



**T.C.  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VIDEO GÖRÜNTÜLERİ ÜZERİNDE FPGA İLE GERÇEK  
ZAMANLI YÜZ EŞLEŞTİRME**

**FATİH İLKBAHAR**

**DOKTORA TEZİ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. RESUL KARA**

**DÜZCE, 2020**

**T.C.**  
**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VIDEO GÖRÜNTÜLERİ ÜZERİNDE FPGA İLE GERÇEK  
ZAMANLI YÜZ EŞLEŞTİRME**

Fatih İLKBAHAR tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Resul KARA

Düzce Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Resul KARA

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Recep DEMİRCİ

Gazi Üniversitesi

Doç.Dr. Devrim AKGÜN

Sakarya Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi. Selman KULAÇ

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi. Zehra KARAPINAR ŞENTÜRK

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 15/01/2020

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

15 Ocak 2020

(İmza)

Fatih İLKBAHAR



## TEŐEKKÜR

Doktora öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Resul KARA'ya en içten dileklerle teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen ve alçakgönüllü oluşlarından dolayı isimlerinin yazılmasına bile izin vermeyeceklerini bildiğim çok kıymetli akademisyen hocalarıma ve arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmada sınıf yoklamaları ve güvenlik kameralarındaki görüntülerinin bilimsel çalışmalar için kullanımına izin vererek destek olan öğrenci, idari personel ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2017.06.01.568 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

**15 Ocak 2020**

**Fatih İLKBAHAR**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER .....	xii
ÖZET .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
EXTENDED ABSTRACT .....	xv
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. TEZİN AMACI .....	2
1.2. TEZİN KATKISI .....	4
1.3. LİTERATÜR TARAMASI .....	6
1.3.1. Yüz Tespiti .....	6
1.3.2. YTS .....	10
1.3.3. Yüz Sınıflandırıcıları Arasında Seçilmiş Çalışmalar .....	12
1.3.4. Yüz Tanımda Gömülü Sistemlerin Kullanımı.....	16
1.3.5. Video Üzerinden Yüz Tanıma.....	18
<b>2. SAYISAL GÖRÜNTÜ VE BİYOMETRİK SİSTEMLER .....</b>	<b>20</b>
2.1. SAYISAL GÖRÜNTÜ KAVRAMI .....	20
2.2. FPGA .....	21
2.2.1. Programlanabilir Mantık Cihazları .....	22
2.2.2. Alan Programlanabilir Kapı Dizileri .....	23
2.2.3. FPGA Tasarım Teknikleri .....	27
2.2.4. FPGA'de Tasarım Kısıtlılığı .....	27
2.3. BİYOMETRİK SİSTEMLER .....	28
2.3.1. Fizyolojik Karakterler .....	35
2.3.1.1. Parmak İzi Tanıma.....	35
2.3.1.2. İris Tanıma.....	36
2.3.1.3. Retina Tanıma.....	37
2.3.1.4. Kulak Tanıma.....	38
2.3.1.5. Avuç İçi Tanıma .....	40
2.3.1.6. Toplar Damar Tanıma Sistemi.....	41
2.3.1.7. Ayak İzi Tanıma Sistemi .....	42
2.3.1.8. DNA Tanıma Sistemi.....	43
<b>3. YÜZ TANIMA SİSTEMLERİ .....</b>	<b>45</b>
3.1. OTOMATİK YÜZ TANIMA SİSTEMLERİ .....	46
3.2. YÜZ TANIMA SİSTEMLERİNDE KARŞILAŞILAN GENEL PROBLEMLER.....	53
3.3. YÜZ TANIMA SİSTEMİNİN TEST EDİLMESİ.....	56
3.3.1. YTS Karşılaşılan Zorluklar .....	61
3.4. YÜZ TESPİTİ .....	62

3.4.1. Özellik Tabanlı Yaklaşımlar .....	65
3.4.2. Görüntü Temelli Yaklaşımlar .....	72
3.5. YÜZ TANIMA YÖNTEMLERİ.....	73
3.5.1. Geometrik Özellik Tabanlı Yöntem .....	73
3.5.2. Alt Uzay Tabanlı Yüz Tanıma .....	74
3.5.3. Yapay Sinir Ağ Tabanlı Yüz Tanıma.....	74
3.5.4. Korelasyona Dayalı Yöntem.....	75
3.5.5. Eşleştirme Takibi Tabanlı Yöntemler .....	76
3.5.6. Destek Vektör Makinesi Yaklaşımı .....	76
3.5.7. Yüz Oluşturma Teknikleri .....	77
3.5.8. Üç Boyutlu Yüz Tanıma .....	77
3.5.9. Özellik Çıkarma .....	79
3.5.10. Genel Özellik Çıkarımı .....	79
3.5.11. 3B Morphable Modeli .....	80
<b>4. FPGA TABANLI PARALEL YÜZ EŞLEŞTİRME .....</b>	<b>81</b>
4.1. GÖRÜNTÜ ÖN İŞLEME.....	83
4.2. YÜZ TESPİTİ .....	86
4.3. YÜZLERİN TANINMASI.....	92
4.3.1. Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis PCA ).....	92
4.3.2. Lineer Diskriminant Analizi .....	96
4.3.3. Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin Yüz Tanımda Kullanımı .....	98
4.4. İYİLEŞTİRİLMİŞ YEREL İKİLİ ÖRÜNTÜ YÖNTEMİ.....	99
4.4.1. Geliştirilen Donanım Modülü .....	106
4.4.2. FPGA Bellek Tasarımı.....	109
4.5. TASARLANAN YTS KULLANILABİLİRLİĞİ.....	112
<b>5. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>114</b>
5.1. BİLGİSAYARDA YAPILAN DENEYLER .....	114
5.2. FPGA ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER .....	116
5.3. FPGA VE BİLGİSAYAR BULGULARININ KARŞILAŞTIRMASI.....	118
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>121</b>
<b>7. KAYNAKLAR .....</b>	<b>123</b>
<b>8. EKLER .....</b>	<b>129</b>
8.1. GERÇEKLEŞTİRİLEN DONANIM BİLGİSİ.....	129
8.2. VHDL DİJİTAL TASARIM .....	133
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>141</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Pal yapısı [77].	24
Şekil 2.2. Karmaşık programlanabilir mantık aygıtı [77].	25
Şekil 2.3. FPGA kompleks mantıksal blok [77].	25
Şekil 2.4. Xilinx tarafından üretilen CLB mimari [77].	26
Şekil 2.5. CLB'nin FPGA yapıt yapısı [77].	26
Şekil 2.6. Biyometrik bilgi süreci [81].	32
Şekil 2.7. Biyometrik karşılaştırma süreci [81].	32
Şekil 2.8. (a) Yay (arch) (b) Döngü (loop) (c) Helezon (whorl) [84].	36
Şekil 2.9. Gözün Bölümleri [81].	37
Şekil 2.10 Retina [85].	38
Şekil 2.11 Kulak Bölümleri [86].	39
Şekil 2.12. Kulak tanıma sistemi [87].	40
Şekil 2.13. Avuç içi tanıma sistemi [81].	41
Şekil 2.14. Avuç içi toplardamar tanıma sistemi [81].	42
Şekil 2.15. El bölgesindeki büyük damarlar [88].	42
Şekil 2.16. İnsana ait ayak görüntüsü [89].	43
Şekil 2.17. İnsana ait ayak görüntüsünden 12 nokta tespiti ve aralarındaki uzaklığın ölçülmesi [89].	43
Şekil 2.18. DNA tanıma sistemi [85].	44
Şekil 3.1. YTS blok şeması [92].	47
Şekil 3.2. Karışık nesne görüntüleri [92],[93].	49
Şekil 3.3. Sistem tarafından bilinen yüz veri kümeleri [92],[93].	50
Şekil 3.4. Sistem tarafından bilinmeyen yüz veri kümesi [92],[93].	50
Şekil 3.5. Yüz tespit süreci [92].	51
Şekil 3.6. Açık test sınıflandırma modülü [92].	51
Şekil 3.7. Kapalı test sınıflandırma modülü [92].	52
Şekil 3.8. Kimlik ayırt etmenin olası sonuçları [92].	56
Şekil 3.9. Doğrulama işleminin olası sonuçları [92].	57
Şekil 3.10. FRR ve FAR eşik değeri değişiminin etkisi [92].	58
Şekil 3.11. Yüz tespiti için geliştirilen farklı yaklaşımlar [92],[93].	63
Şekil 3.12. Ön cepheden çekilmiş yüz görüntüleri [92].	64
Şekil 3.13. Farklı açılardaki yüz görüntüleri [92].	65
Şekil 4.1. Yüz Tanıma Süreci.	82
Şekil 4.2. a) Orijinal görüntü, b) Ortalama yöntemi, c) Katsayı yöntemi.	84
Şekil 4.3. Görüntü ön işleme a)Renkli orijinal görüntü,	85
Şekil 4.4. Viola-Jones hazır şablonları.	87
Şekil 4.5. Tez çalışmasındaki yüz tespiti algoritmasının akış diyagramı.	88
Şekil 4.6. a) Görüntüdeki referans noktası, b)İntegral yöntemiyle hesaplama.	90
Şekil 4.7. Viola-Jones yöntemiyle algılanan yüzler.	91
Şekil 4.8. Geliştirilen özellikler arası mesafe belirleme algoritması akış diyagramı.	94
Şekil 4.9. Geliştirilen sistemin eğitilmesini sağlayan akış diyagramı.	95
Şekil 4.10. a) ve c) Özyüzler yöntemi ile yüz verilerinin sınıflandırılması, b) ve d) Fisherface yöntemi ile yüz verilerinin sınıflandırılması.	97
Şekil 4.11. YİÖ yönteminin çalışma prensibi.	99
Şekil 4.12. Geliştirilen sistemin blok şeması.	100

Şekil 4.13. iYİÖ çalışma prensibi.....	101
Şekil 4.14. İyileştirilen YİÖ algoritmasının (iYİÖ) akış diyagramı. ....	102
Şekil 4.15. Tasarlanan YTS programının arayüzü.....	104
Şekil 4.16. Tasarlanan YTS programında video üzerinde işlem yapılması.....	105
Şekil 4.17. a) Geliştirilen prototip, b) Donanımın gerçek zamanlı olarak yüzü tanınması .....	106
Şekil 4.18. QV7670 serisi kamera I2C protokol tasarımının RTL şeması. ....	108
Şekil 4.19. Geliştirilen SDRAM için ana modül. ....	110
Şekil 4.20. SDRAM içindeki en alt bölümdeki kesit.....	111
Şekil 4.21. Öğrencilerin klasik yoklama listesi yerine YTS ile.....	113
Şekil 5.1. Yüz tanıma tekniklerinin eğitiminin bilgisayar ve FPGA karşılaştırması....	118
Şekil 5.2. Yüz tanıma tekniklerinin bilgisayar ve geliştirilen donanımın, yüz özelliklerinin eşleştirilmesinde harcanan zaman oranları. ....	119
Şekil 5.3. Yüz tanıma tekniklerinin doğruluk oranları. ....	120
Şekil 8.1. Nexys4 DDR bordu [97].....	131



# ÇİZELGE LİSTESİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Çizelge 2.1. Biyometrik Karakterlerin Listesi [81]. .....	29
Çizelge 2.2. Biyometrik karakterlerin farklı özelliklerle karşılaştırılması [81]. .....	30
Çizelge 5.1. Bilgisayarda Visual C++ ve Python programlama dilleri kullanılarak hesaplanan sistemin eğitilme süresi. ....	114
Çizelge 5.2. Bilgisayarda Visual C++ ve Python programlama dilleri kullanılarak hesaplanan sistemin yüz tanıma süresi. ....	115
Çizelge 5.3. Bilgisayarın Özellikleri. ....	115
Çizelge 5.4. Öklid mesafe algoritmasının farklı çözünürlükteki görüntülerde hesaplama süresi. ....	116
Çizelge 5.5 Artix-7'de yapılan deneyler için hesaplanan zaman değerleri .....	117
Çizelge 8.1 Nexys4 DDR kartının bileşenleri .....	132



## KISALTMALAR

AAM	Active Appearance Model
AGM	Aktif Görünüm Modeli
AİK	Alıcı İşlem Karakteristiği
AKBGK	Açık Kaynak Bilgisayar Görme Kütüphanesi
APKD	Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri
ASIC	Application Specific Integrated Circuit
ASM	Active Shape Model
ATV	Ability to Verify Rate
BBA	Bağımsız Bileşenler Analizi
BO	Başarısız Oran
CCD	Charge Coupled Device
CHT	Circle Hough Transform
CLB	Complex Logic Block
CMY	Cyan, Magenta, Yellow
CMYK	Cyan, Magenta, Yellow, Key
CNN	Convolutional Neural Network
CPLDs	Complex Programmable Logic Devices
CUDA	Compute Unified Device Architecture
ÇTBA	Çekirdek Temel Bileşenler Analizi
DNA	Deoxyribonucleic Acid
DVM	Destek Vektör Makineleri
EHO	Eşit Hata Oranı
FAR	False Acceptance Rate
FB	Feature Binding
FIR	False Identification Rate
FLDA	Fisher Linear Discriminant Analysis
FLDA	Fisher Linear Discriminant Analysis
FPGAs	Field Programmable Gate Arrays
FRR	False Rejection Rate
FRV	Face Recognition Vendor Test
GPU	Graphics Processing Unit
HCC	Haar Cascade Classifer
HOG	Histogram of Oriented Gradients
HSB	Hue, Saturation, Brightness
HSV	Hue, Saturation, Value
I2C	Inter-Integrated Circuit
ICA	Independent Component Analysis
iLBP	Improve Local Binary Patterns
iyiÖ	İyileştirilmiş Yerel İkili Örüntü
K-EK	K- En Yakın Komşuluk
KMK	Kümülatif Matematik Karakteristiği
K-NN	K-Nearest Neighbour
KPCA	Kernel Principal Component Analysis
LBP	Local Binary Patterns
LBPH	Local Binary Patterns Histogram
LDA	Linear Discriminant Analysis

LGP	Local Gradient Pattens
LM	Legendre Moments
LUT	Look-Up Table
OpenCV	Open Source Computer Vision Library
PAL	Programmable Array Logic
PCA	Principal Component Analysis
PCB	Printed Circuit Board
PICs	Programmable Microprocessor
PLDs	Programmable Logic Devices
RGB	Red, Green, Blue
ROC	Receiver Operating Characteristic
RTF	Radyal Temel Fonksiyonun
RTL	Register Transfer Level
SIFT	Scale Invariant Feature Transform
SOM	Self Organizing Map
stICA	Spatiotemporal İndependent Component Analysis
SVM	Support Vector Machine
TBA	Temel Bileşenler Analizi
UÖTD	Uygulamaya Özel Tümlşik Devre
VGA	Video Graphics Array
VHDL	Very high speed integrated circuit Hardware Description Language
YCbCr	Luminance Blue Difference Chroma,Red Difference Chroma
YDO	Yeniden Deneme Oranı
YİH	Yerel İkili Şekil Histogramları
YİÖ	Yerel İkili Örüntü
YKT	Yüz Karakter Tespiti
YRO	Yanlış Reddetme Oranı
YTO	Yanlış Tanıma Oranı
YTS	Yüz Tanıma Sistemleri
YUV	Luminance, Blue Luminance Difference, Red Luminance Difference

## SİMGELER

$\bar{y}$	Ortalama Hesaplanan Yüzün Değeri
A	Öz Değerler
C	Kovaryans Matrisi
$E_j$	J sınıfındaki örneklerin sayısı
S	Veri Sınıfı
U	Özvektörler
V	Veri Seti
$y_i$	Sütun Vektörü
Zb	Karışmış sınıf grubu
Zw	Ayrılmış sınıf grubu
$\gamma$	Uzaysal Görüş Açısı
$\theta$	Gabor Fonksiyonunun Paralel Çizgilere Göre Normalin Yönelim Değeri
$\lambda$	Kosinüs Faktörün Dalga Boyu
$\phi$	Standart Sapmayı
$\varphi_i$	Vektör Değeri
$\Psi$	Fazın Ofset Değeri

## ÖZET

### VİDEO GÖRÜNTÜLERİ ÜZERİNDE FPGA İLE GERÇEK ZAMANLI YÜZ EŞLEŞTİRME

Fatih İLKBAHAR

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Resul KARA

Ocak 2020, 140 sayfa

Güvenlik sistemlerinin gelişmesiyle kimlik tanımayı ve doğrulamayı sağlayan biyometrik sistemlerin günümüzde kullanımı yaygınlaşmıştır. Biyometrik doğrulama yöntemlerinden biri olan yüz tanıma, günümüzde en çok tercih edilenlerden biri olmuştur. Bu çalışmada geleneksel yüz tanıma sistemleri (YTS) yöntemlerinde kullanılan Özyüzler, Fisheryüzleri ve Yerel İkili Örüntü tanıma algoritmaları incelenmiştir. İncelenen algoritmalarda aynı anda yapılması gereken işlem sayısı fazla olmasından dolayı zaman verimliliğinin düştüğü anlaşılmıştır. Bu çalışmada yaygın kullanılan bilgisayar işlemcilerinin performansının düşük kaldığı aynı andaki çoklu işlemlerin hesaplanması için donanım tabanlı hızlandırılmış yeni bir yüz eşleştirme sistemi gerçekleştirilmiştir. Önerilen donanım tabanlı algoritma için Xilinx Artix-7 serisinden FPGA içeren Nexys 4 DDR kartı kullanılarak analiz işlemleri yapılmıştır. Önerilen yöntemin zaman kazancının 5.7 kat daha hızlı olduğu gösterilmiştir. İyileştirilen Yerel İkili Örüntü yöntemi modüler bir yapıda esnek olarak tasarlandığı için daha gelişmiş özellikteki FPGA kartlarında da uygulanabilir olduğu görülmüştür. Sistem, ORL veri seti kullanılarak test edilmiştir. Geliştirilen yöntemin günlük hayatta kullanımına ilişkin iki örnek üzerinde uygulaması yapılmış ve geçerli sonuçlar alınmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Görüntü İşleme, Yüz Tanıma, Donanım Tasarımı, FPGA

# ABSTRACT

## Real Time Face Matching With FPGA on Video Images

Fatih İLKBAHAR

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical-Electronics  
and Computer Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Resul KARA

January 2020, 140 pages

With the development of security systems, the use of biometric systems has become widespread today. Biometric systems are generally preferred for recognizing people's identities. Among the biometric systems, face recognition systems have become more widespread due to the simplicity and ease of use. In this research, local binary patterns (LBP), Eigenfaces, Fisherfaces algorithms used in traditional face recognition systems were examined. It is understood that the time efficiency decreases due to the high number of operations to be carried out at the same time in the analyzed algorithms. In this study, a new hardware-based accelerated face matching system was developed to calculate multiple processes at the same time, where the performance of commonly used computer processors remains low. For the proposed hardware-based algorithm, analysis was performed using the Nexys 4 DDR card containing FPGA from the Xilinx Artix-7 series. It has been shown that the proposed method has 5.7 times faster time saving. Since the improved Local Dual Pattern method was designed flexibly in a modular structure, it was found that it can also be applied to more advanced FPGA cards. The system has been tested using the ORL dataset. Two examples regarding the use of the developed method in daily life were applied and valid results were obtained.

**Keywords:** Image Processing, Face Recognition, Hardware Design, FPGA.

# **EXTENDED ABSTRACT**

## **Real Time Face Matching on Stream Video of Security Camera**

Fatih İLKBAHAR

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical-Electronics  
and Computer Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Resul KARA

January 2020, 140 pages

### **1. INTRODUCTION**

Today, the use of facial recognition systems is growing rapidly. In the last two decades there have been a great number of studies on biometric systems in the public and private sectors. Some of the problems that were incapable of solution by computers or that took time to solve in the past have been resolved with the advancement of technology. However, the mechanism by which people can mentally solve problems is not yet understood, and this is seen as a major obstacle. In our study, real-time facial recognition is provided through the images obtained from the cameras. The facial recognition system needs to work fast in situations dealing with a variety of people, such as in pursuit of criminals. To this purpose, FPGA cards with high parallel processing capability were designed. These cards are highly desirable because they enable independent analyses to be performed from the computer and produce faster results. The extraordinary increase in the amount of data in today's world makes the time dimension of the designed systems important. This article presents a performance comparison of the pre-processing, face detection, face recognition and analysis of embedded systems for the video images. By extending the LBP algorithm facial detection method in accordance with the FPGA architecture, faster results were produced and performance was improved.

