Birleşik Arap Emirlikleri (BAE), İngiltere ve ABD'dir. Türkiye'de biyometrik tanıma sistemleri teknolojik altyapısı TÜBİTAK tarafından geliştirilen Türkiye Cumhuriyeti Kimlik Kartı; T.C. İçişleri Bakanlığı Nüfus ve Vatandaşlık İşleri Genel Müdürlüğü tarafından projelendirilmiştir. Proje, STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş tarafından icra edilmektedir. Diğer taraftan, Türkiye'de Sosyal Güvenlik Kurumu ve hastaneler tarafından kullanılan ve avuç içi damar izi yöntemiyle kişinin doğrulanmasını mümkün kılan sistemler sağlık sektöründe yaygın biçimde değerlendirilmektedir (Thinktech, 2019). Tezin bu bölümünde en yaygın kullanılan biyometrik sistem teknolojilerine yer verilmiştir.

#### **2.4.1 Parmak izi tanıma teknolojisi**

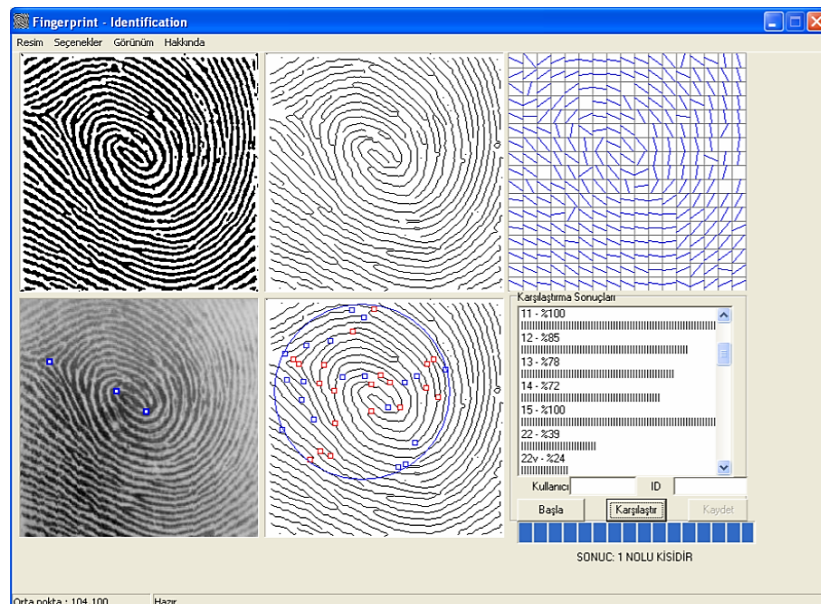
Parmak izi 100 yılı aşkın bir süredir kimlik saptama amacıyla kullanılmaktadır. Bu alanda öncü çalışmalar Galton and Henry (1828,1900) tarafından yapılmıştır. Parmak izleri kimlik saptamada yaygın olarak kullanılan fiziksel özelliklerdir. Diğer fiziksel özelliklere göre parmak izi en güvenilir yöntemdir. Her insanın on parmağının her biri birbirinden farklıdır. Hatta ikizlerin bile parmak izleri, birtakım benzerlikler dışında tamamen aynı değildir. Parmak izinin biçimini ve karakteristik özelliğini değiştirmek de mümkün değildir (Karakulah, Danacı ve Ciritci, 2004).

Herhangi iki kişinin parmak izlerinin aynı olma ihtimalinin 64 milyarda 1 olduğu tahmin edilmektedir. Bir diğer ifadeyle, neredeyse tüm insanlık tarihi boyunca aynı parmak izinin iki kez oluşmadığını söylemek hatalı olmayacaktır. Parmak izi, insan parmakların uç kısmındaki kıvrımların oluşturduğu şekillere denilmektedir ve dermatoglifik bilimin ilgi alanına girmektedir. Örneğin, parmak izinin ilk kez Çin'de M.Ö. 246 yılında resmi evrakları mühürlemek amacıyla kullanıldığına dair kanıtlar bulunmaktadır. Bu sebeple, günümüzde parmak izinin benzersiz ve kolayca tespit edilebilmesi gibi nedenlerle parmak izi tanımlanmasına dayalı sistemler geniş uygulama ve kullanım bulmuştur.

Parmak izi tanıma sistemleri ilk olarak parmak ucundaki girintilerin ve çıkıntılarının birbirlerine uzaklıklarını, kıvrım açılarını ve belirli referans noktaların birbirlerine uzaklıklarını algılar ve bir şifreleme algoritması oluşturur ve bilgileri veritabanında saklar. İleri bir zamanda parmak izi bir sebeple yeniden tanıma sistemine okutulursa, daha önce algoritmasına kaydetmiş olduğu kayıtlar arasında bir eşleşme yapılır ve parmak izi tanıma süreci yerine getirilmiş olur (Delice, Duman ve Özel, 2014).



Şekil 2.5: Öznitelik noktaları (uç ve çatal)



Şekil 2.6: OPTS'nin tanıma modunda çalışmasını gösteren ekran görüntüsü



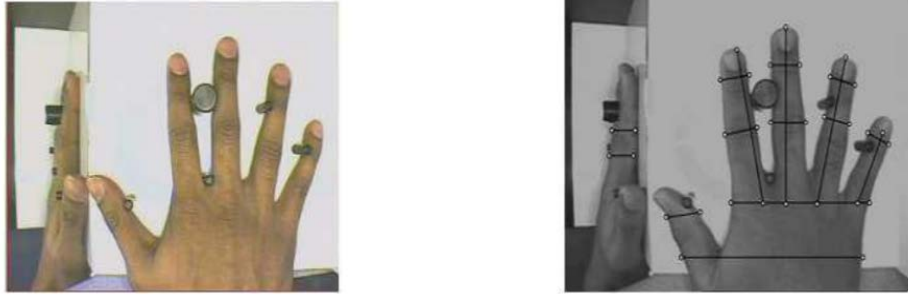
**Şekil 2.7:** OPTS'nin onaylama/doğrulama modunda çalışmasını gösteren ekran görüntüsü

Biyometrik sistemler, genel olarak tanımlama ve onaylama olmak üzere iki modda çalışırlar. Tanıma sistemi, tanıma modunda çalışırken kişiye ait biyometrik ve kimlik bilgilerinin daha önceden uygun bir formatta sistemin veritabanında karşılaştırma yapılacak biçimde işlenmiş olması gerekir. Diğer taraftan, onaylama ya da doğrulama modunda iken kullanıcı, sistemde var ve tanımlı olan bir kimlik numarası ile gelerek o anki ve sistem hafızısındaki kişisel biyometrik ölçümler birbirleri ile örtüşürse kişiye hak cevabı verilir. Bir otomatik parmak izi tanıma sisteminin (OPTS) “tanıma” (Şekil 2.6) ve “onaylama/doğrulama” (Şekil 2.7) modlarında çalışmasını gösteren ekran görüntüleri sunulmaktadır (Özkaya, Sağıroğlu ve Beşdok, 2005).

#### **2.4.2 El geometrisi tanıma teknolojisi**

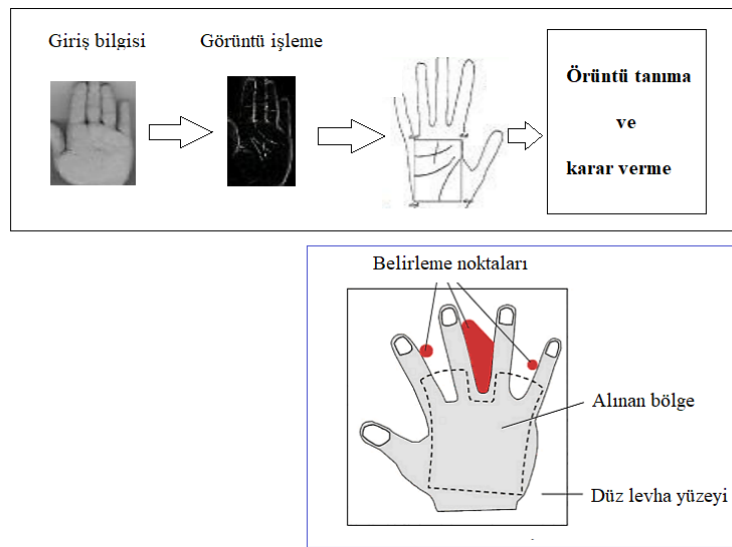
El geometrisi, kişi tanımada kişilerin el şekillerini kullanan bir biyometrik özelliktir. Bir biyometrik sistemde, el geometrisine dayanarak ana hat oluşturulur ve gerçekleştirilir. İşlem önceliği (siyah-beyaz içindeki renk görüntüsünü değiştirdiği gibi, ayrıt sezimi ve dış hatları çıkarma) ve ölçüm algoritmaları el görüntüsüne uygulanır. El geometrisi tanıma sisteminde üç

temel birim vardır; bölütleme, özellik çıkarımı ve tanıma'dır (Ergen ve Çalışkan, 2011).



**Şekil 2.8:** El geometrisinin alınması

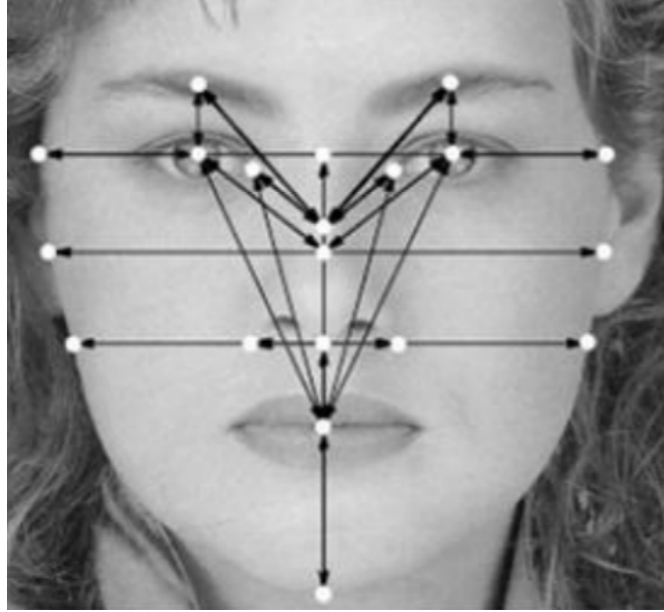
El geometrisi tanıma Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde yirmi yılı aşkın süredir kullanılan bir yöntemdir. Stratejik önemi olan nükleer tesisler ve havalimanlarında sıklıkla tercih edilmektedir. Bu yöntemde kişinin eli ya da iki parmağının geometrik yapısı çözümlenir. Parmakların uzunluğu, genişliği ve büküm yerleri ayırt edici özellikler olarak kabul edilmektedir. El geometrisi tanıma yüksek doğruluklu olmakla birlikte, teknik donanımların kapladığı alanın geniş olması, işletme maliyetleri ve yavaş okuma hızı gibi sebeplerle geniş kullanım alanı bulamamaktadır. Aynı zamanda, kişinin elinde olan travmalar, yaralanmalar ve özellikle çocukların el gelişimlerinin hızlı olması gibi diğer kısıtlayıcı sebepler el geometrisi okuma sisteminin tercih edilmesini güçleştirmektedir (Şekil 2.8 ve Şekil 2.9) (Şan, 2013).



**Şekil 2.9:** Avuç bölgesinin elde edilme işlemi ve belirleme noktaları ile avuç içinde alınan bölüm

### 2.4.3 Yüz tanıma teknolojisi

Yüz tanıma teknolojisi ilk defa bilgisayar uzmanı Woody Bledsoe tarafından 1960'lı yıllarda geliştirilmiştir. Bledsoe, farklı yüzleri sınıflandırabilmek için kılavuz çizgilerini kullanmıştır. Başlarda oldukça zahmetli bir süreç olan yüz tanıma işleminde kişilerin çalışmaya katılımları gerekli olup, kişinin yüz karakterlerinin fotoğrafından çıkarılarak bir bilgisayara verilerin işlenmesi için girilmesi oldukça zahmetli ve uzun zaman alan bir işlemdi. Örneğin, o dönemlerde saatte yalnız 40 yüzün eşleştirmesi yapılabiliyordu. Sonuç isabet oranı da düşüktü ve genelde %40 başarılı olunuyordu. Ancak, uzmanların ısrarlı çalışmaları neticesini verdi ve Almanya'daki Bochum Üniversitesi yüksek doğruluk sunan yeni bir teknoloji geliştirdi. Teknolojinin ilk alıcıları banka ve havalimanı müşterileri oldu. Bu aşamadan başlayarak yüz tanıma piyasası giderek büyümeye başladı. İlk geliştirildiği yıllardan bu yana önemli bir yol kat eden yüz teknolojisi, günümüzde, canlı kapalı devre Tv (CCTV) beslemeleri ve standart bilgisayar donanımı gibi yaygın olarak kullanılan donanımlarla, doğru tanımlama yapılabilmesini hedeflenmektedir (Güvenlik Online, 2020a).



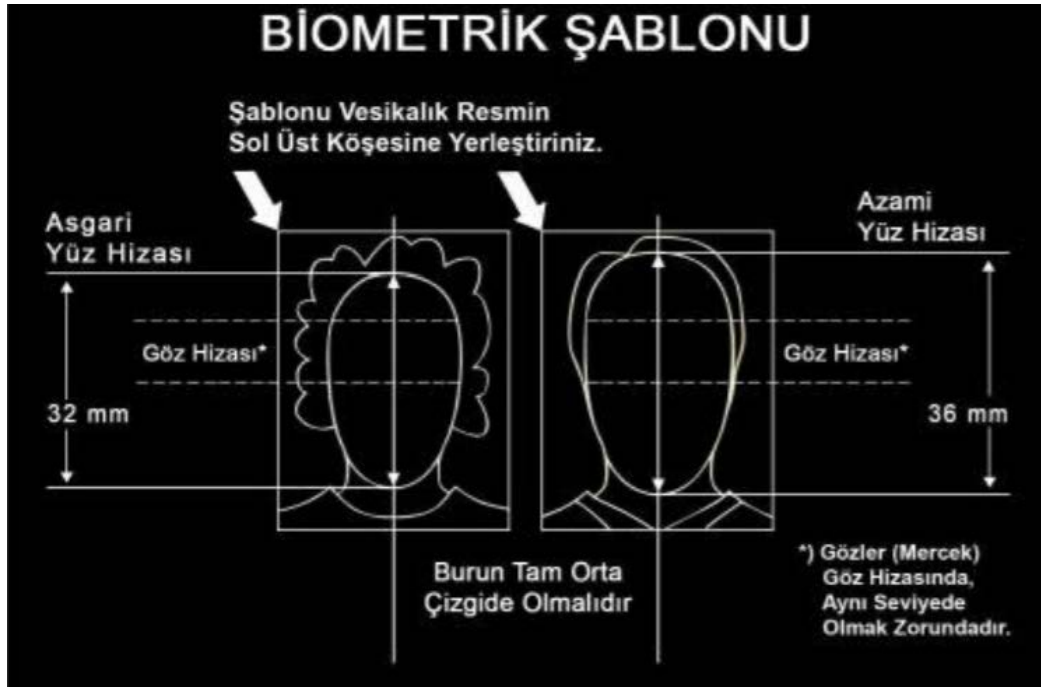
**Şekil 2.10:** Yüz metriği yöntemi ile tanıma

Yüz tanıma bir biyometrik desen (örüntü) tanımadır ve diğer biyometrik sistemlerinden (iris tanıma, parmak izi tanıma, ses tanıma, DNA tanıma, vb.) daha çok kabul görmüş ve kullanışlıdır. Diğer taraftan, farklı pozlar, pozların tikanıklığı, yaşlanma, yüz ifadesi, ölçek ve ışık durumu gibi yüz tanıma



biyometrik sistemlerinin çözmesi gereken öncelikli sorunlar bulunmaktadır. Bu sorunlar arasında ise en çok değişken pozlar gündemde önemli yer işgal etmektedir. Herhangi bir diğer biyometrik tanıma sistemi gibi, yüz tanıma sistemi dört ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; ön işleme; özellik çıkarımı veya boyut indirgeme; eğitim veya dönüştürme öğrenme; eşleştirme ve tanıma'dır (Shokouh, 2013).

Günümüzde yüz tanımlama konusunda kullanılan iki yöntem sırasıyla; Yüz Metriği Yöntemi ve Eigenfaces Yöntemi (Yüz Parçaları)'dir. Yüz Metriği Yönteminde, Şekil 2.10'da görüldüğü üzere yüz üzerinde yerleşik olan organlar (Örneğin gözler arasındaki mesafe, ağız ve burun arasındaki mesafe vb.) arasındaki mesafeler ölçülerek bunlardan bir matematik ifade çıkarılmaya çalışılır. Diğer taraftan, Eigenfaces Yönteminde ise polis ressamının yaptığına benzer bir yöntem uygulanır. Yüz 150 parçaya bölünür. Bu 150 parçadan 40 tanesinin belirleyiciliği diğer parçalardan daha fazladır. İlk etapta bu 40 parçadan başlayarak yüz tanımlama işlemine geçilir. Böylece yüz tanımlanmaya çalışılır..



**Şekil 2.11:** ICAO Standartlarındaki biyometrik vesikalik fotoğraflar için aranan özellikler ve biyometrik fotoğraf şablonu

Biyometrik yüz tanıma yaklaşımına bilinen en iyi örneklerden birisi de biyometrik fotoğraftır. Biyometrik fotoğraf, ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu)

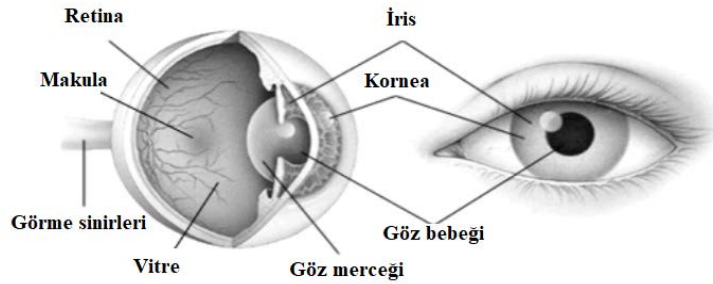
tarafından belirlenen ve makinede okunabilen seyahat belgelerinde kullanılan yüksek kaliteli, belli ölçüleri ve özellikleri olan vesikalık fotoğraftır. E-Pasaportlarda yüz, parmak izi ve göz bebeği olmak üzere üç tür biyometrik veri kullanılmaktadır. Biyometrik özelliklere sahip pasaportlarda kan grubundan parmak izine ve surat yapısına kadar birçok bilgi chip ile kodlanmıştır (Şan, 2013; e-Pasaport, 2013)

#### 2.4.4 İris tanıma teknolojisi

İris, insan göz bebeği etrafında yer alan renkli halkadır. Bir biyometrik tanıma teknolojisi olan iris tanıma sisteminin tercih edilme sebepleri arasında başlıcalarını şu şekilde sıralayabiliriz (Önen Yıldız, 2010):

Her bir kişinin gözü eşsiz olup, doğumunu takip eden onaltıncı aydan başlayarak ölümüne değin değişmeden kalır. Hatta tek yumurta ikizleri aynı DNA'ya sahip olmalarına rağmen, birbirlerinden farklı iris yapıları bulunur.

- İris, kalıtsal hastalıklardan ve genetik oluşumlardan etkilenmemektedir.
- Demografik özellikler iris yapısına tesir etmemektedir.
- Göz kapağı ile muhafaza edilen ve içgüdüler (refleksler) ile korunan bir organdır.
- Kişinin ölümü gerçekleştiğinde en geç üç saniye içinde yaşamsal özelliğini kaybetmektedir.



**Şekil 2.12:** Gözün yapısı ve iris

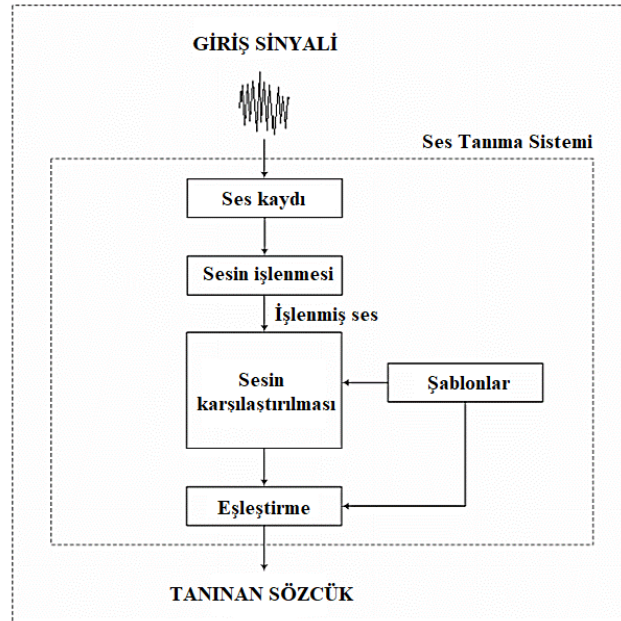
Fizyolojik özelliklere dayalı bir biyometrik sistem olan iris tanıma sistemi dört adımdan oluşur. Bu adımlar sırasıyla; irisin dijital görüntüsünün alınması, analiz için görüntünün işlenmesi, özellik çıkarma ve kimlik belirlemedir. Basit bir CCD kamera ile 15 ila 20 cm uzaktan yapılabilir (Şekil 2.12) (Şan, 2013).

#### 2.4.5 Retina tanıma teknolojisi

Retina, insanların tanınmasında kullanılan biyometrik yapılardan birisidir. Bu işlemde insan göz bebeğinin arkasında yer alan damar tabakasının tanınması sağlanır. Bu bölgede yer alan damar tabakası kişiden kişiye farklılıklar göstermesine rağmen, bazı hastalıklardan (göz damar hastalıkları ve diyabet gibi) kolaylıkla etkilenebildiği için çok yaygın kullanım görmemektedir. Aynı zamanda, örneklem esnasında kişinin belirli bir noktaya sabitlenmesi (bakması) gerektiğinden süreç zorlaşmakta ve bu da yöntemin tercih edilirliliğini azaltmaktadır. Retina resmi çekildikten sonra elde edilen görüntüde birden fazla eşik değeri alınarak (eşikleme yapılarak) adım adım damar görüntüsü elde edilmektedir. Son görüntüde özellik çıkarma işlemi yapıldıktan sonra parmak izi işlemlerinde yapılan adımlar takip edilerek biyometrik tanıma gerçekleştirilmektedir (Kakıcı, 2008; Tanrıverdi, 2017).

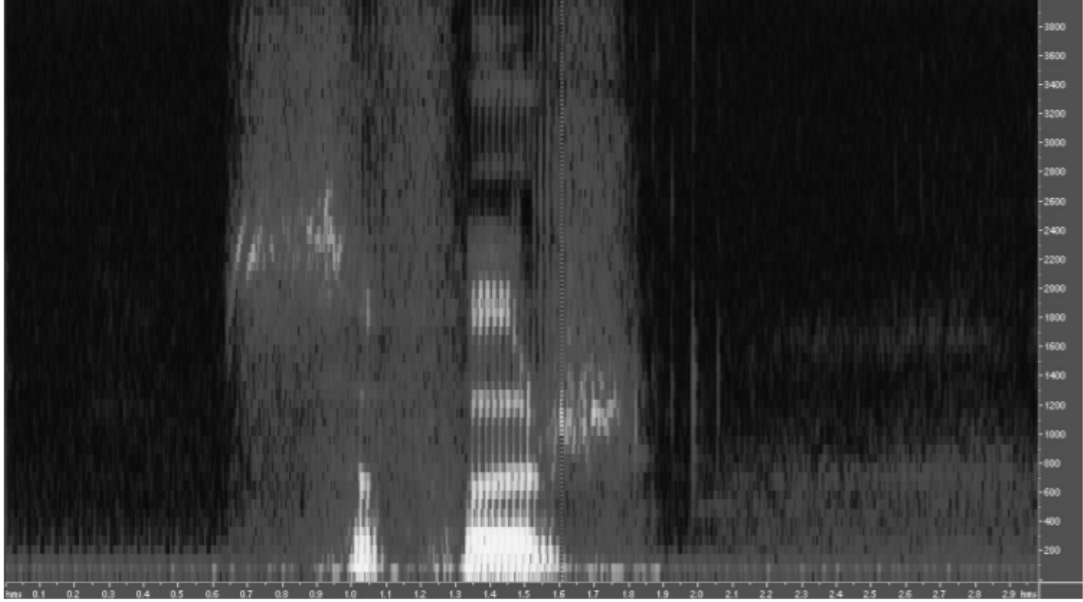
#### 2.4.6 Ses tanıma teknolojisi

Ses, insana ait ölçülebilir bir tanıma ölçütüdür. Ses tanıma sistemlerinin ortaya çıkışında kişilerin parola hatırlamalarını ortadan kaldırmak veya parolanın deşifre olması durumunda özel bilgilerine ulaşmasını önlemektir. Bu sistemde, kişinin sesi bir mikrofon yardımıyla bilgisayara veri olarak alınmakta; sırasıyla onaylama ve kimliklendirme işlemleri yapılmaktadır (Küçüker ve ark., 2006).