## **2. MATERIAL AND METHODS**

Among the face recognition systems, the Eigenface, Fisherface, and LBP methods were run. An extended LBP algorithm was developed to increase the operating speed of the LBP method. The Nexys4 DDR card with the Artix-7 series produced by Xilinx was used for the hardware-based algorithm. The time gain of the proposed method is shown in detail. Since the developed LBP method is designed to be flexible in a modular structure, the applicability of FPGA cards with more advanced features will be high. First, the ORL dataset, which is generally preferred for international studies, was used. Analyses were carried out on the videos we call Düzce University video set (DUVS), comprising our own dataset from the security cameras. Consequently, the use of sample test data to compile student attendance lists automatically in classrooms demonstrated a practical application in daily life.

## **3. RESULTS AND DISCUSSIONS**

The studies performed for facial detection were classified and presented. After the classification of the facial recognition systems according to performance scales such as accuracy and false recognition, the elements that make it difficult to recognize a person's face and the most widely used data sets were examined. The developed LBP algorithm enabled achievement of a 5.7-fold speed increase. By using the images we obtained both from security cameras and from the school classrooms, the operational performance of the proposed algorithm was analyzed for its usability in daily life.

## **4. CONCLUSION AND OUTLOOK**

The LBP algorithm was extended to FPGA architecture and faster results were obtained. There was also an improvement in the correct recognition rate due to the change in threshold values for the extended LBP algorithm. When the literature was examined, it was found that the method developed was ideal in terms of working speed and correct recognition of individuals. It was determined that this study can provide solutions to many problems in daily life. As well as contributing to the literature, it has introduced a different perspective within the commercial sector.

# 1. GİRİŞ

Güvenlik kameralarını kullanarak insanların kendilerini daha güvende olduklarını varsayım fikri her geçen gün artmaktadır. Güvenlik sebeplerinden dolayı dünyanın çoğu ülkesinde ticari, resmi ve bireysel olarak güvenlik kameraları kullanımını her geçen gün artmaktadır. Gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde akıllı kameraların kullanımını daha hızlı yaygınlaştırmaktadır. Son yıllarda özellikle terör saldırıları, kalabalık alanlardaki patlamalar, izinsiz gösteriler, suçlu takibi, kimlik kontrol noktaları, gibi pek çok insan güvenliğini tehlikeye sokabilecek sebeplerden dolayı ülkelerin güvenlik birimleri, güvenlik kameralarını oldukça fazla kullanmaktadırlar. Ayrıca öngörü sistemleri açısından bakıldığında da suç sayılabilecek olayların önceden tahmin edilebilirliğinin yüksek olması için araştırmacıların farklı yaklaşımlar geliştirdikleri görülmektedir. Bu yaklaşımlardan bazılarını sıralayacak olursak; yüz tanıma, yüz ifadelerini anlamlandırma, yürüyüş şeklini yorumlama, izinsiz oluşacak toplulukları sezme, suç işlendikten sonra kanıt analizi; gibi sistemler geliştirmişlerdir. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmaların bazıları matematiksel işlem sayısının fazla olması bu işlemlerin çözülmesinin aşırı zaman almasından dolayı günlük hayatta kullanılamamışlardır. Günümüzde hızla gelişen teknolojinin sayesinde; işlem yapma gücü artırıldığı için geçmiş yıllarda kullanılmayan yöntemlerin artık kısa zamanlarda hesaplanabilir seviyeye ulaşmasından dolayı kullanılmaktadır. Yeni önerilen çalışmalar ile yapılacak matematiksel işlem sayısı azaltılarak daha hızlı ve daha doğru çalışır hale getirmeyi başarmışlardır fakat görüntü veya video işleme gibi bilimsel alanlarda çözülmesi gereken büyük problemler günümüzde hâlen devam etmektedir. Bu problemlerden bazılarını görüntü kalitesi, ışıklandırma koşulları, karışık/değişken arka zeminin olması, poz açısı, kameranın görüntüye uzaklığı, görüntüyü işleme süresi, görüntü içerisinde aranan şekli doğru tanıma oranı, veri miktarlarının kapasitesinin her geçen gün artması, insandaki sezgisel çıkarımlar gibi problemler çözüm üretilmesini beklemektedir. Teknolojinin ilerlemesiyle geçmişte yapılan çalışmaların geliştirilmesi ve yeni önerilerle problemlere farklı bakışlar sergilenmesine rağmen arzulanan düzeye erişilememiştir. Normal bir insan beyninin sadece yüz tanıma işlemini nasıl yaptığı düşünüldüğünde aslında ne kadar çok çalışması gereken konu ve araştırılması gereken farklı çalışmaların olacağı ortadır.

## 1.1. TEZİN AMACI

Günümüzde hızla artan insan nüfusundan dolayı insanların güvenlik noktalarında geçişleri, kaybolmuş çocukların aranması, hava alanlarında pasaport kontrolü, ülke vatandaşlarının seçimlerde oy kullanması, okullarda yoklama listelerinin imza ile kontrol edilmesi gibi sayısız eylemin dijitalleştirilerek, hızlı ve doğru sonuçların otomatik olarak hesaplanması gerekmektedir. Yapılan çalışma ile kişilerin ayırt edilmesi işleminin daha hızlı yapılması sağlanmıştır. Tez çalışmasında biyometrik sistemlerin kullanım avantajları görülmüştür. Biyometrik sistemler arasında tercih edilirliliği artmakta olan YTS'den dolayı araştırmacıların ilgisini çekmektedir. YTS, kişinin doğru tanınması işleminin doğruluk oranı ve hızının önemli olmasının temel özellikler arasında olduğu görülmektedir. Yüz tanıma işlemleri yapılırken özellikle video içerisinde belirlenen şekillerde eşleştirme yapılacaksa, işlem süresi uzun sürmektedir. Literatürdeki yüz tanıma algoritmalarını incelenerek belirlenen tekniklerin yazılım ve donanım tabanlı geliştirilmesi sağlanmıştır. Genel olarak bakıldığında kameradan anlık olarak gelen veya kaydedilmiş video verisi içerisinde insanlara ait yüzler bulunarak, kime ait olduğunu gösteren sistemler olduğu bilinmektedir. YTS; doğru kişiyi tanıma oranı ve daha hızlı çalışarak sonuç üretilmesinin çok önemli olduğu yapılan araştırmalarda görülmüştür. Video/görüntü işlemede işlem sayısının fazla olmasından dolayı genelde aynı anda farklı işlemler yapabilen çok katmanlı yapay sinir ağlarına dayalı, makine öğrenmesi algoritmaları tercih edilmektedir. Çalışmamızda performansın artırılması için bilgisayarların yetersiz kaldığı gözlenerek donanımsal tasarımın sağlanması amaçlanmıştır. YTS daha hızlı çalışabilmesi için gömülü sistemlerden yararlanarak avantaj sağlanmıştır. Literatür araştırılması sonucu gömülü sistemler içerisinde sayısal sinyal işleme, şifreleme, matematiksel model geliştirme, siber güvenlik gibi çalışma alanlarında gerçek zamanlı çalışabilmenin ve aynı anda birçok hesaplamayı yaptırabilmenin önemli olduğuna vurgu yapılarak genelde iki platformun tercihinin yüksek olduğu anlaşılmıştır. Sistem çalışma hızının önemli olduğu tasarımlar tercih edilirken çok yüksek hızlı işlem yapma yeteneğine sahip olan Uygulamaya Özel Tümlük Devre (UÖTD) (Application Specific Integrated Circuit - ASIC ) platformları tercih edilmektedir. Seçilen UÖTD uygulamalarında tasarlanan sistemde yanlışlıklar çıkması durumunda maliyetin çok yüksek olması en büyük dezavantajı olarak bilinmektedir. Tasarlanma süresi ve maliyet açısından düşünüldüğünde UÖTD uygulamalarının fazla avantajlı olmadığı görülmektedir. UÖTD uygulamalarının dezavantajını ortadan

kaldırmak için Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Arrays - FPGAs ) çipleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu çiplerin ise UÖTD'ler kadar çok hızlı işlem kabiliyetine sahip olmamasına rağmen hızlarının kabul edilebilir düzeyde olmaları ve tekrar tekrar sayısal tasarımlarını güncelleyebilmeleri gibi pek çok avantajlarından dolayı UÖTD'lere göre ilk tasarım işlemleri için genelde tercih edilmekte ve büyük elektronik markaları tarafından uygulanmaktadır. Tez çalışmasının donanımsal tasarımı için fpga kullanılmıştır. Fpga çipleri; farklı işlemleri aynı zamanda yapabilme yeteneğinin yüksek olması, tasarım aşamasında hızlı ilerlenebilmesi, tekrar tekrar programlanabilir özelliği, kolay şekilde tasarlanabilmesi, ekonomik oluşu, enerji verimliliği gibi pek çok üstünlüğe sahip olmasından dolayı tercih edilmiştir. Donanımsal tasarım yapıldıktan sonra klasik mimarili işlemciye sahip bilgisayar ve gömülü elektronik kartlarda tasarlanan algoritmalar test edilerek performans analizi yapılmıştır. Yazılıma özgün donanım tasarlanarak işlemlerin daha hızlı çalışması amaçlanmıştır. FPGA tasarımı gerçekleştirildikten sonra geleneksel işlemciye sahip bilgisayar ile yüz eşleştirme işlemi yapılmış ayrıca gerçek zamanlı olarak kameradan yüzlerin bulunarak kime ait olduğu bilgisi çıkarılmıştır. Yapılan çalışmada geliştirilen algoritma ilgili veri setleri kullanılarak analizler yorumlanmıştır. İyileştirilen algoritma sayesinde sistemin hızı artırılarak, kişilerin doğru tanınmasının bekleme süre azaltılmıştır. Bilgisayarda gerçekleştirilen algoritma yaklaşık olarak 756 saat sürerken, FPGA'de tasarlanan algoritma sayesinde yaklaşık olarak 5.7 kat hızlanarak 132 saate düşürülmüştür. YTS'de uygun veriler elde etmek amacıyla görüntülerde ki ışık şiddetinin yüksek veya çok düşük olduğu resimlerde iyileştirme yapılmıştır.

YTS incelendiğinde farklı modeller ve bunlara bağlı algoritmaların olduğu gözlemlenmiştir. Bu tez çalışması ile yüz tanıma modelleri arasında iki boyutlu YTS incelenmiştir. İki boyutlu yüz tanıma yöntemleri incelendiğinde; genelde üç ana kategoriye ayrıldığı görülmüştür bunlar; özellik tabanlı, bütüncül ve hibrit yöntemlerdir. Özellik tabanlı yöntemler de yüzün ayırt edici unsurları sınıflandırılarak tanıma işlemini gerçekleştirmektedir. Bütüncül yaklaşımlar için yüzün tamamını belirli işlemlerle kapasitesini azaltarak tanımada kullanılmaktadır. Hibrit yaklaşımlarda özellik tabanlı ve bütüncül yaklaşımlarla birlikte oluşturularak YTS'nin performanslarının yüksek tutulmasını amaçlamışlardır.

## 1.2. TEZİN KATKISI

Tez çalışmasının disiplinler arası bilimsel çalışma olmasından dolayı öncelikle bilime katkı sağlamıştır. Görüntü işleme, video işleme, yüz tanıma, fpga, gömülü sistemler ve sayısal tasarım gibi disiplinler için farklı bakış açısı getirmiştir. Ulusal çalışmalara önemli katkı sağlayarak araştırmacılar için kaynak olmuştur. Yabancı araştırmacılara da çalışmalarına yardımcı olunmuştur. Tez çalışmasından esinlenerek yapılacak olan sonraki bilimsel çalışmalar için hem kaynak olması hem de modüler yapıda tasarımı sayesinde araştırmacılara kolaylık sağlamıştır. Ülkemizde uygulanabilirliği sayesinde dışa bağımlılığı azaltarak, gelecekte daha hızlı ve doğruluk oranı yüksek sistemler tasarlanabilir seviyede olmuştur. Çalışmanın özgün olmasından ötürü ülkelerin farklı yöntemler kullanarak ele geçirmek istedikleri biyometrik verilerin, güvenlik seviyesi yükseltilmesine yardımcı olunmuştur. Aranılan suçluları, kaybolan çocuk/insan gibi bireyleri çok kolay ve kısa zamanda bulabilmesinden ötürü başta emniyet olmak üzere farklı kurum/kuruluşlara da kullanılarak çalışma verimliliği artırılmıştır. Aranılan kişinin bulunması için topluluktaki diğer insanları rahatsız etmeden insan yüzlerinin eşleştirilmesini yapılabilmesi sayesinde, insanlar tarafından ortaya çıkartılan olumsuz tepkilerin azaltılmıştır. Bina ve daire gibi kapalı veya açık alanlarda da kullanılarak güvenliğin sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca öğretim kurumlarında öğrencilerin devamsızlıklarının takip edilmesi için test edilmiştir. Sınıf ortamından alınan görüntü sayesinde otomatik bir şekilde öğrencileri doğru eşleştirerek, devamsızlık listesi veri tabanına eklemektedir. İşlenen devamsızlık listesini aynı anda projeksiyon cihazında gösterilerek, o anda sınıfa gelen öğrencilerin tanınmama durumuna karşı bir doğrulama sistemi tasarlanmıştır. Ders sorumlusunun derslere hızlı başlaması, öğrencilerin derse katılımlarının takibini sistem tarafından yapılmasından dolayı iş yükünün azaltılması, gereksiz kâğıt ve imza atma eyleminin ortadan kalkması, sahte imza atılmasının engellenmesi gibi pek çok yararının olacağı çalışmalarımızda saplanmıştır.

Tez çalışmasının özgünlüğünden dolayı, ülkemizin kamu ve özel sektörde ihtiyacı olan YTS'ne çözüm olabilmektedir. İnsan gücü ve gereksiz elektronik cihazların kullanımı azaltarak fazla enerji ve iş gücünü azaltmıştır.

Belirtilen iş yüklerinin süresini en aza indirerek en önemli unsur olan zamanın verimli kullanılmasıyla daha hızlı ve doğru çalışan bir sistemin olduğu ispatlanmıştır. Toplumda güvenliğin sağlanması için tasarlanan çalışma suç unsuru olabilecek veya istenmeyen

durumların önceden öngörülebilmesi, kişilerin davranışlarının analizleri veya istatistik bilgileri gibi kısımlarda da kullanılarak çoklu ve esnek bir yapıya sahip olabilmesi sayesinde gerçek hayatta kullanılabilirliği ortaya çıkmıştır. Gerçekleştirilen çalışmanın modüler yapıya sahip olmasından dolayı sonraki dönemlerde çalışma yapacak araştırmacılara; dijital modül tasarımını gerçekleştirmeleri şartıyla uygulamada kolaylık sağlanacağı ve yeni eklenecek görevleri projeye dahil edebilmenin fazla zaman almadan daha basit yapılabilmektedir. Tasarlanan modüller arasında seçilen modülün çalışmasında bir değişiklik yapılması isteniyorsa sadece o modüle işlem yapmaları yeterli olacaktır. Yeni görevler veya beklenmedik durumlara karşı hızlı çözümler getirilerek kolay entegrasyonun sağlanması planlanmıştır. Tez çalışmasının donanım tabanlı özgün bir tasarımla yapılmasından dolayı geliştirilen algoritmanın verimlilik seviyesini artırmıştır. Video işlemede çalışacaklar için temel düzeyde görüntünün FPGA ortamlara aktarılması ve işlem yapılmasının gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca geliştirilen algoritma sayesinde hızla birlikte doğruluk artırılmıştır. Yerel ikili örüntü (YİÖ) tanıma yöntemi üzerinde çalışmalar bitirdikten sonra FPGA mimarisine uygun ve paralel çalışabilen algoritmaya dönüştürülerek performansında artış sağlanmıştır. YİÖ algoritmasında yapılan iyileştirme sonucunda iyileştirilmiş yerel ikili örüntü (*iYİÖ*) algoritması olarak isimlendirilerek literatüre geçirilmiştir.

### 1.3. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürdeki YTS ile FPGA platformlarının kullanımları için gerekli yöntem, materyal, ve literatür araştırması incelenmiştir. Literatürdeki araştırmaları aşağıdaki başlıklarda sınıflandırılarak sunulmuştur.

- Yüz tespiti
- YTS
- Yüz sınıflandırıcıları arasında seçilmiş çalışmalar
- Yüz tanımda gömülü sistemlerin kullanımı
- Video üzerinden yüz tanıma

#### 1.3.1. Yüz Tespiti

İnsanların yüzlerindeki veriler kullanılarak kimliklerinin ayırt edilebilmesi için yapılan ilk işlemler arasından yüz tespiti işlemi gelmektedir. Yüz tespiti işlemi; görüntü veya video karesi içerisinde ki yüz görüntülerinin bulunmasını sağlar. Araştırılan referanslar arasından seçilenler kısaca sunulmuştur.

İncelenen çalışmada araştırmacılar yüz tespiti ve takibi için yeni ve verimli bir senaryo önermişlerdir. Görüntü içinde yüz konumunun tespiti insan bilgisayar etkileşimi ve çoğu görüntü tabanlı uygulamaların ilk yapılması gereken aşamadır. Burada çözülmesi gereken problem bir renkli fotoğrafta, kişinin yüz konumunu tanımlamaktır. Araştırmacılar Haar-like tabanlı OpenCV’de dört farklı sınıflandırıcıyı gerçekleştirerek hız ve verimlilik yönlerinden karşılaştırmışlardır. Yüzün cilt renginin dağılımını parametrik olmayan yöntem kullanılarak tahmin edilmiştir. Cilt rengi modeli, elips şekliyle gösterilen yüzü konumlandırma kullanılmıştır. Önerilen yöntem çeşitli video görüntüleri üzerinde test edilmiştir. Önerilen yöntemin test işlemi için çeşitli video sahnelerinde, farklı aydınlatma, yüz pozunu, yüz genişliği ve arka plan karmaşası senaryolarına göre analiz edilmiştir [1].

Yüz tespiti; insan bilgisayar iletişiminde, video gözetimlerinde ve biyometrik gibi çeşitli alanlar için önemlidir. Genellikle bir yüz işleme sistemi, yüz tespiti veya tanınması ayrıca yüz takibi ve yüz giydirme işlemlerini içermektedir. İlgili çalışmada araştırmacılar GPU’ya dayalı gerçek zamanlı ve güçlü bir yüz tespiti uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Yüz tespiti işlemin Viola-Jones algoritması ile yapılmıştır. Çalışmada bahsedilen algoritmanın bir çok paralel versiyonu GPU ve CUDA üzerinde çalışacak şekilde

geliştirilmiştir. Çalışma sonun da algoritmalarını karşılaştırılarak sonuçları sunulmuştur. Ayrıca yüz tespitinin kalitesini arttırmak için WaldBoost algoritmasını gerçekleştirerek kullanılmıştır [2].

Geliştirilmiş Adaboost-cascade yüz tespiti için iki yeni yöntem önerilmiştir. İlk olarak daha az sayıda zayıf sınıflandırıcı kullanarak yüksek tespit oranının elde etmek için eşik değerini hesaplamada yeni bir yöntem önermişlerdir. İkinci olarak tespit performansını optimize etmede ayırıcı zayıf eğitimcilerinin belirlenmesi ve Adaboost eğitiminde belli miktarda Haar-like benzeri özelliklerinin kullanılması için yeni yöntemler önerilmiştir. Simülasyon sonuçları önerilen metotların hesaplama verimliliği ve tespit hassasiyeti yönünden klasik metotlara göre üstün olduğunu göstermiştir [3].

Herhangi bir YTS için son derece önemli olan resimlerdeki insan yüzlerinin otomatik tespiti için yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Geleneksel Viola- Jones yaklaşımı yüz tespitinde bol miktarda karışık özellik kullanımını artırılması önerilerek genişletilmiştir. SVM ve Gabor tipi özelliklerin ayırımı nasıl yapacağını (Merkezi konum ve sıklık ve çeşitli yönlerde) gösterilmiştir. Söz konusu çalışmada geliştirilen yöntem MIT+CMU yüz veri tabanları kullanılarak denenmiş ve elde edilen sonuçlar diğer yüz tespit algoritmaları ile karşılaştırılmıştır [4].

LM (Legendre Moments) ve Eigenfaces/PCA (Principal Component Analysis) algoritmalarına dayalı, yüz tespiti için yeni bir yaklaşım sunulmuştur. PCA ve LM resimlerde şablonların tespiti için iki farklı metot kullanmışlardır. Çoklu terim hesaplanmasında legendre ve örnek ağırlık hesaplanmasında PCA birlikte kullanılmıştır. Sınıflandırma için SVM(Support Vector Machine) eğitilmesinde kullanılmış veri seti olarak da ORL'yi kullanıp performans sonuçlarını diğer yaklaşımlar ile karşılaştırılmıştır [5].

Yüz bulma ve Feature Binding (FB) dayalı konum metodu önerilmiştir. Yüz tespiti ve yüz özelliklerini gruplar halinde birleştirilmiş ve sınıflandırılmıştır. Her grup bilgisi yüz tespiti sırasında ayrı ayrı çıkarılır. Deney sonuçlarında önerilen metodun doğruluk oranının açık bir şekilde arttığı ve karışık yüzlerin tespit edilmesinde iyi sonuçlar alınmıştır [6].

Z. Jin ve arkadaşları tarafından yeni yüz tespiti yaklaşımı önerilmiştir. Öncelikle, renkli bir resimde cilt piksellerini tespit etmek için cilt rengi bilgisinin model dağıtımı kullanılmış sonra morfolojik işlemlerle cilt bölgesi ayırt edilerek dikdörtgen içerisine

alınmış; sonuç olarak doğrusal dönüşüm (linear transformation) karşılaştırma şablonları kullanılarak dikdörtgen içerisindeki yüz tespit edilmemiştir. Deneylelerinde FERET isimli veri tabanını kullanarak renkli resimlerde ve yüzün ön kısmının tespit etkisini sunmuşlardır [7].

LGP (Local Gradient Patterns) kullanılarak yeni yüz tespiti yöntemi önerilmiştir. Önerilen çalışma LGP algoritmasının LBP (Local Binary Patterns)'den daha yüksek güçlü ayırt ediciliğe sahip olduğunu göstermiştir. Yapılan deneylerde MIT+CMU, FDDB veri setleri kullanılmış ve yüz tespiti için farklı algoritmalar ile karşılaştırmalar yapılmıştır [8].

S. Kang ve arkadaşları cilt rengi bölgesi metodu kullanılarak ardışık pencere tipinin yüz tespitinde hızı ve etkisi yöntemini önermişlerdir. Arka plan rengi karmaşıktır çünkü yüksek oranda yanlış pozitif cilt rengi durumunda aranan alan ile benzerlik gösterir. Bao isimli veri tabanı kullanılarak alınan sonuçları göstermişlerdir [9].

J. Das ve H. Roy tarafından renkli resim içerisinde arka zemin rengini kaldırarak insan yüzünü tespit edebilmişlerdir. Geliştirdikleri algoritma aslında cilt rengi için renkli histogram birleşimidir; verilen bir resim bölgesinde cilt renk bölgesinden gri bölgesi olan kısmın eşik değerini aldıktan (HSV) sonra yüz olmayan bölgelerin sayısını azaltmak için seçili bölgelerin boşlukları hesaplayarak bulmuşlar. WLD (Weber Local Descriptor) veri tabanında farklı resimler üzerinden test ederek performans analizini çalışmalarında sunmuşlar [10].

Karışık renklere sahip arka zeminli bir resimde çok görünümlü (farklı perspektiflerden bakış durumu) yüzlerin yerini tespit etme ilgi çekici bir problemdir. İncelenen çalışmada, gerçek zamanlı çok görünümlü yüz tespiti ve poz çeşitliliği için geliştirilen bir metod sunulmuştur. Adaboost algoritmasından yararlanılarak insan yüzü veya insan yüzü olmayan alanlar eğitilmiştir. Yapılan çalışmaları CMU+MIT veri setlerinde test ederek çok görünümlü yüz bulucusu algoritmasını diğer geleneksel algoritmalar ile karşılaştırılması yapılmıştır [11].

W. Zou ve arkadaşları sabit kamera tarafından çekilen videodan insan yüzlerini tespit etmek için Viola-Jones yüz bulucu ile zemin çıkarıcı (Background Subtraction) birleştiren bir çalışmalarını sunmuşlar. Çalışmalarında daha küçük resim bölgelerinden yüz tespitine odaklanılmıştır bundan dolayı yanlış pozitif (yüz olmayan) oranı daha azaltılmış ve hesaplama maliyeti düşürülmüştür. Önerilen metod ile geleneksel tekniklerin performans karşılaştırılması yapılmıştır [12].

X. W. Zhang ve arkadaşları farklı renk ve nesnelerin birleşmesiyle oluşan karışık konulu görüntüler ile renkli görüntülerde kullanılabilen yüz tespiti metodu geliştirilmişler. YCbCr ve HIS renk uzayları kullanılarak cilt rengi bileşenlerini bulan bir model sunmuşlardır. Cilt rengi bölümünden sonra, yüzün geometrik şekil bilgilerini ve yüzdeki gözlerin karışıklığı ve yüzün pozisyonu tam tespit edebilmeyi başarmışlardır [13].

Yüz simgesi, yüz tespit sisteminin önemli aşamasıdır. Hızlı çalışan yüz tespit algoritması sunmuşlardır bu algoritma konvansiyonel sinir ağları (convolutional neural network (CNN)) algoritması tabanlıdır. Deneylerde CMU+MIT ve FDDB veri setleri kullanılmıştır [14].

Literatürde bilgisayar görüntü işleme disiplininde bulunan çoğu çalışma konuları arasında yüz tespiti gelmektedir. Yüz tespiti yöntemleri arasında ise Viola-Jones adı verilen yüz tespit edici temel yöntem ve gerçek zamanlı farklı yüz tekniklerinin avantajları çalışılmıştır. Yüz tespiti tekniklerini iki kategoriye ayırmışlardır bunlardan birincisi sabit şablonlar ile öğrenme tabanlı metotla ikincisi ise yüzün parçaları tarafından yüzü tanımlayacak deform(deformable) modeldir. Sonuç olarak yüz tespit algoritmaları için aynı veri setleri kullanılarak karşılaştırılmış ve çıkarımlarda bulunmuşlardır [15] .

J. U. Yun ve arkadaşları tarafından video özetlerinde kullanılmak üzere basit ve sağlam yüz tespit algoritması geliştirilmiştir. Karanlık, aydınlık ve beklenmedik ani durumlar gibi farklı ortam koşulları için yüzün karakteri değişmektedir. Değişen yüz karakterlerinin bileşenlerine bakmak için ışıklandırma işlemi yapıldıktan sonra cilt rengini elde etmek için YCbCr uzayında yüz bölgesinin renk analizi yapılmıştır. Hem de morfolojik işlemler uygulanarak yanlış tespit edilen yüz bölgesinin sayısını düşürmek ve performansını etkilemişlerdir. Geliştirmiş oldukları algoritmayı çeşitli metotlar ile değerlendirmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda geliştirilen algoritma ortalama %96,7 oranında yüksek bir etkisi vardır [16].

Yüze ait özelliklerin tespit edilmesinde Multifractal analizin etkisi kullanılmış ve yüz tespit tekniklerini yeniden gözden geçirilerek özetlenmiştir. Literatürde olan yüz tespit edici teknikler gözden geçirilmiştir. Yüz tespit edilmesinde Keinzle's algoritması, OpenCV kütüphanelerinin kullandığı haar sınıflandırıcısı ile Nilsson ve arkadaşlarının önerdikleri algoritmaların performanslarını karşılaştırmışlardır. Gerçekleşen deneyler sonucunda bir insan yüzünün özelliklerini ayırt edici bir anahtar olarak Multifractal yaklaşımına yardımcı öneriler getirmişlerdir [17].

Yüz tespit metotları, arka arkaya mimaride (cascade architecture) hızlı ve sağlam bir performansa sahiptirler. Bu metotların çoğu, göz- burun - ağız merkez bölgesi için her bir düğüm arka arkaya basit özellik çıkarıcı kullanılan sağlam bir metottur. Deneylemin sonucuna dikkat edildiğinde insan yüzü olmayan örnekler toplanmış ve özellik tabanlı zayıf sınıflandırıcıların hata oranı %50'e çok yakındır. Çalışmada sonuç olarak, yüz tespit edicinin performansı daha çok artırılmıştır [18].

### 1.3.2. YTS

YTS hakkında önerilen farklı yöntemlerin gelişimsel süreçleri, performans karşılaştırmaları, çalışma doğrulukları, yanlışlıkları gibi pek çok farklı yönleri ayrıntılı incelenmiştir. İncelenen çalışmalar neticesinde günümüz teknolojilerinin hem anlaşılmasına hem de geliştirilebilmesi için eksik yönlerinin neler olduğu hakkında fikirler kazanılmıştır. Araştırılan referanslar arasından seçilenlerin özeti sunulmuştur.

YTS için hibrit bir yaklaşım geliştirilerek görüntü işlemedeki ön işlemlerin analizleri yapılmıştır. Tanınan yüzlerin performans sonuçlarını incelenerek üstün yönlerini ortaya koymuşlardır. İki vektörün benzerlik ölçüsü için kosinüs açısı teoremi kullanılmıştır. Özellik vektörlerinin benzerliği eşik değerden yüksekse, iki yüzü aynı kişi olduğuna karar vermişlerdir [19].

HOG (Histogram of Oriented Gradients) yöntemi yüz tespiti ve tanınmasının sınıflandırılmasında yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Yüz ve gözlerin tespiti için HOG özellik çıkarıcıyı kullanarak realitesi artan sistem tabanlı sanal bir gözlük çalışması geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem kişisel stil oluşturulmasında yardımcı olunması amaçlanmıştır [20].

Davetsiz misafirler veya hırsızlara karşı, evin sahibi olan üyeler arasında fark edilmesini sağlayarak ev sahiplerine bilgi mesajları atan bir sistemi arduino platformunda yapmışlar. Kanade Lucas Tomasi'nin (KLT) yüz tanıma algoritması temel alınarak sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir [21].

Havaalanlarında pasaport kontrolü gibi global ölçekte güvenlik uygulamalarında biyometrik güvenlik sistemleri kullanılmaktadır. K.Tanaka ve arkadaşları tarafından geliştirilen sistemde YTS için Öz yüzler (Eigenface) ve Gabor Dalgacıkları (GaborJet) yöntemleri denenmiştir. Veri seti olarak Japon ve Japon olmayan ırklar karışık olarak test edilerek üstünlüklerini tabloda göstermişlerdir [22].

Multimedya uygulamalarında, sosyal ağlarda, dijital eğlence vb gibi alanlarda yüz tespiti algoritmalarının performansının poz, aydınlık, yüz ifadelerinin kapanması gibi engellerden dolayı düşmektedir. Yüz temsillerini çoklu model bilgisini kullanarak öğrenen kapsamlı bir öğrenme CNN (Convolutional Neural Network) yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen CNN mimarisini ve sınırlı eğitim verisini kullanarak LFW veri seti üzerinde %98.43 oranında başarı elde edilmiştir [23].

L. Lenc ve P. Král tarafından önerilen tam otomatik YTS için veri tabanına resim eklerken, görüntüdeki kişilere etiketler verilerek yapılmıştır. Önceden yapmış oldukları çalışmalarda kullandıkları yüz tanınması için SIFT tabanlı Kepenekçi yaklaşımı olmasının sebebi standart yaklaşımdan performansının daha yüksek olmasıdır. Yapılan deneylerin sonucunda performans analizi yapılarak verimlilik karşılaştırılması sağlanmıştır [24].

Yüz tanıma çözülememiş bir problem olarak görüldüğü anlatılmıştır. Problemi çözebilmek için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşıma Adaptive Sparse Representation of Random Patches(ASR+) ismi verilmiştir. Önerilen metottun öğrenme aşamasında galeri resimlerinde bulunan farklı konular tercih edilmiştir [25].

Yüksek kaliteli resimlerden yüz doğrulama süreci; çoğu güvenlik uygulamalarında başarısı düşük seviyede çıkmaktadır. Videolardan yüz doğrulamada ise, çeşitli dış görünüşlü ve farklı pozlardan dolayı oldukça zor olmasından dolayı hâlâ ilgi çekici olmaktadır. Videodan yüz doğrulama sistemi geliştirilmesiyle yüzün ön bölgesinin sentezlenmesini yapılmıştır. Hem şekil hem de metin bilgilerini içeren çeşitli pozlarında doğruluğunu test edilmesi amaçlanmıştır. Dış görünüşü elde etmek için, öncelikle üç boyutlu yüz oluşturulup sonra özellik noktalarını bulmak için aktif şekil model(Active Shape Model (ASM)) kullanmışlardır. Geleneksel ASM modelini çoklu yönlü görüntü modellerinde otomatikleştirecek şekilde geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar farklı veri tabanlarında test edilerek, elde edilen bulgular verilir karşılaştırmışlardır [26].

Scale Invariant Feature Transform (SIFT) önemli bir algoritma, yüz tanımda ve resimlerin karşılaştırılmasında başarı oranı yüksektir. Öncelikle, AdaBoost tarafından arka zemindeki resimlerinden bir yüzün ana bölgesinin tespit edilmesiyle başlar, sonra, yüz tanıma eğitim setleri ile yüz özelliklerini karşılaştırmaktadır. SIFT algoritmasının avantajlarını ORAL Face DB veri tabanı kullanılarak göstermişlerdir [27].

S. S. Huang ve arkadaşları tarafından sunulan çalışmada tek kamera ile elde edilen kalabalık görüntüleri içerisinde yayanın bulunması amaçlanmıştır. Araştırmacılar insan yüzünün genel olarak görünür olduğu ve arka katmanın sabit olduğu varsayımına dayanarak ön katmanda görünen bütün dairesel bölgeleri Circle Hough Tranform (CHT) algoritması ile elde etmişlerdir. Elde edilen her daire ilk aşama bir insan kafa olmaya aday olarak kabul edilir ve daha sonra birden çok ipucu kullanılarak insan kafası olup olmadığı doğrulanır. Üç farklı video üzerinde yapılan deneysel çalışmalarla geliştirilen metot geçerliliği gösterilmiştir. Deneysel çalışma sonuçları göstermiştir ki önerilen metot yanlış tespit oranını düşürmesine karşın doğru yüzlerin tespit edilebilirliği orantısını düşürmüştür [28].

A. Tofghi ve S. A. Monadjemi adlı araştırmacılar yüz tespiti ve tanıma sistemlerinin performansını yükselten metot önermişlerdir. Önerilen metot iki parçadan meydana gelir. İlk parçası, yüzlerin bulunması sonraki parçası bulunan yüzlerin tanınmasıdır. Yüz bulmada cilt rengi algoritması, Gaussun Cilt rengi Alg. ve AdaBoost birleştirilerek kullanılmışlardır. Sunulan yöntem için PCA, LDA, SVM sınıflandırıcıları ve Gabor özellik çıkarıcılar kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar karşılaştırmalı gösterilmiştir [29].

### **1.3.3. Yüz Sınıflandırıcıları Arasında Seçilmiş Çalışmalar**

Yüz tespiti, tanıma gibi şekil tanıma alanında kullanılan yöntemlerde verilerin sınıflandırılması çok önemlidir. Bu alanda yapılan çalışmaların bazıları incelenerek aşağıda özetlenmiştir.

Herhangi bir YTS'nin başarısı, uygun sınıflandırma seçimine bağlıdır. Bazı sınıflandırma algoritmaları arasında, iki basit ve iyi bilinen karar kuralları; K en yakın komşu (k-nearest neighbour k-NN) ve minimum mesafe sınıflandırılmasıdır[30] [31]. Yüz tanımda bu sınıflandırıcılar çoğu zaman alt uzay algoritmaları ile birleştirilmektedir. Eğer önceki olasılıklar ve yoğunluk fonksiyonları biliniyorsa Bayes sınıflandırıcısı yüz tanımda en iyi performansa sahip sınıflandırıcılar arasında olmaktadır [31]. Birçok durumda olasılık yoğunluk işlevleri çok değişkenli normal kabul edilir ve parametreleri verilen gözlemler kümesi içerisinde hesaplanır. Ayrıca hatayı minimize etmeye çalışan bazı sınıflayıcı vardır. Genel olarak sınıflayıcı çıktısı ile hedef değer arasındaki ortalama kare hatası (mean square error MSE ) kullanmada tercih edilir. Çok katmanlı algılayıcı ve DVM gibi yapay sinir ağlarında sınıflandırıcı kullanılmaktadır [32].

Sınıflar arasında doğrusal bir karar sınırı elde etmek için iyi bilinen istatistiksel yaklaşımlardan biri Fisher'in doğrusal ayırt edici (FLD) fonksiyonudur. Temel bileşenler FLD'nin ardından kullanılarak özelliklerin çıkarılması tanıma oranında önemli bir etki göstermektedir [33]. Yüz sınıflandırılması için FLD'nin doğrusal olmayan versiyonu çekirdek Fisher discriminant (kernel fisher discriminant KFD) kullanılmaktadır [34].

Son yıllarda, birleştirilmiş sınıflandırma yaklaşımı daha iyi analitik sonuçlar göstermiştir. Eğer bireysel sınıflar büyük ölçüde bağımsız ise bir kombinasyonlu sınıflandırıcı oldukça faydalıdır [35]. Rotasyon ve önyükleme gibi çeşitli yenilenir örnekleme teknikleri de kullanılır. Bununla birlikte, gerçek zamanlı yüz tanıma durumunda, alıcı işletim karakteristiği (receiver operating characteristic ROC) eğrisi kullanılır. Yüz sınıflandırmada uygulanan karar kuralını getirdiği için eşit hata oranına sahip bir eşğin (EER) olduğu bulunmuştur [36].