Şekil 2.13: Örnek bir ses tanıma modeli

Ses tanıma sistemlerinin başlıca avantajları sırasıyla; kullanım kolaylığı sağlaması, yüksek veri toplama hızı, hareket serbestliği ve uzaktan erişim olanağı vermesidir. Dikte, komut - kontrol, telefonla hizmet, giyim kısıtlamaları, tıbbi yetersizlikler ve gömülü uygulamalar başlıca kullanım alanlarıdır (Baygün, 2006).



**Şekil 2.14:** 8000 Hz ile örneklenmiş 'sıfır' kelimesi ses sinyalinin spektrumu

Ses tanıma alanında başlıca uygulama alanları aşağıda sunulmaktadır (Çakır, 2017):

- Dikte (yazdırım),
- Çeviri,
- Akıllı cihazlar,
- Ev otomasyonu,
- Araba içi sistemler,
- Komut ve kontrol,
- Konuşmacı bağımlı sistemlerde güvenlik kontrolü,
- Telefon üzerinden hizmet (bilgisayar tabanlı telesekreterler gibi),
- Sağlık hizmeti,
- Eğitim alanı,
- Robotların sesle kontrolü,
- Askeri ve istihbari alanlar,

- Gömülü uygulamalar,
- Uzay (örneğin uzay araştırması, uzay aracı, vb.) NASA'nın Mars Polar Lander, Lander'daki Mars Mikrofonunda Sensory, Inc.'den konuşma tanıma teknolojisini kullandı,
- Konuşma tanıma ile otomatik altyazı üretme,
- Mahkeme raporlaması (Gerçek Zamanlı Konuşma Yazma),
- e-Discovery (Yasal keşif),
- Ahizesiz Bilgi İşlem: Konuşma tanıma bilgisayar kullanıcı arabirimi,
- Bilgisayar destekli dil öğreniminde telaffuz değerlendirme,
- Sanal asistan (örneğin, Apple Siri).

#### **2.4.7 Biyometrik teknolojilerin karşılaştırılması**

Biyometrik teknolojilerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Biyometrik teknolojilerin dayandıkları biyometrik özellikler arasında DNA, kulak, yüz, yüz termogramı, parmak izi, el geometrisi, iris, retina, imza ve ses başlıcalarıdır.

Sayılan biyometrik özellikler, evrensellik, eşsizlik, süreklilik, elde edilebilirlik, performans, kabul edilebilirlik ve yaygınlık kriterleri bakımından karşılaştırılabilir.

Karşılaştırma sonucu, evrensellik ve eşsizlik açısından DNA, yüz ve yüz termogramı, iris ve retina; süreklilik bakımından DNA, kulak, parmak izi ve iris, elde edilebilirlik bakımından yüz ve yüz termogramı, el geometrisi ve imza, performans bakımından DNA, parmak izi, iris ve retina, kabul edilebilirlik açısından kulak, yüz ve yüz termogramı, imza ve ses ile yaygınlık bakımından ise yüz, imza ve ses yüksek olarak tanınmaktadır.

Bu sebeple, farklı biyometrik sistemlerin kullanım alanları amacına ve yeterliğine göre değişmekte; ancak, sistemlerin geliştirilmeleri ile ilgili araştırmalar tüm hızıyla devam ettirilmektedir (Ergen ve Çalışkan, 2011).

Biyometrik teknolojilerin karşılaştırması Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.2:** Biyometrik teknolojilerin karşılaştırılması

<b>Biyometrik özellik</b>	<b>Evrensellik</b>	<b>Eşsizlik</b>	<b>Süreklilik</b>	<b>Elde edilebilirlik</b>	<b>Performans</b>	<b>Kabul edilebilirlik</b>	<b>Yaygınlık</b>
DNA	Y	Y	Y	D	Y	D	D
Kulak	O	O	Y	O	O	Y	O
Yüz	Y	D	O	Y	D	Y	Y
Yüz termogramı	Y	Y	D	Y	O	Y	D
Parmak izi	O	Y	Y	O	Y	O	O
El geometrisi	O	O	O	Y	O	O	O
İris	Y	Y	Y	O	Y	D	D
Retina	Y	Y	O	D	Y	D	D
İmza	D	D	D	Y	D	Y	Y
Ses	O	D	D	O	D	Y	Y

*Y: Yüksek; O: Orta; D: Düşük*

### **3. YÜZ VE YÜZ TANIMA SÜRECİ**

#### **3.1 Yüz ve Özellikleri**

Her yüzün kendi şekli ve rengi vardır. Yüzün renk özelliklerine odaklanan yöntemler yüzün dokusuyla ilgilidir. Her insan yüzünün doku denilen kendi yapısal özelliklerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Tanımı hakkında genel bir fikir birliği olmamasına rağmen, doku görüntüde tekrarlanan desenler olarak tanımlanır (Liu ve Wechsler, 2002). Bir tanımlayıcı, bir yüzün iyi bir temsilcisi olmak için, yüksek ayırt edici oran, düşük hesaplama karmaşıklığı, gürültü, tıkanma ve aydınlatma ve ifadedeki farklılıklar gibi bozucu faktörlere karşı direnç gibi nitelikleri taşımalıdır (Turk ve Pentland, 1991).

Literatürde çoğunlukla iki kategori altında toplanan pek çok yüz temsilci sunulmuştur: yerel (Belhumeur, Hespanha ve Kriegman, 1997; Lei ve ark., 2011; Çevik ve Çevik, 2019; Comon, 1994) ve bütüncül tanımlayıcılar (Haralick, Shanmugan ve Dinstein, 1973; Jutten ve Herault, 1991; Champion ve ark., 2016).

Bütünsel yaklaşımlar tüm imajı inceler ve bütüncül özellikleri göz önünde bulundurur. Bu bütünsel özellikler seti aynı zamanda yüzün genel özelliklerini de ifade eder (Ou, Pan ve Xiao, 2014).

#### **3.2 Yüz Tanıma Süreçleri**

Örüntü tanıma temsilcisi olan yüz tanıma işlemi iki ana adımdan oluşur. Bunlardan ilki, bir yüzü diğerlerinden ayırabilen, yüz temsili olarak da adlandırılan özelliklerin çıkarım sürecidir. Diğer yüz eşleme adı verilen ayırt edici sınıflayıcıların veya modellerin tasarımı ve uygulamasıdır (Çevik ve Çevik, 2018; Nanni ve ark., 2013). Bu adımlar arasında, yüz temsili daha önemlidir, çünkü yüz tanıma, benzer kimliğin görüntüleri arasında ince bir ayırım gerektiren ve aynı kimliğin farklı görüntülerine genelleme gerektiren hesaplama açısından zor bir işidir (Liu ve ark., 2016).

Yüzde, yüz şekli analizinin yapıldığı dönüm noktası gibi bazı önemli kilit noktalar vardır. Baş poz tahmini (Asthana ve ark., 2013; Gao ve ark., 2008) ve yüz ifadesi tanıma (Murala, Maheshwari ve Balasubramanian, 2012; Mohammad ve Ali, 2011; Liu, Zhang ve Liu, 2014; Islam, 2014; Hafiane, Seetharaman ve Zavidovique, 2007) gibi bazı önde gelen bilgisayarlı görme uygulamaları, dönüm noktalarına ait verileri kullanır. Dahası, göz çevresindeki dönüm noktaları, göz tespitinde ve göz takibinde kullanılmak üzere öğrencilerin merkezi konumunun ilk tahminini sağlayabilir (Islam ve Auwatanamongkol, 2014). Önemli noktalardan elde edilen veriler, insan ve bilgisayar etkileşimi, eğlence, güvenlik gözetimi ve tıbbi uygulamalar için önemli bir bilgi kaynağı olabilir. Bazı nedenlerden dolayı, dönüm noktalarının tespiti zorlaşıyor. İlk olarak, yüz görünümündeki değişiklik, farklı yüz ifadeleri yerleştirmelerinde ve kafa pozisyonu değişikliklerinde kişiden kişiye farklılık gösterir. İkincisi, aydınlatma gibi çevresel koşullar resimlerdeki yüzlerin görünümünü önemli ölçüde etkiler. Ve son olarak, kafa pozlarındaki aşırı değişikliklerden dolayı kendiliğinden tıkanma veya diğer nesnelerin neden olduğu tıkanma, yüz görünüm bilgisinin kaybolmasına yol açar (Yang ve ark., 2012).

### **3.2.1 Çıkarım süreci**

Yüz ifade analizi üç adımda gerçekleştirilir. Bu adımlar sırasıyla; yüzün bulunması, yüze ait özniteliklerin çıkartılması ve yüz eşleşme sürecidir. Yüz, algılandıktan ve izlendikten sonra, yüze ait özgün ifadeleri tanımlayabilmek için belirli bölgelerdeki biçimsel değişimler çıkartılır. Çıkarılan geçici biçimsel değişimler yüz kaslarının kasılması ile gelişir ve bunların başlıcaları; kaşlar, göz çevreleri, burun, dudak ve çene bölgeleri ile yüz derisinde oluşur. Yüze özgün bu değişimleri saptayabilmek için geometrik-tabanlı ve görünüm-tabanlı olmak üzere iki metot bulunmaktadır. Aynı zamanda, iki metodun birlikte kullandığı karma ya da hibrit yaklaşımlarda mevcuttur. Çıkarım sürecinden sonra son aşamada ise yüzün eşleştirilmesi sürecine geçilir (Bayrakdar, Akgün ve Yücedağ, 2016).

Yüz tanıma sistemlerinde çıkarım evresinde gerçekleşen şey aslında yakalama sürecinde depo edilen kişiye özgün niteliklerin sistemde var olan diğer tüm verilerden ayrı ve emsalsiz bir şablonunun çıkarılmasıdır. Bu şekilde farklı



yüzlerin birbirlerinden ayırt edilmeleri kolaylaşmakta ve benzersiz bir veritabanı havuzuna sahip olunmasını mümkün kılmaktadır (Engoper, 2016).

Yüz tanıma sisteminin altı biriminden birisi olan çıkarım biriminde, ön işleme süreci tamamlanmış yüze ait özellikleri tanımlayan özgün karakteristikler çıkarılır. Örneğin, yüz görüntüsündeki gözler, burun ve ağız arasındaki mesafe ve konum, çıkarım işlemi ile tespit edilir. Devamında, belirlenen öznitelikler veritabanında depolanır ve kişiye özgün bir şablon olarak adlandırılır. Bir yüz şablonu sadece tek bir görüntüden seçilebildiği kadar, birden fazla görüntünün işlenmesi ile de oluşturulabilir. Çoğunlukla, yüz tanıma sistemlerinde birden fazla şablon ile eğitilmekte ve suni olarak gerçek veya orijinal yüz görüntüsünden meydana gelmektedir (Eleyan ve Telatar, 2019).

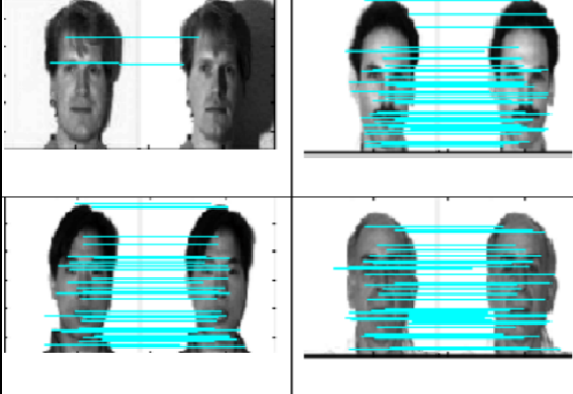
### **3.2.2 Yüz eşleme süreci**

Yüz tanıma sistemi 4 adımdan oluşur. İlk adım, kişinin yüzü bir fotoğraf veya var olan bir videodan çekilir. Daha sonra, yüz tanıma teknolojisi devreye girerek, yüzün geometrisini okur. Bu geometri içerisinde, gözler arasındaki mesafe ve tüm yüz konumunun mesafesini içerir. Bu durum yüz imzası olarak adlandırılır. Son olarak, yüz imzası, veritabanındaki görüntü ile eşleşerek gerçek bilgiye ulaşılır (Intell4, 2020).

Yüz tanıma sisteminde kamera yüzü yakaladığı zaman eşleşme gerçek zamanlı gerçekleşir. Önceden belirlenmiş kurallara göre karşılaştırma işlemi bir eylemi ya da alarmı harekete geçirir. Bazı belirlenmiş kurallara göre ise erişime müsaade edilir. Bir yüz tanıma sisteminde eşleşmenin en etkin biçimde gerçekleşmesi için veritabanında önceden belirlenerek saklanmış emsal veya referans görüntülerin yüksek çözünürlükte olmaları ve tanımlanacak olan yüzün kameraya direkt bakması gereklidir. Aksi takdirde, yüzün pozlama ve ifadelerde olası farklılıklar ile birlikte maksatlı veya maksatsız biçimde engeller eşleştirmeyi zorlaştırabilir (Güvenlik Online, 2020b).

Dünyada eşleştirme için geliştirilmiş olan bazı veritabanları vardır. Bu veritabanları arasında bazıları; Yale, Hint (indian), Japon kadın ve AT&T yüz veritabanlarıdır. Bu veritabanlarında eşleştirme yazılımı kişinin yüzünü hafızasında depolanmış diğer kişilerin yüzleri ile eşleştirir ve en yüksek eşleşme oranını belirlemeye çalışır. Yale yüz veri tabanına göre yapılmış bir

eşleştirmeye ait görüntüler ve eşleşme oranları Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterilmektedir (Filiz, 2012).

	Veritabanı	Kişi	Başarı Oranı
	Yale Yüz Veritabanı	1.	%98.13
		2.	%97.6
		3.	%97.6
		4.	%97.6
		5.	%97.6
		6.	%98.13
		7.	%97.6
		8.	%97.6
		9.	%97.6
		10.	%97.2
		11.	%97.6
Ortalama	%97.66		

**Şekil 3.1:** Yale yüz veritabanında elde edilen en yüksek eşleşme sayılarına göre yüzler ve elde edilen başarı oranları

Kişinin yüzünden elde edilen mihenk noktaları arasında eşleşme gereklidir. Verimli bir eşleştirme sonucu alabilmek için yüzlere özgü ve özelliklerini iyi belirleyen farklı sınırlama ve yaklaşımlar ile eleme işlemleri gerçekleştirilmelidir. Yüzlerdeki eşleştirmelerin ideali çizgilerin yatay ve birbirlerine paralel olması ile sağlanır (Filiz, 2012).



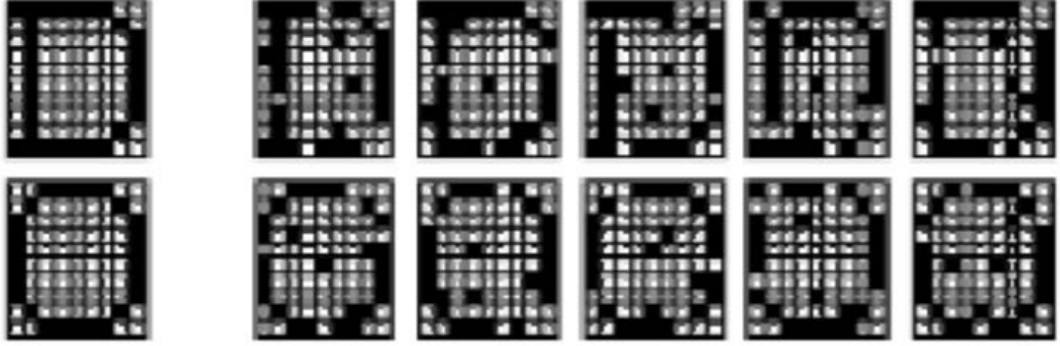
**Şekil 3.2:** (a) Yüz resimleri arasında ilgi noktalarının eşleştirilmesi (b) Çoklu eşleşmeler elendikten sonra geriye kalan eşleşmeler

### 3.2.3 Yüz tanıma sürecini etkileyen faktörler

Gürültü, kısmi tıkanma ve aydınlatma, maruz kalma ve ifade farklılıkları gibi faktörler otomatik tanıma sürecini çok daha zorlaştırmaktadır (Ahonen, Hadid ve Pietikainen, 2006).

### 3.2.3.1 Gürültü

Gürültü (noise), konu dışı ve anlamsız bilgi anlamına gelir. Bir yüz tanıma sisteminde başlıca hedeflerden birisi de gürültüyü mümkün olduğu kadar azaltmaktır. Gürültü, veri kalitesi bakımından son derece önemlidir. Verilerde gürültü ya da bir diğer ifadeyle maksatlananın dışında anlamsız bilgi veya veri olması yapılmak istenen tanıma işleminde verimi düşürmekte ve başarı oranını azaltmaktadır demektir. Yüz tanıma sistemi, bir kamera yardımıyla kişinin fotoğrafını çıkarır. Daha sonra, çıkarılan fotoğraf sayılaştırılarak, yüzün (görüntünün) iki boyutlu temsili yaparak gri düzey matris ile tanımlanır. Bu aşamada, gürültü, sistem performansını azaltıcı olumsuz bir durumdur (Taşova, 2011; Erdem, 2014).

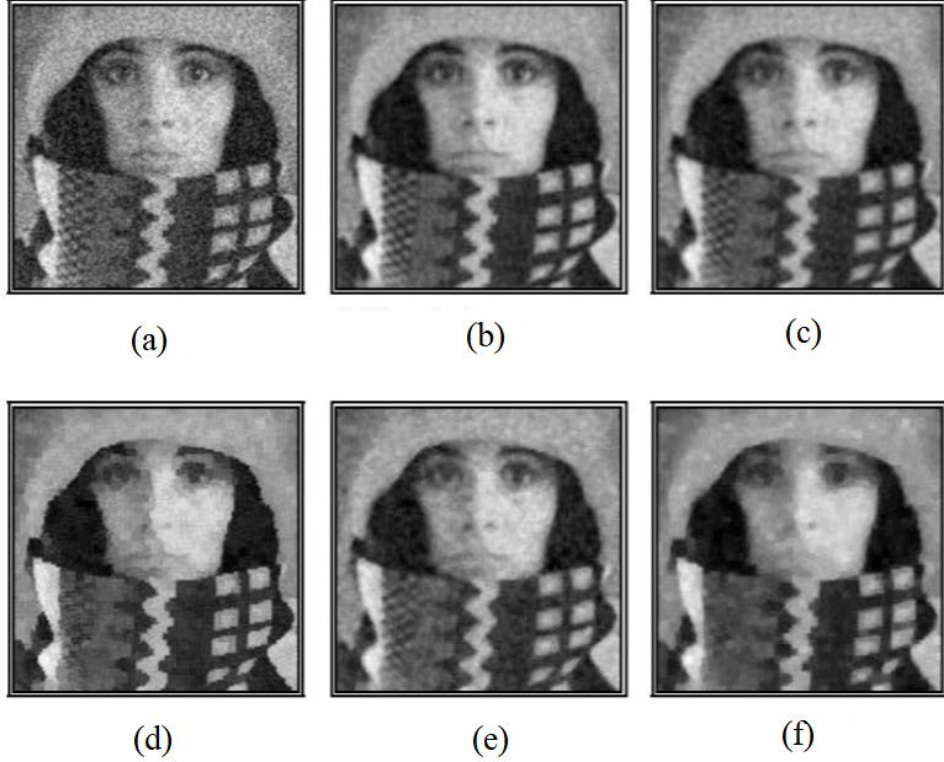


Şekil 3.3: Gürültüsü ve gürültülü şablon uyuşturma

Gürültü kavramına örnek olarak Şekil 3.3'de gösterilen D ve O harflerinin durumu verilebilir. Gürültüsüz D ve O harflerine ait sürüm şablonlar sol tarafta gösterilirken, gürültülü örnekler ise sağ tarafta verilmektedir. Bu karşılaştırma işlemi başlıca üç yöntemden birisi ile yapılabilir. Bu yöntemler şu şekilde sıralanabilir (Baykara, 2020):

- Gürültülü ve gürültüsüz uyuşmaların miktarı sayılarak (uyuşan siyahlar siyah, uyuşan beyazlar ise beyaz),
- En fazla sayıda uyuşan sınıflar ayıklanarak (en fazla karşılıklı ilişki yaklaşımı),
- Uyuşmayanların miktarı sayılarak ve en az sayıda uyuşmayanların olduğu sınıflar ayıklanarak (siyah yerde beyaz, beyaz yerde siyah olmalıdır [en az hata yaklaşımı]).

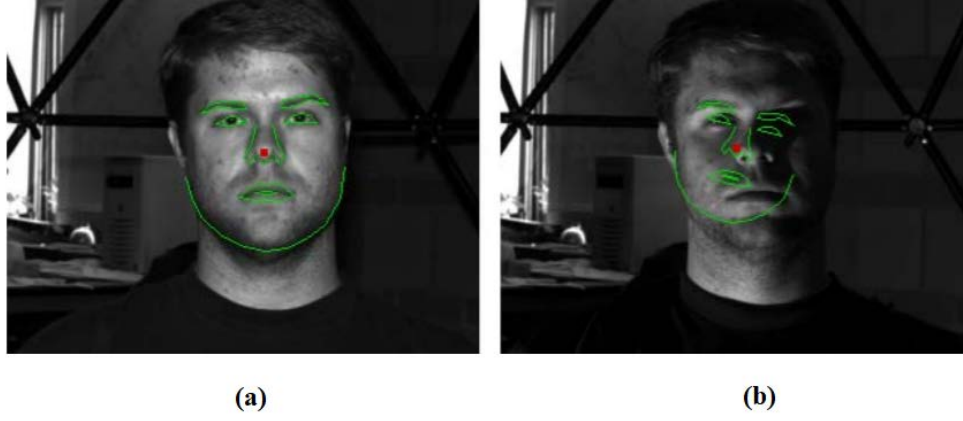
Görüntüdeki gürültülerin temizlenmesi için filtreler kullanılır ve median, mean ve gaussian gibi filtreleme işlemleri yapılır (Elfatimi, 2018; Almezoghi, 2019).



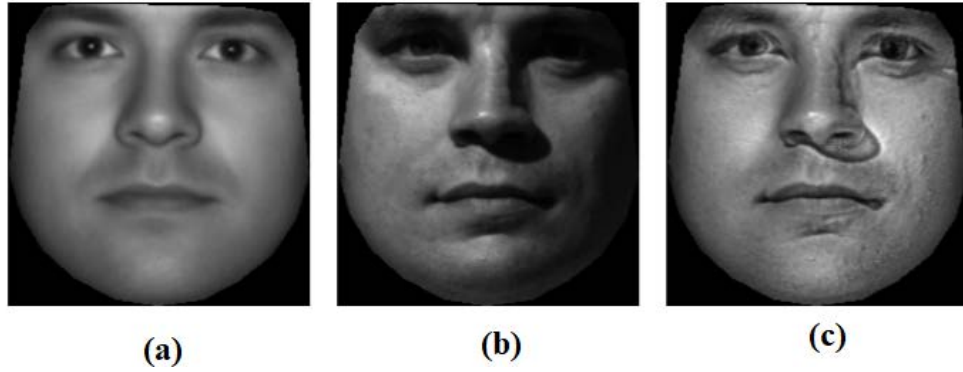
**Şekil 3.4:** Farklı tekniklerle gürültü giderme işlemlerinin karşılaştırılması (a) gürültülü görüntü (b) Wiener filtresi (c) Gauss filtresi (d) Kuwahara filtresi (e) Median filtresi (f) Morph. Yumuşatma

### 3.2.3.2 Aydınlatmadaki değişim

Otomatik yüz tanıma süreci son yıllarda popülerliğini arttırmış bir konudur. İmge tabanlı yaklaşımların hâkim olduğu yüz tanıma süreci, kamera ve hesaplama teknolojilerinin gelişimiyle yerini video tabanlı yaklaşımlara bırakmaktadır. Video tabanlı yüz tanıma uygulamalarında, özellikle kişilerin farklı aydınlatma veya cepheden, yandan görünüm vb. farklı pozlar içeren görüntü kümelerinin eşleştirilmesi zorluklar içermektedir. Bu çalışmada, özellikle aydınlatma ve poz çeşitliliklerinin var olduğu durumlarda, küme tabanlı yüz tanıma yöntemlerinin başarımlarının nasıl iyileştirilebileceği araştırılmıştır. Ön işleme basamağında, aydınlatma farklılıkları giderildikten sonra görüntüler öncelikle yüz pozuna göre sınıflandırılmıştır. (Yavuz ve Seyirt, 2019).