Alt uzay tabanlı YTS için öne çıkan çalışmalar arasından ; ICA, Kernel PCA, Kernel FLD tarafından korelasyon miktarı poz, resim büyüklüğü, ışık şiddeti ve ifade durumlarında yüz tanıma için düşük hata oranı temsil edilebilirliği gösterilmiştir [37]. Yüz tanıma yöntemleri arasında FRV(face recognition vendor test 2002) veri seti kullanılan yöntem ve tekniklerin literatür taraması yapılmıştır [38]. Son yıllarda YTS yöntemlerinde ciddi artış olmuş, ticari ve kamu kurumlarında kullanılması yaygınlaşmıştır. Fotoğraf ve video dosyalarından yüz tanıma yöntemlerinin sınıflandırılmasını yapan geniş bir literatür taraması yapılmıştır [39]. En yakın komşu sınıflandırma yöntemi genellikle yüz tanıma tekniklerinin bir çoğunda kullanılmıştır. Temel bileşen analizi (PCA) ve bağımsız bileşen analiz (ICA) teknikleri ayrıntılı olarak inceleyerek, FERET veri seti kullanılarak yapılan testler ile de karşılaştırma yapmışlardır. [40].Yüz tanıma için başarılı yöntemlerden olan fisher linear discriminant analysis (FLDA) yöntemi saçılımsız en küçük sınıf ve sınıflar arası seçimlerin en büyüğü tarafından düşük boyutlu görüntü uzayında doğrusal temsil edilmektedir. Yüz görüntüleri; farklı pozlar, yüz ifadeleri, aydınlık şiddeti gibi yüksek kompleksli dağınık verilerine sahiptir. Kernel Fisher Discriminant tabanlı bir yöntem kullanılmıştır. Kullanılan yöntem ile FLDA ve Kernel PCA yöntemlerine göre daha doğru sonuçlar elde edildiği deneyler ile karşılaştırılmıştır [41]. Yüksek boyutlu verilerin boyutlarının azaltılması verilerin analiz edilmesinde önemli olmaktadır. Yerel doğrusal yerelleştirme (LLE) yöntemi ile yüksek boyutlu girdi verilerinin denetimsiz öğrenme algoritması ile gömülmüş yapılarının korunması sağlanmıştır. Yerel boyutu azaltmaya yönelik

kümeleme yöntemlerinden farklı olarak, LLE girdi verilerini düşük boyuta sahip tek bir küresel koordinat sistemine eşleştirerek optimizasyonlarını yerel düşük değerleri içermemektedir [42]. Yüksek boyutlu piksel dizileri şeklinde temsil edilen yüz görüntüleri, genellikle düşük boyuttaki bir eşik değerine sahiptir. Orijinal eigenfaces tekniği ve olasılıksal benzerlik analizi için kullanılan Bayesian yöntemine kadar lineer ve doğrusal olmayan alt uzayları tanımlayarak, parametre olarak tanımlanan ve analiz eden yöntemler kronik sıra ile anlatılarak bazılarını deneysel olarak karşılaştırılmıştır [43]. Yüz tanıma yöntemleri için bilinen yöntemlerin sınıflandırılması yapılmıştır. [44]. Nesne tanıma için genellikle doğrusal ayırma analizi (LDA) temelli algoritmaların temel bileşen analizi (PCA) tabanlı algoritmalarından daha üstün olduğuna inanılmaktadır. Yüz veri tabanında gerçek sonuçları analiz ederek düşük boyutlu veri setleri için temel bileşen analizi yönteminin performansının doğrusal ayırma zamanına göre daha iyi olduğu sonucunu varılmıştır [45]. YTS için özyüzler(eigenfaces) tabanlı yaklaşımlar listelenerek benzerlik eşleştirme kriterlerinin çoğunlukla farklı olduğu gösterilmiştir. Farklı olarak gösterilen çalışmalar arasında karşılaştırma yapılmıştır. Yale veri seti ve teorisel olarak daha büyük olarak FERET veri setleri karşılaştırmada kullanılmıştır [46]. PCA, LDA ve Bayesian analizleri YTS için en çok bilinen temsili yöntemlerdir. Bu yöntemler arasında farklılıklar gösterildikten sonra üç bileşen kullanılarak ayrıntılı alt uzay analizi kullanılarak birleşik bir çerçeve oluşturulmuştur. Üç alt uzay boyutu eksen olarak kullanılmış ve 3B parametre alanı olarak gösterilmiştir. Bulunan parametre sayesinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir [47].

Yüz tanıma için gerekli olan ön işleme ilişkin en popüler PCA, ICA ve LDA algoritmaları karşılaştırılmıştır. Mümkün olan tüm algoritma uygulamalarının doğrudan ve ayrıntılı bağımsız karşılaştırmalarının literatüre eklenmiştir. Diğer çalışmalar ile tutarlılığın test edilmesi için FERET algoritması tercih edilmiştir. Literatürde var olan çalışmaların uyumluluğu test edilmiştir [48].

YTS için literatürde bulunan klasik alt uzay tabanlı yöntemler incelenmiştir. İncelenen yöntemler sayısız önemli gözlemler, beklentiler ve çeşitli yüz veri setlerindeki kısıtlamaları anlatmışlardır. Doğru yüz tespiti ve tanıma verilerin sıkıştırılması için düşük boyutta özelliklere ihtiyaç duyarlar. Ayrıca daha sonraki görüntü sınıflandırma için gelişmiş ayırt etme yeteneklerini gerekmektedir. Temsil edilen yöntemler genellikle boyut azaltma prosedürü ile başlar orijinal alan yüksek olduğundan istatistik tahmini imkânsız olmasa da zorlaşmaktadır. Ayrıca yüksek boyutlu alan

genellikle boştur. Alt uzay tabanlı yöntemler genel olarak boyutluluk azaltmada tercih edilmektedir. Temel bileşenler analizi (TBA principal component analysis PCA ) Karhunen Loeve genişlemesi olarak bilinmektedir. Fisherface (FLD) yöntemi, doğrusal ayırma analizi (Linear discriminant analysis LDA) veya bağımsız bileşenler analizi (ICA) yöntemini alt uzay projeksiyon matrisi üretmek için kullanılır. Doğrusal ayırma analizi (LDA), temel bileşenler analizi yöntemine göre daha iyi alternatif olmuştur. TBA ile girdi verisi tamamını temel yapıya hiç dikkat etmeden sınıflar arası ayırt ediciliği yapılmaktadır. LDA'nın asıl amacı, sınıflar arasında ayrımı en üst düzeye çıkmasını, sınıf içi ise en az seviyede olmasını sağlayan vektör tabanını bulmayı sağlamaktır. Bu teknikler yüz tespiti ve tanımda alanında güçlü araçlardır. TBA, Fisherfaces gibi bazı yaklaşımlar giriş verisindeki boyutsallığı azaltmak için bir ön adım olarak kabul edilmektedir daha sonra ise LDA yöntemi gerçek sınıflandırmayı yapmak için veriye uygulanarak sınıflandırma işlemini gerçekleştirilmiştir. Bazı durumlarda LDA doğrudan fotoğrafa verisine uygulanır. Alternatif olarak doğrudan LDA ve LDA'nın bir çeşidi olan fraksiyonel yöntemi ile yüz görüntülerinin yanlış sınıflandırılmasını önlemek içinde kullanılabilir. Çekirdek TBA(KPCA); yüksek boyutlu verilerde geleneksel linear TBA'nin yeniden formülasyonu için çekirdek fonksiyonun yapılmasında kullanılır. Çekirdek PCA, kovaryans matrisinden çok çekirdek matrisinin temel öz vektörlerini hesaplarını ve çekirdek alanı doğrusal olmayanları eşleştirme işlevinde kullanılır. Doğrusal olmayan alt uzay yöntemlerindeki bazı çalışmalar gösterilmiştir;

Doğrusal olmayan sınıflandırma tekniği kullanılarak bir özellik alanına eşleştirilmesinin yapılması sağlandıktan sonra bu özellik alanındaki ana bileşenlerin hesaplanması temeline dayanan Çekirdek TBA (Kernel PCA) ile yüz özelliklerinin ayıklanması için bir mekanizma oluşturulmuştur. Bu mekanizma bir polinom denklemini benimsemektedir. Yüzlerce görüntüyü oluşturan giriş piksellerin yüksek dereceli korelasyon ile performansı yükseltilmiş olmaktadır [49]. Görünüme dayalı bir YTS olan LaplacianFace adı verilen yöntemi geliştirmişlerdir. LBP kullanılarak yüz görüntülerini analizi sağlanmıştır. Öklid mesafe ölçme tekniği kullanılarak yüzün yerel bilgilerinin yerleşimi elde edilmiştir. Aydınlatma, yüz ifadesi ve pozdaki değişikliklerden kaynaklanan istenmeyen varyasyonlar atılarak azaltma işlemi gerçekleştirilmiştir ayrıca önerilen yöntemle birlikte Eigenface ve Fisherface yöntemleri de üç farklı yüz veri seti kullanılarak doğruluk oranları karşılaştırılmıştır [50]. Geleneksel alt uzay yöntemleri kullanılarak elde edilen yüz özelliklerinin numuneleri arasındaki mesafeleri temsil etmek ve doğrusal

manifoldları ayarlamak için TBA gibi yöntemlerle elde edilen benzerliklerle mesafe hesaplanır. Isomap yöntemi yeniden yapılanma prensibine dayanarak geliştirildiği için sınıflandırma açısından uygun görülmeyebilir. Fisher doğrusal ayırtıcı kullanılarak genişletilmiş bir Isomap yöntemi anlatılmıştır. Görüntü veri setleri üzerinde yapılan çoğu deneyde genişletilmiş Isomap yönteminin daha başarılı ve etkili olduğu görülmüştür.[51].

TBA, LDA ve Fisherfaces yöntemlerinin en büyük dezavantajı doğrusal olmuş olmalarıdır. PCA, sadece kovaryans matrisinde kullanılan test verilerinin düşük boyutlu gösterilmesini çıkarmaktadır, bundan dolayı birinci ve ikinci basamak istatistiklerden daha fazlası kullanılamamaktadır. Birinci ve ikinci basamak istatistiklerin, sadece görüntünün genlik spektrumu hakkında bilgi sahibi olduğu, faz boyutunu atmasına rağmen yapılan bazı deneylerde nesnelere tanımadaki insan yeteneğinin esas olarak faz denetleyici tarafından yönlendirildiğini ortaya çıkarmışlardır. Yüz tanıma problemi için daha güçlü bir sınıflandırma aracı olarak bilinen Bağımsız Bileşenler Analizi ( BBA independent component analysis ICA) ortaya çıkmasının ana sebebidir. BBA, TBA'nin genelleştirilmesi olarak düşünüebiliriz, aşağıda üç tane avantajı sunulmuştur

- N boyutlu bir alanda verinin daha iyi tanımlanmasını sağlar;
- BBA tarafından bulunan vektör dikey olmak zorunda olmadığı için yeniden yapılanma hatasını azaltmaktadır.
- Yalnızca kovaryans matrisini azaltmayıp aynı zamanda yüksek dereceli istatistikleri göz önüne alarak ayırt edici özellikleri de ortaya çıkartmaktadır
- [52]-[57].

#### **1.3.4. Yüz Tanımda Gömülü Sistemlerin Kullanımı**

Günümüz teknolojisinde, hızla gelişen donanım cihazları artık bağımsız hale gelmiştir. Çoğu gömülü sistemler, artık günümüz bilgisayarlarının yerini alarak çalışma hızlarını ve frekans aralıklarını sürekli artırmaktadır. Gömülü sistemler arasında bulunan fakat paralel işlem yapma kabiliyetine sahip olan FPGA alanında yapılan çalışmaların bazıları aşağıda sıralanmıştır.

OpenCV ve düşük maliyetli Arm9 kartından faydalanarak YTS hazırlanmış; temel bileşen analizi (PCA) ve lineer ayırt edici (LDA) olmak üzere iki temel algoritma platformda uygulanmış ve sonuçları gösterilmiştir. Veri seti olarak AT&T isimli veri seti ile test edilmiştir [60].

Araştırmacılar YTS için ihtiyaç duyulan hızlı çalışma ve doğruluk oranlarını sürekli artırmaktadır. YTS hızını artırmak amacıyla Fpga ile entegre edilmiş ve Arm işlemcisini içinde bulunduran (SoC Zynq-7030 serisi) (yeni nesil alanında programlanır kapı dizileri FPGAs ) ile tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yerel ikili şekil histogramları (Local Binary Patterns Histogram) ile özellikler belirlenmiş ve Manhattan algoritması ile mesafeler ölçülmüş sonuç olarak 8.6 ms ile yüzler tanınır hale gelmiş ve önceden bilinen yüzü %79.33 doğru bir şekilde tanıyabilmiştir [61].

Akıllı kameralar, akıllı gözetim sistemleri için popüler hale gelmiştir. YTS kalabalıkta yüzleri tanımak için gerçek zamanlı olarak özellik çıkaran bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem, yüksek znrlkl kamera olan NICTA(5 MP)'e entegre edilerek video görüntüsünün tamamı transfer edilmeden kamera donanımı üzerinde yüzleri tespiti yapılmıştır. Böylelikle yüksek znrlğe sahip video görüntüsünü veri işleme ünitelerine transfer etmek için gereken yüksek veri transfer hızlarına ihtiyaç kalmamıştır [62].

Araştırma yapılan çalışmada yeni bir yüz tanıma algoritması sunulmuştur. Sunulan algoritma power metod algoritması ile hesaplanan Eigenvalues'e dayanmaktadır. Algoritma için bir sayısal donanım tasarlanarak Xilinx'in Spartan 3E FPGA çipine uygulanmıştır. Araştırmacılar geliştirdikleri algoritmanın literatürdeki diğer çalışmalara göre daha az matematiksel işlem içerdiğini ve daha az karmaşık olduğunu bildirmişler dolayısıyla daha hızlı yüz tanıma işlemi gerçekleştirdiğini belirtmektedirler [63].

Kalabalık bir ortamda gerçek zamanlı olarak yüz tespiti için akıllı kameraya bağlı olarak alışan FPGA tabanlı bir yüz tespit sistemi geliştirilmiştir. Çalışmanın amacı yüz tespit işleminin kamera üzerinde yapılarak ana işlem ünitesinin üzerindeki yükü azaltmaktır [64].

### 1.3.5. Video Üzerinden Yüz Tanıma

Günümüz akıllı şehirlerinde, kameralar önemli yer tutmaktadır. Kameralardan elde edilen verileri gerçek zamanlı işlenmesi önemli olmaktadır. Bu bölümde video tabanlı görüntüler içerisinde yüz tespiti ile yüz tanıma yöntemleri özetlenmiştir.

X. P. Zhang ve Z. Chen büyük video içeriklerini analizinin etkili, verimli ve akıllı bir şekilde yapılmasıyla ilgili farklı bir yaklaşım önerilmiştir. Önerdikleri yaklaşım (spatiotemporal independent component analysis stICA) uzaysal bağımsız bileşenler analizi ile video kareleri içerisinde hareket eden nesnelere ayırt etmek için geliştirilmiştir. Araştırmanın ilk sonuçları içerik tabanlı video işleme uygulamalarında, stICA ve çok ölçekli bölütleme tabanlı nesne bulma da çok iyi bir potansiyel göstermiştir [65].

J. Zhou ve X. P. Zhang tarafından video görüntülerinden olay tespiti için özellik çıkartımı, model öğrenimi ve olasılık hesaplamasının birleştirildiği bir referans çalışma sunulmuştur. Bağımsız bileşenler analizi (ICA) işlenmemiş özellik uzayına uygulanarak spatial özellikler çıkartılmıştır. İşlenmemiş özellikler çıkarıldıktan sonra gizli markov modeli ile video sahnelerinden anlamsal veriler çıkarılmıştır. Geliştirilen model eğitimi tamamladıktan sonra verilen video için olasılık hesaplaması yapılmış ve hesaplanan videoyu mantıksal olaylara bölütleme yapılarak kullanılmıştır [66].

Otomatik ve güvenilir bir şekilde video karelerinden insan yüzü tespiti ve özellik çıkartımının yapılması için Gabor dalgacıkları, Adaboost algoritması ve yerel normale dayalı yeni bir yöntem önerilmiştir. Deneysel sonuçlar, renk, konum, boyut ve değişik aydınlanma şartlarına göre çok çeşitli yüzler içeren video karelerinde yerel normalizasyon metodu kullanılarak önemli derecede performans kazanımı sağlandığını göstermektedir [67].

T. I. Dhamecha ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada; sınırlandırılmış video görüntüleri yüz tespit işleminin belli bir olgunluğa ulaştığını ve bunun yanında belli bir kısıt olmayan herhangi video görüntüsü içinde de yüz tespitine yapılabilecek birçok çalışmanın olduğundan bahsetmektedirler. Yeni araştırmacılara yardımcı olmak amacıyla içinde yüzün iz işaretleri bulunan açıklamalı yeni bir video veri tabanının (Annotated crowd video faces ACVF-2014) oluşturarak kullanımını sunmuşlardır. Video veri tabanının toplam 201 video ve 133 öğeden oluşmaktadır ki her bir video birden fazla öğeyi içermektedir. Ayrıca video veri tabanının kullanıcıları için iki kullanıcı senaryosu ve bunlarla ilgili protokoller oluşturulmuştur [68]. Önerilen çalışma anlatılan sistem

zamansal tutarlılığı (temporal coherence) dikkate alarak video görüntülerinde yüz tespitini gerçekleştirmişlerdir. Sistem birçok insan yüzünü gerçek zamanlı olarak çalıştırabilmişlerdir. Yüz tespiti çalışması geleneksel yaklaşımların sabit resimler üzerinde kullanılması için geliştirilmiştir. Tespit işlemi sırasında özellik tabanlı modeller kullanılmışlar ayrıca bir video karesinde tespit edilen yüzden çıkartılan özellikler bir sonraki video karesinde yüz tespitinde kullanmışlardır. Deneysel sonuçlarında Rowley–Kanade’s ve Viola–Jones’un çalışmalarından daha iyi sonuçlar elde edildiği, 26,338 resim içinde yüz tespitinde %99,9 ve göz çifti tespitinde ise %87,5 oranında başarı sağlandığı belirtilmiştir [69].

## 2. SAYISAL GÖRÜNTÜ VE BİYOMETRİK SİSTEMLER

### 2.1. SAYISAL GÖRÜNTÜ KAVRAMI

Görüntü kavramı; canlı veya cansız varlıkların gerçek dünyadan lens veya ayna gibi optik aygıtlar kullanılarak, görsel şeklin temsil edilebilmesi olarak tanımlanmaktadır. Gerçek dünyadaki nesnelere, genelde 2 boyutlu matrislerle gösterilerek görüntü işleme yapılabilmektedir. Dijital görüntü, analog olarak alınan bir sinyalin dijital hale getirilmesidir. Görüntüyü oluşturan satırlar ve sütunların kesiştiği küçük noktalara piksel ismi verilmektedir. Piksellerin birleşmesiyle görüntü meydana gelmektedir. Pikselin yoğunluğu görüntünün kalitesini göstermektedir. Dijital görüntü işleme; dijital görüntü haline dönüştürülen gerçek dünyadaki görüntülerin, yazılımlar vasıtasıyla istenilen değişimler yapılarak yeni görüntünün oluşturulması olarak tanımlanmaktadır. Görüntülerde meydana gelecek değişiklikler genellikle otomatik olarak programlar tarafından gerçekleştirilir. Araştırmacılar tarafından sürekli yeni tekniklerin oluşturulmasıyla yazılımlar sürekli gelişerek daha hassas, hızlı, doğru çalışan sistemlere dönüşebilmektedirler [70],[71].

İnsanlar, canlı ve cansız varlıkların görüntülerini algılamak için göz organını kullanırlar. Gözün ışığa odaklanmasını sağlayan korneadır. Kornea gözün dışında bulunur. Işık göze ulaştığında, göz bebeği kaslarını kullanarak gözün açılıp kapanışını ayarlar ve göz merceğini kapatılmasını sağlar. Mercek göze gelen ışığın şiddetine göre kalınlaşma veya incelmeye hareketi sergiler. Göz organı vasıtasıyla gerçek dünyadan alınan veriler, beyinde görüntü işlemeye tabi tutulur. Bilişim sistemleri genel olarak gerçek dünyadan görüntünün elde edilmesi ve işlenmesi algoritması altında insanın yaratılışında olan dış dünyayı anlama, sınıflandırma, anlam çıkarma gibi sisteme benzetildiği görülmektedir.

Gerçek dünyada nesnelere görmemizde ışık kaynağı önemli yer tutmaktadır. Gerçek dünyadaki varlıkların ışık kaynağını yansıtmasıyla gözle görülür hale gelmektedir. Işık çok miktarda dalga boyutlu olduğu için görülebilir spektrum tanımı insan gözünün görebileceği elektro manyetik dalga aralığı olarak bilinir. İnsan gözü 400nm ile 700 nm arası dalga spektrumunu görebilmektedir. Işık kaynakları nesnelere yüzeylerinden yansıtılarak insan gözüne ulaşır ve gözde renk algılanmasının ilk aşaması sağlanmış olur. Işığın neredeyse tamamını yansıtan nesnenin rengini beyaz, ışık kaynağının neredeyse tamamını emen nesnenin rengi ise siyah olmaktadır [72],[73].

## 2.2. FPGA

Sayısal tasarımcılar için uygulamaya özel entegre devreler (application specific integrated circuits ASICs ), programlanabilir mikro işlemciler (programmable microprocessor PICs) ve programlanabilir mantık cihazları ( programmable logic devices PLDs ) gibi farklı platformlar mevcuttur. FPGA gibi belirli bir teknolojiyi seçme kararı, tasarımın gereksinimine göre teknik bir tercih yapılmasına bağlıdır. Karmaşık işlemler için gerekli algoritma, tasarım karmaşıklığı ve değişikliği gibi durumlar için kullanılması gerekiyorsa kolayca programlanabilen özel DSP sinyal işleyebilen cihazlar tercih edilmesi gerekmektedir. Programlanabilir cihazlar için genelde yüksek seviyeli bir dil veya C programlama dili kullanılarak gerekli komutlar yüklenmektedir. Hız gereksinimi önemli değil ve kompakt bir platformda çalışılması isteniyorsa PIC gibi genel amaçlı mikroişlemci seçimi ideal olmaktadır. Donanım gereksinimlerinin daha yüksek performansa ihtiyacı varsa (en az işlem hızı 100 MHz üstünde) ve donanım tasarımının yeniden kullanılabilir olması hedeflenmekteyse; FPGA tasarım esnekliğinden dolayı tercih edilmektedir. Sayısal tasarımda uygun optimizasyonun yapılmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. C dili ile yazılmış bir program PIC'e yüklenebilmektedir. PIC cihazının aynı anda paralel olarak işlem yapma yeteneğinin olmamasından dolayı performansı sınırlı kalmaktadır. FPGA'nin paralel işlem kabiliyeti ve boru hattı (pipeline) tasarım desteğinden dolayı performansı PIC'e göre daha yüksektir. Çalışma hızı 3-4 MHz arasındaki tasarımlar için FPGA pahalı olmaktadır. Eğer sayısal tasarım için 100 MHz ve üstü ihtiyacı varsa FPGA tercih edilebilir. Günümüzde pek çok FPGA kartları mikro işlemci desteği barındırmaktadır. Sayısal tasarım özel donanım işlevi gerektiriyorsa mutlaka FPGA tercih edilmesi gerekmektedir. Donanım tasarımının yeniden yapılmasının gerekmediği, sadece çarpma ve toplama gibi özel donanım gerektiren durumlarda, DSP, FPGA'ye tercih edilebilir. Sayısal tasarım için küçük basit donanım blokları gerektiriyorsa bir PLD veya CPLD en iyi seçenek olabilir fakat tasarımın karmaşık kontrol cihazı ve özel kombinasyonu varsa donanım işlevleri için FPGA seçilmesi gerekmektedir. Video grafik dizisi (Video Graphics Array VGA ) denetleyicisi tasarımında, donanım karmaşıklığı sebebinden dolayı PLD cihazı yerine FPGA tercih edilmesi doğru seçim olacaktır. FPGA kullanılarak gerçekleştirilen tasarımlarda kullanılan kaynaklar bir cihazda mevcut değilse veya bir iletişim protokolü değişmesi/güncellemesi durumları varsa, kullanılan cihaz birkaç farklı güncellemeyi destekleyecek kadar hafızaya sahip olmalıdır. FPGA sentez yazılım paketleri,

tasarımcılara, donanım seçme kararını vermeden önce performans testi için fırsat vermektedir. Alternatif dillerden biri olan Donanım Tanımlama Dili (Very High Speed Integrated Circuits Hardware Description Language - VHDL ) donanım tasarlarken önemli ve kullanışlı olmasından dolayı genelde tercih edilmektedir [76],[77],[78].

Baskılı devre kartı (printed circuit board PCB) tasarımı yaygın olarak kullanılmasına rağmen basit dijital cihazların daha fazla programlanabilmesi için sürekli araştırmalar yapıldı. Yapılan araştırmaların sebebi çoğu dijital sistem için kullanılan iki farklı tasarım yaklaşımından kaynaklanan ikiliğin olmasıdır. Donanım tarafında kullanıcılar yüksek hız, küçük boyut, düşük güç tüketimi ve düşük maliyete odaklanmaktadır. Her bir yonganın ayrı ayrı tasarlanması, yerleştirilmesi, üretilmesi ve paketlenmesi gerektiğinden özel entegre devre tasarımına yol açmaktadır. Seri üretim süreçlerinde maliyet etkili olmaktadır fakat ASIC tasarım yaklaşımı oldukça pahalıdır (mevcut silikon işlemi için ortalama 500.000 \$ gerekmektedir). Zaman olarak en az bir yıla ihtiyaç duyulmaktadır. Intel Pentium, PowerPC veya ARM gibi standart bir işlemci mimarisi kullanmak için yazılım uygulamaları geliştirmek amaçlı platformlar seçilir. Genellikle işletim sistemleri, derleyicinin verimsiz olması ve donanımla işlemci arasındaki dolaylı ilişki kurulmasından ötürü (fazladan işlem yapması) çalışma performansı düşmektedir. FPGA yaklaşımıyla gerçekleştirilen tasarımlar daha hızlı çalışmaktadır. Sonuç olarak yüksek performanslı programlanabilir cihazlarla gerçekleştirilen donanım tasarımının; optimum kaynakların kullanılması, işletim sisteminin çalışmasına gerek kalmaması ve yeniden programlanabilmesi gibi üstünlükleri bulunmaktadır [76],[77],[78].

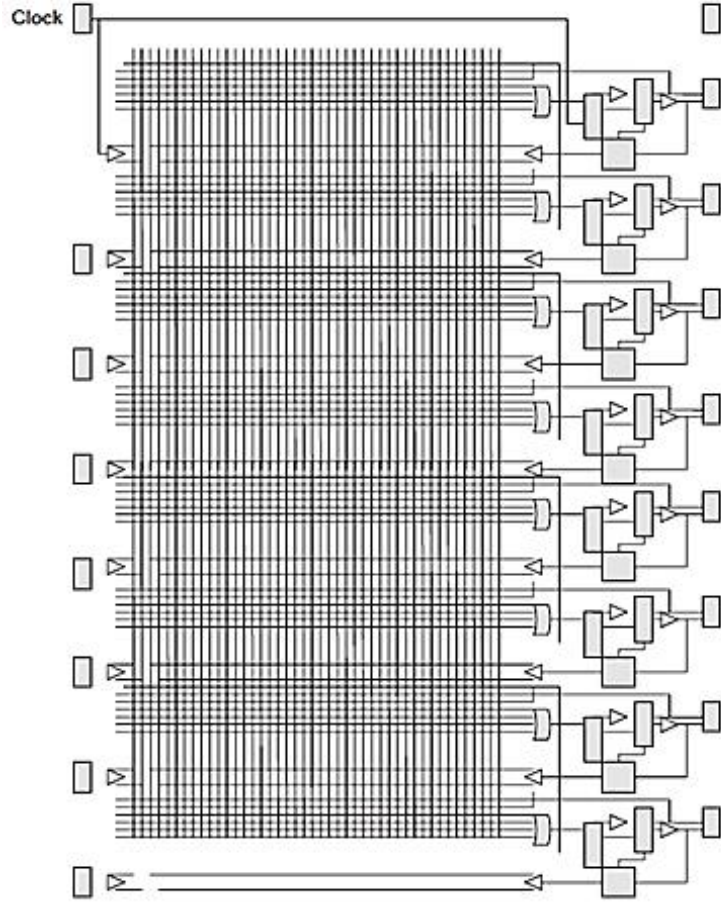
### **2.2.1. Programlanabilir Mantık Cihazları**

Programlanabilir ilk cihaz tipi, programlanabilir kapı dizileri (programmable array logic PAL ) olarak bilinmektedir. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi bir dizi bağlantı kullanarak birleştirilecek birçok mantıksal dizi kapısı içermektedir. PAL cihazları az sayıda flip-flop’u destekleyebilir ve küçük durumlu makinelerde uygulanmaktadır. Şekil 2.2’de sunulan basit PAL cihazlarının sınırlarını geliştirmek için karmaşık programlanabilir mantık cihazları (complex programmable logic devices CPLDs) geliştirilmiştir.

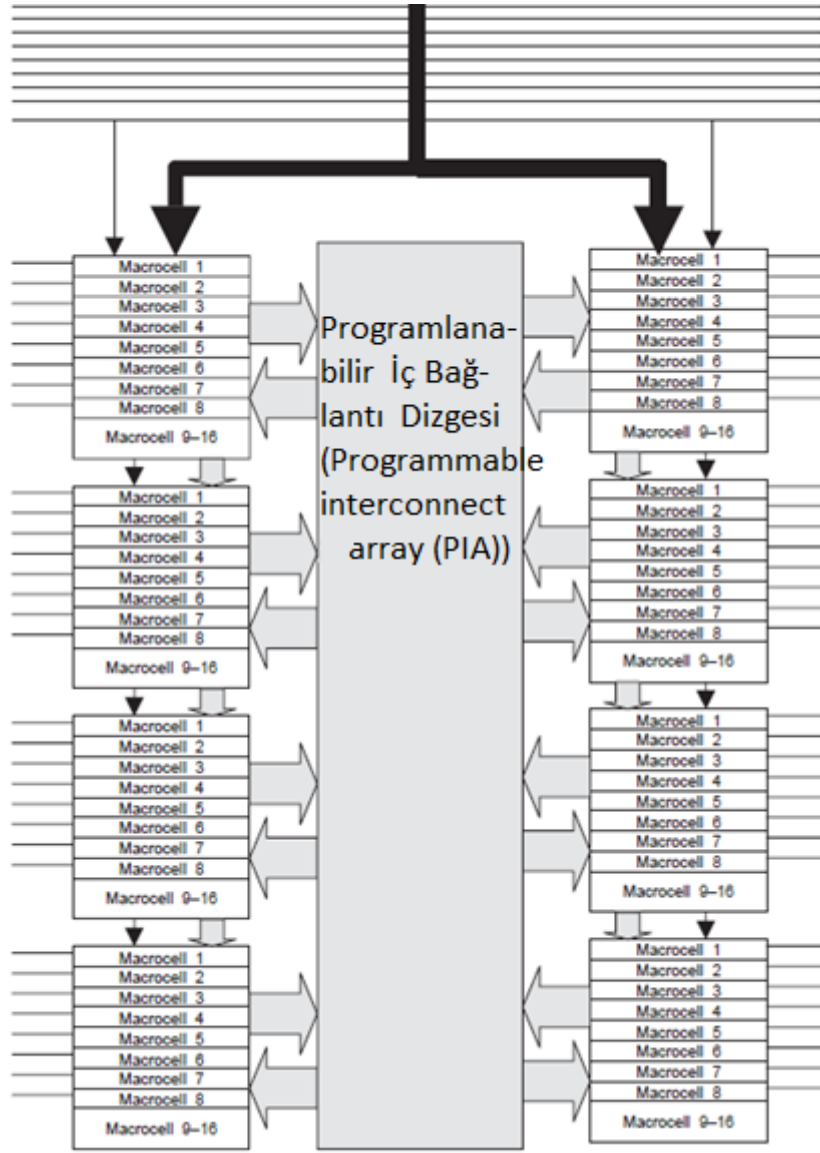
Şekil 2.2’de gösterilen cihazlar PAL’ler ile aynı temel prensibi dayanmaktadır, ancak bir dizi makro bloğa (her biri bir PAL’e eşdeğer) eşit ve yönlendirme blokları kullanılarak bağlantı yapılmıştır [76],[77],[78].

### 2.2.2. Alan Programlanabilir Kapı Dizileri

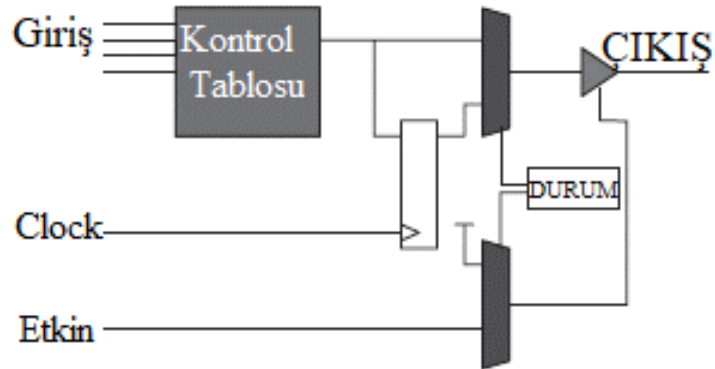
CPLD'den sonra FPGA'ler geliştirilmiştir. Sabit bir kapı dizisi yerine, FPGA'ler karmaşık mantık bloğu (complex logic block CLB) kullanmaktadır. FPGA'ler yalnızca cihazda yönlendirmeye izin vermekle kalmayıp aynı zaman da her bir mantık bloğunu en iyi şekilde yapılandırılmasını sağlamaktadır. Şekil 2.3'de tipik CLB'nin yapısı gösterilmiştir. CLB programlandığında, belirli bir mantık işlev türünü ortaya çıkaracak yapılandırılabilir arama tablosuna ( look-up table LUT) sahiptir. CLB'nin birleştirici veya eş zamanlı olmasını sağlayan D tipi flip-floplar ve etkinleştirme sinyali vardır. Xilinx firmasının üretmiş olduğu CLB, Şekil 2.4'da gösterilmektedir. Şekil 2.4'da iki adet 4 girişe sahip LUT ve çeşitli çoklayıcılarla flip flopları açıkça göstermektedir. Tipik bir FPGA çipi, çok karmaşık cihazların tek bir yonga üzerine uygulamasına ve kolayca yapılandırılmasına izin vermektedir. FPGA çipi farklı tiplerde oluşan binlerce CLB' ye sahip olacaktır. Modern FPGA'lar tek bir cihazda bir dizi 32 bit işlemi tutacak kapasiteye sahiptir. Tipik bir FPGA'nın düzeni (CLB cinsinden), Şekil 2.5'te gösterilmektedir [76],[77],[78].



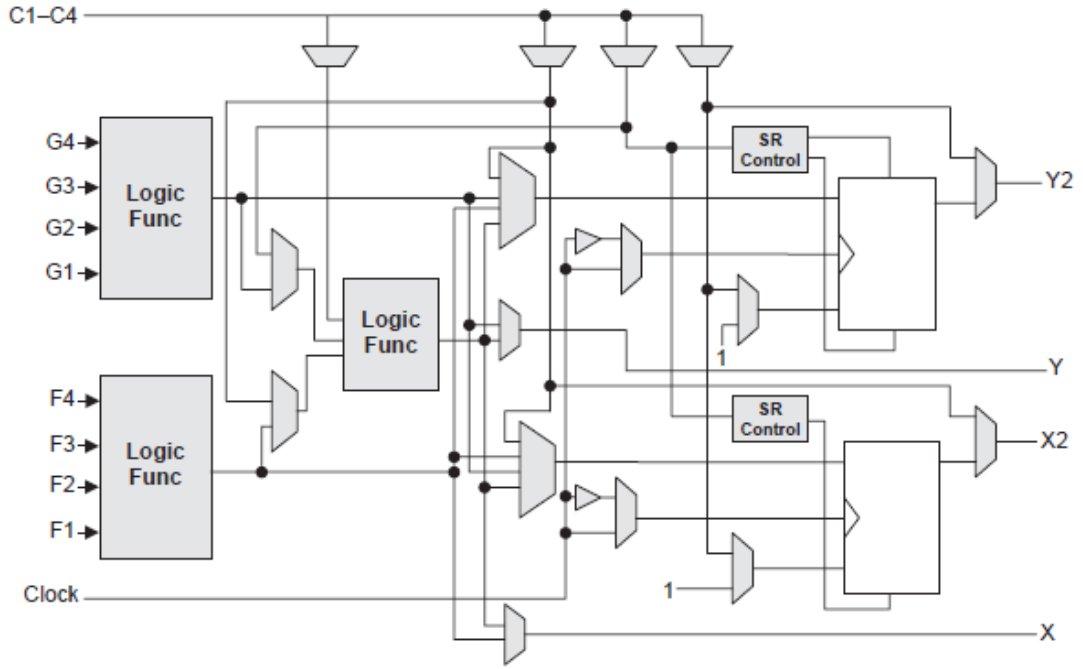
Şekil 2.1. Pal yapısı [77].



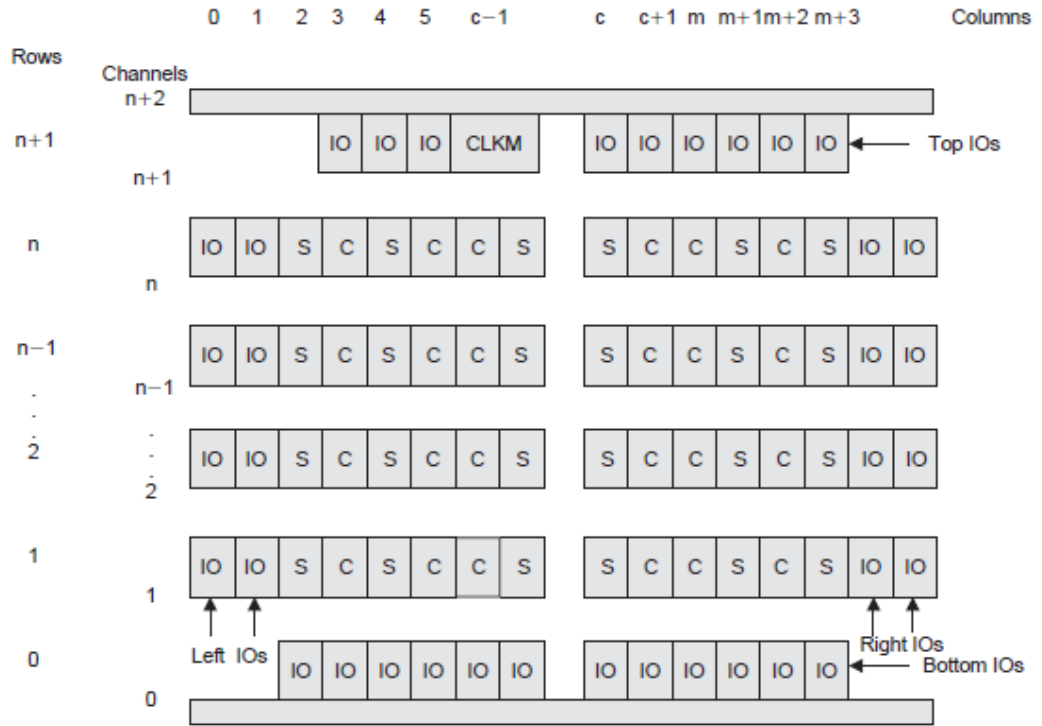
Şekil 2.2. Karmaşık programlanabilir mantık aygıtı [77].



Şekil 2.3. FPGA kompleks mantıksal blok [77].



Şekil 2.4. Xilinx tarafından üretilen CLB mimari [77].



Şekil 2.5. CLB'nin FPGA yığıt yapısı [77].

### **2.2.3. FPGA Tasarım Teknikleri**

FPGA çipleri için VHDL dili kullanarak tasarım yapıldığında, VHDL'de kodlanan fonksiyonların FPGA üzerindeki düşük seviyeli mantık blokları ile eşleştirilmesi gerekmektedir [76],[77],[78].

Eşleştirmenin yapılabilmesi için, üç özel işlevin yerine getirilmesi gerekmektedir:

1. Haritalama: Mantıksal fonksiyonlar CLB'ler ile haritalanır.
2. Yerleştirme: FPGA üzerine yerleştirilmiş CLB'ler.
3. Yönlendirme: CLB'ler arasındaki yönlendirilmiş bağlantılar.

FPGA kullanarak günümüzün karmaşık tasarımlarını gerçekleştirilmesi için FPGA devre elemanlarının çizim tekniği ile yapılması çok zor olduğundan dolayı VHDL tasarımının kullanımı gerekmektedir. CLB'ler için haritalanacak mantık fonksiyonlarına dönüştürülmesi işlemini sentez yazılımı yapmaktadır. Gerçekleşen tasarım akışı, optimizasyon içeren yinelemeli tam bir tasarım akışını temsil etmektedir [76],[77],[78].

### **2.2.4. FPGA'de Tasarım Kısıtlılığı**

FPGA sınırlı sayıda mantık bloğu ve yönlendirme kaynağına sahip olduğu için tasarım yapıldığında, bu hususların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Tasarımcının geliştirdiği VHDL kodunun performansını yüksek olması gerekmektedir. VHDL kodunu tekrar değiştirmeye gerek kalmadan, teknolojiler arasında dönüşümü yapılmaktadır. Bazı üst seviyeli donanım tercihlerinde kısıtlamalar nedeniyle en iyi sonuçları elde etmek için tekrar yazılması gerekmektedir [76],[77],[78].