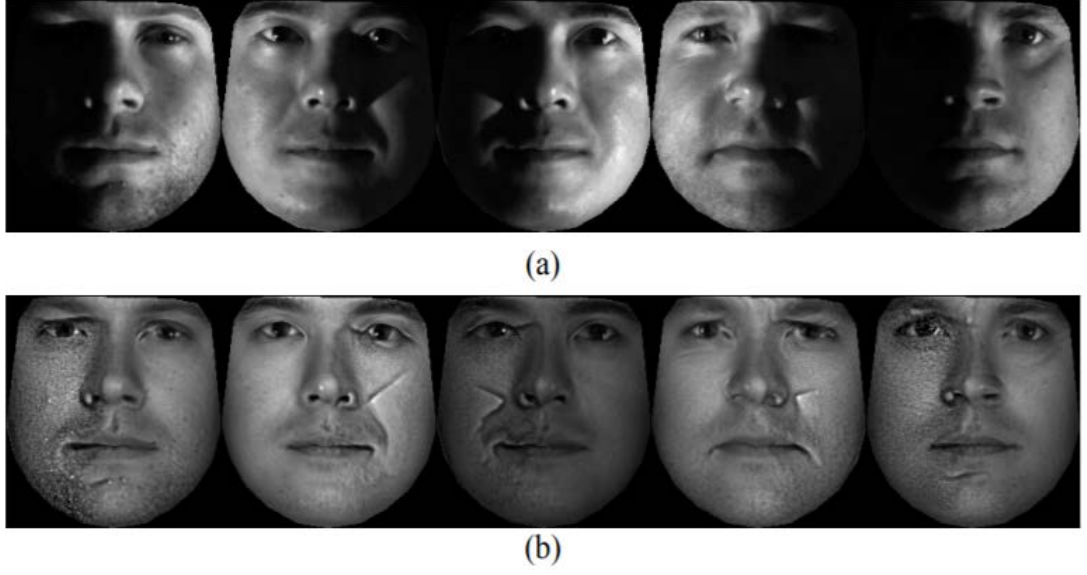


**Şekil.3.5:** a) Normal ışıklandırma altında çekilmiş yüz için hizalama sonucu, (b) Kötü ışıklandırma altında çekilmiş yüz için hizalama sonucu.



**Şekil 3.6:** Tam hizalanmış yüz için Ratio-Image (RI) onarım sonucu. a) Ortalama yüz, b) giriş görüntüsü, c) RI yüz normalizasyon sonucu

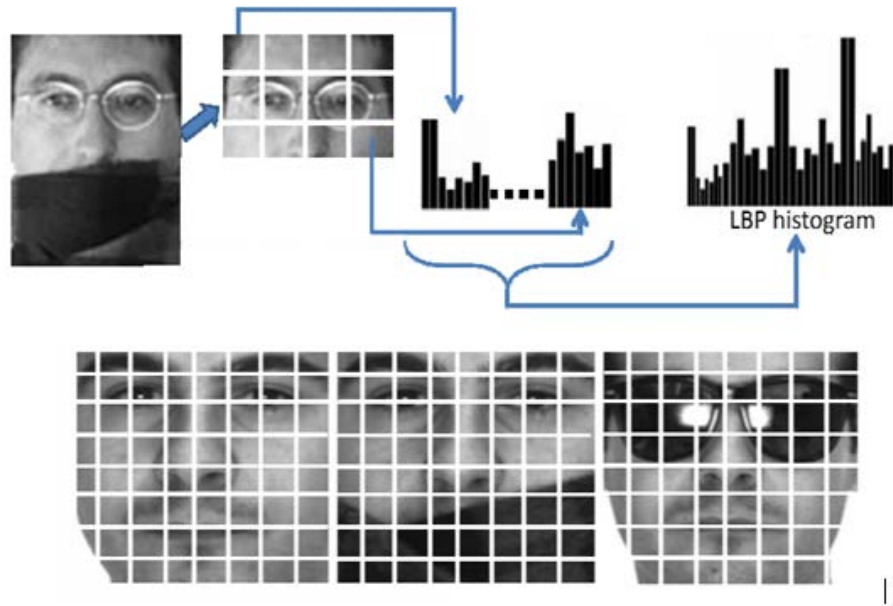
Yüz tanıma sistemlerinin başarısını olumsuz etkileyen faktörlerden birisi ise aydınlatmadaki değişim veya farklılıklardır. Aydınlatma farklılıkları yüz tanımda tekil görüntüleri kullanan yaklaşımlarda azalır. Bu durumda, görüntü kümelerini modelleyen küme tabanlı metotların kullanılması daha uygunluk taşır. Yüz bölgesindeki gölgelenmelerin etkisini bertaraf edebilmek için ideal olarak görüntünün tam karşıdan aydınlatılmış olması ve yüzde gölge veya parlak bölge oluşturmadan yapılması gerekir. Yüz görünümünde aydınlatma değişimlerinden kaynaklanan bozulmalar ise ratio image, global histogram eşitleme ve yüze özel histogram uydurma gibi metotlar ile kaldırılmaya çalışılır (Gökmen, 2007; Eren, 2011).



**Şekil 3.7:** RI yöntemi kullanılarak elde edilen aydınlatma normalizasyonu sonuçları:  
a) Giriş görüntüleri, b) Normalize edilmiş görüntüler

### 3.2.3.3 Aksesuar nedenli kısmi engeller

Bir yüz tanıma sisteminin verimini olumsuz biçimde etkileyen faktörler arasında aksesuarlar gelmektedir. Gözlük, sakal ve bıyık, eşarp ya da başı kapatan bazı malzemeler veya donanımlar kaynaklı etkiler dünyada kültür farklılıkları, sağlık sebepleri, inanış gerekleri ve moda nedenli olabilir (Heisele ve Koshizen, 2004; Morgül, 2010).



**Şekil 3.8:** Aksesuar olmayan yüz bölgelerinden LBP histogramı elde edilmesi ve 64 parçaya bölünmüş LBP histogramları

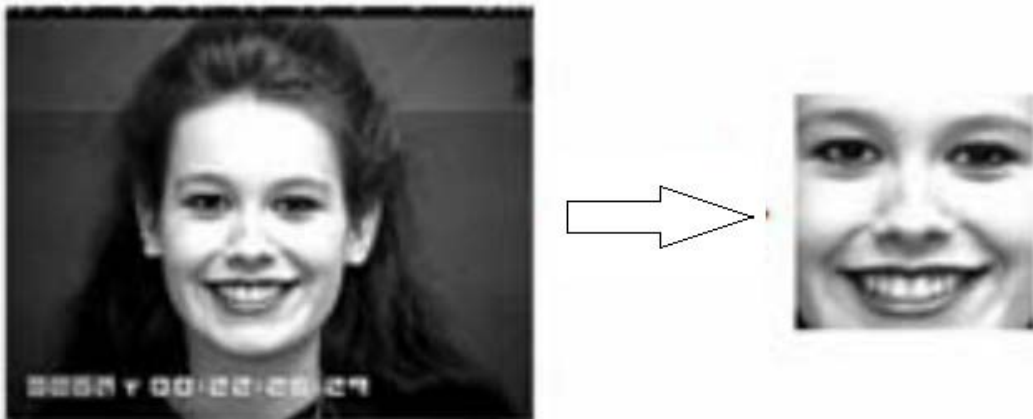
### 3.2.3.4 Yüz ifadesindeki değişiklikler

İnsanlar arasındaki iletişimde son derece önemli rolleri olan yüz ifadeleri anlam bütünlüğünün sağlanmasında kullanılan mimikler veya sözlü olmayan ifadelerdir. Ancak, makineler veya cihazlar tarafından anlaşılabilmeleri ayrıca zorluk taşır (Güneş ve Polat, 2009).

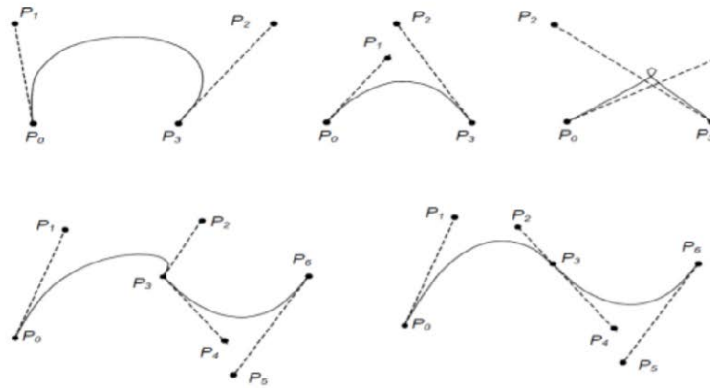
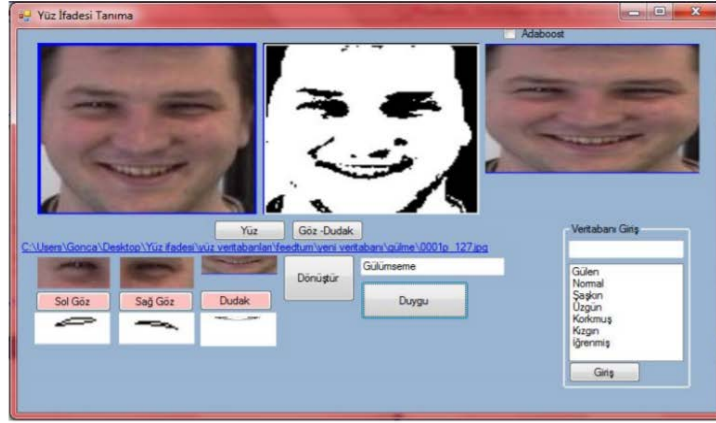


Şekil 3.9: Farklı yüz ifadelerine ait görüntüler

Bir yüz tanıma sisteminin performansını etkileyen yüz ifadelerinden bazıları öfke, iğrenme, korku, mutluluk, ifadesizlik, üzüntü ve şaşkınlıktır (Bayrakdar, Akgün ve Yücedağ, 2016).



Şekil 3.10: Bir görüntü ve yüz kısmının ayrıştırılmış hali



**Şekil 3.11:** Farklı noktalar için Bezier eğrileri ve bir uygulama çalışması örneği

Yüz ifadesi tanıma amaçlı kullanılan modellemelerden birisi ve belkide en yaygını Bezier eğrileridir. İlk defa 1962 yılında otomobil gövdeleri tasarlamak için Fransız mühendis Pierre Bezier tarafından geliştirilmiştir. Bezier eğrisi, kendini tanımlayan poligonun köşeleri ile bağlantılı olup, poligonun sadece ilk ve son köşeleri eğri üzerindedir. Diğer köşelerden ise eğrinin derecesini ve elbette şeklini tanımlamak için faydalanılır. Diğer taraftan, polinomun derecesinin artışı hesaplamaların daha karmaşık olmasına sebep olur. Bu sebeple fazla sayıda kontrol noktası olması arzu edilen bir durum değildir. Özetle, derecesi 4 olan ya da 4 kontrol noktasına sahip Bezier eğrileri daha sıklıkla tercih edilir (Özmen ve Kandemir, 2012). Günümüzde kullanılan yüz tanıma sistemlerinin pek çoğunda yüz ifadeleri temel duygusal grupları eşleyerek çalışır. Sistemi oluşturan birimler incelendiğinde görüntü veya görüntü dizileri üzerinde çalışma prensibine bağlı biçimde yüz belirleme süreci, yüz ifadelerine ait karakteristiklerin eldesi veya duygusal ifadelerin yol açtığı

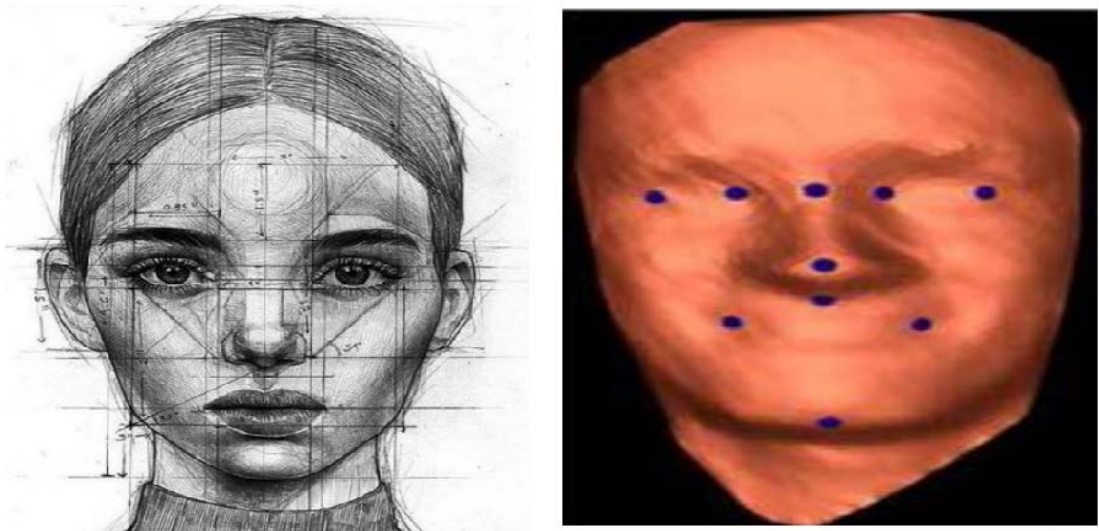


farklılıkların incelenmesi ve kategori bloklarının oluşturulması ile sağlanır (Bayraktar, Akgün ve Yücedağ, 2016).

### 3.3 Yüz İşaret Noktaları ve Ayırt Edici Faktörler

Alanyazında yüz nirengi noktaları olarak çoğunlukla ağız ve göz kenarları, burun ucu, burun kanatları, burnun alın bölgesi ile birleştiği yer ve çene ucunun en değişimsiz yapılar olmaları sebebiyle tercih edildikleri görülmektedir. Esasında, portre ressamlarının kullandıkları tekniklerden faydalanılan yüz tanıma sürecinde gözler arasındaki mesafe, burun genişliği, göz çukurlarının derinliği, yanakların şekli ve çene uzunluğu ölçülmektedir. Farklı yöntemler sayesinde insan yüzünde seksen ila yüz elli arasında değişik nirengi noktaları bulunabilir. Diğer taraftan, verimli ve başarılı yüz tanıma işleminde karşı karşıya kalınan bazı engelleri ise şu şekilde sıralanabilir (Durmuş, 2019):

- Kişinin başında/kafasında yatay ve dikey eksenlerde değişimler olması,
- Işık yoğunluğu ve açısı,
- Değişik yüz ifadeleri,
- Yaşın ilerlemesi/yaşlanma,
- Gözlük, bıyık, sakal gibi aksesuarların olması.



Şekil 3.12: Bir portre çizimi örneği ve nirengi noktalarının belirlenmesi

## 4. YÜZ TANIMA YÖNTEMLERİ

### 4.1 Yerel Yüz Tanımlayıcı Tabanlı Tanıma Yöntemleri

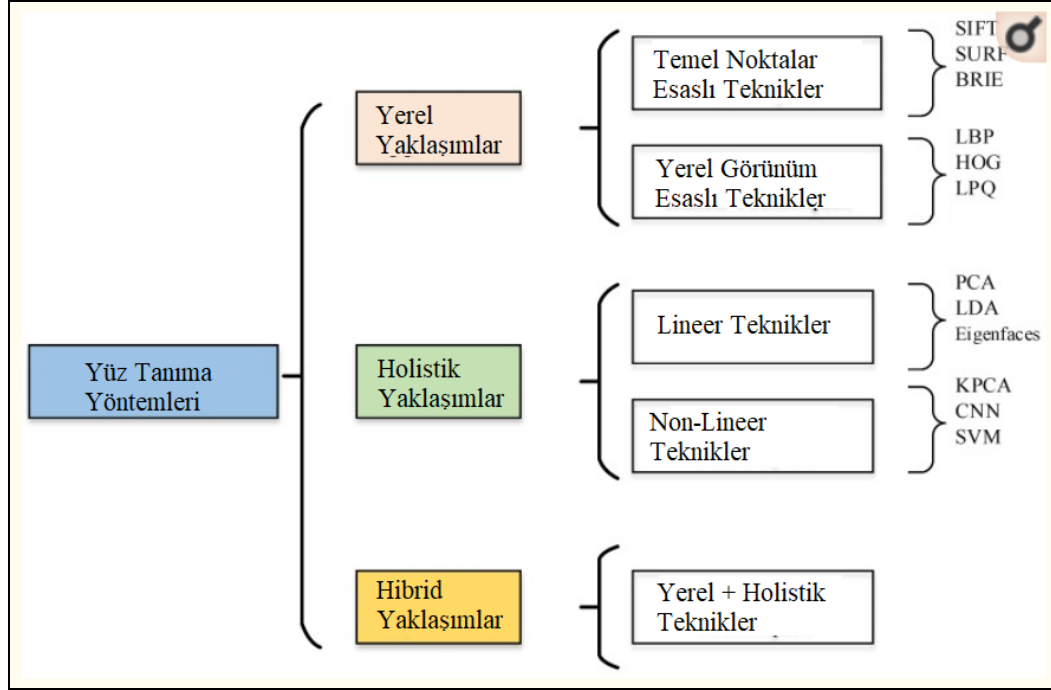
Bütünsel yaklaşımların aksine, yerel yüz tanımlayıcı tabanlı yaklaşımlar yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlardan başlıcaları şu şekilde sıralanabilir (Rivera, Castillo ve Chae, 2013; Dahmane ve Meunier, 2011; Tan ve Triggs, 2010; Yin ve Kim, 2008; Melendez, Garcia ve Puig, 2008; (Jafari-Khouzani ve Soltanian,-Zadeh, 2005; Varma ve Zisserman, 2009; Lazebnik, Schmid ve Ponce, 2005; Zhang ve ark., 2007; Doshi ve Schaefer, 2012; Ojala, Pietikäinen ve Harwood, 1996; Pietikäinen ve ark., 2011; Murphy-Chutorian ve Trivedi, 2009; Wang, Wu ve Ji, 2018):

- Yerel İkili Patern (LBP)
- Yerel Gabor İkili Patern (LGBP)
- Merkez-Simetrik Yerel İkili Patern (CS-LBP)
- Yerel Yönlü Örüntü (LDP)
- Weber benzeri yanıtlarla Ortak Yerel İkili Örüntüler (LJBPW)
- Piramit Dönüşüm Etki Alanı Yerel İkili Örüntü (PLBP)
- Yerel Yönel Eğim Deseni (LDGP)
- Yerel Faz Miktarı (LPQ)
- Yerel Yön Numarası Deseni (LDNP)
- Degradelerin Histogramı (HoG)
- Yerel Üçlü Model (LTP)
- Gabor Modeli

Yerel görünümünden faydalanan yerel tanımlayıcılar arasında öne çıkan ve ileri araştırmalara ilham veren başlıcaları şunlardır (Wu ve Ji, 2018; Cootes, Edwards ve Taylor, 2001; Tzimiropoulos ve Pantic, 2013; Zhu ve Ramanan, 2012; Tzimiropoulos ve Pantic, 2014; Cao ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2018; Pantic ve Rothkrantz, 2000; Munasinghe, 2018; Hansen ve Ji, 2010):

- Gabor dalgacıkları,

- Radon transformasyonu
- Texton öğrenme
- LBP



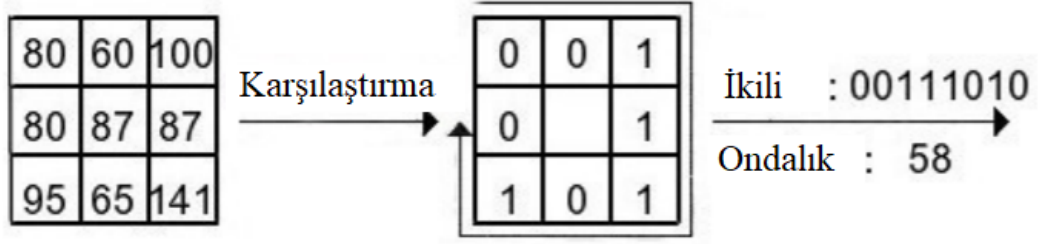
**Şekil 4.1:** Yüz Tanıma Yöntemleri

Özellikle, LBP, adaptasyon esnekliği, yüksek ayrımcılık performansı ve düşük karmaşıklık nedeniyle geniş bir uygulama alanı bulmuştur (Cootes ve Taylor, 1992; Cristinacce ve Cootes, 2006; Saragih, Lucey ve Cohn, 2011). Bu nedenle, LBP fikrini geliştirmek ve genişletmek için bir dizi sıralı çalışma daha önerilmiştir (Yu ve ark., 2013).

#### 4.1.1 Yerel ikili patern (LBP)

Yerel İkili Patern (Local Binary Pattern, LBP), merkez ve komşu piksel değerleri arasında sıralı ikili karşılaştırmalara dayalı ve ayrımsama gücü oldukça yüksek bir desen analizi yaklaşımıdır (Tekeli, Çetin ve Erçil, 2007).

Esasen, bir LBP operatörü, gri seviyeden bağımsız bir doku ölçümü metodudur. Bu süreçte, LBP operatörü görüntünün her bir pikseli için birler ve sıfırlardan oluşan bir etiket oluşturmaktadır. Oluşturulan etiketler merkez pikselin  $N \times N$  komşuluğundaki piksellerin karşılaştırılmasıyla meydana getirilmektedir. LBP operatörünün en önemli karakteristiği ise parlaklık değişimlerine karşı dirençli olmasında yatmaktadır (Tuncer ve Avcı, 2017).



**Şekil 4.2:** Orijinal Yerel İkili Örüntü Operatörü



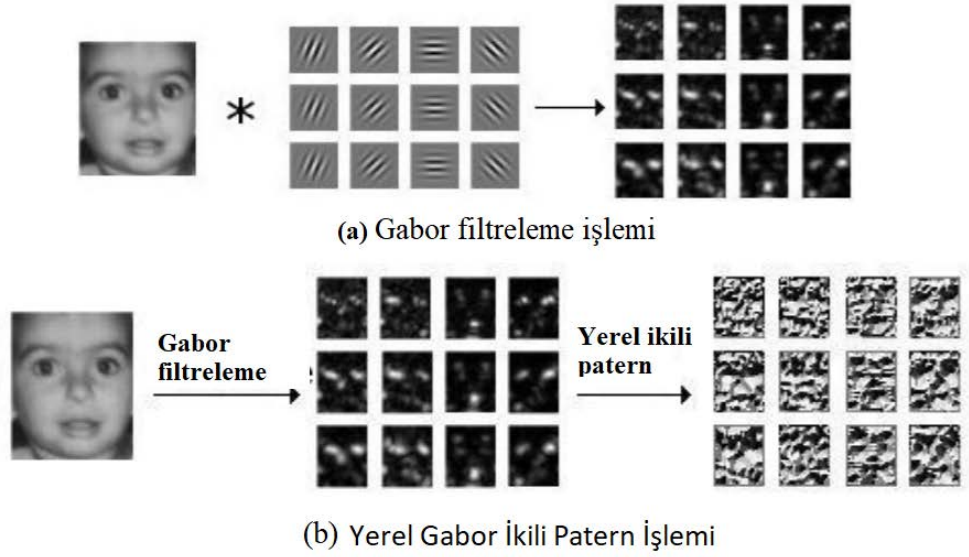
**Şekil 4.3:** (a) Orijinal görüntü (b) Parlaklığı arttırılmış görüntü (c) Parlaklığı azaltılmış görüntü

LBP, ilk defa Ojala ve ark. (1996) tarafından geliştirilmiştir. Bu yaklaşım özellik vektörünün hesaplanmasında hız ve kolaylık sağlamaktadır. Özellikle gri düzeyde uygulanmakta ve ışık farklılıklarına karşı dirençli olduğu için sıklıkla tercih edilmektedir. LBP yöntemi, endüstriyel kontrol, 3D-doku yüzeylerinin sınıflandırılması, yüz tanıma ve bulma, yaşın belirlenmesi, yüz ifadesi tanıma, arka plan modelleme, hareketli nesnelere tespiti gibi farklı PC uygulamalarında son derece iyi performans sergilemiştir (Ojala, Pietikinen ve Harwood, 1996; Nabiyeve ve Koçak, 2011).

#### 4.1.2 Yerel Gabor ikili patern (LGBP)

Gabor filtreleme özellikle öznelik çıkarımında yaygın biçimde kullanılan bir tekniktir. Bu teknik özellikle yüz tanıma amaçlı farklı yönelim, büyüklük ve frekans değerlerinin kullanılmasıyla detaylı bir analizi olanaklı kılmaktadır. Diğer taraftan, Yerel Gabor İkili Patern (Local Gabor Binary Pattern, LGBP) yöntemi ise Gabor filtreleme ve yerel ikili patern yöntemlerinin birlikte kullanılması ile geliştirilmiştir. Bu bağlamda, bir görüntüye ait Yerel Gabor

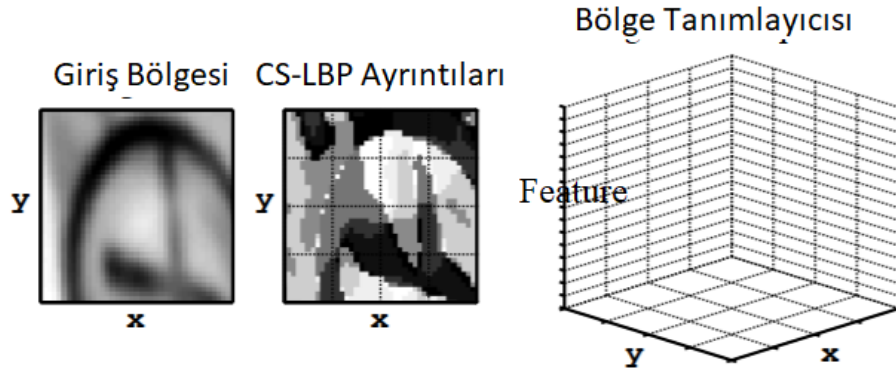
İkili Paternin tasviri için ilk olarak görüntünün farklı oryantasyon ve frekanslarda Gabor filtreler ile işleme alınması sağlanır. Devamında ise elde edilen görüntüdeki her bir piksele yerel ikili patern operatörü uygulanarak görüntüye ait piksel değerlerinin temsil kabiliyeti yükseltilir (Kılınç, 2012).