### 2.3. BİYOMETRİK SİSTEMLER

İnsanların güvenli bir şekilde hayatına devam etmesi için araştırmacılar geçmişten günümüze çok sayıda ve farklı alanlarda çalışma yapmışlardır. Bu çalışmaların genelinde kişileri ayırt edilmesi ve güvenlik tedbirleri gibi önlem alıcıların temel amaçları olduğu görülmektedir. İnsanların ayırt edilmesinde kullanılan biyometrik sistemlerin günümüzde artarak kullanıldığını görmekteyiz. Biyometrik kelimesi yunanca hayat anlamına gelen “Bio” (Biyos) ve ölçüm anlamında “Metrik” (Metron) kelimelerinin birleşmesi sonucunda, 19. yüzyılın sonlarında polislerin kullanımı için ortaya çıkmıştır [79]. Fransa’da yaklaşık 1880’de ilk kez polislerin kullanımı için ortaya çıkaran Alphonse Bertillon; tutuklanan her kişi için antropometrik veri sayfaları uygulayarak adli bilişimin ilk örneğini oluşturmuştur. Antropometrik veri sayfalarında suçluların anatomik özelliklerini, metrik ölçüleri alınarak hesaplamıştır. 1892 yılında, İngiliz antropog Francis Galton ise; parmak izlerinin alınması için en eski yöntemi kullanarak suçlu kabul edilmişlerin parmak izlerinden yararlanmıştı. 1902 yılında ise Scheffer davası olarak bilinen davada suçlunun parmak iziyle tespiti sağlanmaya çalışılmıştır [80].

İnsanların ayırt edilebilmesi için kullanılan pek çok yöntemler vardır. Klasik olarak isimlendireceğimiz manyetik plastik kartlar, elektronik cihazlar, anahtarlar, şifreler gibi kişiye özel kullanılan sistemlerin; kopyalanmasının kolay oluşu, taşıma güvenliğinin zor oluşu, uzun süre kullanılmayan şifrelerin hatırlanma güçlüğü gibi pek çok olumsuz sebeplerden dolayı insanların biyometrik olmayan sistemleri kullanırken zorlandığı anlaşılmaktadır. Biyometrik sistemlerde ise taşıma, unutma ve güvenlik gibi olumsuzlukları neredeyse yok denilecek düzeydedir fakat her sistemde olduğu gibi biyometrik sistemlerinde güvenlik açıkları bulunmaktadır. Gelişen teknoloji sayesinde biyometrik bilgilerin tutulması ve işlenmesi daha kolay hale gelmiştir. Biyometrik sistemlerin işlem hızını artırmak için çalışmalar devam etmektedir. Araştırmacıların son zamanlarda yapmış oldukları çalışmalar maliyetin azaltarak daha doğru çalışan biyometrik sistemler kurmaktır. Tasarlanan sistemlerin kullanımı ile insanlara kolaylık ve yetkililere ise daha güvenli sistemler önerilmektedir.

Klasik yöntemlere göre daha kolay ve güvenilir olması tercih edilirliliğini artırmaktadır. Biyometrik sistemler; insanların karakterlerini ayırt etmek için fizyolojik, psikolojik ve davranışsal özelliklerini kullanmaktadırlar bundan dolayı genel olarak biyometrik sistemler üç gruba ayrılmaktadır: fizyolojik, psikolojik ve davranışsal karakterlerdir [81].

Çizelge 2.1' de gösterildiği gibi biyometrik sistemlerin karakterlerinin sınıflandırılması yapılmıştır [81]. Yapılan sınıflandırmada fizyolojik ve davranışsal karakterlerin sayısının en fazla olduğu, psikolojik karakterlerin ise en az olduğu görülmektedir. Fizyolojik Biyometrik karakterler üzerine yapılan çalışma sayısı diğer biyometrik karakterlere göre daha fazladır. Bundan dolayı günümüzde yaygın olarak kullanılan sistemlerin aslında fizyolojik karakterlerden elde edildikleri aşikârdır. Fizyolojik karakterlerden elde edilmiş çok sayıda ve farklı şartlarda veri setleri oluşturulduğu için araştırmacıların çalışmalarına kolaylık sağlanmıştır. Uzaktan kimlik tanıma amacıyla genelde davranışsal biyometrik sistemler tercih edilmektedir. Psikolojik karakterler ise doğruluğu hâlâ düşük sevededir fakat tasarım ve geliştirilmesine devam edilmektedir [81].

Çizelge 2.1. Biyometrik Karakterlerin Listesi [81].

<b>Fizyolojik</b>	<b>Davranışsal</b>	<b>Psikolojik</b>
Yüz	Ses	Beyin Fonksiyonu Bilişsel Tabanlı
Parmak İzi	El Yazısı/İmza	
İris	Klavye Tuş Vuruşu	
Retina	Yürüyüş	
Kulak	Nefes Şekli	
Avuç içi	Kalp Atışı	
Toplardamar	Elektroensefalogram	
Ayak İzi	(EEG)	
DNA	Elektrokardiogram (ECG)	

Biyometrik karakterlerin sınıflandırılması araştırmacıların çalışmalarına yön vermektedir. İnsanları ayırt etmek için çok farklı yöntemlerin olması; ayırt etme işleminin nerde kullanılacağı, güvenilirlik seviyesinin ne olacağı gibi pek çok sorunun cevabını bulmamıza yardım etmektedir. Güvenlik sistemlerine her geçen gün daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır.

Genel olarak endüstri 4.0 ile dünyanın hemen her yerinde biyometrik sistemlerin kullanılacağı ve geliştirileceği kaçınılmaz olmuştur. Güvenlik sisteminde genelde kullanılabilir, kolay, maliyeti düşük, güvenilir olması gibi sebepler en çok beklenenler arasında olmuştur. Güvenlik kameraları vasıtasıyla elde edilen görüntülerin analizinde ise işlem süresinin kısalığı önemli yer tutmaktadır. Güvenlik kameralarından elde edilen görüntülerin analizinde; ışık şiddeti, kameranın sabit veya hareketli olması, çözünürlüğü, bir saniyede verdiği görüntü sayısı, odaklanma durumu, otomatik nesne algılaması, görüntüde aranan insan veya cisme olan mesafe uzaklığı gibi pek çok unsur etki etmektedir.

Psikolojik karakterde bireye uzun süreli sinyaller verildiğinde kararlılığı değişmektedir fakat fizyolojik ve davranışsal biyometrik karakterlerle birlikte kullandığında doğruluk açısından yüksek seviyeye çıkmaktadır. Yeni oluşan hibrit model sayesinde aranan kişi hakkında canlılık bilgisini denetleme imkânı vermektedir. Biyometrik karakterlerin farklı özellikler ile karşılaştırılması Çizelge 2.2' de yapılmıştır [81].

Çizelge 2.2. Biyometrik karakterlerin farklı özelliklerle karşılaştırılması [81].

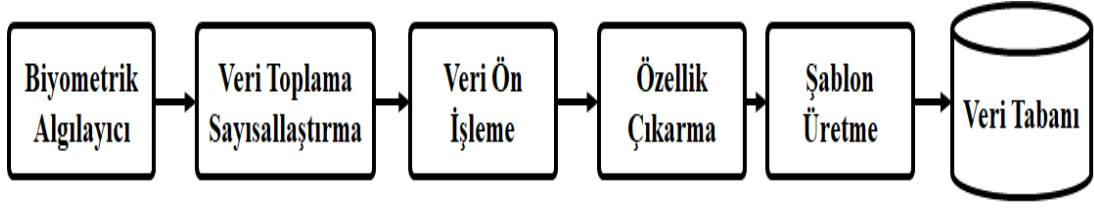
<b>Biyometrik Karakterler</b>	<b>Kararlılık</b>	<b>Doğruluk</b>	<b>Sinyal Toplama</b>	<b>Uygulama</b>
Fizyolojik Karakterler	Nispeten Kararlı	Doğru	Basit	Biyometrik üç fonksiyonun tamamında yaygın kullanılır.
Davranışsal Karakterler	Kararsız	Biraz Doğru	Basit	Çoğunlukla kimlik doğrulama ve yetkilendirmede kullanılır.
Psikolojik Karakterler	Çok Kararsız	Doğru değil	Oldukça Zor	Gelişiminin ilk aşaması henüz bitmemiştir. Yüksek güvenlik amacıyla tercih edilmektedir.

Biyometrik sistemler üç temel görevi: Doğrulama (verification), tanıma (identification) ve izleme listesi (watchlist) olarak tanımlanmaktadır.

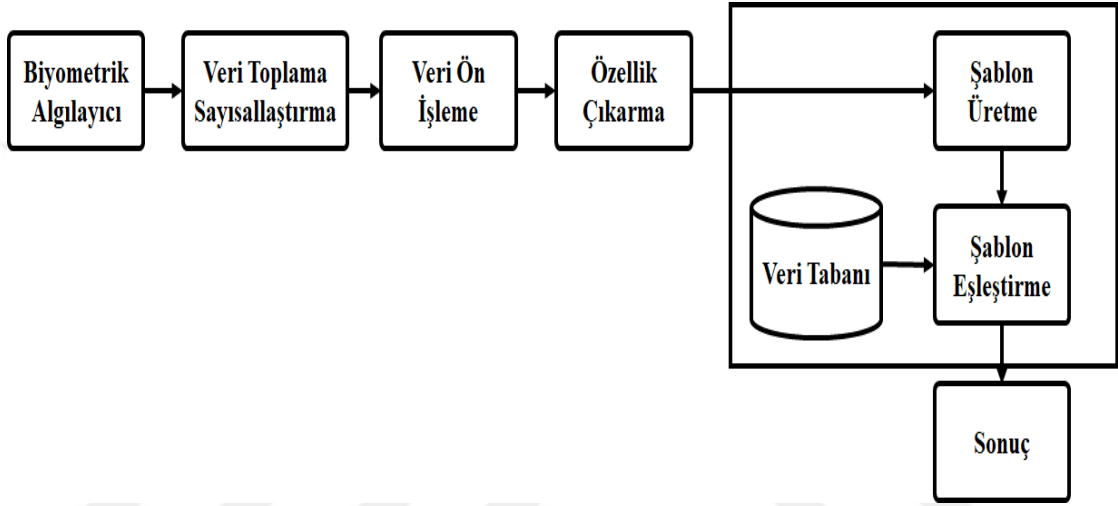
Biyometrik üç işlev aşağıda sıralanmaktadır [81];

- Doğrulama: Kişinin kimlik bilgilerini veri tabanında tutarak sonrasında belirli bir sistemin güvenliği için kullanılan güvenlik arayüzüne kişinin bilgileriyle ilgili işlemleri tamamladıktan sonra anlık olarak alınan kimlik ve biyometrik bilgilerin, veri tabanında kayıtlı olup olmadığını doğrulayarak giriş yetkisi vermekte veya gerekli uyarılar verilerek yanlış kişi olduğu belirtilmektedir.
- Tanıma: Kişinin adı ve şifre işlemlerini girmeye gerek yoktur. Kişiye özgü biyometrik bilgileri veri tabanında tutularak işlem yapılır. Bu tarz güvenlik fonksiyonu genelde sahtekârlıklara karşı daha güvenli ve kullanımı kolaydır.
- İzleme listesi: İzleme listesi genellikle suçluların bulunduğu özel bir listedir. Tanıma fonksiyonuna çok benzerdir. Sık sık kişilerin taraması yapılmaktadır, yapılan taramayı analiz edilmesinde, listede bulunan terörist veya suçlu kişilerin bilgilerini, sistemde test edilen kişiyle karşılaştırır.

Basit bir biyometrik sistem temelde iki kısımdan oluşmaktadır. Şekil 2.6'de sunulan blok diyagramda biyometrik verilerin, algılayıcılar tarafından tespit edildikten sonra veri tabanına her kişiye özgü şablonlara dönüştürülerek kaydedilip kullanıma hazır hale gelmesi ile ilk aşama tamamlanmış olmaktadır. İkinci aşamada eşleştirme işleminin yapılması için Şekil 2.7'da sunulan blok diyagramında algılayıcı tarafından yeni biyometrik veriler alındıktan sonra veri dönüştürme yöntemleri yardımıyla özellikleri çıkarılarak şablon haline getirilir. Yeni oluşturulan şablon; ilk aşamada oluşturulan veri tabanındaki şablonlarla eşleştirme yapılarak aranan kişinin, veri tabanında önceden kayıtlı olması durumu incelenir. Eğer aranan kişinin bilgileri eşleşirse, kişiyi tanıtan bilgileri kullanıma açmakta aksi durumda tanımlı olmadığı uyarısını vermektedir [81].



Şekil 2.6. Biyometrik bilgi süreci [81].



Şekil 2.7. Biyometrik karşılaştırma süreci [81].

Biyometrik algılayıcılar modülü: genellikle kullanıcıdan gelen verilerin tespit edilmesi için kullanılmaktadır. Veri toplama/sayısallaştırma modülü genellikle algılayıcılarla tümleşik halde bulunmaktadır. Tümleşik modül algılayıcıdan gelen verinin işlenmesi için sayısal hale dönüştürme işlemini gerçekleştirmektedir. Dijital sinyaller elde edildikten sonra veri ön işleme modülünde; elde edilen birçok sinyalin aranan biyometrik veri sinyallerinden ayrılması işlemini yerine getirmektedir. Verilen görüntü içinde insan yüzü aranmak istendiği durumlarda insan yüzünün haricinde birçok farklı cisim ve anlamsız renkler olabilir. İnsan yüzü olmayan gereksiz kısımların atılabilmesi işleminin veya görüntü içerisindeki gereksiz bölümlerin belirlenmesi işlemini yapılabilmesidir. Gereksiz verileri temizleme işleminden sonra verilerin tamamının saklanması veya matematiksel modellere göre işlenebilme görevi uzun sürmektedir. İşlem süresini ve sayısını düşürmek için verilerin olabildiğince boyutlarının azaltılması gerekmektedir. Temizlenen verilerin boyutlarını azaltmak için özellik çıkarıcı modülü gerçekleştirmektedir. Özellik çıkarıcı modül de temizlenen veriyi temsil eden ve daha

küçük yer tutan temsilcidir. Verilerde gereksiz kısımlar çıkarılarak işlem kargaşasından arındırılır. Elde edilen özelliklerle yeni tanımlanacak kişiye özgü bir şablon oluşturulmaktadır. Kişilere özgü şablonlar veri tabanlarına kaydedilmektedir. Kişilere özgü biyometrik veriler veri tabanına doğrudan kaydedilmesi güvenlik açısından riskli olacağı için belirli bir şifreleme yapıldıktan sonra veri tabanına kayıt işlemi gerçekleştirilir. Şablon eşleştirme modülünde: farklı matematiksel modellerle elde edilmiş algoritmalar kullanılarak veri tabanına kaydedilmiş şablonlarla, tespit edilen kişiden anlık elde edilen şablon karşılaştırılması işlemi sonucunda yapılarak belirli puanlar verilir. Sonuç modülü sistemin değerlendirilmesinin göstergesidir. Şablon eşleştirme modülünde eğer birden fazla eşleşme çıkarılmışsa en fazla puanı alan kişi tanınan olarak gösterilmek, herhangi bir eşleştirme yoksa kişi tanımlı olmadığı bilgisi verilmektedir. Tasarlanan biyometrik sistemin genel değerlendirilmesinin yapılışı aşağıdaki adımlarla yapılmaktadır [81];

Araştırmacılar her geçen gün farklı birçok biyometrik model tasarlamaktadırlar. Araştırmacıların tasarladıkları biyometrik sistemlerin, doğru tanıma oranlarını ölçmek için; yanlış tanıma oranı (YTO) ile yanlış reddetme oranı (YRO) değerlerine bakılır. YTO: Veri tabanında olmayan kişilerin verilerini; veri tabanında kayıtlı olan kişilerin verileriyle aynı görerek kişileri tanımaması gerekirken tanıyor sonucunu üretmesi olarak tanımlayabiliriz. YRO: Veri tabanında kayıtlı kişilerin biyometrik verilerini doğru olarak eşleştirmemesinden dolayı tanınması gereken kişiyi doğru olarak tanımayan sonuçlar üretilmesidir. Yüksek değerlere sahip YTO veya YRO, biyometrik sistemler için kullanılır değildirler ve (2.1) ve (2.2) numaralı matematiksel denklemler ile hesaplanmaktadır.

$$YTO(\%) = \frac{\text{Yanlış Kabul Sayısı}}{\text{Sistem Tarafından Toplam Kabul Sayısı}} \times 100(\%) \quad (2.1)$$

$$YRO(\%) = \frac{\text{Yanlış Reddetme Sayısı}}{\text{Sistem Tarafından Toplam Reddetme Sayısı}} \times 100(\%) \quad (2.2)$$

Biyometrik sistemlerin performansını ölçmek için genellikle alıcı işlem karakteristiği (AİK) eğrisine bakılır. İki AİK eğrisi hesaplanırken genelde eşit hata oranı (EHO) parametre değeri kullanılır. EHO genelde, bir sistemin karar eşiği olarak YRO'nun YTO'na oranının eşit olacak şekilde ayarlanmasıdır. Biyometrik bir sistem için eğer sonuçta bir kimlik bulunmayacaksa çoktan çoğa eşleşme yapılacaksa genelde kümülatif matematik karakteristiği (KMK) eğrisi doğruluğun ölçülmesinde kullanılmaktadır. KMK eğrisi, bir test görüntüsünün doğru bir şekilde test edilip edilmeyeceğinin belirlenmesinde doğruluk yüzdesinin çizimini sağlamaktadır. YTS'nin analiz etme işleminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tasarlanan biyometrik sistemin kullanıcılar tarafından kullanım rahatlığını ölçmek için başarısızlık oranı (BO) ve yeniden deneme oranı (YDO) kullanılmaktadır. BO: Başarısız kayıt yüzdesini ölçer. Başarısız kayıt, kaydedilen örneklerle oluşturulan şablonun yeterli özelliği içermemesinden dolayı oluşmaktadır. Bir kullanıcının ortalama kimliğini bulma çalışması için (2.3)'deki matematiksel eşitlik kullanılır [81].

$$BO(\%) = \frac{\text{Başarısız Kayıt Sayısı}}{\text{Toplam Giriş Kayıt Sayısı}} \times 100\% \quad (2.3)$$

YDO ise biyometrik olarak kullanıcının kaç defa denenmesi gerektiğinin ortalamasını hesaplamak amacıyla (2.4) 'deki matematiksel eşitlik kullanılır [81].

$$YDO(\%) = \frac{\text{Toplam Eşleşme Deneme Sayısı}}{\text{Toplam Doğru Kimlik Numarası}} - 1 \quad (2.4)$$

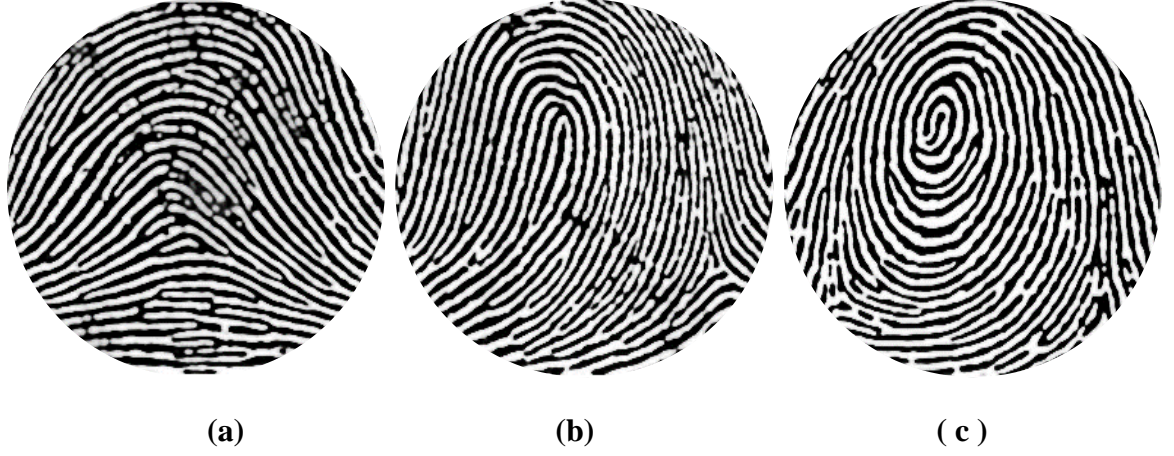
Önerilen biyometrik sistemi değerlendirmede; veri tabanı boyutu, veri kalitesi ve test ortamları etki etmektedir. Farklı biyometrik sistemleri değerlendirmek karşılaştırmanın yapılması için önemli olmaktadır. Biyometrik sistemler günümüzde kullanılması daha fazla yaygınlaşacaktır. Popüler hale gelen biyometrik sistemlerin çalışmalarının performans analizlerinin yapılması önemli olmaktadır [81].

### 2.3.1. Fizyolojik Karakterler

Biyometrik karakterler sınıfında yerini alan fizyolojik karakterlerin hızlı gelişmesinden ötürü günlük hayatta kullanılabilirliği artmıştır. Fizyolojik karakterlerin gelişim sürecinde araştırmacılar tarafından farklı çalışmalar denenmesi ve bilişim sistemlerindeki hızlı değişimden ötürü fizyolojik karakterlerin tanınmasının gelişerek artmasına sebep olmuştur. Yeni nesil bilgisayarların ve elektronik devre elemanlarının işlem yapma güçlerinin artmasından dolayı uzun süren matematiksel işlemleri geçmiş yıllara göre daha kısa sürede hesaplayabilmektedirler. Bilgisayarların işlem yapma gücünün artmasından dolayı fizyolojik karakterler üzerinde uzun zaman alan yöntemler daha kısa sürede tamamlanmaktadır. Fizyolojik karakterlerin daha kısa sürede tanınabilmesinden ötürü günümüzde kullanımı kolaylaşmış ve yaygınlaşmıştır.

#### 2.3.1.1. Parmak İzi Tanıma

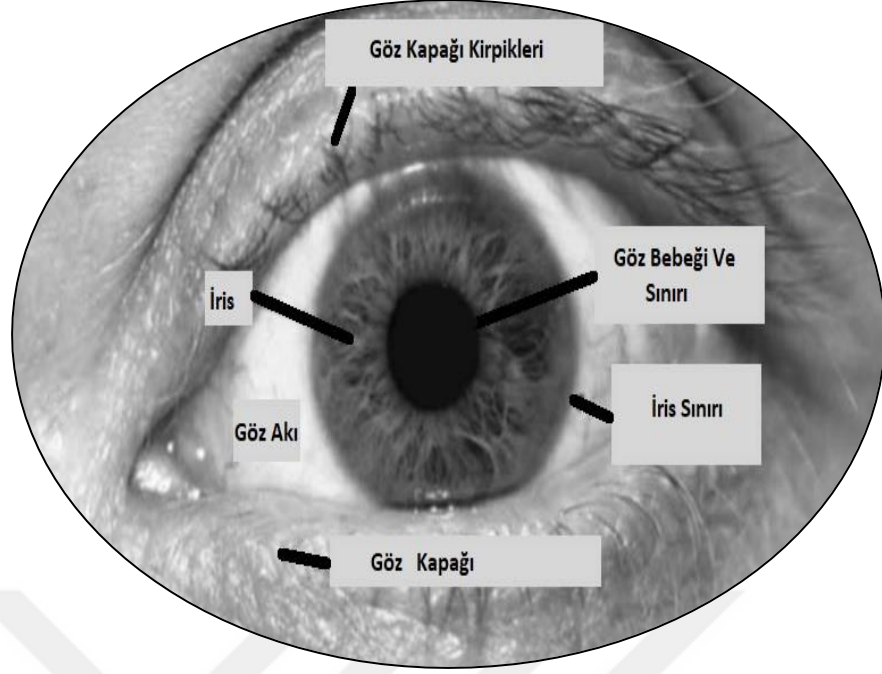
Francis Galton ve Edward Henry, insanların parmak izlerinin farklı olmasından dolayı kimlik tespitinde kullanılabilirliğini 19.Yüzyılın sonlarında çalışmalarında göstermişlerdir [82]. William Herschel'in torunu olan William James Herschel tarafından 1856 yılında bulunan kızılötesi spektrumu sayesinde parmak izini çıkarmayı başarmıştır [82]. İki farklı insanın parmak izlerinin aynı olması için yaklaşık olarak 64 milyar olasılığın test edilmesi gerekmektedir [83]. Parmak izlerinin derin kesik, yaralanma veya yanma gibi durumlar olmadıkça yüksek ayırt ediciliği sayesinde güvenlik, pasaport, adli bilişim, kriminal, personel takip gibi pek çok uygulamada kullanılmaktadırlar. Tam otomatik parmak izi tanıma sistemleri, parmak izi görüntülerinden belli özellik noktalarının değerlerini sınıflandırarak eşleştirme işlemi yapmaktadır. Bilgisayarlar kullanılarak gerçekleştirilen otomatik karşılaştırma işleminin bilgisayar kullanılmadan yapılan manuel sistemlere göre daha hızlı ve güvenilir olmaktadır. Galton ve Henry'in parmak izlerini tanımak amacıyla önerdikleri; yay (arch), döngü (loop) ve helezon (whorl) isimlerinde sınıflandırma Şekil 2.8'de sunulmuştur [84]. Parmak izi eşleştirmede, iz tabanlı, görüntü tabanlı veya piksel tabanlı yöntemler yerine nokta tabanlı eşleştirme yöntemi tercih edilmektedir. Eşleştirme işleminin yapılabilmesi için temel morfolojik görüntü yöntemleri kullanılır. Parmak izi tanıma yöntemlerinde eşleştirme kısmında doğruluk ve hız çok önemlidir.



Şekil 2.8. (a) Yay (arch) (b) Döngü (loop) (c) Helezon (whorl) [84].

#### 2.3.1.2. İris Tanıma

1936 yılında göz doktorları tarafından gözün iris bölümü kullanılarak kişilerin ayırt edilebilmesi fikri literatüre geçmiştir. İnsanların gözlerindeki irislerinin birbirlerinden farklı olduğu 1985 yılında ispatlanmıştır. John Daugman tarafından 1993 yılında bilgisayar kullanılarak otomatik iris tanıma sistemi gerçekleştirilmiş ve ismini “iris2pi” vermiştir. Daugman 1994 yılında patentini alarak insanların hizmetine sunmuştur [81]. Kullanıcı ile fiziksel temas olmadan basit bir CCD (charge coupled device) kamera ile belirli uzaklıktan fotoğrafı çekilmiş göz görüntüsünden, irisin bulunması işlemi olarak bilinmektedir. İris tanıma süreci genelde şu sırayla işlenir: görüntüyü elde etme, ön işleme, özellik çıkarma, şablon oluşturma, eşleştirme/tanımlama. Tanımlama, iki şablonu karşılaştırarak elde edilmektedir. Veri tabanına kayıtlı bilinen iris şablonlarıyla, bilinmeyen iris şablonlarının görüntüsü karşılaştırılır. Şekil 2.9’de bir gözün genel yapısı gösterilmektedir. İris tanımada, bireylerin gözlük kullanımı doğruluk oranında olumsuz etkiye sahip değildir. Parmak izlerine göre yaklaşık 2.5 kat daha fazla desen içerdiğinden daha güvenilir olduğu bilinmektedir. İris görüntüsünün çekildiği ışık dalga genişliği önemli olmaktadır.



Şekil 2.9. Gözün Bölümleri [81].

#### 2.3.1.3. Retina Tanıma

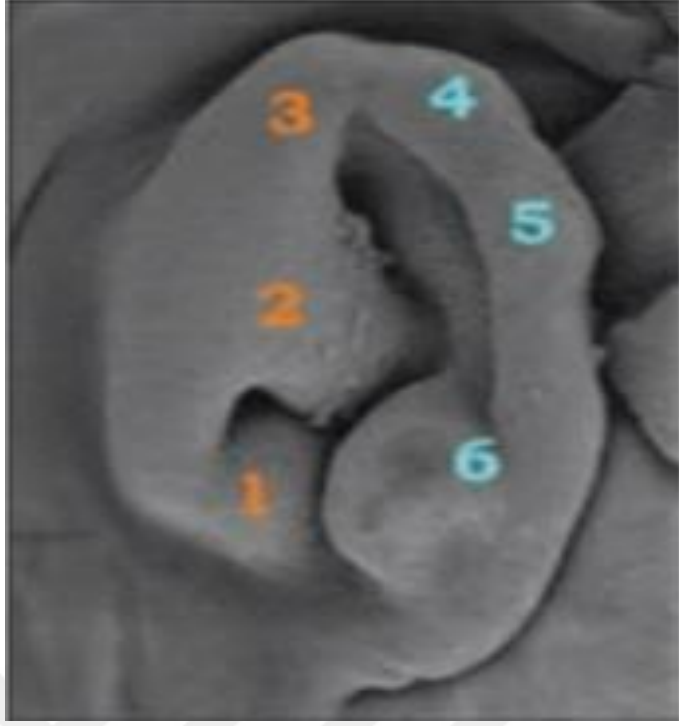
Günümüz biyometrik sistemlerinde, DNA'dan sonra en eşsiz ayırt edicilik gözde bulunmaktadır. Göz bebeğinin arka tarafında bulunan retina güvenirligi en yüksektir. İris tanımanın güvenirligi, retinadan sonra gelmektedir. İris gözün ön tarafında bulunurken, retina gözün arka tarafında bulunmaktadır ve damarlardan oluşmuştur. Retina tanıma teknolojisi, 1970'li yıllarda ortaya çıkmıştır. 1980'li yılların başına kadar ticarileşmemiştir. Retina tanıma teknolojisi, diğer biyometrik tanıyıcılara göre fazla avantajı olsa da ticari olarak piyasada sınırlıdır [85]. Ticari olarak kullanılmamasının sebebi maliyetinin çok yüksek olmasıdır. Retina, gözün arkasında olduğu için kişilerin kullanabilmesi için gözün sisteme yakın olması ve tam oturması gerekmektedir, kişilere müdahalede bulunması ve sistemin çalışmasının hantal olması dezavantajları arasında gösterilmektedir. Şekil 2.10' de genel retinanın görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 2.10 Retina [85].

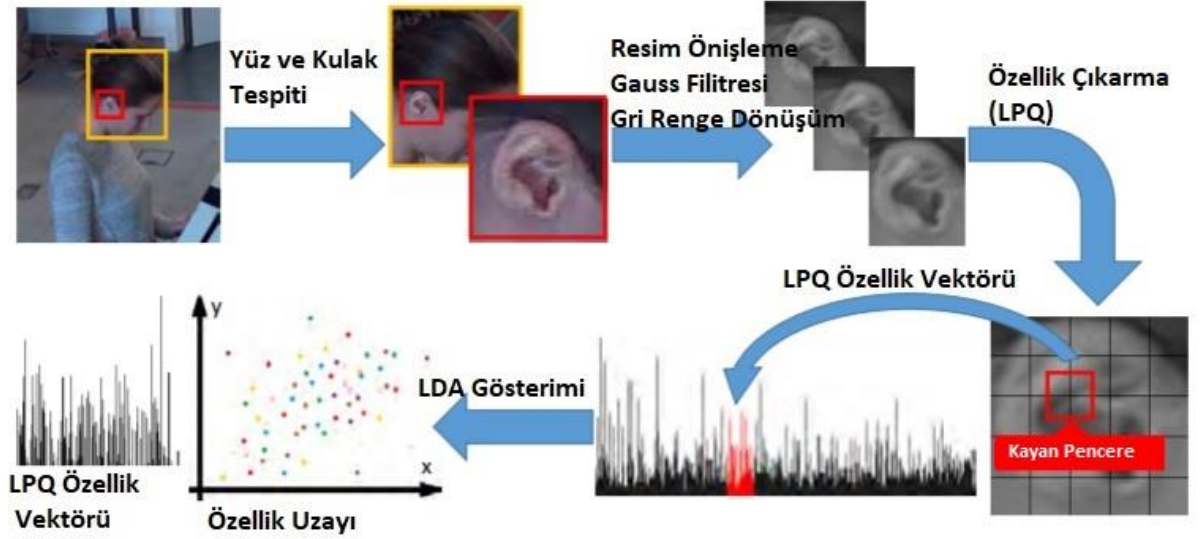
#### 2.3.1.4. Kulak Tanıma

İnsanoğlunun embriyo döneminin beşinci haftasındayken oluşumu başlamakta ve dokuzuncu haftanın sonlarına doğru gelişimini tamamlamaktadır. Şekil 2.11’ de gösterildiği gibi 1-3 numaralı çıkıntılar kulağın birinci kısmını oluştururken 4-6 numaralarla işaretlenmiş çıkıntılar ise kulağın ikinci kısmını oluşturmaktadır [86]. İnsanlar, genelde retina ve iris tanıma sistemlerinde gözlerinin sağlığını bozacağı için tedirgin olurlar. İnsanlar gözlerini kameraya tutmaları veya doğrudan ışığa maruz kalmalarından ötürü tedirgin olmaktadır. Parmak izi tanıma sistemlerinde ise parmağın, tarayıcı sistemle doğrudan temas halinde olması veya tüm çalışmalarında parmaklar vazgeçilmez olduklarından zamanla hasar oluşmakta veya üstündeki izler zayıflamaktadır.



Şekil 2.11 Kulak Bölümleri [86].

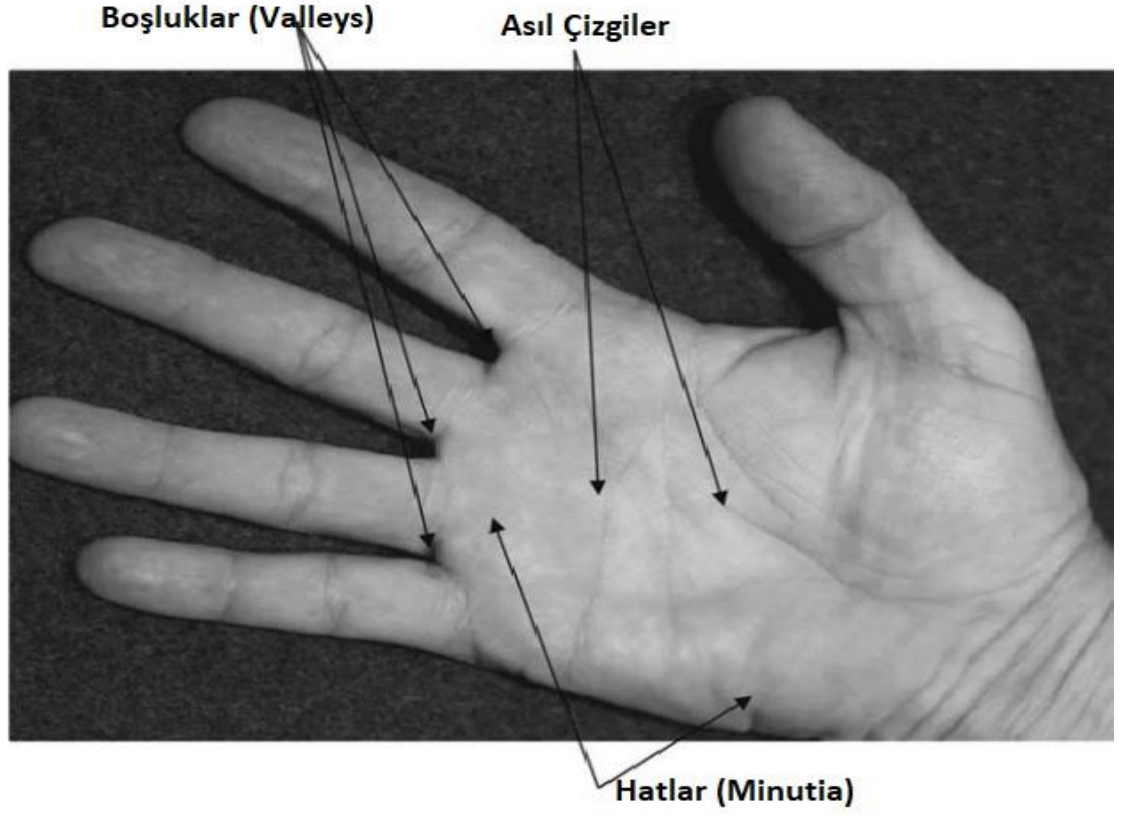
Richard Imhofer, 1906 yılında insanların ayırt edilebilmesi için 500 farklı insan kulağı üzerinde araştırma yapmış, araştırmasının sonucunda insan kulaklarının ayırt edilebilmesi için 4 çeşitli sınıflandırma özelliğine gidilebileceğini savunmuştur [87]. Şekil 2.12’de sunulan genel kulak tanıma sisteminin çalışması analiz edildiğinde; görüntü içerisinde insanın kafa yapısı tespit edilerek kulak bölgesi ayırt edilerek çıkarılmaktadır. Elde edilen kulak görüntüsünü gri renge dönüştürülmesi ve temel morfolojik işlemler yapılarak kulağın kıvrımları daha iyi ayırt edilir hale gelmektedir. Kulağın şekillerinden özellik çıkarmak için kulak görüntüsü içerisinde 3x3 piksel büyüklüğünde bir pencereyi görüntü üzerinde kaydırılarak LPQ (local phase quantization) özellik vektörleri çıkartılıp, sınıflandırılarak veri tabanlarına kaydedilmektedir.



Şekil 2.12. Kulak tanıma sistemi [87].

#### 2.3.1.5. Avuç İçi Tanıma

İnsanoğlunun düşüncelerini, eylemlere dönüştürmesi ve üretilmesini sağlayan en önemli organları arasında elleri gelmektedir. Her insanın eli eşsiz şekilde tasarlanmıştır. İnsan elinin avuç içleri de yine her insanda farklıdır. Avuç içi tanıma (palm recognition), insanın avucunun benzersiz özelliklere sahip olmasına dayanmaktadır. Kullanım alanları her geçen gün artmaktadır özellikle günümüzde sağlık bakanlığının hasta tanıma, bankalarda, firmaların veya kurumların güvenlik sistemleri gibi pek çok yerde tercih edilmektedir. Biyometrik sistemler arasında geçmişi köklü olmasına rağmen ticarileşmesi 1990'lı yıllara dayanmaktadır. William Herschel, çalışanların okuma yazma bilmediği için ilk defa avuç içini 1858 yılında kullanmıştır. Bilgisayar kullanarak yapılan otomatik avuç içinin tanınması işlemi 1990'lı yıllarına dayanmaktadır [81]. Şekil 2.13'de gösterilen avuç içi tanımadaki kullanılan özelliklerde ilk olarak kırışıklıklar ve doku gelmekte, ikinci olarak parmak izine benzeyen ve ismini minutia olarak adlandırılan hatların şekilleri ve dokularından oluşmaktadır [81].



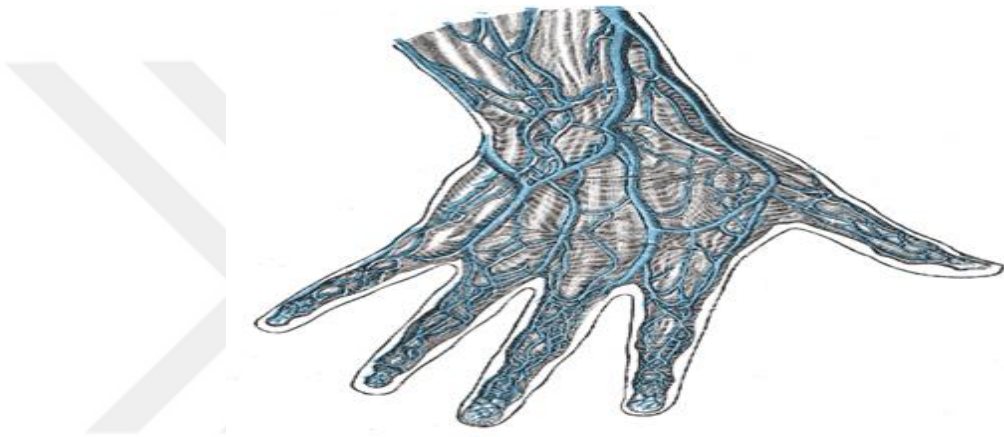
Şekil 2.13. Avuç içi tanıma sistemi [81].