Şekil 4.4: (a) Gabor Filtreleme işlemi (b) Yerel Gabor İkili Patern işlemi

#### 4.1.3 Merkez-simetrik yerel ikili patern (CS-LBP)

Fotometre alanında son yıllarda yaşanan gelişmeler bu yaklaşımın pek çok alanda uygulamaya geçirilmesini mümkün kılmıştır. Bu sebeple, yerel örüntü tespiti metoduna olan ilgi, artış göstermiştir. Bu bağlamda, yeni bir teknik ortaya çıkmıştır. Örüntü analizinde, belli özellikleri resimdeki karşılıklarının boyutundan ayrı olarak bulabilmeye yarayan bir algoritma olan Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) ve Yerel İkili Patern (LBP) yaklaşımlarının birlikte uygulanmasının sonucu olarak Merkez-Simetrik Yerel İkili Patern (Centre-Symmetric Local Binary Pattern, CS-LBP) geliştirilmiştir. Bu yeni tekniğin aydınlatma farklarına, düz imaj alanlarında gürbüzlük ve hesaplama verimliliği gibi avantajları vardır (Heikkilä, Pietikäinen ve Schmid, 2009).

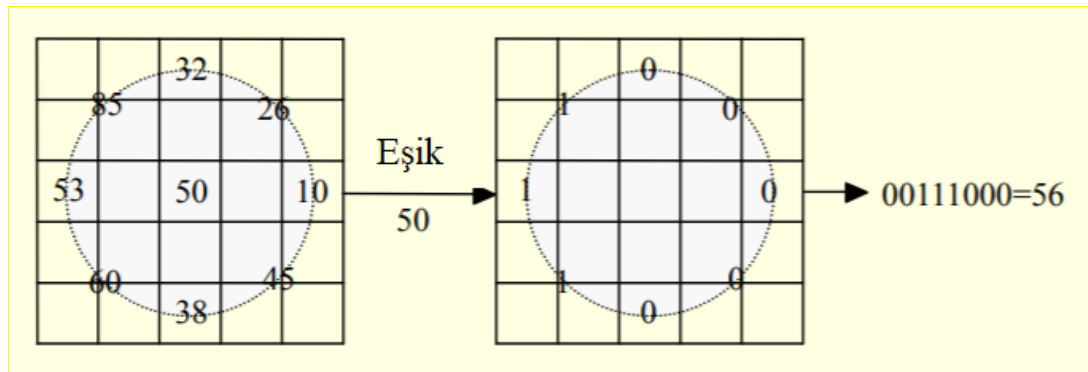


Şekil 4.5: CS-LBP yaklaşımı

CS-LBP, LBP'nin başka bir sürümüdür. Bu varyasyonun temel amacı, yerel ikili örüntülerden çok daha küçük bloklar çıkarmaktır. Bu sayede, her bir piksel merkezdeki piksel ile mukayese edilmek yerine, merkez piksele göre birbirleri ile simetrik piksellerden yalnızca birisinin kıyaslanması sağlanır. Özetle, LBP yaklaşımı ile 3x3'lük bir komşulukta toplam  $2^8$  ya da 64 örüntü olanaklı iken, CS-LBP ile örüntü sayısı  $2^4$  ya da 16 olmaktadır (Mansur, 2018).

#### 4.1.4 Yerel yönlü örüntü (LDP)

Yerel Yönlü Örüntü (Local Directional Pattern, LDP) yeni görüntü tabanlı bir yaklaşım olup, insan-bilgisayar etkileşimini yeni ve farklı alanlara taşımıştır. LDP, yüz geometrisini temsil ve tanıma performansını analiz edebilmektedir. LDP görüntüsü, her bir pikselin sekiz yöndeki uç kenar yanıtlarını hesaplanması ve sekiz bit ikili sayı olarak kodlanması ile ortaya çıkar (Jabid, Kabir ve Chae, 2010; Günay, 2015).



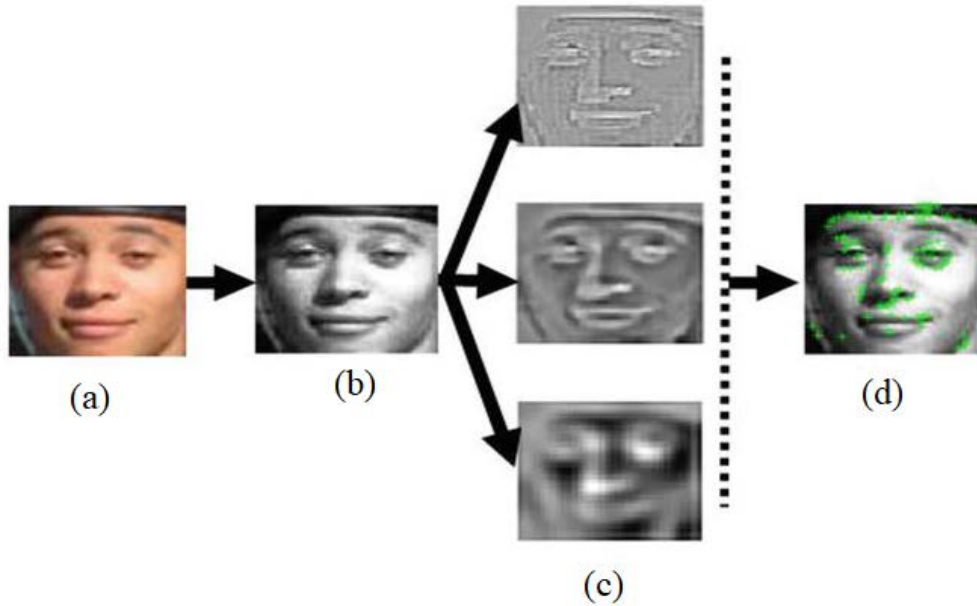
Şekil 4.6: Temel LBP operatörü

#### 4.1.5 Weber benzeri yanıtlarla ortak yerel ikili örüntüler (JLBPW)

Weber Benzeri Yanıtlarla Ortak Yerel İkili Örüntüler (Joint Local Binary Pattern with Weber, JLBPW), farklı ve genişletilmiş bir LBP yaklaşımı olup, yerel yoğunluk farklılıklarından ve örüntüler arasındaki ilişkilerden kaynaklanan sorunları aşmak için geliştirilmiştir (Melendez, Garcia ve Puig, 2008; Ali, 2018).

#### 4.1.6 Piramit dönüşüm etki alanı yerel ikili örüntü (PLBP)

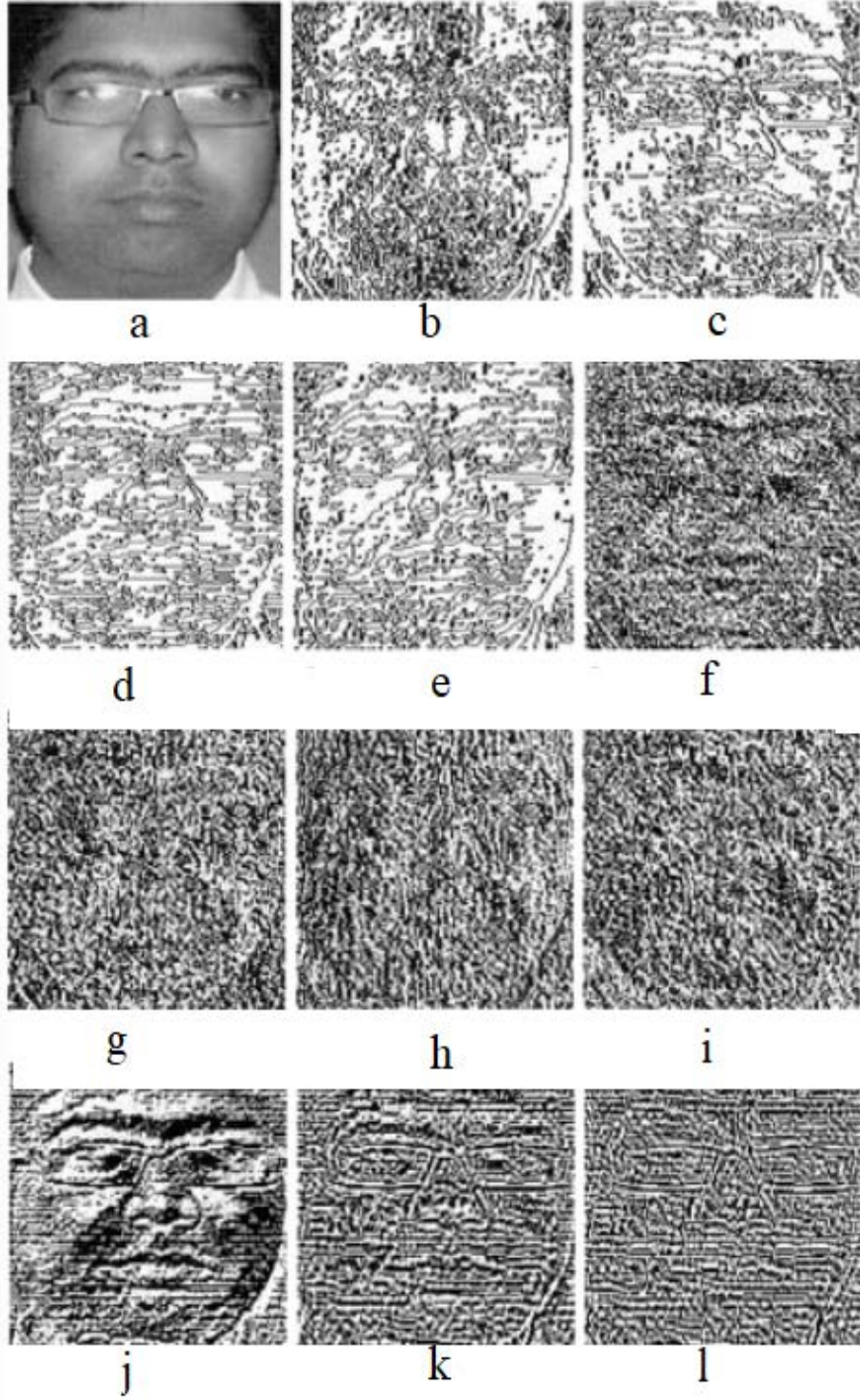
Piramit Dönüşüm Etki Alanı Yerel İkili Örüntü (Local Binary Pattern To Pyramid Transform Domain, PLBP), örüntü piramidin farklı tabakalarında LBP yönteminin uygulanması ile geliştirilmiş olan farklı bir tekniktir. Bu sayede, mikro örüntü yapılarını elde etmek dışında aynı zamanda makro örüntülerin analizini yapmak mümkün olmaktadır (Meenpal, Goyal ve Mukherjee, 2019).



**Şekil 4.7:** PLBP süreç akışı (a) orijinal örüntü (b) işlenmiş örüntü (c) farklı Gauss piramidi ve (d) PLBP referans noktaları

#### 4.1.7 Yerel yönel eğim deseni (LDGP)

Yerel Yönel Eğim Deseni (Local Directional Gradient Pattern, LDGP), referans pikselin dört farklı yönde ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  ve  $135^\circ$ ) kodlanmasıyla hesaplanan bir ID yerel mikropatendir. Bu yaklaşımda, tanıma hızı korunurken, mikropatern uzunluğu azaltılarak ekstraksiyon ve eşleşme süreleri düşürülmektedir (Chakraborty, Singh ve Chakraborty 2018).



**Şekil 4.8:** Yüksek dereceli LDGP, LVP and LDP (a) orijinal griölçek görüntü, (b)  $0^\circ$  yönünde 2nci dereceden LDP, (c)  $45^\circ$  yönünde 2nci dereceden LDP, (d)  $90^\circ$  yönünde 2nci dereceden LDP, (e)  $135^\circ$  yönünde 2nci dereceden LDP, (f)  $0^\circ$  yönünde 2nci dereceden LVP, (g)  $45^\circ$  yönünde 2nci dereceden LVP, (h)  $90^\circ$  yönünde 2nci dereceden LVP, (i)  $135^\circ$  yönünde 2nci dereceden LVP, (j) 2nci dereceden LDGP, (k) 3ncü dereceden LDGP, (l) 4ncü dereceden LDGP



#### **4.1.8 Yerel faz miktarı (LPQ)**

Görüntü kalitesini olumsuz şekilde etkileyen faktörlerden birisi ise bulanıklıktır. Bulanıklık, görüntünün özellikleri yüksek hassasiyette ise, bilgisayar görüş algoritma performansını bozmaktadır. Bu durumun başlıca sebepleri arasında mikrodaklı optikler veya kamera hareketleri gelmektedir. Yerel Faz Miktarı (LQP), şekil biçimlendiricilerin performanslarını iyileştirmek için geliştirilen yeni bir tekniktir. LPQ yönteminin temel fikri, iç mesafe şekil bağlamı (ID), şekillendirici bağlamı (SC) ve yükseklik fonksiyonları (HF) gibi biçimlendiriciler tarafından çıkarılan şekil tanımlayıcıyı matrise çevirmek ve matris tanımlayıcıları elde etmektir. Bu matris tanımlayıcılar daha sonra Jeffrey uzaklığı (mesafesi) ile mukayese edilmekte ve standart ID/SC/HF şekil benzeliği ile birleştirilmektedir (Nanni, Brahnam ve Lumini 2012; Rahtu ve ark., 2012).

#### **4.1.9 Yerel yön numarası deseni (LDNP)**

Yerel Yön Numarası Deseni (Local Directional Number Pattern, LDNP), kenar tabalı yüz tanıma yaklaşımlarından birisidir. Bu yöntemde yüz tekstürlerinin yön enformasyonu yoğun (sıkışık) biçimde kodlanır ve bu sayede kullanılan yüz tanıma tekniklerinden daha ayrımsal kod üretilebilir. LDNP işleminde yön enformasyonunun çıkarılan pusula bir maskın yardımıyla her bir mikro örüntünün yapısı elde edilir ve sonrasında bu bilgi yönsel rakamlar ve işaretler kullanılarak kodlanır. Yapılan işlem birbirlerinden farklı yoğunluk geçişleri olan benzer yapısal örüntüler arasında ayrımsama yapılmasını olanaklı kılar. Yüz, farklı bölgelere bölünür ve LDN özelliklerinin dağılımı çıkarılır. Devamında, bu özellikler bir vektör ile birleştirilerek yüz tanımlayıcı olarak kullanılır. Elde edilen yüz tanımlayıcı ise değişik aydınlatma, gürültü, ifade ve zamanlar ile değişik maskeler kullanılarak test edilir (Rivera, Castillo ve Chae 2013; Makhmudkhujaev ve ark., 2019).

#### **4.1.10 Degradelerin histogramı (HoG)**

Görüntü kalitesinin düşmesine yol açan faktörlerin elimine edilmesi ve bulanıklık sorununun giderilmesi için son yıllarda ileri sürülen tekniklerden birisi Degradelerin Histogramı (Histogram of Oriented Gradients, HoG) yaklaşımıdır. HoG, renk (degrade) tonlamada histogramlar yardımıyla algılanacak nesne

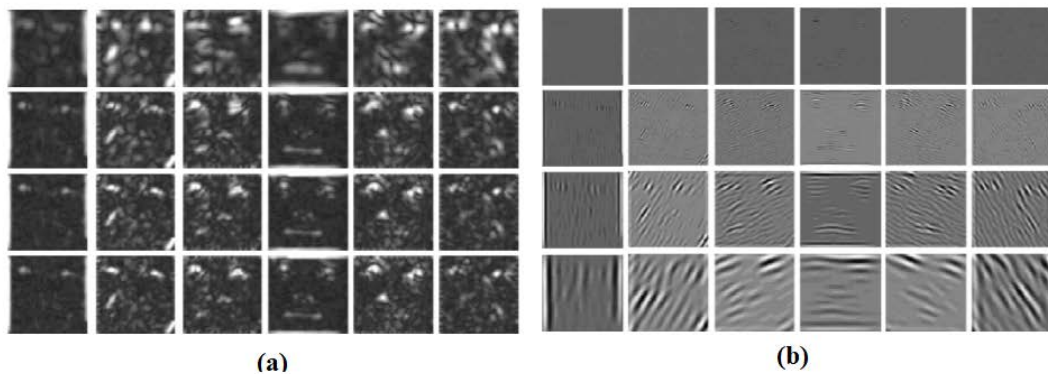
açısından görüntü yoğunluğunun istatistiksel dağılımını inceleyerek eşik seçimine destek olur (Varol, 2014).

#### 4.1.11 Yerel üçlü örüntü (LTP)

Yerel Üçlü Örüntü (Local Ternary Pattern, LTP), yüz tanıma sistemlerinin tasarımında kullanılan ve yüz tespiti ve bölütleme performansı yüksek bir tekniktir. LBP operatörünün bir görüntünün yakın uniform ya da düz alan bölgelerindeki gürültüye hassas olması sebebiyle, LTP tekniği gündeme gelmiştir. LBP'den ayrılan en büyük farkı ise, pikselleri 0 ve 1 olarak eşiklememek; bunun yerine bir eşik sabiti, merkez piksel ve komşu piksel kabul ederek üç eşik değere (+1, 0 ve -1) eşitlemektir (Karasulu, 2016).

#### 4.1.12 Gabor dalgacık dönüşümü (GWT)

Görüntü analizinde faydalanılan en popüler araçlardan birisi ise Gabor filtrelemedir. Bu yaklaşım, yüz tanıma ve izleme ile doku analizi süreçlerinden sıklıkla tercih edilmektedir. Gabor filtreleme, bir örüntüden alınan yerel sıklık enformasyona ulaşılmaya mümkün kılar. İmajın bütün görüntüsünün temsilini tayin eden Fourier analizinin tersi şekilde, uzaysal alanda etkin ve yüksek verimli sonuçlar verir. Bu sayede, belirli frekans kuşaklarının gücünü ve görünümü üzerinde tüm konumlarda yönelimleri tahmin ederek hesaplamaktadır. Gabor yaklaşımının bilinen en önemli dezavantajı ise yüksek miktarda hesaplama gerektirmesidir (Shen ve Bai, 2006; Eleyan, Özkaramanli ve Demirel, 2008; Baykara ve Ergen, 2011).



**Şekil 4.9:** Bir örnek imajın gabor dalgacık dönüşümü (a) Dönüşümün magnitudü (b) Dönüşümün gerçek bölümü

## 4.2 Bütüncül Tabanlı Yüz Tanıma Yöntemleri

Temel Bileşen Analizi (PCA) (Haralick, Shanmugan ve Dinstein, 1973), Doğrusal Ayrımcılık Analizi (LDA) (Jutten ve Herault, 1991), Bağımsız Bileşen Analizi (ICA) (Adur, Carvalho ve Cesar, 2014) ve Gri Seviye Eşzamanlılık Matrisleri (GLCM) (Ahonen, Hadid ve Pietikainen, 2004) en temel ve popüler bütünsel yaklaşımların ilham verici eserleridir.

PCA'nın ayırt edici özelliği, yüksek boyutlu görüntü uzayından düşük boyutlu ortogonal bir alana geçerek boyutsallığı azaltmaktır. Geçiş, en küçük ortalama kare yeniden kurma hatası verilen doğrusal bir dönüşüm uygulanarak gerçekleştirilir. LDA, sınıf içi değişimi en aza indiren ve sınıflar arası değişimi en yüksek seviyeye getiren doğrusal bir dönüşüm bulmakla ilgilenmektedir. İlk önce Herault ve Jutten (1991) tarafından kabul edilen ICA, bir vektörün bileşenlerinin istatistiksel bağımlılıklarını en aza indirmek için doğrusal bir dönüşüm arar. GLCM, doku analizi için çeşitli uygulamalarda (Heikkilä, Pietikäinen ve Schmid, 2009; Jabid, Kabir ve Chae, 2010; Dan ve ark., 2014; Qian ve ark., 2011) yaygın olarak kullanılan temel ve önde gelen istatistiksel metinsel özellik çıkarma yöntemlerinden biridir. GLCM, birlikte ortaya çıkan yoğunluk paternlerinin belirli bir görüntü üzerinde belirli bir uzaklıktaki dağılımını tutan matristir. İkinci dereceden istatistiksel (Haralick) özellikler, daha sonra sınıflandırma görevlerinde kullanılacak görüntünün dokusunu analiz etmek için çıkarılır (Chakraborty, Singh ve Chakraborty, 2017). Birincil hassas metinsel tanımlayıcılardan biri olan GLCM, piksel uzaysal düzenleme istatistiklerini değerlendirerek görüntünün görsel dokusunu ele alır (Yang ve Bhanu, 2011).

### 4.2.1 Temel bileşen analizi (PCA)

Temel Bileşen Analizi (Primary Component Analysis, PCA), çıktı bilgisini kullanmayan denetimsiz bir boyut indirgeme metodudur. Büyük boyutlu verilerin daha düşük boyutta özelliklerini kaybetmeden temsil edilebilmesini sağlar. 1901 yılında Pearson tarafından bulunmuştur. PCA uygulama kolaylığından en çok kullanılan ve tercih edilen boyut indirgeme yöntemidir (Abbasoğlu, 2019).

#### **4.2.2 Doğrusal ayırtaç analizi (LDA)**

Doğrusal Ayırtaç Analizi (Linear Discriminant Analysis, LDA), doğrusal filtreleme yöntemlerinden birisidir. Bu filtreleme işleminde konvolüsyon ya da Fourier dönüşümleri kullanılır ve Gauss, Laplace ve Yüksek artış gibi filtreleme tipleri bulunur. Özellikle, Gauss filtresi alçak geçiren ve kenar bulma amaçlı sıklıkla tercih edilen bir filtredir. Yüz tanıma işleminde, yüz kıvrımlarının gürültüye karşı hassas olmaları açısından doğrusal ayırtaç yaklaşımı ve de Gauss filtreleme daha iyi sonuçlar vermektedir. Sonuç olarak, yüzey normallerinin diğer gösterimlerden daha etkili ayrımını mümkün kılamaktadır (Salah, Gökberk ve Akarun, 2006; Kılınç, 2012; Holat, 2014).

#### **4.2.3 Bağımsız bileşen analizi (ICA)**

Bağımsız Bileşen Analizi (Independent Component Analysis, ICA), görüntü işlemede boyut indirgeme amaçlı kullanılan bir tekniktir. Bu teknik veri kümesi normal dağılımdan uzaklaşırsa uygulanır ve yüksek performans sergileyen bir algoritmadır. ICA, kör kaynak ayırması yapabilmektedir. Bir diğer ifadeyle, kaynak işaretlerini ve bunların nasıl karıştıklarının bilinmemesi koşulunda ayrıştırmayı olanaklı kılmaktadır. ICA tarafından bulunan doğrusal koordinat sisteminde işaretler istatistiki açıdan birbirlerinden bağımsızdırlar. Burada amaç, birden fazla kaynaktan karışmış olarak gelen sinyalleri karıştırma mekanizmasını bilmeksizin birbirinden ayırmaktır. İlk olarak, kas büzülmesindeki hareketin basitleştirilmiş bir modelinin geliştirilmesi amacıyla ortaya konulmuştur. Bu teknik günümüzde görüntü işleme, beyin tomografisi, iletişim, finans, sismoloji gibi değişik disiplinlerde geniş biçimde uygulanmakta olup, faktör analizi ve minimum/maksimum otokorelasyon faktörleri (MOF) analizi gibi çok değişkenli metotlarla yakın biçimde ilişkilidir (Sohrabian, 2013).

#### **4.2.4 Gri seviye eşzamanlılık matrisleri (GLCM)**

Gri seviye, sayısal görüntünün her bir pikselinin sahip olduğu parlaklık değeridir ve bu parlaklık değeri bit sayısına göre kodlanarak gri seviye aralığı tespit edilir. Gri seviye sınırlarında siyah ve beyaz olmak üzere iki renk bulunur.

Bu iki renk arasında kodlanan tonlamalar gri-ton (gray scale, monochromatic) görüntüler olarak adlandırılır. Prensip olarak, siyah renk 0 gri seviyesi ve beyaz renk ise 255 gri seviyesine karşılık gelir. Nicemleme işleminde parlaklık ya da bir diğer ifadeyle analog görüntü sayısal görüntüde kullanılabilecek biçime getirilirken farklı sayılarda gri seviye kullanılabilir. Görüntüdeki her bir pikselin kodlandığı bit sayısından dolayı oluşan gri seviye sayısına ise gri seviye çözünürlük denir. Gri seviye sayısı azalırca nicemleme gürültüsü belirginleşir. Görüntü bölütlemesi için fraktal boyutun yalnız başına yeterli olmayacağını düşünüldeği koşullarda eş zamanlı matristen faydalanılabilir (Aslan, 2018).

### **4.3 Yüz Tanıma Teknolojileri Gelecek Öngörülleri ve Pazar Büyüklüğü**

Yüz tanıma teknolojisinin öncülleri olarak tanınan Woody Bledsoe, Helen Chan Wolf ve and Charles Bisson'ın 1960'lı yıllarda yaptıkları çalışmalar; insan yüzünü bilgisayar kullanarak tanıma üzerine kurgulanmış ve istihbarat ajansı tarafından fonlanmıştır. İlerleyen dönemlerde, 1970'li yıllarda, Goldstein, insan yüzünde 21 adet ölçüm noktası belirlemiştir. 1988 yılına gelindiğinde, Kirby ve Sirovich ölçüm noktası sayısını 100'e çıkarmış ve yüz tanıma yaklaşımını normalize etmiştir. Son olarak, 1991 yılında, ilk yüz tespiti Turk ve Pentland tarafından uygulanmıştır. O dönemlerde 2-boyutlu görüntü işleyen yüz tanıma sistemleri günümüzde üç-boyutlu çalışmaktadır. Daha kesin, etkili, hassas ve yüksek doğruluklu üç-boyutlu model, yazılımın gelişmesi sayesinde günümüzde baş döndürücü gelişimini sürdürmektedir (TechSciResearch, 2019).

Çoğu kuruluş, yüz tanıma sistemlerinde yaşanan gelişmeleri yakından takip etmekte ve kullanıma geçirmektedir. Maaş ödeme, banka hesabı açma, havalimanlarında ve yüksek güvenliqli bölgelerdeki kontrol noktalarında ve daha pek çok yerde yaygın biçimde uygulanmaktadır. Sağlık hizmetleri sektöründe, perakende satış yapan kuruluşlarda, satış ve pazarlama faaliyetlerinde tercih edilen yüz tanıma sistemlerinin pazar büyüklüğü 2019 yılı itibariyle 3,2 milyar \$'dır. Bu rakamın 2024 yılında 7 milyar \$'a yükseleceği yıllık bazda %16,6 oranında büyüyeceği öngörülmektedir. Yüz tanıma teknolojisinin yükselişinde bazı faktörlerin itici etkileri bulunmaktadır. Bu faktörler şu şekilde sıralanabilir (Saratchandran, 2019):

- Güvenlik ve güvenilirlik,
- Ulařalabilirlik ve yetkilendirebilme,
- Fotoğraf ve video saklama kapasitesi,
- Platformalara, hesaplara ve servislere ulaşılabilirlik,
- Yaygın pazarlama ve müşteri hizmetleri ağı.

## **5. GEREÇ VE YÖNTEM**

### **5.1 Araştırmanın Kapsamı**

Gelişen bilim ve teknoloji, biyometrik teknolojilerin eskisine göre daha yüksek hassasiyetli, etkili ve insan faktörünü en aza indirecek biçimde gelişmesinin önünü açmaktadır. Biyometrik teknolojiler arasında, yüz tanıma sistemleri, evreselliği, elde edilebilirliği, kabul edilebilirliği ve yaygınlığı ile diğer pek çok biyometrik modelin önüne geçmiştir. Bu hızlı gelişimin başlıca sebeplerinden birisi ise, insan yüzünün yalnızca kişiye özgü olan özelliklerinden elektronik cihazlar yardımıyla kişiye herhangi bir rahatsızlık vermeden ve fiziki temasta bulunmadan verilerin toplanabilmesi ve ileri yazılımlar ile işlenebilmesidir (Liu ve ark., 2018; Zhong ve Zhang, 2013; Guan ve ark., 2010; Cevik, Cevik ve Gurhanli, 2019; Dubey, 2017; Jafri ve Arabnia, 2009; (Huang, Li ve Liu, 2012; Chen ve Zhang, 2012; Duan, ve ark., 2018; Lu, Liang ve Zhou, 2018; Abudarham, Shkiller ve Yovel, 2019).

Bu çalışmanın konusu, yüz tanıma sisteminin ayırt edici performansı üzerine daha fazla odaklanmaktır. Bu bağlamda, yüz dönüm noktalarının yüz ifadelerinin tanınmasın ve kafadan pozlamada sıklıkla kullanılmasına rağmen, ayırt edici performansı üzerinde daha fazla odaklanması ve bu ayrımsallık performansının daha dikkatle ele alınmasıdır.

### **5.2 Araştırmanın Amacı ve Önemi**

Bireyleri, diğerlerinden ayıran biyometrik özelliklerden birisi ise yüz verileridir. Yüz verilerinden kimlik doğrulama işlemi yüz dönüm noktaları yüz ifadelerinin tanınması ve kafadan pozlama için yoğun kullanılmasına rağmen, ayırt edici performansı yeterince araştırılmamıştır.

Bu çalışmada, yüzlerin şekil ve gri düzey özelliklerini birleştiren yüksek düzeyde ayırt edici bir yüz tanıma yöntemi önermek ve dönüm noktalarının yüz tanıma açısından ayırt edici performansı analiz etmek amaçlanmıştır.

Araştırmanın özgün yönü, yüz işaret noktalarının kişiye özgün olması nedeniyle, kimlik doğrulama için kullanılması ve dönüm noktalarının birbirleri arasındaki Öklid mesafelerinin ve gri seviye değerlerinin özellik setine dâhil edilmesidir.

### **5.3 Araştırmanın Yöntemi**

Bu çalışmada önerilen yöntem, dönüm noktası tespit, şekil ve gri seviye görünüm esaslı özellik çıkarımı ve sınıflandırma olarak üç ana adımdan oluşmaktadır. Bu bağlamda, hedef yüz görüntüsünde dönüm noktası tespiti yapılmış, yüze ait şekil ve gri seviye görünüm esaslı özellikleri çıkarılmış ve sınıflandırılmıştır.

Elde edilen bulgular, stabilite (gürültü direnci, aydınlatmadaki değişim ve aksesuar nedenli kısmi engeller altında tanıma performansı) ve tanıma doğruluk performansı yöntemleri ile analiz edilmiştir.

Araştırmada önerilen yöntemin operasyonel blok şeması Şekil 5.1’de sunulmuştur.

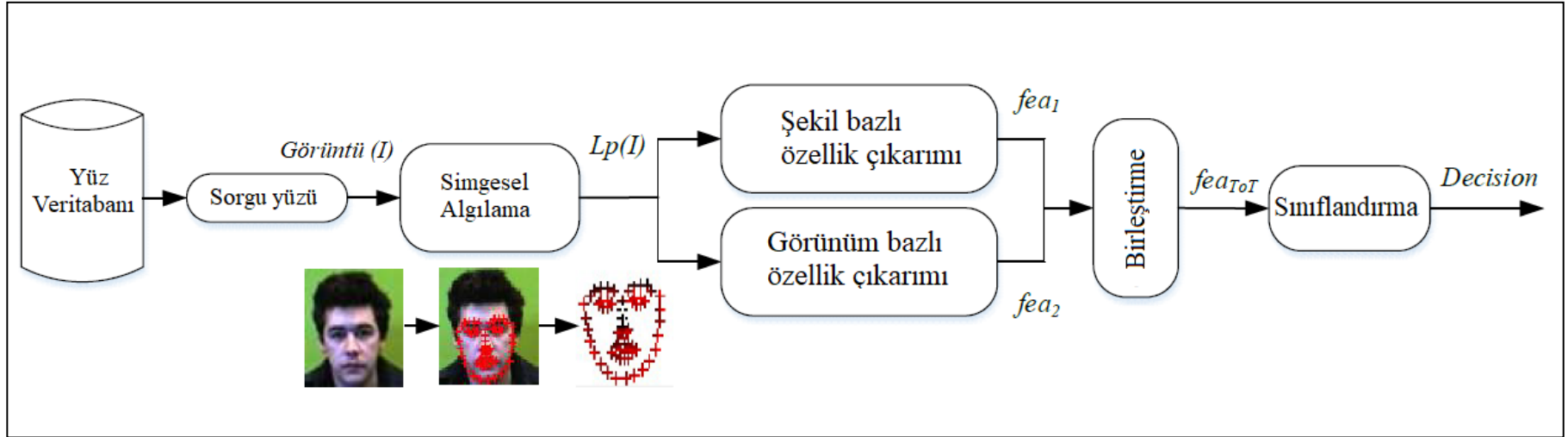
#### **5.3.1 Dönüm noktası tespiti**

Yüzdeki yer işareti algılama algoritmalarının amacı, yüzlerdeki yer işareti noktalarının resimlerdeki veya videolardaki konumlarını otomatik olarak saptamaktır. Bu dönüm noktaları, dudakların ve gözlerin köşeleri, burnun ucu veya bu esrarengiz personeli bir spline veya yüz konturuna bağlayan enterpolasyonlu noktalar gibi yüzün bazı baskın bileşenlerinin pozisyonlarını tanımlar (Islam ve Auwatanamongkol, 2014).

Yüz işaretinin tespiti için yöntemler genellikle bütünsel, parça bazlı ve regresyon bazlı yöntemler olarak üç başlık altında sınıflandırılır (Yang, Zhang, Shiu ve Zhang, 2012; Hosseini ve Marvasti, 2103; Ng ve Ma, 2006; Luisier, 2011; Barbu, 2013; Zhou, Chellappa ve Zhao, 2015; Choi, 2012; Mohan, Deepak, Alphin Ezhil Manuel ve Wise, 2015; Min, Hadid ve Dugelay, 2011; Penev ve Atick, 1996; Martinez, 2002).



Kısmen temelli yöntemler, yerel yüz görüşleri ve bütünsel görüş görüşümleri üzerine fikri inşa eder, bu da bu yöntemleri tıkanma ve aydınlatma için sağlam kılar.



Şekil 5.1: Önerilen yöntemin operasyonel blok şemasını

Öncelikle Aktif Şekil Modelleri (ASM) adlı çalışma tarafından önerilen ve başka bir çalışmayla geliştirilen bu fikir, Kısıtlı Yerel Modeller (CLM) ileri araştırma faaliyetlerine öncülük etmiştir (Georghiadis, Belhumeur ve Kriegman, 2001; Lyons, Akamatsu, Kamachi ve Gyoba, 1998; Lyons, Budynek ve Akamatsu, 1999).

Kısmen temelli olanların aksine, bütünsel yöntemler küresel yüz şekli kalıplarından ve bütünsel yüz görünüm bilgilerinden yararlanır. Aktif Görünüm Modeli (AAM) aslında hem yüz görünümünü hem de şekil değişikliklerini kontrol etmek için yüz görüntülerine uyması için birkaç katsayı kullanan istatistiksel bir modeldir (Hosseini ve Marvasti, 2013). AAM, model yapımı sırasında bütünsel yüz görünümü modeli ve daha sonra global şekil modelini oluştururken Temel Bileşen Analizi'ne (PCA) dayanır. Dönüm noktası noktalarının belirlenmesi, öğrenilen görünüm ve şekil modellerinin test görüntülerine uyarlanmasıyla yapılır. Model katsayıları, geleneksel AAM'de, mevcut model katsayılarına ve hata görüntüsüne dayanan model katsayısı güncelleme tahminine dayanan tekrarlanan hesaplamalar ile hesaplanır (Yang, Zhang, Shiu ve Zhang, 2012).

Regresyona dayalı dönüm noktası tespiti, son araştırma çalışmalarında ilgi çekici bir yöntemdir. Regresyon temelli yöntemler, bütünsel ve kısmen temelli yöntemlerle yapıldığı gibi küresel bir yüz modeli ortaya koymak yerine, görüntünün ortaya çıkışından dönüm noktası konumlarına doğrudan bir harita çizmeyi amaçlamaktadır. Regresyona dayalı yöntemler kabaca doğrudan regresyon yöntemleri, kademeli regresyon yöntemleri ve derin öğrenmeye dayalı regresyon yöntemleri olarak kategorize edilir. Yerel ve bütünsel yaklaşımlar olarak da alt kategorilere ayrılan doğrudan regresyon yöntemleri, başlangıç noktalarına ihtiyaç duymadan yer işaretlerini bir kerede tahmin etmek için kullanılır. Buna karşılık, kademeli regresyon metotları, yer işaret noktalarının önceden başlatılması gerekliliği ile yer işaret noktalarını doğru şekilde lokalize etmek için müteakip, kademeli yinelemeleri gerektirir (Yang, Zhang, Shiu ve Zhang, 2012).

Aslında, bir yer işareti algılama algoritması  $N$  yer işaretlerinin yerlerini belirtir,  $Lp = \{x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_N, y_N\}$  verilen resim üzerinde  $f$ . Bu çalışmada, yüz görüntülerinin işaretlerini tanımlamak için CLM-temelli bir yöntem, yani Ayırt

Edici Yanıt Harita Uydurma (DRMF) uygulanmıştır. DRMF, Şekil 5.2'de gösterildiği gibi bir yüz görüntüsüne uygulandığında altmış altı dönüm noktası noktası tanımlanmıştır:



Şekil 5.2: Tanımlanmış dönüm noktaları (n=66)

### 5.3.2 Şekil ve gri seviye görünüm esaslı özellik çıkarımı

Bu çalışmadaki tanımlayıcı, yüz temel noktalarına dayanan, görünüm temelli özellikler ve şekillendirilmiş özellikler olarak çıkarılan iki tür özellik kümesinden oluşturulmuştur. Her bir özellik kümesi ve bunların alınma şekli ayrıntılı olarak aşağıda açıklanmıştır.

#### 5.3.2.1 Şekil-bazlı özellik seti

DRMF, her yüz görüntüsünde altmışaltı yer işaretini tanımlamıştır. Bu dönüm noktalarının mekânsal ilişkilerinin bireyler için benzersiz olup olmadığı incelenmiştir.

$f$  marks işaretli bir resim olsun,  $Lp = \{x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_N, y_N\}$ , ki burada  $N = 66$ . Bu noktalar arasındaki öklid mesafeleri hesaplanmıştır. Toplam  $N \times (N - 1)$  mesafe değerleri şu şekilde bulunmuştur:

$$d(Lp_i, Lp_j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

$$fea_1 = [d(Lp_1, Lp_2) d(Lp_1, Lp_3) \dots d(Lp_{N-1}, Lp_N)]$$

#### 5.3.2.2 Görünüm-bazlı özellik seti

Bir diğer özellik seti,  $fea_2$ , dönüm noktalarının k-hop mahallesinde hesaplanan ortalama piksel yoğunluğu değerlerinden oluşturulmuştur. Gürültü veya aydınlatıcı değişikliklerden kaynaklanan tek piksel yoğunluğundaki

değişikliklerin etkisini azaltmak için, çevreleyen piksellerin ortalama değeri ile yer işaretindeki pikselin değeri göz önünde bulundurulmuştur.

$$mp_{Lp_i} = (\sum_{n=1}^{k^2-1} p_{Lp_n} + p_{Lp_i})/k^2$$

$$fea_2 = [mp_{Lp_1} \ mp_{Lp_2} \ \dots \ mp_{Lp_N}]$$

$p_{Lp_i}$ ,  $mp_{Lp_i}$  ve  $fea_2$ , mark konumundaki dönüm noktası piksel yoğunluğu değerini, k-hop mahallesine ait ortalama yoğunluk değerini ve sırasıyla bu ortalama yoğunluk değerlerini içeren özellik kümesini belirtmektedir. İki özellik setinin çıkarma aşamasından sonra, genel özellik setini ( $fea_{TOT}$ , aşağıdaki gibi) oluşturmak için birleştirilmişlerdir:

$$fea_{TOT} = fea_1 \mid fea_2$$

## 5.4 Verilerin Analizi

Gürültü, oklüzyon ve aydınlatmada değişkenlik tanıma performansını önemli ölçüde etkileyebilir. Bu nedenle, önerilen yöntem zorlama koşullarında başarısız olmamalı ve tatmin edici bir tanıma performansı elde etmek için kararlı kalmalıdır. Elde edilen bulgular, stabilite yöntemi (gürültü direnci, aydınlatmadaki değişim ve aksesuar nedenli kısmi tıkanıklıklar altındaki direnci) ve doğruluk performansı yöntemi ile analiz edilmiştir. Analizler için, Intel CORE i7-5500U 2.4 GHz işlemci ve 16 GB RAM bilgisayar sisteminde çalışan MATLAB 2017b kullanılmıştır.

### 5.4.1 Stabilite analizi

Çalışmada elde edilen bulguların stabilite analizi; gürültü direnci, aydınlatmadaki değişim ve aksesuar sebepli kısmi tıkanıklıklar alt boyutlarında incelenmiştir.

#### 5.4.1.1 Gürültü direnci analizi

Bir yüz tanımlayıcısının performans analizi sırasında göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husus, filtrasyon gibi herhangi bir iyileştirme olmaksızın gürültü gibi zorlu bir faktöre karşı nasıl direnç gösterdiğidir. Bu nedenle, önerilen yöntemin reaksiyonu yapay olarak üretilen

gürültü uygulanarak incelenir. Veri setindeki her görüntüye iki tür gürültü, yani tuz-biber ve Gaussian yapay olarak uygulanmıştır. Başlangıçta, tuz-biber gürültüsü göz önünde bulundurulmuştur. Görüntüler bazen edinme, aktarma veya kaydetme işlemleri sırasında gürültüye, yani darbeli gürültüye maruz kalabilir. Darbe gürültüsü genellikle Rastgele Değerli Darbeli Gürültü (RVIN) ve Sabit Değerli Darbeli Gürültü (FVIN) olarak sınıflandırılır. Bu iki tip gürültü modeli, gürültü piksellerinde meydana gelen yoğunluk-değer değişiminde farklılık gösterir. FVIN modelinde, gürültüye maruz kalan her piksel 0 veya 255 değerini alır, yani piksel siyah veya beyaz olur. FVIN'in modellenmesi normal olarak şu şekilde yapılmıştır:

$$x'_{ij} = \begin{cases} \{0,255\} \text{ with probability } p \\ x_{ij} \text{ with probability } 1 - p \end{cases}$$

$x_{ij}$ ,  $x'_{ij}$ ,  $p$  görüntü koordinatındaki (i, j) orijinal, gürültülü piksel yoğunluğu değerlerini ve sırasıyla gürültü yoğunluğunu belirtmektedir.

RVIN için iki tip model önerilmiştir. Bu modellerin ilkinde, gürültülü bir piksel, FVIN'deki iki sabit değer yerine, m uzunluğundaki sabit bir aralıktaki değerlerden birisini alabilmektedir. Bu model Sabit Aralıklı Darbe Gürültüsü (FRIN) olarak adlandırılmakta ve şu şekilde formüle edilmiştir:

$$x'_{ij} = \begin{cases} [0, m) \text{ with probability } p_1 \\ x_{ij} \text{ with probability } 1 - p \\ (255 - m, 255] \text{ with probability } p_2 \end{cases}$$

RVIN için ikinci önerme, Genel Sabit Değerli Darbe Gürültüsü (GFN) veya Çok Değerli Darbe Gürültüsü (MVIN) olarak adlandırılır ve aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir:

$$x'_{ij} = \begin{cases} \{0,255\} \text{ with probability } p \\ x_{ij} \text{ with probability } 1 - p \end{cases}$$

S, aralıktaki değerlerden seçilen k elemanlarından oluşan darbe gürültüsü değerleri kümesidir [0,255].

Veri setindeki her görüntü yapay olarak tuz biber gürültüsüne maruz kalır ve tuz biberin gürültülü görüntüleri üzerinde tanıma-doğruluk-performans analizi yapılır. Önerilen ve diğer yöntemlerin tanıma doğruluğu değerlerini ifade

etmektedir.  $d$ , ( $feaToT$ ,  $k = 1$ ), ( $feaToT$ ,  $k = 2$ ), ortalama piksel yoğunluğu değerini hesaplarken sırasıyla 1 ve 2 atlama komşu pikselleri dikkate alarak önerilen yöntemdir. Açıkça, önerilen yöntem, karabiber gürültüsüne maruz kalmanın artması durumunda bile sabit kalmaktadır. Aslında, bu bir görüntü tuz-biber sese maruz kalsa bile, önerilen tanımlayıcının sabit kaldığı ve bireyin hala tam olarak ayırt edilebildiğinin kanıtıdır. Bu çalışmada önerilen yöntem tamamen merkezi noktalara dayandığından, tuz-biber gürültüsü bu noktaların çıkarılmasını etkilemez ve aynı veya neredeyse benzer özellik kümesinin yakalanmasına devam edilir. Bu nedenle, diğer yöntemlerin çoğunun tanıma doğruluğu performansları ciddi şekilde bozulurken, artan tuz-biber gürültü oranına rağmen yöntemimiz bireyleri ayırt edebilir.

Gürültü dayanıklılık performans analizinin bir sonraki aşamasında, başka bir gürültü türü olan Gauss Gürültüsü göz önünde bulundurulmuştur. Dijital görüntü elde etmeye yönelik iki baskın gürültü kaynağı, dedektörlerdeki foton sayımı stokastik kalitesi ve toplama cihazlarının iç ve elektronik dalgalanmalarıdır. Görüntü toplama sistemi nedeniyle ortaya çıkan en yaygın gürültü, genel olarak Gauss rastgele gürültüsü olarak modellenebilir. Gauss Gürültüsü, Carl Friedrich Gauss'un adını taşıyan Gauss Dağılımı olarak da bilinen normal dağılımına eşit olasılık yoğunluğu işlevine (Probability Density Function, PDF) sahip istatistiksel gürültüdür. Başka bir deyişle, gürültüye maruz kalan piksellerin konumları ve değerlerin saçılması Gauss Dağılımına tabidir. Bir Gauss rastgele değişkeninin PDF'si aşağıdaki gibi formüle edilmiştir:

$$p_G(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

#### 5.4.1.2 Aydınlatmadaki değişim analizi

Yüz tanıma, özellikle kısıtlanmamış ortamlarda oldukça zorlayıcı bir paradigma olmaktadır. Değişken aydınlatma, yüz tanımayı zorlaştıran en belirleyici faktörlerden biridir. Karıştırılmış veya ekli gölgeler gibi görüntüler üzerinde değişiklik yapan değişken aydınlatma nedeniyle görüntü farklılıkları, bireyler arasındaki doğuştan gelen farklılıklar nedeniyle olduğundan daha büyük olabilir. Farklı aydınlatmalardan kaynaklanan bu zorluklar araştırmacılardan

büyük ilgi görmüş ve bu zorlukların üstesinden gelmek için birçok çalışma yapılmıştır.



(a) Farklı aksesuarlar takınan kişilerin görüntüleri



(b) Farklı yüz ifadelerine sahip kişilerin görüntüleri



(c) Aydınlatma değişimlerine maruz kalmış görüntüleri

**Şekil 5.3:** CASPEAL-R1 veri setinden seçilen farklı kategorilerden yüz ifadeleri

Bu çalışmalar genel olarak normalleştirme ve ön işleme, aydınlatmada değişmeyen özellik çıkarımı ve modelleme olmak üzere üç kategoride sınıflandırılır. Bu çalışmada önerilen yöntem, kategori aydınlatma değişmez özellik çıkarımı kapsamına girmektedir.

Şayet bir yöntem yoğun olarak piksel yoğunluğu değerlerine dayanan özellik kümesinden yararlanırsa, aydınlatmadaki değişikliklerden etkilenmesi kaçınılmazdır. Bu nedenle, yüz tanımlayıcımızı tasarlarken, yalnızca değişen aydınlatmanın zararlı etkilerine karşı bağışıklığı azaltacak olan piksel yoğunluğu değerlerine dayanan bir özellik seti üretilmemesi amaçlanmaktadır. Yöntemin ve diğer son teknolojiye ait yöntemlerin tanıma doğruluğu



performansı, CASPEAL-R1 veri setindeki kapsamlı simülasyonlarla incelenmiştir.

CASPEAL-R1 veri setinin seçilmesinin nedeni, yapay olarak üretilmek yerine, iç mekân ortamında doğal olarak meydana gelen değişken aydınlatmaya maruz kalan bir veri kümesi içermesidir. Değişken doğal aydınlatmaya maruz kalan örnek yüz görüntülerini sunar. Açıkçası, herhangi bir ön işleme ya da normalizasyon işlemi olmadan, bireylerin ayırt edilmesi, tanımlayıcı-özellik setinin yoğun bir şekilde piksel yoğunluğu değerlerine dayandığı herhangi bir tanımlayıcı için oldukça zorlayıcıdır (Şekil 5.3). Tanıma doğruluğu k-NN sınıflandırma algoritması uygulanarak ölçülmüş ve sonuçlar  $k = 1,2,3$  olan değerler için hesaplanmıştır.

#### **5.4.1.3 Aksesuar nedenli kısmi tıkanlıklar analizi**

Poz ve aydınlatma değişikliklerinin çarpık etkilerini azaltmak için yüz tanıma konusunda çok fazla araştırma olmasına rağmen, tıkanmaların neden olduğu sorunlar genellikle göz ardı edilmektedir. Ancak, yüz tıkanıklığı oldukça yaygındır ve kasıtlı veya kasıtsız kendiliğinden nedenlerden dolayı oluşabilir.

Örneğin, futbol holiganları ve ATM'li suçlular yüzlerinin tanınmasını önlemek için eşarp ve / veya güneş gözlüğü takabilirler. Bunun dışında, bazı insanlar dini inançlar veya kültürel alışkanlıklar nedeniyle peçe takıyorlar. Diğer yüz tıkanıklığı kaynakları arasında tıbbi maskeler, sakallar, şapkalar, yüz kılları, bıyıklar, makyaj vb. Elbette, yüz tıkanması, oklüzyon analizi özellikle göz önüne alınmadıkça, en karmaşık yüz tanıma sistemlerinin performansını önemli ölçüde etkileyebilir.

Yüz tanıma sistemlerinin kısmi tıkanmaya karşı sağlamlığı bu nedenle günümüzde çok önemlidir. Yerel özellik tabanlı yöntemlerin, PCA, LDA ve ICA gibi geleneksel bütünsel yaklaşımlardan farklı olarak, kısmi tıkanmalara karşı sağlam ve bu tür sorunlara daha az duyarlı olduğu kabul edilmiştir. Yerel özellik tabanlı yöntemlerden bazıları yalnızca aydınlatma ve / veya ifade değişikliklerine odaklanırken, diğerleri kısmi tıkanmaların neden olduğu sorunların üstesinden gelmeyi amaçlamaktadır.

#### 5.4.2 Doğruluk performansı analizi

Bu araştırmada, önerilen yöntemin kararlılığı ve sağlamlığının analizi, tanınması zor kapatılmış, değişken ışıklı görüntüler içeren zorlu veri kümesi CASPEAL-R1 üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu veritabanından alınan görüntüler yapay olarak üretilen tuz-karabiber ve Gauss Gürültüsüne maruz bırakılarak yöntemin direnci araştırılmıştır. Bu şekilde önerilen yöntemin farklı veri kümeleri, ExtendedYaleB, Face94 ve JAFFE üzerindeki tanıma doğruluğunu açıklanmaya çalışılmıştır. Bu bağlamda, ExtendedYaleB veri kümesinden 28 farklı kişiye ait 6140x480 piksel, 9 farklı poza maruz ve 64 farklı aydınlatmaya kalmış toplam 16352 gri tonlamalı görüntü seçilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4: ExtendedYaleB veritabanından alınan yüz görüntüleri

Simülasyonlar, 20'si her bireye ait toplam 1860 imge içeren Face94 adındaki başka bir veri setinde yürütülmüştür. Ardından, yüz tanıma performansı JAFFE veri setinde analiz edilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5: Face94 veritabanından alınan yüz görüntüleri

Son olarak, JAFFE veritabanında, 10 Japon kökenli bayan modelinin oluşturduğu 7 yüz ifadesinin (6 temel yüz ifadesi + 1 nötr) 213 görüntüsü bulunmuştur. Her görüntü 60 Japon denek tarafından 6 duygu sıfatında değerlendirilmiştir. Bu veri kümesinden alınan temsili 5 yüz ifadesi Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

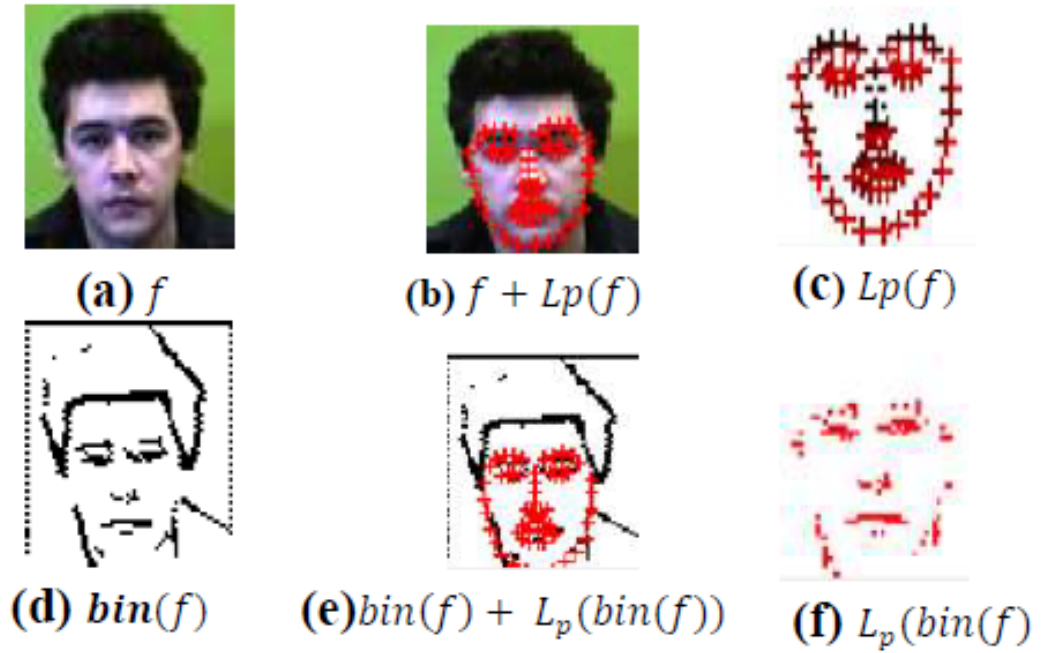


**Şekil 5.6:** JAFFE veritabanından alınan yüz görüntüleri

## 6. BULGULAR

### 6.1 Dönüm Noktası Bulguları

Bu çalışmada, yüz görüntülerinin işaretlerini tanımlamak için CLM-temelli Ayırt Edici Yanıt Harita Uydurma (DRMF) yaklaşımı uygulanmıştır. Uygulanan yaklaşım yoluyla altmışaltı adet dönüm noktası tanımlanmıştır. DRMF, yüze ve ikili versiyonuna ait lokasyonların tespitinden yüksek performans göstermiş ve dönüm noktası ortalama hata kareleri toplamı kökü 2,8315 olarak hesaplanmıştır. Dönüm noktası bulgularına ait görsel ve sonuçlar Şekil 6.1 ve Çizelge 6.1’de sunulmuştur.



Şekil 6.1: Örnek görüntü ve ikili versiyonuna ait açıklanmalı yüz dönüm noktaları

**Çizelge 6.1:** İşlenen yüz görüntüsüne ve ikili versiyonuna ait dönüm noktalarının koordinatları ( $X, Y$ )

$X (L_p(f))$	$Y (L_p(f))$	$X (L_p(bin(f)))$	$Y (L_p(bin(f)))$
12,12987	36,30967	12,67734	38,81291
12,68323	40,61763	13,15086	43,56321
13,57034	44,86027	13,90462	48,28583
14,85724	49,18057	14,93438	52,92806
16,81583	53,43989	16,53872	57,30252
19,72069	57,07365	19,17155	61,04213
23,36007	59,82478	22,64357	63,99347
27,40592	61,82429	26,68399	66,08498
31,78441	62,43856	31,22114	66,62399
36,1457	61,25646	35,85715	65,63002
40,00452	58,78397	39,82174	63,08491
43,37626	55,6071	43,14045	59,75187
45,86989	51,60234	45,62617	55,7707
47,24051	47,01898	47,10655	51,35436
47,87201	42,43008	47,86383	46,78536
48,09931	37,96361	48,23014	42,17451
48,01737	33,48796	48,28696	37,5547
14,5989	32,79396	15,28539	33,60506
16,70609	30,91407	17,48864	31,73869
19,59609	30,20413	20,35555	31,0144
22,63233	30,43724	23,33207	31,18806
25,57247	31,2455	26,21372	31,95197
32,93123	30,60969	33,46875	31,75856
35,83196	29,32294	36,23001	30,82089

---

38,91826	28,6139	39,14148	30,43596
42,00653	28,9136	42,02274	30,89196
44,49064	30,51393	44,37334	32,50591
29,54023	35,05933	30,07173	35,74509
29,74289	38,00162	30,11559	38,73692
29,94943	40,94511	30,15553	41,71238
30,16003	43,86658	30,19773	44,67409
27,61102	45,93014	27,35574	47,17923
28,9889	46,30545	28,86667	47,67258
30,40842	46,41401	30,46833	47,83739
31,85814	46,07692	32,04978	47,56523
33,21936	45,48471	33,51087	46,96988
18,58342	36,41866	19,12932	36,95469
20,41554	35,01748	20,99095	35,70374
22,79524	34,87084	23,28537	35,61264
24,78259	35,98658	25,20425	36,7432
22,77831	36,77687	23,1979	37,31306
20,60786	37,02824	21,08796	37,47068
34,67149	35,17974	34,94474	36,42996
36,46659	33,74709	36,74474	35,19575
38,86335	33,53635	39,0245	35,10579
40,92885	34,62152	40,95582	36,23431
39,00332	35,54088	39,04976	36,88558
36,79986	35,64094	36,95332	36,86539
25,15109	52,79591	24,26228	54,00413
26,59238	51,22011	25,97602	52,42645
28,47418	49,98056	28,13225	51,34361

---

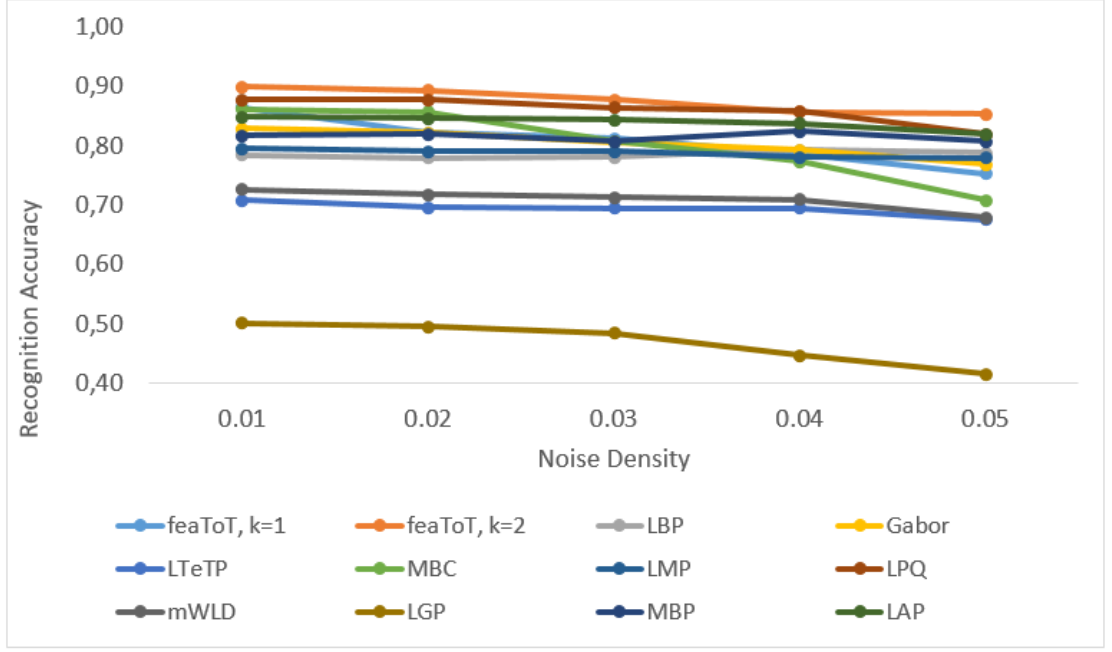
30,75566	50,17207	30,54656	51,49857
33,05967	49,62748	32,99945	51,16811
35,18908	50,55731	35,26755	52,08658
36,97161	51,85436	37,12641	53,56337
35,44784	53,48653	35,54884	55,41116
33,45097	54,62027	33,37958	56,63587
31,16589	55,14614	30,81342	57,05753
28,90241	54,97643	28,2527	56,81596
26,82357	54,16791	26,00239	55,74238
28,61613	51,80899	28,02457	53,16331
30,88918	51,7607	30,63792	53,08958
33,22669	51,45047	33,32162	52,97792
33,21794	52,01534	33,41687	54,06619
30,95401	52,51079	30,73026	54,49448
28,71534	52,36075	28,07193	54,25958

## 6.2 Stabilite Analizi

Gürültü, oklüzyon ve aydınlatmada değişkenlik tanıma performansını önemli ölçüde etkileyen faktörlerdir. Bu gibi faktörlere karşı önerilen yöntem kararlı kalabilmelidir. Bu bölümde stabilite analizine ait bulgular sunulmuştur.

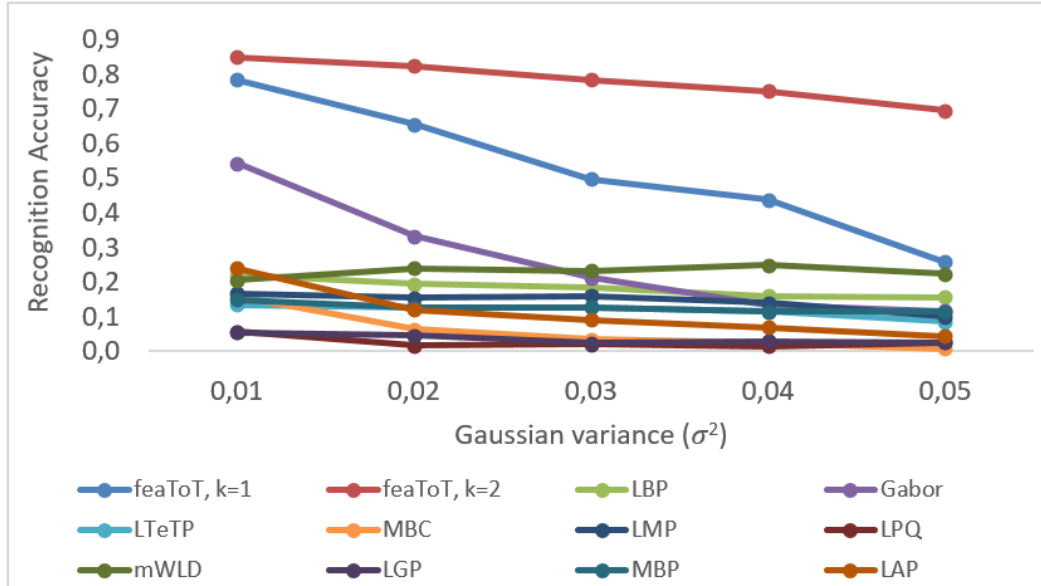
### 6.2.1 Gürültü direnci analizi

Önerilen yöntemin ve diğer rakip yaklaşımların tuz-biber gürültüsüne maruz kalma durumunda gösterdikleri tanıma doğruluğuna ait bulgular Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Bulgulara göre, artan gürültü yoğunluğuna (0,01 ve 0,05 arasında değişen değerlerde) karşı tanıma doğruluğu sırasıyla, feaTot, k=2, LGP, MBC, LAP, Gabor, MBP, LMP, LBP, mWLD, LTeTP ve LGP’de azalma göstermiştir.



Şekil 6.2: Tuz-biber gürültüsüne maruziyet ve tanınma doğruluğu değerleri

Önerilen yöntemin ve diğer rakip yöntemlerin Gauss Gürültüsüne maruz kalma durumunda tanınma doğruluğu değerleri Şekil 6.3’de sunulmuştur. Bulgulara göre, artan Gauss varyansına karşı tanınma doğruluğu, feaTot, k=2, feaTot, k=1, Gabor, LBP, LMP, LAP, MBC, LGP ve LPQ olarak tespit edilmiştir.

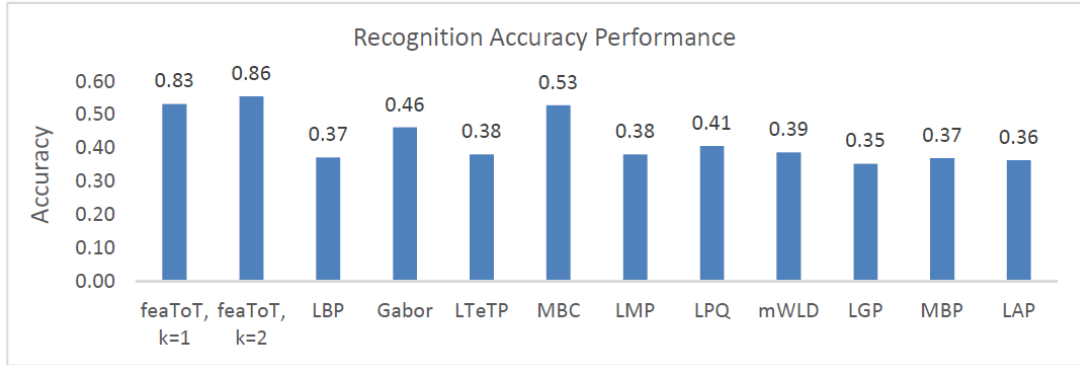


Şekil 6.3: Gauss gürültüsüne maruziyet ve tanınma doğruluğu değerleri



### 6.2.2 Değişken aydınlatma direnci bulguları

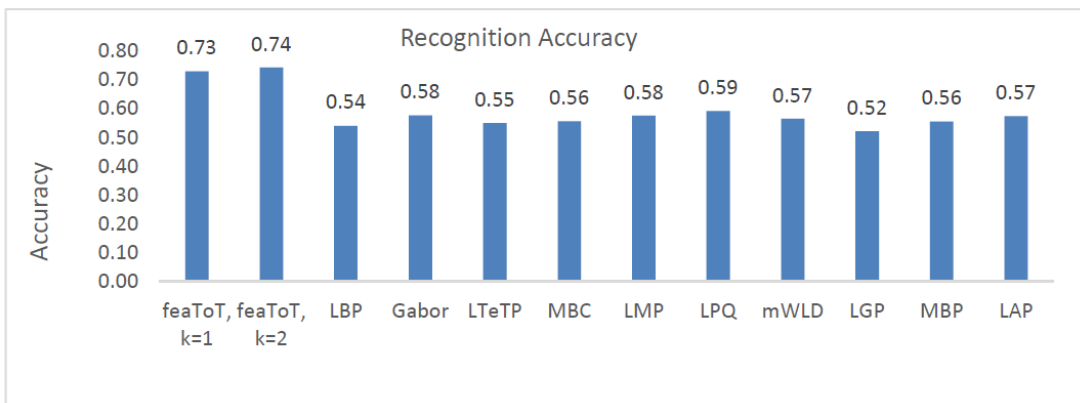
Önerilen yöntemin ve diğer rakip yaklaşımların değişen aydınlanma durumlarında tanınma performansları Şekil 6.4’de gösterilmiştir. Bulgulara göre, farklı aydınlanma koşullarında; feaTot, k=1 0,83, feaTot, k=2 0,86, MBC 0,53, Gabor 0,46, LPQ 0,41, mWLD 0,39, LTeTP ve LMP 0,38, LBP ve MBP 0,37, LAP 0,36 ve LGP 0,35’e düşen doğrulukla çalışmıştır.



Şekil 6.4: Değişen aydınlanma ve tanınma doğruluğu değerleri

### 6.2.3 Aksesuar nedenli kısmi tıkanlıklar bulguları

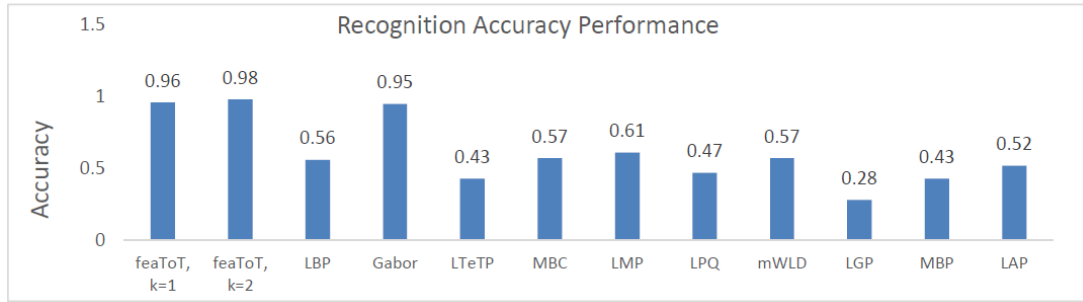
Aksesuar nedenli kısmi tıkanlıkların tanınma doğruluğu değerleri üzerinde etkileri önerilen yöntem ve rakipleri için Şekil 6.5’de sunulmuştur. Buna göre, aksesuar nedenli kısmi tıkanlıklardan azalana doğru etkilenen yöntemler ve tanınma doğrulukları şu şekilde sıralanabilir: feaTot, k=2 0,74, feaToT, k=1 0,73, LPQ 0,59, Gabor ve LMP 0,58, LAP ve mWLD 0,57, MBC ve MBP 0,56, LTeTP 0,55, LBP 0,54 ve LGP 0,52’dir.



Şekil 6.5: Aksesuar nedenli kısmi tıkanlıklar ve tanınma doğruluğu değerleri

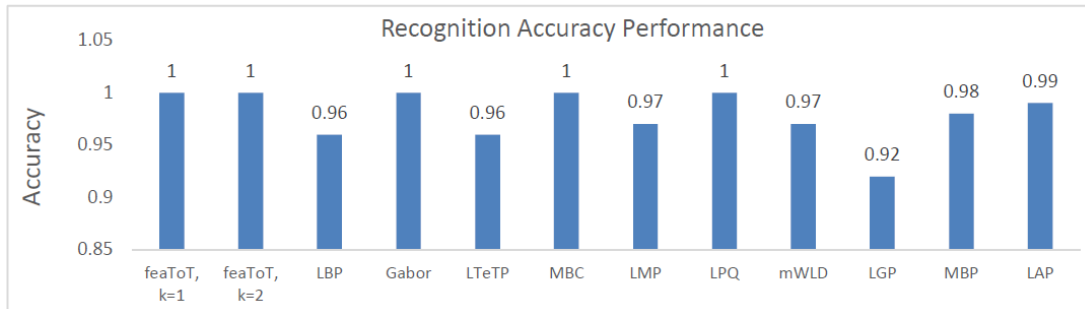
### 6.3 Doğruluk Performansı Bulguları

Önerilen yöntem ve diğer rakip yöntemlerin ExtendedYaleB veri kümesinden alınan 28 farklı kişiye ait 6140x480 piksel, 9 farklı poza maruz ve 64 farklı aydınlatmaya kalmış toplam 16352 gri tonlamalı görüntü için gerçekleştirilen doğruluk performansı bulguları Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, önerilen yöntem Gabor yaklaşımından sonra en yüksek doğruluk performansını göstermiştir.



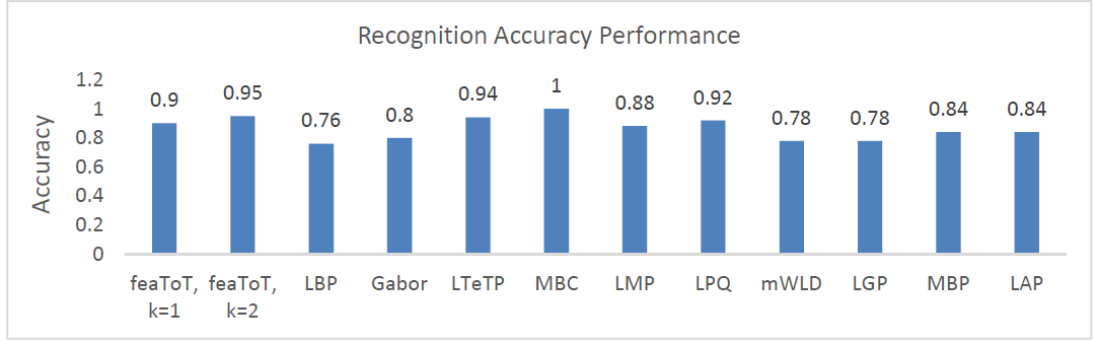
Şekil 6.6: ExtendedYaleB veri kümesi yüz tanıma doğruluk performansı bulguları

Önerilen yöntem ve diğer rakip yöntemlerin Face94 veri kümesinden alınan 20'si her bireye ait toplam 1860 görüntü için doğruluk performansı bulguları Şekil 6.7'de gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, önerilen yöntem diğer tüm rakip yaklaşımlara göre en yüksek doğruluk performansını gösterilmiştir.



Şekil 6.7: Face94 veri kümesi yüz tanıma doğruluk performansı bulguları

Son olarak, önerilen yöntem ve diğer rakip yöntemlerin JAFFE veritabanında, 10 Japon kökenli bayan modelinin oluşturduğu 7 yüz ifadesinin (6 temel yüz ifadesi + 1 nötr) 213 görüntüsü ve her görüntünün 60 Japon denekte 6 farklı duygu sıfatında değerlendirilmesine ait bulgular Şekil 6.8'de sunulmuştur. Bulgulara göre, önerilen yöntem en iyi doğrulama performansı sergileyen yaklaşımlardan birisi olmuştur.



**Şekil 6.8:** JAFFE veri kümesi yüz tanıma doğruluk performansı bulguları

## 7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırmada simgesel noktaları kullanarak şekil ve gri düzeyde görünürlere dayalı yüksek ayırmacı bir yüz tanıma yöntemi önerilmiştir. İlk adımda, bütün örnek görüntüler tek biçimlilik sağlamak için ön işleme tabi tutularak standart bir forma sokulmuştur. Numunelerin üniformizasyon aşamasının tamamlanmasının ardından, dönüm noktası puan tespiti süreci başlamıştır. Bu sürecin sonunda, her yüz görüntüsündeki altmışaltı dönüm noktası, uzamsal koordinatlarıyla tanımlanmış ve daha sonra bu dönüm noktalarının uzamsal koordinatlarından yararlanılarak, birbirleri arasındaki Öklid mesafelerini kapsayan bazı şekil tabanlı özellikler ile gri seviye tabanlı görünüm özellikleri çıkarılmış ve özellik setine dâhil edilmiştir. Sınıflandırma, dönüm noktaları arasında hem şekil hem de görünüm esaslı ilişkileri içeren bu bileşik özellik setine göre yapılmıştır. Önerilen yöntemin performans analizi gürültü etkilerine ve aydınlatmadaki değişkenliğe karşı direnci ile kapsamlı simülasyonlar gerçekleştirerek yüz tanıma doğruluğu performansının diğer rakipleriyle karşılaştırılmasıyla analiz edilmiştir.

Günümüzde pek çok farklı alanda yaygın uygulama fırsatı bulan farklı biyometrik teknolojiler kullanılmaktadır. Bu teknolojiler arasında başlıcaları, parmak izi, el geometrisi, yüz, iris, retina, ses, imza, damar tanıma, el yazısı tanıma, yürüyüş tanıma, el ve damar tanıma, kulak ve tuş vuruşu tanıma kullanılmaktadır. Bu teknolojilerden yüz tanıma yaklaşımı biyometrik desen (örüntü) tanıma olup, diğer biyometrik sistemlerinden daha çok benimsenmiştir. Bu benimsemenin altında ise kullanılabilirlik ve ulaşılabilirlik gibi üstünlükleri vardır. Bu çalışmada, yüz tanıma teknolojisi üzerinde çalışılmış ve teknolojinin geliştirmeye açık olan yüksek ayırım yapabilme becerisi üzerinde çalışılmıştır.

Gelişen bilim ve teknoloji, biyometrik teknolojilerin eskisine göre daha yüksek hassasiyetli, etkili ve insan faktörünü en aza indirecek biçimde gelişmesinin önünü açmaktadır. Bu hızlı gelişimin başlıca sebeplerinden birisi ise, insan yüzünün yalnızca kişiye özgü olan özelliklerinden elektronik cihazlar

yardımıyla kişiye herhangi bir rahatsızlık vermeden ve fiziki temasta bulunmadan verilerin toplanabilmesi ve ileri yazılımlar ile işlenebilmesidir. Bu araştırmada, yüz tanıma sisteminin ayırt edici performansı üzerine odaklanılmış olup, yüz ifadelerinin tanınması ve kafadan pozlama için yüz dönüm noktalarının ayırt edici performansı ele alınmıştır.

Yüz tanıma, diğer rakip biyometrik teknolojiler arasında belki en yaygın ve uygulanabilir olan bir yaklaşımdır. Yüz tanıma modelinin kendine özgü bazı aşması gereken engelleri bulunmaktadır. İki araştırmacıya göre, insan yüzünün özellikle beşinci yaşından başlayarak geçirdiği değişim aşılması gereken bir problemdir. Bir yüz tanıma sisteminin kafatasının gelişimi ve olgunlaşma dönemi ile yüz işleme derinliği, özellik çıktı paterni, yüz şablonunun gelişimi ve üst karakter kodlamasının yüz tanıma sistemlerinin performansını ve doğrulama becerisini yükseltmek gibi açıklamaları sağlaması önemlidir. Aradan geçen zaman zarfında, 2020 yılına gelindiğinde ise, kafanın çok serbestlik dereceli hareketi ve insan duygularının yüzde ifadesinin yüz tanıma sistemlerinde poz, aydınlatma ve ekspresyona göre yeni geliştirmeleri beklediğini savunmaktadırlar. Geçmiş ve yeni araştırmacıları en çok düşündüren müşterek sorun insan yüzünün ilerleyen yaşla birlikte değişiklik göstermesidir. Bu çalışmanın özgün yönü, yüz işaret noktalarının kişiye özgün olması nedeniyle, kimlik doğrulama için kullanılması ve dönüm noktalarının birbirleri arasındaki öklid mesafelerinin ve gri seviye değerlerinin özellik setine dâhil edilmesi olmuştur.

Yüzdeki yer işareti algılama algoritmaları, yer işareti noktalarının resimlerdeki veya videolardaki konumlarını otomatik belirlemeye yaramaktadır. Yüz işaretinin tespiti için yöntemler genellikle bütünsel, parça bazlı ve regresyon bazlı yöntemler olarak üç grupta toplanmaktadır. Kısmen temelli yöntemler, yerel yüz görünüşleri ve bütünsel görünüş görünüşleri üzerine modeli oturtur ve bu sayede tıkanma ve aydınlatma problemlerini aşmaya çalışır. Bütünsel yöntemlerde ise, küresel yüz şekli kalıplarından ve bütünsel yüz görünüm bilgilerinden yararlanır. Diğer taraftan, regresyon temelli yöntemler ise, küresel bir yüz modeli ortaya koymak yerine, görüntünün ortaya çıkışından dönüm noktası konumlarına doğrudan bir harita çizmeyi amaçlar. Bu çalışmada ise, yüz görüntülerinin işaretlerini tanımlamak için CLM-temelli bir yöntem, yani Ayırt

Edici Yanıt Harita Uydurma (DRMF) uygulanmış ve altmışaltı adet dönüm noktası tanımlanmıştır.

Araştırmada, DRMF yaklaşımın kullanılma sebebi, kişilerin duygularını yüz ifadelerinde saklayabilme becerileridir. Bir diğer ifadeyle, insan duygularını makro düzeyde yüz ifadesinde gizleyebilmekte, ancak mikro ifadeleri saklayamamaktadır. Bu sebeple, performansı yüksek bir yüz tanıma sistemi için mikro ifadeleri yakalayabilmesi etkinliği ve doğruluğu açısından son derece önemlidir. Konuya daha açıklık getirmek amacıyla, mikro ön ekinin yüz tanımda anlamı, anlık (1/25 ila 1/5 saniye) ve çok kısa ifade değişikliğine vurgu yapmasıdır. DRMF yaklaşımında, ASM ve CLM gibi, kısmi temelli yüz bozulma modellerine iyi bir örnektir. Yüz bozulma modelleri, kabaca iki alt kategoriye ayrılır. Bu kategoriler holistik ve kısmi temellidir. Holistik yaklaşım, jenerik yüz tanıma için holistik-tekstür temelli yüz temsiliyi uygularken, kısmi temelli yaklaşım ise yüzde dönüm noktaları etrafındaki yerel görüntü yamalarından faydalanır. Bu özelliği ise DRMF'i diğer rakipleri ASM ve CLM tekniklerine nispetle bilgisayar uygulamaları açısından çok daha kullanışlı ve basit kılmaktadır.

İnsanların duyguları ve tavırlarının %77'sini yüz ifadesi ile kalan %7'sini ise sözcüklerle gösterdikleri bilinmektedir. Tanımlayıcı ve yüz temel noktalarına dayanan görünüm temelli özellikler ise bir diğer tür özellik kümesidir. Bir diğer özellik seti, *fea2*, dönüm noktalarının k-hop mahallesinde hesaplanan ortalama piksel yoğunluğu değerlerinden oluşur. Gürültü veya aydınlatıcı değişikliklerden kaynaklanan tek piksel yoğunluğundaki değişikliklerin etkisini azaltmak için, çevreleyen piksellerin ortalama değeri ile yer işaretindeki pikselin değeri göz önünde bulundurulur. Bu iki özellik setinin çıkarma aşamasından sonra, genel özellik setini oluşturmak için birleştirilir.

Görünüm temelli yaklaşım, yüz tanıma tekniklerinin dördünden birisidir. Bu teknik, diğer görünüm temelli tekniklerden olan bilgi temelli, değişmez özellik temelli ve şablon eşleştirme yaklaşımı temelli modellere göre en avantajlı olanıdır. Özellikle, makyaj, gözlük ve aksesuar nedenli kısmi tıkanıklıklara karşı stabilitenin sağlanması ve tanıma performansının yüksek olmasında etkili roller oynamaktadır. Çalışmanın küme seçiminde, DRMF yaklaşım ile önerilen yöntemin yüz ifadelerinde duygu temelli anlık ve kısa değişimleri yakalayacak

biçimde modellendiği ve bu açıdan bakıldığında şekillendirilmiş özellikleri kullanarak alana yenilik getirdiği anlaşılmaktadır. Benzer şekilde, görünüm temelli yaklaşımı ile de aksesuar nedenli kısmi tıkanıklıkların yol açacağı problemlere karşı önlem aldığı görülmektedir.

Günümüzde, geliştirilen yüz tanıma yöntemleri performans değerlendirmesi için ulusal ve özellikle uluslararası yüz tanıma veri kümelerini kullanmaktadır. Son yıllarda, önerilen küresel-yerel küme ağları başlıca dört alt modelde toplanmaktadır. Alt modillerden ilki rekonstrüksiyon ağı, yerel artış ağı, global artış ağı ve füzyon modülüdür. Füzyon modülü, yüksek çözünürlüklü son görüntüyü elde etmek için değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, önerilen yöntemin genel değerlendirmesi ilk olarak CAS-PEAL alt kümesi olan CAS-PEAL-R1'de yapılmıştır. Bu kümenin seçilmesinden başlıca faktörler, platformda farklı aydınlatma, yüz ifadesi ve aksesuarlardan oluşan zengin ve güncel görüntüler içermesidir.

Yeni yaklaşımın sınanması amacıyla simülasyonlar yapılır ve diğer rakip yöntemler ile performans bakımından karşılaştırılır. Karşılaştırmada kullanılan yaklaşımlar sırasıyla; LBP, Gabor, LTeTP ve LMP'dir. Bu sayılan esas yaklaşımlar arasında, LBP; yüzle ilgili özellikleri elde etmek için, Gabor filtresi; frekans, oryantasyon ve ölçek seçimi yaparak görüntülerin özelliklerini çıkarmak için, LTeTP, yatay ve dikey yönlerde birinci dereceden türevleri kullanarak referans piksel ve etrafındakiler arasında kodlama yapmakta ve son olarak LMP ise; küçük ölçekli strüktürleri yakalamak amacıyla tercih edilmektedir. Ancak, bu yaklaşımlara ek olarak, önerilen modelin LPQ, WLD, LGP, MBP, LAP ve MBC yöntemleri ile de mukayese edilmesi de tavsiye edilir.

Gürültü, oklüzyon ve aydınlatmada değişkenlik tanıma performansını önemli ölçüde etkileyebilir. Bu nedenle, önerilen yöntem zorlama koşullarında başarısız olmamalı ve tatmin edici bir tanıma performansı elde etmek için kararlı kalmalıdır. Bu araştırmada, önerilen yöntem, gürültüye karşı sağlamlığı, aydınlatmadaki değişikliklere maruz kalma durumlarında davranışı ve aksesuar nedenli kısmi tıkanıklıklar altındaki direnci incelenmiştir. Tuz-biber gürültüsüne maruz kalma durumu yüz tanıma sistemlerinde çok sık karşılaşılan bir olgudur. Bu olumsuz olgunun sistem üzerinde en olumsuz etkisi stabilitesini bozması ve performansını düşürmesi olarak görülür. Bir tanımlayıcı, gürültü,

tıkanma ve aydınlatma ve ifadedeki farklılıklar gibi olumsuz performans düşürücü etmenlere karşı dirençli ve dayanıklı olmalıdır. Bu olumsuz faktörler etkili otomatik tanıma sürecini zorlaştırmakta olup; özellikle gürültü sistem performansını düşürücü bir olgudur. Bu araştırmada, önerilen yöntemin tuz-biber gürültüsüne karşı dayanıklılığını koruduğu (sabit kaldığı) ve kişiyi gürültüye rağmen ayırt edebildiği tespit edilmiştir. Yeni yaklaşımın, gürültüye karşı sergilediği yüksek dayanıklılık duruşunun temelinde, tümüyle merkezi noktalara dayalı olması, tuz-biber gürültüsünün bu noktalardan çıkarım yapılmasını etkilemediği ve benzer özellik kümesinin yakalanmasına takip ettiği görülmektedir. Benzer şekilde, bir görüntü toplama sisteminde ortaya çıkan en yaygın gürültü genel olarak Gauss rastgele gürültüsüdür. Yüz tanıma yönteminde tanıma doğruluğu performansını düşüren faktör gürültünün varyansındaki artıştır. Bu sebeple, sağlam bir tanımlayıcı, artan ve değişen gürültü parametrelerine olabildiğince dirençli olmalı ve rahatsız edici etkilere karşı dayanabilmelidir. Özetle, yeni önerilen yaklaşım, değişen ve artan gürültü değerleri altında bile dayanıklılığını diğer yöntemlere göre fazlasıyla korumakta ve performansı düşmemektedir.

Görüntü esaslı yöntemlerin hâkim olduğu yüz tanıma süreçlerinin son yıllarda popülerliği artmıştır ve bu eğilim hızlanarak devam etmektedir. Yüz tanıma sistemlerinde video tabanlı uygulamalarda, bireyin görüntüsünün farklı aydınlatma durumlarında, cephesinden veya diğer yönlerden alınması gerekir. Farklı pozlar içeren görüntü kümelerinin karşılaştırma işlemini oldukça zora sokabilen bu durum özellikle küme esaslı yüz tanıma tekniklerinin nasıl daha geliştirileceği hususunda araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Özellikle aydınlatma farklılıklarının ön işleme sürecinde elenmesi veya giderilmesi gerekmektedir. Aydınlanma farklılıklarından doğan problemlerin çözülmesi yüz tanıma sistemlerinin başarısını olumsuz etkilemektedir. Yüz görünümünde aydınlatma değişimlerinden kaynaklanan bozulmalar ise ratio image, küresel histogram eşitleme ve yüze özel histogram uydurma gibi yaklaşımlar ile ortadan kaldırılmaya çalışılır. Bu konuda dünyada araştırmalar yürütülmektedir. İncelenen tekniklerden LQP, aydınlanma şartlarını güçlendiren bir tekniktir. Bir diğer yaklaşımda ise, yüzleri farklı pozlarda 3D oluşturarak yeniden oluşturmak tercih edilmektedir. Bu konuda yapılan bir diğer çalışma ise, PCA ve Gabor



yöntemlerinin farklı aydınlanma şartlarında diğer tekniklere göre daha iyi tanıma performansı gösterdiklerini belirlemiştir.

Bu çalışmada önerilen yöntem, kategori aydınlatma değişmez özellik çıkarımına girer. Bir yöntem yoğun olarak piksel yoğunluğu değerlerine dayanan özellik kümesinden yararlanırsa, aydınlatmadaki değişikliklerden etkilenmesi kaçınılmazdır. Bu nedenle, yüz tanımlayıcımızı tasarlarırken, yalnızca değişen aydınlatmanın zararlı etkilerine karşı bağışıklığı azaltacak olan piksel yoğunluğu değerlerine dayanan bir özellik seti üretilmemesi amaçlanmıştır. Metodumuzun ve diğer son teknolojiye ait metotların tanıma doğruluğu performansı, CASPEAL-R1 veri setindeki kapsamlı simülasyonlarla incelenmiştir. CASPEAL-R1 veri setinin seçilmesinin nedeni, yapay olarak üretilmek yerine, iç mekân ortamında doğal olarak meydana gelen değişken aydınlatmaya maruz kalan bir veri kümesi içermesidir. Açıkçası, herhangi bir ön işleme ya da normalizasyon işlemi olmadan, bireylerin ayırt edilmesi, tanımlayıcı-özellik setinin yoğun bir şekilde piksel yoğunluğu değerlerine dayandığı herhangi bir tanımlayıcı için oldukça zorlayıcıdır. Tanıma doğruluğu k-nn sınıflandırma algoritması uygulanarak ölçülür ve sonuçlar  $k = 1,2,3$  olan değerler için hesaplanır. Çalışmada önerilen yöntem, değişen aydınlatma sonucu gölgelerin azalan etkileri altında bile tanıma doğruluğu konusunda en iyisini yapabirmiştir. Diğer tanımlayıcıların performansları, özelliklerinin piksel yoğunluğu değerlerine tamamen güvendiğinden dolayı keskin bir şekilde düşme göstermiştir. Doğal olarak,  $k$  değeri arttıkça, bireyleri ayırt etmek zorlaşır, çünkü farklı bireylerin görüntüleri aynı şekilde algılanır ve olmasa da aynı kişi olarak sınıflandırılmaktadır.

Bir yüz tanıma sisteminin performansını negatif yönde etkileyen bir diğer olumsuz faktör ise aksesuarlardır. Aksesuarların sebep oldukları teknik problemlere karşı PCA, LDA ve ICA yöntemlerinin etkili olmadıkları iyi bilinen bir gerçektir.

Bu nedenle, araştırmacılar farklı yaklaşımlar önermişler ve geliştirmeye çalışmışlardır. Bunlar arasında, yerel özellik analizi (LFA), olasılıklı yaklaşım (AMM), öz-organize haritalama (SOM) ve LS-ICA sayılabilir. Yukarıda da belirtildiği gibi, bu çalışmadaki yöntem yalnızca piksel yoğunluğu değerlerine dayanmamaktadır, kısmi tıkanmalarda bile sabit olan yüz işareti özelliklerine

dayanmaktadır. Bu nedenle, çalışmada önerilen yöntem, gözlük ve şapka gibi kısmen tıkanmış görüntülerin veri yüzünde bile yüz tanımayı ciddi şekilde bozan yüksek performansa sahip olduğu anlaşılmıştır. Diğer yöntemlerin performansı ile karşılaştırıldığında, önerilen yöntem ciddi avantaj sağlamaktadır.

Önerilen yöntemin kararlılığı ve sağlamlık analizi için tanınması zor ve kapatılmış farklı değişken ışıklı görüntüleri içeren zorlu veri kümesi CASPEAL-R1 ([www.jdl.ac.cn/peal/](http://www.jdl.ac.cn/peal/)) kullanılmıştır. CASPEAL-R1, Asyalı kişilerin yüz ifadelerinden oluşan bir yüz kümesidir. Bu ve diğer benzer kümeler, yüz tanıma sistemlerinin performans ve doğruluk ölçümlerinin sınanması için zengin içerikleri sebebiyle araştırmacıların yoğun ilgisini çekmektedir. Örneğin, bu veri kümesini kullanarak düşük aydınlanma ortamında en yüksek tanıma doğruluğu oranını aksesuar kaynaklı kısmi tıkanıklık durumunda %43,41, yüz ifadesinde %60,06 ve ışıklandırmada %10,97 bulmuştur. Benzer şekilde, en yüksek tanıma doğruluğu oranını aksesuar kaynaklı kısmi tıkanıklık durumunda %46,48, yüz ifadesinde %61,27 ve ışıklandırmada %7,40 olarak tespit edilmiştir. Bu görüntüler yapay olarak üretilen tuz-karabiber ve Gauss gürültüsüne maruz bırakılarak yöntemin direnci araştırılmaktadır. Bu bölüm, önerilen yöntemin farklı veri kümeleri, örneğin ExtendedYaleB, Face94 ve JAFFE üzerindeki tanıma doğruluğu açıklanmıştır. Önerilen yeni yöntemin, ExtendedYaleB veri setinde tanıma doğruluğu performansı Gabor'dan sonra ikinci en iyi performansı göstermiştir. Face94 veri kümesi, simülasyonların CASPEAL-R1 ve ExtendedYaleB kadar zor olmadığı bir platformdur. Önerilen yöntem, Face94 kümesini kullanarak gerçekleştirdiği analizde diğer rakipleri arasında en iyi performansı vermiştir. Son veri kümesi ise JAFFE'dir. Bu veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen performans analizi önerilen yöntemi yüz ifadeleri karşısındaki tutumun analiz etmek için kullanmıştır. Özetle, önerilen yaklaşım, bir önceki veri kümesinden olduğu gibi, diğer rakiplerine göre oldukça yüksek ve üstün tanıma doğruluğu sonucunu vermiştir.

Sonuç olarak, kapsamlı simülasyon çalışmaları, önerilen yöntemin tanıma doğruluğu, kısmi tıkanma, gürültü, ifade değişiklikleri ve aydınlatmadaki

farklılıklara karşı sağlamlık açısından dikkate değer ve rekabetçi performans sergilediğini göstermiştir.

## KAYNAKLAR

- A. Asthana, S. Zafeiriou, S. Cheng, M. Pantic**, “Robust discriminative response map fitting with constrained local models”, In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Portland, OR, USA, 23-28 June 2013, pp. 3444–3451.
- A. Hafiane, G. Seetharaman, B. Zavidovique**, “Median Binary Pattern for Textures Classification”, In Proceedings of the International Conference on Image Analysis and Recognition, Lecture Notes in Computer Science, vol. 4633, pp- 387-398, Springer, Berlin, Heidelberg, 2007.
- A. K. Jain, A. Ross**, ‘Introduction to biometrics’, in Anil K. Jain, Arun Ross (Eds.): ‘Handbook of biometrics’, Springer, New York, pp. 1–22, 2008.
- A. K. Jain, L. Hong, S. Pankanti**, “Biometric identification”, Communications of the ACM, vol. 43, no. 2, pp. 90–98, 2000.
- A. R. Rivera, R. Castillo, O. Chae**, “Local directional number pattern for face analysis: Face and expression recognition”, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 22, no. 5, pp. 1740–1752, 2013.
- Abbasoğlu, F.** (2019). *Öznitelik çıkarım ve evrimsel öznitelik seçim metotlarının eeg sinyallerinin sınıflandırma başarısına etkileri* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ali, A. N.** (2018). Applying the Method of Different Cumulative Bin Local Binary Pattern (DCBLBP) to A Small Iris Region for Features in Iris Classification. *GUJ Sci*, 31(1): 126-137.
- Almezoghi, H. H. A.** (2019). *Yerel İkili Sisteme Dayalı Palm Baskı İle İnsan Tanımlama Metodu* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kastamonu.
- An, G., Wu, J., Ruan, Q.** (2010). An illumination normalization model for face recognition under varied lighting conditions. *Pattern recognition Letters*, 31(9), 1056–1067.
- Arslan, B., Sağıroğlu, Ş.** (2016). Mobil Cihazlarda Biyometrik Sistemler Üzerine Bir İnceleme. *Politeknik Dergisi*, 19(2): 101-114.
- Aslan, M. F.** (2018). OpenCL Ortamında Görüntü İyileştirme İşlemlerinin Paralel Programlama Yöntemiyle Gerçekleştirilmesi (*Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*). Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Asmara, R.A., Choirina, P., Rahmad, C., Setiawan, A., Rahutomo, F., Yusron, R.D.R., Bah, S. M, Ming, F.** (2020). An improved face recognition algorithm and its application in attendance management system. *Array*, 5, 100014.
- B. Zhang, S. Shan, X. Chen, W. Gao**, “Histogram of gabor phase patterns (hgpp): A novel object representation approach for face recognition”, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 16, no. 1, pp. 57-68, 2007.

- Bartlett, M.S., Movellan, R., Sejnowski, T.J.** (2002). Face recognition by independent component analysis. *IEEE Trans. Neural Netw.*, 13(6), 1450–1464.
- Baygün, M. K.** (2006). *Türkçe Komutları Taniyan Ses Tanıma Sistemi Geliştirilmesi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- Baykara, M.** (2020). Biyometri Güvenlik Araçları. Erişim: [http://web.firat.edu.tr/mbaykara/Biyometrik\\_Guvenlik\\_Araclari.pdf](http://web.firat.edu.tr/mbaykara/Biyometrik_Guvenlik_Araclari.pdf).
- Baykara, M., Ergen, B.** (2011). Medikal Görüntüler İçin Sinyal İşleme Metotlarını Kullanan İçerik Tabanlı Bir Görüntü Erişim Sistemi. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May 2011, Elazığ, Türkiye.
- Bayrakdar, S., Akgün, D., Yücedağ, İ.** (2016). Yüz ifadelerinin otomatik analizi üzerine bir literatür çalışması. *SAÜ Fen Bil Der.*, 20(2): 383-398.
- C. Jutten, J.** Herault, “Blind separation of sources, part I: an adaptive algorithm based on neuromimetic architecture”, *Signal Processing*, vol. 24, no. 1, pp. 1-10, 1991.
- C. Liu, H. Wechsler,** “Gabor feature based classification using the enhanced Fisher linear discriminant model for face recognition”, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 11, no. 4, pp. 467–476, 2002.
- Canon Turk.** (2013). Biyometrik Fotoğraf Nedir? Erişim: <http://www.canonturk.com/vbulletin/konu-disi/328-biometrik-fotografnedir.html>.
- Cevikalp, H., Triggs, B.** (2010). Face recognition based on image sets.(pp. 2567-2573). In CVPR.
- Chakraborty, S., Singh, S.K., Chakraborty, P.** (2018). Local directional gradient pattern: a local descriptor for face recognition. *Multimed Tools Appl.*, 77: 20269.
- Chauhan, M., Sakle, M.** (2014). Study & Analysis of Different Face Detection Techniques. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(2),1615-1618.
- Chen, T., Yin, W., Zhou, X.S.** (2005). Comaniciu D, Huang TS. Illumination Normalization for Face Recognition and Uneven Background Correction Using Total Variation Based Image Models. *Proc. IEEE Internat. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2(2), 532–539.
- Çakır, . Y.** (2017). *Gerçek Zamanlı Yüksek Kalitede Ses Tanıma* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- D. Cristinacce, T. F. Cootes,** “Feature detection and tracking with constrained local models”, In *Proceedings of the 17th British Machine Vision Conference*, Edinburgh, U.K., 4-7 September 2006.
- D. W. Hansen, Q. Ji,** “In the eye of the beholder: A survey of models for eyes and gaze”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 32, no. 3, pp. 478–500, 2010.
- Dede, G., Sazlı, M. H.** (2010). Biyometrik Sistemlerin Örüntü Tanıma Perspektifinden İncelenmesi ve Ses Tanıma Modülü Simülasyonu. EEBM Ulusal Kongresi.
- Delice, M., Duman, A., Özel, Ş.** (2014). Parmak İzi Tipi İle Suç Türü Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, 43: 3-27.

- Durmuş, H.** (2019). *Görüntü İşleme Teknikleri 3B Yüz Tanıma* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul
- E. Murphy-Chutorian, M. Trivedi**, “Head pose estimation in computer vision: A survey”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 31, no. 4, pp. 607– 626, 2009.
- Eleyan, A., Özkaramanli, H., Demirel, H.** (2008). Complex Wavelet Transform-Based Face Recognition. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2008: Article ID 185281.
- Eleyan, G., Telatar, Z.** (2019). Karmaşık Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Yapay Sinir Ağları İle Yüz Algılama. *S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg.*, 7(2): 478-493.
- Elfatimi, L.** (2018). *Farklı Sayısal Görüntü İşleme Teknikleri İle Biyometrik Görüntü Analizi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- Engoper.** (2016). Yüz Tanıma Sistemleri Nasıl Çalışır? Erişim: <https://www.engoperprogrami.com/yuz-tanima-sistemleri-nasil-calisir/>.
- e-Pasaport.** (2013). Biyometrik Foto. Erişim: <http://www.epasaport.gov.tr/hakkinda/biyometrikfoto.aspx>.
- Erdem, E. S.** (2014). *Ses Sinyallerinde Duygu Tanıma ve Geri Erişimi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Eren, H.** (2011). *Çok Duyargalı İmge Modelleri ile Araç Sürücüsü Kafa Hareketlerinin Değerlendirilmesi* (Yayımlanmamış doktora tezi). Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- Ergen, B. Ve Çalışkan, A.** (2011, Mayıs). Biyometrik Sistemler ve El Tabanlı Biyometrik Tanıma Karakteristikleri. *6th International Advanced Technologies Symposium*, 16-18 May 2011, Elazığ, Türkiye.
- Evliyaoğlu, F.** (2015). Biyometrik Tanımlama Yöntemlerinin Sağlık Harcamalarındaki Suistimalleri Önlemede Başarımı. *Sosyal Güvençe* , 0(8) : 96-118.
- F. Zhong, J. Zhang**, “Face recognition with enhanced local directional patterns”, *Neurocomputing*, vol. 119, pp. 375-384, 2013.
- Filiz, S.** (2012). *Siber Güvenlikte Biyometrik Sistemler ve Yüz Tanıma* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi Bilişim Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.
- G. Tzimiropoulos, M. Pantic**, “Gauss–Newton deformable part models for face alignment in-the-wild”, In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Columbus, USA, 23-28 June 2014, pp. 1851–1858.
- G. Tzimiropoulos, M. Pantic**, “Optimization problems for fast AAM fitting in-the-wild”, In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, Sydney, NSW, Australia, 1-8 Dec. 2013, pp. 593–600.
- Gao, W., Cao, B., Shan, S., Chen, X., Zhou, D., Zhang, X.** (2008). The CAS-PEAL Large-Scale Chinese Face Database and Baseline Evaluations. *IEEE Trans. on System Man, and Cybernetics (Part A)*. 38(1), 149–161.
- Gökmen, M.** (2007). *Çok Amaçlı Gürbüz Yüz Tanıma*. Proje No: 104E121. İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

- Günay, A.** (2015). *Model Tabanlı Sınıflandırmaya ve Karma Özniteliklere Dayalı Hiyerarşik Yaş Tahmini Sisteminin Tasarımı ve Başarım Değerlendirmesi* (Yayımlanmamış doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Güneş, T., Polat, E.** (2009). Yüz İfade Analizinden Öznitelik Seçimi ve Çoklu SVM Sınıflandırıcılarına Etkisi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 24(1): 7-14.
- Güvenlik Online.** (2020a). 1960'lardan Günümüze Yüz Tanıma Teknolojisinin Evrimi. Erişim: <https://www.guvenlikonline.com/makale/601/1960lardan--gunumuze-yuz-tanima-teknolojisinin-evrimi.html>.
- Güvenlik Online.** (2020b). Yüz Tanıma Yazılımı. Erişim: <https://www.guvenlikonline.com/makale/465/yuz-tanima-yazilimi.html>.
- H. Huang, J. Li, J. Liu,** “Enhanced semi-supervised local Fisher discriminant analysis for face recognition”, *Future Generation Computer Systems*, vol. 28, no. 1, pp. 244–253, 2012.
- H. Zhang, Q. Li, Z. Sun, Y. Liu,** “Combining Data-Driven and Model-Driven Methods for Robust Facial Landmark Detection”, *IEEE Transactions On Information Forensics and Security*, vol. 13, no. 10, pp. 2409-2422, 2018.
- Heikkilä, M., Pietikäinen, M., Schmid, C.** (2009). Description of interest regions with local binary patterns. *Pattern Recognition*, 42(3): 425–436.
- Heisele, B., Koshizen, T.** (2004). *Components for Face Recognition*. Proc. Sixth IEEE Int'l Conf. Face and Gesture Recognition, pp. 153-158.
- Holat, R.** (2014). Yüz Bulma ve Tanıma Sistemleri Kullanarak Kimlik Tespitinin Yapılması (*Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*). Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce.
- Huang, Y., Chen, F. Lv, S., Wang, X.** (2019). Facial Expression Recognition: A Survey. *Symmetry*, 11(10), 1189.
- I. Champion, C. Germain, J-P Da Costa J-P, A. Alborini, P. Dubois-Fernandez,** “Retrieval of forest stand age from SAR image texture for varying distance and orientation values of the grey level co-occurrence matrix”, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 11, no. 1, pp. 5–9, 2014.
- Intell4.** (2020). Yüz tanıma teknolojisi nedir? Erişim: <https://www.intell4.com/yuz-tanima-teknolojisi-nedir-haber-182848>.
- İnel Özkiper, Z.** (2019). Biyometrik Kimlik Tanıma Sistem Tasarımı (*Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*). Haliç Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- J. Adur, H. F. Carvalho, C. L. Cesar,** “Nonlinear optical microscopy signal processing strategies in cancer”, *Cancer Informatics*, vol. 13, no. 13, pp. 67–76, 2014.
- J. Lu, V. E. Liang, J. Zhou,** *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 40, no. 8, pp. 1979-1993, 2018.
- J. M. Saragih, S. Lucey, J. F. Cohn,** “Deformable model fitting by regularized landmark mean-shift,” *International Journal of Computer Vision*, vol. 91, no. 2, pp. 200–215, 2011.
- Jabid, T., Kabir, M. H., Chae, O.** (2010). Robust facial expression recognition based on local directional pattern. *ETRI Journal*, 32(5): 784–794.

- K. Jafari-Khouzani, H. Soltanian-Zadeh**, “Radon trans-form orientation estimation for rotation invariant texture analysis”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 27, no. 6, pp. 1004-1008, 2005.
- K. Wang, Y. Wu, Q. Ji**, “Head Pose Estimation on Low-Quality Images”, In *Proceedings of the 13th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition*, Xi'an, China, 15-19 May 2018.
- Karakülah, M., Danacı, M., Ciritci, İ. H.** (2004). Biyometrik parmak izinin Akıllı Kartlarla Kullanımı ve Uygulaması. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(Özel sayı), 13-16.
- Karasulu, B.** (2016). Görüntülerde İnsan Kulağı Tespit ve Bölütlemesini Temel Alan Biyometrik Yetkilendirme Üzerine Bir İnceleme. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 9(2): 97-112.
- Kaya, Z., Güneş, A.** (2016). Biyometrik Güvenlik Sistemleri ve Yüz Tanımaya Dayalı Çevrimiçi Sınav Sistemi. *Journal of Research in Education and Teaching*, 5(1): 87-97.
- Khan S.A., Ishtiaq M., Nazir M., Shaheen M.** (2018). Face recognition under varying expressions and illumination using particle swarm optimization. *J. Comput. Sci.*, 28, 94–100.
- Kılınç, M.** (2012). *Yüz Resimlerinden Yaş Bilgisinin Tespit Edilmesi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gebze Yüksek Teknolojisi Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze.
- Kim, J., Choi, J., Yi, J., Turk, M.** (2005). Effective representation using ICA for face recognition robust to local distortion and partial occlusion. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 27(12), 1977–1981.
- Koç, H. K.** (2019). *Biyometrik Tanı Yöntemlerinde Kişisel Veri Güvenliği Artırılmış Sistem Tasarımı* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.
- Kortli, Y., Jridi, M., Al Falou, A., Atri, M.** (2020). Face Recognition Systems: A Survey. *Sensors (Basel)*. 20(2),: 342.
- Küçüker, A., Yüzkollar, C., Sanslı, A. ve Sen, F.** (2006). Speaker Recognition Using Mel-Frequency Cepstrum Coefficients and Artificial Neural Network for Security Systems. *Electronic Letters on Science & Engineering*, 2(2), 8-15.
- L. Liu, P. Fieguth, Y. Guo, X. Wang, M. Pietikainen**, “Local binary features for texture classification: taxonomy and experimental study”, *Pattern Recognition*, vol. 62, pp. 135-160, 2017.
- L. Nanni, S. Brahnam, S. Ghidoni, E. Menegatti, T. Barrier**, “Different approaches for extracting information from the co-occurrence matrix”, *Plos ONE*, vol. 8, no. 12, pp. 1-9, 2013.
- Lu, T., Wang, J., Jiang, J., Zhang, Y.** (2020). Global-local fusion network for face super-resolution. *Neurocomputing*, 387, 309-320.
- M. Dahmane, J. Meunier**, “Emotion recognition using dynamic gridbased HoG features”, In *Proceedings of the IEEE Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, Santa Barbara, USA, pp. 884–888, 2011.
- M. I. N. P. Munasinghe**, “Facial Expression Recognition Using Facial Landmarks and Random Forest Classifier”, In *Proceedings of the IEEE/ACIS 17th*



- International Conference on Computer and Information Science (ICIS), Singapore, Singapore, 6-8 June 2018.
- M. Pantic, L.J.M. Rothkrantz**, “Automatic analysis of facial expressions: The state of the art”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 12, pp. 1424–1445, 2000.
- M. Pietikäinen, A. Hadid, G. Zhao, T. Ahonen**, “Computer Vision Using Local Binary Patterns”, Springer, 2011.
- M. S. Islam**, “Local gradient pattern-A novel feature representation for facial expression recognition”, *Journal of AI and Data Mining*, vol. 2, pp. 33-38, 2014.
- M. S. Islam, S. Auwatanamongkol**, “Facial Expression Recognition using Local Arc Pattern”, *Trends in Applied Sciences Research*, vol. 9, pp. 113-120, 2014.
- M. Turk, A. Pentland**, “Eigenfaces for recognition”, *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. 3, no. 1, pp. 71–86, 1991.
- M. Varma, A. Zisserman**, “A statistical approach to material classification using image patch exemplars”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 31, no. 11, pp. 2032-2047, 2009.
- M. Yang, L. Zhang, S.C.K. Shiu, D. Zhang**, "Monogenic Binary Coding: An efficient Local Feature Extraction Approach to Face Recognition", *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 7, no. 6, pp. 1738-1751, 2012.
- Makhmudkhujaev, F., Iqbal, Md., Ryu, B., Chae, O.** (2019). Local directional-structural pattern for person-independent facial expression recognition. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 27: 516-531.
- Mansur, M. M. A.** (2018). *Parmak Damar Görüntüleme Yöntemi Kullanarak İnsan Kimlik Tanıma Sistemi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Kastamonu.
- Martínez, A.M.** (2002). Recognizing Imprecisely Localized, Partially Occluded, and Expression Variant Faces from a Single Sample per Class. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 24(6), 748- 763.
- Meenpal, T., Goyal, A., Mukherjee, M.** (2019). *Spatial Domain Representation for Face Recognition*. In (P. L. Mazzeo, S. Ramakrishnan, and P. Spagnolo (Eds.)). *Visual Object Tracking with Deep Neural Networks*, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.85382.
- Melendez, J., Garcia, M. A., Puig, D.** (2008). Efficient distance-based per-pixel texture classification with Gabor wavelet filters. *Pattern Analysis and Applications*, 11(3): 365–372.
- Min, R., Hadid, A., Dugelay, J.** (2011). Improving the recognition of faces occluded by facial accessories,. Santa Barbara, CA.
- Morgül, L.** (2010). *Yüz Görüntü Esaslı Biyometrik Kimlik Tanıma ve Doğrulama* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.
- N. Abudarham, L. Shkiller, G. Yovel**, “Critical features for face recognition”, *Cognition*, vol. 182, pp. 73-83, 2019.
- N. Cevik, T. Cevik**, “DLGBD: A directional local gradient based descriptor for face recognition”, <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6967-4>, pp. 1-22, 2018.

- N. Cevik, T. Cevik, A. Gurhanli**, “Novel multispectral face descriptor using orthogonal walsh codes”, *IET Image Processing*, doi:10.1049/iet-ipr.2018.6423, pp. 1-8, 2019.
- N. Çevik, T. Çevik**, “A novel high-performance holistic descriptor for face retrieval”, *Pattern Analysis and Applications*, doi:10.1007/s10044-019-00803-5, pp. 1-13, 2019.
- N. Doshi, G. Schaefer**, “A comprehensive bench-mark of local binary pattern algorithms for texture retrieval”, In *Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, pp. 2760–2763, 2012.
- Nabiyev, V., Koçak, F.** (2011). Yerel ikili örneklerle yüz güzelliği kararı. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Sempozyumu 5-7 Ekim*, 2011, 94-98, Elazığ.
- Nanni, L., Brahnam, S., Lumini, A.** (2012). Local phase quantization descriptor for improving shape retrieval/classification. *Pattern Recognition Letters*, 33(16): 2254-2260.
- Oh, Y.H., See, J., Ngo, A.C.L, Phan, R.C.W., Baskara, V.M.** (2018). A Survey of Automatic Facial Micro-expression Analysis: Databases, Methods and Challenges. *Frontiers in Psychology*, erişim: <https://arxiv.org/abs/1806.05781>.
- Ojala, T., Pietikinen, M.,Harwood, D..** (1996). A comparative study of texture measures with classification based on featured distrubition. *Pattern Recognition*, 29(1): 51-59.
- Önen Yıldız, H. G.** (2010). *Avuçiçi Esaslı Biyometrik Kimlik Tanımlama ve Doğrulama* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Özkaya, N., Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E.** (2005). Genel Amaçlı Otomatik Parmakizi Tanıma Sistemi Tasarımı ve Gerçekle/tirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 8(3): 239-47.
- Özmen, G., Kandemir, R.** (2012). Haar Dalgacıkları ve Kübik Bezier Eğrileri İle Yüz İfadesi Tespiti. *ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 29 Kasım - 01 Aralık 2012, Bursa.
- P. Comon**, “Independent component analysis - a new concept?”, *Signal Processing*, Vol. 36, pp. 287-314, 1994.
- P. N. Belhumeur, J. P. Hespanha, and D. J. Kriegman**, “Eigenfaces versus Fisherfaces: Recognition using class specific linear projection”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 19, no. 7, pp. 711–720, 1997.
- Penev, P., Atick, J.** (1996). Local feature analysis: A general statistical theory for object representation. *Netw.: Comput. Neural Syst.*, 7(3), 477–500.
- Q. B. Yin, J. N. Kim**, “Rotation-invariant texture classification using circular Gabor wavelets based local and global features”, *Chinese Journal of Electronics*, vol. 17, no. 4, pp. 646–648, 2008.
- R. Haralick, K. Shanmugan, I. Dinstein**, “Textural features for image classification”, *IEEE Transactions Systems Man Cybernetics*, vol. 3, pp. 610–621, 1973.
- R. Jafri, H. R. Arabnia**, “A survey of face recognition techniques”, *Journal of Information Processing Systems*, vol. 5, no. 2, pp. 41-68, 2009.
- Rahtu, E., Heikkilä, J., Ojansivu, V., Ahonen, T.** (2012). Local phase quantization for blur-insensitive image analysis. *Image and Vision Computing*, 30(8): 501-512.

- Rivera, A. R., Castillo, J. R., Chae, O.** (2013). Local directional number pattern for face analysis: face and expression recognition, *IEEE T Image Process*, 22: 1740-1752.
- Rosiani, U.D.** (2019). Study of DRMF and ASM facial landmark point for micro expression recognition using KLT tracking point feature. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402, 077039.
- S. Chakraborty, S.K. Singh, P. Chakraborty**, “Local directional gradient pattern: a local descriptor for face recognition”, *Multimedia Tools and Applications*, vol. 76, pp. 1201–1216, 2017.
- S. Lazebnik, C. Schmid, J. Ponce**, “A sparse texture representation using local affine regions”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 27, no. 8, pp. 1265-1278, 2005.
- S. Liu, Y. Zhang, K. Liu**, “Facial expression recognition under partial occlusion based on Weber Local Descriptor histogram and decision fusion”, In *Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference (CCC)*, Nanjing, China, pp. 4664-4668, 2014.
- S. Murala, R.P. Maheshwari, R. Balasubramanian**, “Local Tetra Patterns: A New Feature Descriptor for Content-Based Image Retrieval”, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 21, no. 5, pp. 2874-2886, 2012.
- S. R. Dubey**, “Local directional relation pattern for unconstrained and robust face retrieval”, arXiv:1709.09518 [cs.CV], 2017.
- S. Yang, B. Bhanu**, “Facial expression recognition using emotion avatar image”, In *Proceedings of the IEEE Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, Santa Barbara, USA, pp. 866–871, 2011.
- Salah, A. A., Gökberk, B., Akarun, L.** (2006). Üç Boyulu Yüz Tanıma. *GAP V. Mühendislik Kongresi*, 26-28 Nisan, Şanlıurfa, Türkiye.
- Saratchandran, V.** (2019). AI and Facial Recognition: Innovative Advances & Future Impact. Erişim: <https://www.fingent.com/blog/ai-and-facial-recognition-innovative-advances-future-impact>.
- Shen, L., Bai, L.** (2006). MutualBoost learning for selecting Gabor features for face recognition. *Pattern Recognition Letters*, 27(15): 1758-1767.
- Shokouh, G. S.** (2013). *Gerçek Zamanlı Sayısal Görüntü İşleme ve Örüntü Tanıma Tekniklerinin Araştırılması ve Uygulanması* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Sohrabian, B.** (2013). Bağımsız Bileşenler Analizi İle Çokdeğişkenli Jeostatistiksel Kestirim (Yayımlanmamış doktora tezi). Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Şan, S.** (2013). *Parmak Damar Tanıma Teknolojisi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ.
- T. Ahonen, A. Hadid, M. Pietikainen**, “Face description with local binary patterns: Application to face recognition”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 28, no. 12, pp. 2037–2041, 2006.
- T. Ahonen, A. Hadid, M. Pietikainen**, “Face recognition with local binary patterns”, In *Proceedings of the 8th European Conference on Computer Vision*, Prague, Czech Republic, pp. 469–481, 2004.
- T. F. Cootes, C.J. Taylor**, “Active shape models—‘Smart snakes’”, In *Proceedings of the British Machine Vision Conference*, Leeds, U.K., 22–24 September 1992, pp. 266–275.

- T. F. Cootes, G. J. Edwards, C. J. Taylor**, “Active appearance models”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, no. 6, pp. 681–685, 2001.
- T. Mohammad, M.L. Ali**, “Robust facial expression recognition based on local monotonic pattern (LMP)”, 14th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT), IEEE, Dhaka, Bangladesh, pp. 572-576, 2011.
- T. Ojala, M. Pietikäinen, D. Harwood**, “A comparative study of texture measures with classification based on feature distributions”, *Pattern Recognition*, vol. 29, no. 1, pp. 51–59, 1996.
- Tan, X., Chen, S., Zhou, Z.H., Zhang, F.** (2005). Recognizing partially occluded, expression variant faces from single training image per person with SOM and soft k-NN ensemble. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 16(4), 875-886.
- Tanrıverdi, M.** (2017). *Yüz Bulma ve Tanıma Tabanlı Otomatik Sınıf Yoklama Yönetim Sistemi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Taşova, O.** (2011). *Yapay Sinir Ağları İle Yüz Tanıma* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- TechSciResearch.** (2019). Future of Facial Recognition Technology. Erişim: <https://www.techsciresearch.com/blog/future-of-facial-recognition-technology/105.html>.
- Tekeli, E., Cetin, M., Ercil, A.** (2007). A Local Binary Patterns and Shape Priors Based Texture Segmentation Method, *IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications*, pp. 1-4.
- Thinktech.** (2019). Biyometri ve Kimlik Teknolojisine En Çok Yatırım Yapan Ülkeler. Erişim: [https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/2112019162627349\\_stm\\_blog\\_biyometri\\_ve\\_kimlik\\_teknolojisi.pdf](https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/2112019162627349_stm_blog_biyometri_ve_kimlik_teknolojisi.pdf).
- Tuncer, T., Avcı, E.** (2017). Yerel İkili Örüntü Tabanlı Veri Gizleme Algoritması: LBP-LSB. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 10(1): 48–53.
- Umer, S., Dhara, B.C., Chanda, B.** (2019). Face recognition using fusion of feature learning techniques. *Measurement*, 146, 43-54.
- Varol, A. H.** (2014). *Görüntü Mozaikleme İle Panoramik Görüntü Üretimi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- W. Gao, B. Cao, S. Shan, X. Chen, D. Zhou, X. Zhang, D. Zhao**, “The CAS-PEAL Large-Scale Chinese Face Database and Baseline Evaluations”, *IEEE Trans. on System Man, and Cybernetics (Part A)*, vol.38, no.1, pp. 149-161, 2008.
- W.C. Zhang, S.G. Shan, W. Gao, et. al.**, “Local gabor binary pattern histogram sequence (lgbphs): a novel non-statistical model for face representation and recognition”, In *Proceedings of the Tenth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV'05)*, Beijing, China, pp. 786–791, 2005.

- X. Cao, Y. Wei, F. Wen, J. Sun**, “Face alignment by explicit shape regression”, *International Journal of Computer Vision*, vol. 107, no. 2, pp. 177–190, 2014.
- X. Chen, J. Zhang**, “A novel maximum margin neighborhood preserving embedding for face recognition”, *Future Generation Computer Systems*, vol. 28, no. 1, pp. 212–217, 2012.
- X. Liu, L. Lu, Z. Shen, K. Lu**, “A novel face recognition algorithm via weighted kernel sparse representation”, *Future Generation Computer Systems*, vol. 80, pp. 653–663, 2018.
- X. Ou, W. Pan, P. Xiao**, “In vivo skin capacitive imaging analysis by using grey level co-occurrence matrix (GLCM)”, *Int J Pharm*, vol. 460, no. 1–2, pp. 28–32, 2014.
- X. Qian, X.-S. Hua, P. Chen, et. al.**, “PLBP: an effective local binary patterns texture descriptor with pyramid representation”, *Pattern Recognition*, vol. 44, pp. 2502–2515, 2011.
- X. Tan, B. Triggs**, “Enhanced local texture feature sets for face recognition under difficult lighting conditions”, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 19, no. 6, pp. 1635–1650, 2010.
- X. Yu, J. Huang, S. Zhang, W. Yan, D. N. Metaxas**, “Pose-free facial landmark fitting via optimized part mixtures and cascaded deformable shape model”, In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, Sydney, Australia, 1-8 December 2013, pp. 1944–1951.
- X. Zhu, D. Ramanan**, “Face detection, pose estimation, and landmark localization in the wild”, In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Providence, RI, USA, 16-21 June 2012, pp. 2879–2886.
- Y. Duan, J. Lu, J. Feng, J. Zhou**, “Context-aware local binary feature learning for face recognition”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 40, no. 5, pp. 1139–1153, 2018.
- Y. Wu, Q. Ji**, “Facial landmark detection: a literature survey”, *International Journal of Computer Vision*, vol. 127, no. 2, pp. 115–142, 2018.
- Yalçın, N, Gürbüz, F.** (2015). Biyometrik Güvenlik Sistemlerinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(2):, 398-413.
- Yang, W., Zhang, X., Li, Y.** (2020). A local multiple patterns feature descriptor for face recognition. *Neurocomputing*, 373, 109-122.
- Yavuz, H. S., Seyirt, M.** (2019). İmge Kümeleriyle Yüz Tanıma için Otomatik Önişleme. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(2): 464-473.
- Z. Dan, Y. Chen, Z. Yang, et. al.**, “An improved local binary pattern for texture classification”, *Optik*, vol. 125, pp. 6320–6324, 2014.
- Z. Guan, C. Wang, Z. Chen, J. Bu, C. Chen**, “Efficient face recognition using tensor subspace regression”, *Neurocomputing*, vol. 73, pp. 2744–2753, 2010.
- Z. Lei, S. Liao, M. Pietikäinen, S.Z. Li**, “Face recognition by exploring information jointly in space, scale and orientation”, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 20, no. 1, pp. 247–256, 2011.



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı-Soyad** : Fatih ŞAHİN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 16.09.1976 / Nevşehir  
**Adres** : Nispetiye Mh.Binbaşı Nazım Kaptan Sok.Jandarma  
Lojmanları E-Blok No:15 Beşiktaş/İstanbul  
**E-posta** : fsahin1976@yahoo.com

### ÖĞRENİM DURUMU

- **Doktora**  
İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- **Yüksek Lisans**  
Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- **Lisans**  
Kara Harp Okulu, Elektronik Haberleşme Bölümü, Ankara.

### BİLGİSAYAR BİLGİSİ

- MS Office Paket Programı, İyi seviye.
- Python, Orta Seviye,
- C#, Orta Seviye,
- SQL, MYSQL, Orta Seviye,
- MATLAB, Orta Seviye,
- TensorFlow, Orta Seviye.

### YABANCI DİL BİLGİSİ

- İngilizce; okuma, yazma ve konuşma iyi seviye.