#### 2.3.1.6. Toplar Damar Tanıma Sistemi

İnsanın kan dolaşımını sağlayan toplardamarların deseni, her insana özgü olmasıyla muhteşem yaratıldığımızın bir delilidir. Toplardamarlarımızın desenlerinin çıkarılması için genelde kızılötesi ışık kullanılmaktadır. İnsanın avuç içindeki derisinin altında kalan bu damarların otomatik taramasını yapan Fujistu kızıl ötesi ışıklardan yardım alarak bireylerin kimliklerinin tespitini yapmıştır [81]. Şekil 2.14’de gösterilen avuç içi toplardamarların desenini temassız olarak çıkartılmasıyla, bireyin kimliğinin ayırt eden sistem dünyada dağıtılmıştır [81]. Toplardamar tanınmanın güvenlik seviyesi yüksek olmasına rağmen gelecekte kullanılmasının artmasıyla güvenlik risklerinin olabileceği aşikârdır [81]. Şekil 2.15’de eldeki damarlar gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Avuç içi toplardamar tanıma sistemi [81].



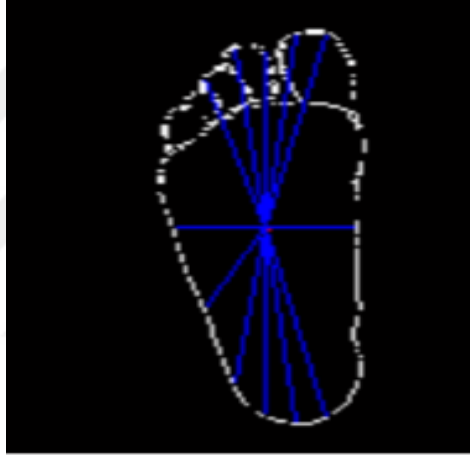
Şekil 2.15. El bölgesindeki büyük damarlar [88].

#### 2.3.1.7. Ayak İzi Tanıma Sistemi

İnsanın, bebeklik döneminde ayak yapısının büyük bölümü kıkırdak dokudan oluşurken yaklaşık altı yaşlarına gelince kemik yapısı şeklini almaktadır. Şekil 2.16’da ki ayak geometrisi aslında herkesin kendine özel bir ayak şeklinin olduğu temeline dayanmaktadır. Ayak gelişim evresini tamamladıktan sonra şekil değiştirmesi neredeyse imkânsızdır. Bundan dolayı zamanın ilerlemesi, yaşlanma gibi faktörler kimlik tespitinde etki etmemektedir. Şekil 2.17’de insan ayağına ait 16 farklı özellik noktaları ile merkez noktaları bulunduktan sonra 12 özellik noktası ayırt edilmesi gerekmektedir. Özellik noktaları arasındaki mesafeler ölçülerek hesaplanmaktadır. Veri tabanındaki verilerle özellik noktaları arasındaki mesafeler karşılaştırma yapılarak kişi ayırt edilmektedir [89],[90] .



Şekil 2.16. İnsana ait ayak görüntüsü [89].

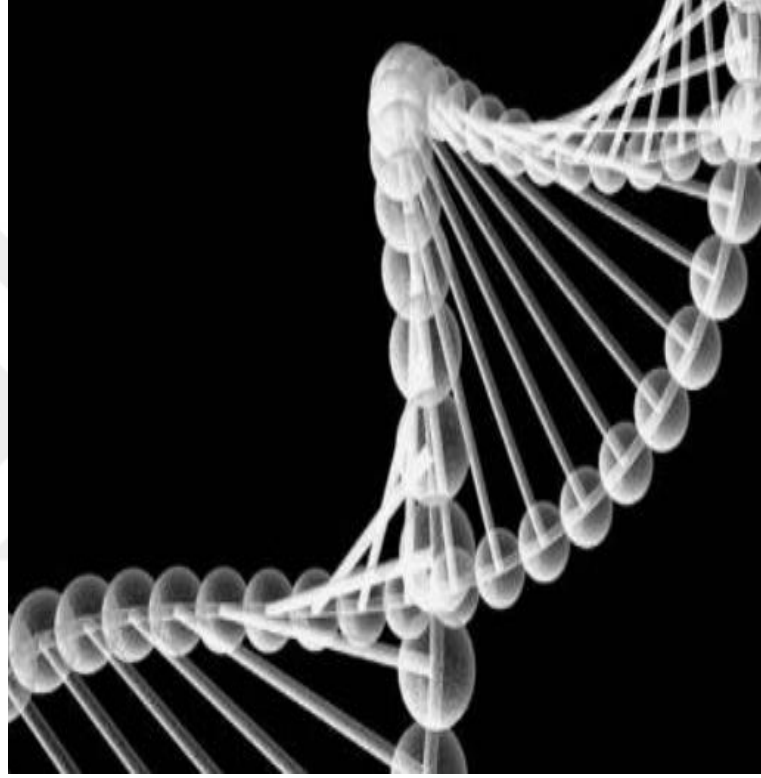


Şekil 2.17. İnsana ait ayak görüntüsünden 12 nokta tespiti ve aralarındaki uzaklığın ölçülmesi [89].

#### 2.3.1.8. DNA Tanıma Sistemi

DNA (Deoxyribonucleic Acid), adenin, sitozin, guanin, timin isimleri veriler dört parçadan oluşmaktadır. Alec Jeffreys isminde araştırmacı 1984 yılında DNA kullanılabilirliğini ortaya çıkarmıştır. 1980'li yıllarda ise FBI, mahkemelerde delil olarak kullanılabilceği fikriyle yüksek bütçeli araştırmalar yapmıştır. 1990 yılında FBI, CODIS (combined dna index system) adındaki proje ile milyonlarca insanın DNA verilerini toplayarak kullanıma hazırlamıştır. Emniyet güçleri; suçluları, şüphelileri, ülkeye yasa dışı yollarla giren insanları tespit edilebilmesi için kullanmaya başlamışlardır. Uluslararası aranan suçluların tespitinde ayrıca kolaylık sağlamaktadır [85].

Şekil 2.18’de DNA yapısı gösterilmektedir. DNA tanıma sisteminde, her insanda benzersiz şekilde sıralanan DNA’nın dört temel taşı (adenin, sitozin, guanin, timin) eşsiz kod oluşturmaktadır. Benzersiz DNA kodların insan tanınmasında kullanılması temeline dayanmaktadır. DNA verilerinin genelde tek yumurta ikizleri hariç her insanda benzersiz bir DNA modelinin kodu vardır. Günümüzde çoğunlukla adli tıp uygulamalarında, üst seviye güvenlik gerektiren birimlerde, sağlık alanındaki araştırmalar gibi pek çok farklı alanda kullanılır hale gelmiştir [85],[91].



Şekil 2.18. DNA tanıma sistemi [85].

### 3. YÜZ TANIMA SİSTEMLERİ

Bilgi güvenliğinin alt disiplini olan yüz tanıma ve algılama sistemleri; her türlü gizlilik, veri bütünlüğü ve kullanılabilirliğinin güvencesini vermektedir. Bilgi güvenliği için kullanılan çok farklı araç ve teknikler vardır. Bir kişinin kimliğinin doğrulanması işlemi önemlidir. Geleneksel yöntemlerde bir kişinin tanınabilmesi amacıyla ya şifreli kimlik kartları(PIN) veya anahtar doğrulaması yapılmaktadır. Geleneksel yaklaşımların başlıca dezavantajları, şifrelerin sıklıkla unutulabilmesi, başkaları tarafından şifrelerin çözülebilmesi, şifrelerin kaybolması gibi pek çok sebepler yazılabilmektedir. Dünyada pek çok kurum ve kuruluş, kişileri doğru tanıyabilmek için artık biyometrik güvenlik sistemlerini tercih etmektedirler. Biyometrik tekniklerin kullanımı bir kişiyi benzersiz olarak kod verilerek eşsiz yapılabilmesidir. Biyometrik kimlik doğrulama bilgi güvenliğinde kimlik belirleme, kimlik eşleştirme, yanlış kişiyi ret edebilme gibi eylemleri desteklemektedir [92]. Biyometrik sistemler modern teknolojiye kişiyi belirleme işleminin doğruluğu ve pratikliğini artırmaktadır. Farklı biyometrik yöntemleri bulunmaktadır. Biyometrik sistemler 3 farklı kategoride incelenmiştir [92].

- Fiziksel kategori: genelde fiziksel ölçümler referans alınarak doğrulama işlemi yapılmaktadır (parmak izi, yüz tanıma, avuç içi, kulak tanıma gibi).
- Kişisel performans kategorisi: doğada geçici olan özelliklerin belirlenmeye çalışırken kişilere özgü olan performanslarının ölçülmesi işlemine dayanılmaktadır (konuşma, yazma, klavye vuruşu, yürüyüş gibi).
- Kimyasal biyometrik kategori: insanların koku alması, terlemesi gibi ürettikleri kimyasal işaretleri genelde ölçmektedir.

Joao Barros, biyometrik sistemlerin ilk örneğini parmak izleri üzerinde gerçekleştirdiği bilinmektedir. 1890 yılları da Alphonse Bertillon suçlularını tespit etmek için vücut ölçüleri üzerinde çalışmıştır. Uygulamalı matematikçi olan Karl Pearson istatistik bilimi ile biyometri alanını ilişkilendirerek çok faydalı çalışmaları bilime sunmuştur. Yaygın olarak kullanılan biyometrik sistemlerin avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. İris tanıma sistemleri en doğru tanıma sistemleri olması rağmen maliyeti oldukça pahalı olduğu için fazla tercih edilmezler. Parmak izleri ise güvenilirdir fakat parmak izleri kullanılan sistemlerde kişinin sisteme fiziksel müdahale etmesi gerektiği için çoğu insan fazla kullanmak istememektedir.

YTS'de farklı biyometrik sistemlere göre fazla dezavantajı yoktur. Maliyeti oldukça düşük ve insanlar tarafından herhangi bir müdahale olmaması artı yönlerindedir. YTS, kişisel verilerin korunması ve güvenli sistemler oluşturulması arasında dengeyi sağlamaktadır. Son yıllarda araştırmacılar tarafından, kişileri tanımak amacıyla genelde tercih edilen YTS'ni olduğu bilinmektedir. Yüz tanıma yaklaşımları geleneksel olarak: yüzü oluşturan gözler, kaşlar, burun, dudaklar, çene şekli; mekânsal ilişkiler gibi yüz özelliklerinin büyüklükleri, konumları ve aralarındaki mesafeleri hesaplanması olarak bilinmektedir. İnsanlar karşılaştıkları yüzleri oluşturan parçaları çok hızlı ve kolay bir şekilde analiz yaparken; bilişim sistemleri için yüzün analiz edilmesi işlemi insanlardaki gibi kolay olmamaktadır. Son yıllarda makine öğrenmesi ve derin öğrenmede yapılan çalışmalar YTS'nin doğruluğu ve çalışma hızında artış sağlamışlardır. Araştırmalarda ciddi artışın olmasına rağmen nihai hedef olan bir insan gibi yüzü tanıyabilme aşamasına henüz ulaşılmamıştır. Araştırmacıların nihai hedefe ulaşamamış olmasından dolayı çalışmaları hızla devam etmekteledir [92].

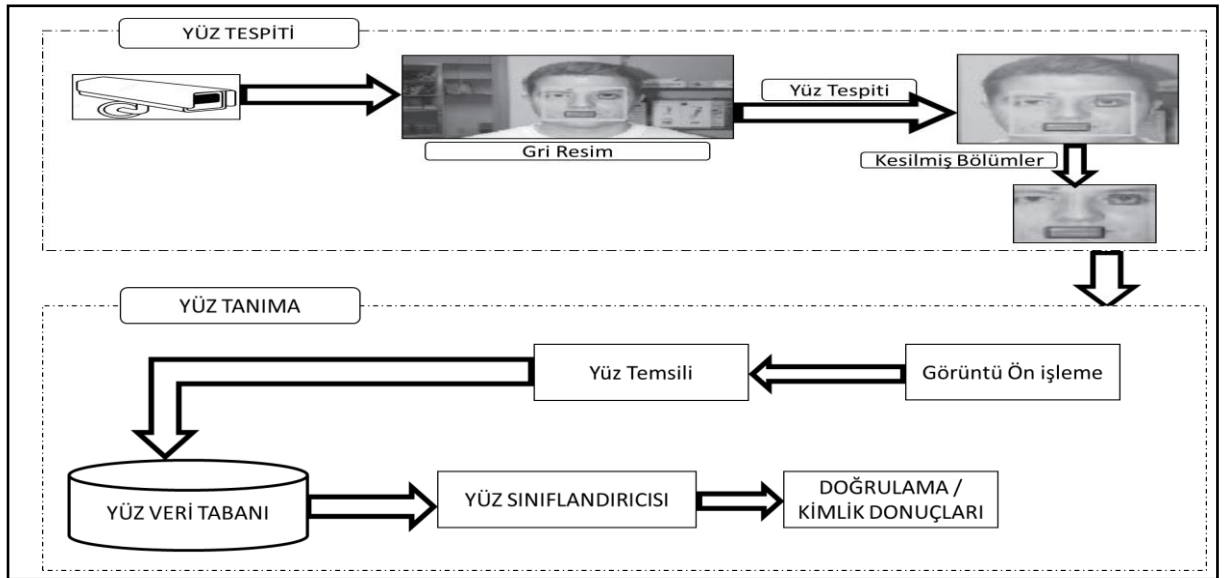
### **3.1. OTOMATİK YÜZ TANIMA SİSTEMLERİ**

1973 yılında Takeo Kanade tarafından doktora tez çalışması olarak ilk kez otomatik YTS üzerinde çalışılmıştır. İlk gelişme dönemlerinde yüz tanıma tekniklerinin insanlara fazla müdahaleci olmadan sonuca eriştiği görülmüştür.

Bilişim sistemlerinin geçmiş dönemlerdeki performansının zayıf olmasından dolayı büyük yüz verilerinde veya kişisel yüzlerde bile yüzü temsil eden özelliklerin farklı olmasından dolayı istenilen doğruluk seviyesine ve performansa erişilmemiştir. 1990'lı yıllarda Kirby ve Sirovich tarafından insan yüzünü temsili görüntüsünün, boyutunun düşürülmesinde Karhunen-Love adlı yöntem kullanılarak başarılı olmuşlardır. Turk ve Pentland ise özyüzler (eigenfaces) yöntemini önererek otomatik YTS'de çok önemli gelişmesini sağlayacak temel prensipleri sağlamışlardır. YTS, tanınması istenilen kişinin yüz görüntüleri kullanılarak, tasarlanan sistem tarafından eğitilmesi gerekmektedir. Eğitilen sistemde kişinin ne kadar farklı görüntüsü eklenirse sistemin doğru tanıma oranı başarılı olacaktır. Kişinin yanlış görüntüler ile sistemin eğitilmesi sonucunda doğru kişinin tanınabilme olasılığı azalmaktadır. Eğitilen görüntüler arasından aranan bir kişinin yüzü sorgulanmak istendiğinde her adayın görüntüsü için bir puan verilmekte ve karşılaştırma işleminde verilen puana göre belirlenen eşik değeri belirlenmektedir. Belirlenen eşik değerine ulaştığında önceden tanımlanan uyarı modülü kısmı aktifleşerek

kişi ayırt edilmektedir. YTS’de farklı ihtiyaçlara göre tasarımlar mevcuttur. YTS genelde yüz tanıma, kimlik doğrulama, kimlik eşleştirme, çoklu kimlik belirleme gibi pek çok uygulamalarda kullanılmaktadır. Otomatik yüz tanıma teknikleri genel olarak iki aşamada çalışmaktadır. Şekil 3.1’deki blok şemada yüz tespiti ve tanıma süreci sunulmaktadır. Sürecin ilk adımı görüntü veya video içerisinde yüzlerin tespit edilmesi olmaktadır. İkinci aşamada ise YTS çalıştırılarak kişi tanımlanması yapılmaktadır. İlk aşama olan yüz tespiti işleminde, görüntü içerisinde yüzün olmadığı arka plandaki görüntüden yüzü ayırt edilebilmesi amacıyla yüzün temel özelliklerini görüntüde aranarak yüzün yerinin bulunmasıdır [92].

Yüz tanıma işlemi ise genelde doğrulama ve tanımlama işlemlerinden oluşmaktadır. Yüz tanıma aşaması sırasında görüntüden elde edilen yüz görüntüsü ile daha önceden isimlendirilen veri tabanı ile karşılaştırılır. En uygun eşleşen yüzleri arayarak doğru kişiye erişilmek istenir. Yüz tanıma tekniklerinin son aşaması olarak kimlik tespiti ve doğrulaması işlemi gelmektedir. Kimlik belirleme işlemi aday yüz ile iki veya daha fazla yüz kümesi ile karşılaştırılır. Yüz doğrulama işlemi ise test yüzünü veri tabanındaki bilinen başka bir yüz ile karşılaştırma işlemidir. Doğrulanacak veya tanınacak görüntünün video dosyası veya sorgu görüntüsü olması durumunda, sorgu görüntülerinin karşılaştığı resimlere galeri görüntüleri adı verilmektedir [92].



Şekil 3.1. YTS blok şeması [92].

Yüz tanıma teknolojisi; otomatik YTS ilk zamanlarına göre ileri derecede çalışmalar yapılmıştır. Genelde yüz tanımada en büyük problemler olan aydınlatma, kamera ile yüz arasındaki mesafe, yüzün bazı bölgelerinin kapatılması veya yüzün biçimsel olarak değişmesi gibi pek çok olumsuz durumda başarı oranları yirmi yıl öncesine göre ciddi oranda artmıştır. Pasaport kontrollerinde kullanılan fotoğraflarında ise doğru tanımanın hata oranı yüksek olmaktadır, daha az kontrollü sistemlerde doğruluk performansı daha da düşmektedir. Tanıma sistemi için oluşturulan görüntülerin eğitilmesinde standart görüntüler (ışık şiddeti, poz açısı, mesafe gibi) kullanılarak elde edildiyse, test verisinin farklı durumlarda veya koşullarda yapıldığında doğru tanınması zor bir problem olarak bilinmektedir. Ticari olarak kullanılan pek çok YTS performansı kabul edilecek seviyeye ulaştığı için insanlar yaygın olarak kullanabilmektedirler. Farklı iki kaynak veya görüntünün elde edilerek resimlerdeki yüzü tanımak oldukça zor problemdir. Mevcut YTS bazen basit bir arka plandan ve özel aydınlatma gerektiren bazı kısıtlamalar kullanarak yüz görüntülerini elde etmek için kullanılmaktadır. Geniş ölçekte elde edilen resimlerde otomatik olarak yüz bölgesinin bulunması gerekmektedir. Eğer görüntüde bir insan yüzü varsa önce yüzün konumu bulunur sonrada genel bir bakış açısı taranarak doğruluk işlemleri yapılır. Görme tabanlı YTS’de görüntülerde insan yüzünün resimlerde yüksek derecede değişken olmasıdır [92],[93].

Genel olarak görüntünün değişken parametresi; kafanın 3 boyutlu duruşu, ışıklandırma, yüz ifadesi, yüz kılları, yaşlanma ve bireysel görünümünün benzerliği neden olduğu görülmektedir. Günümüzde kullanılan görme tabanlı tanıma sistemleri; görünüm temelli ve geometrik temelli olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Yüzün bütünsel dokusunun özelliklerinin tamamını kullanan görünüm temelli teknikler ile yüzün geometrik özelliklerini temel alan geometrik temelli teknikleri olarak bilinmektedir. Bilimsel çalışmalar incelendiğinde görünüm tabanlı sistemlerin geometrik tabanlı sistemlere göre daha iyi oranda tanıma sağladığı tespit edilmiştir. Geometrik tabanlı sistemlerde, düşük kalitede ve çözünürlükteki görüntülerde özellik çıkarmak oldukça zordur. Görünüm tabanlı sistemlerdeki zorluklar ise kafanın pozları ve aydınlatma durumlarına göre sınırlamalar gelebilmektedir [92],[93].

Görünüm tabanlı sistemlerde yüzün iç ve dış bileşenleri, belirginlik kısımlarında yüz bileşenlerinin yerel dokusunu oluşturma tanıma sürecinde vazgeçilmez özellikler olarak kullanılmaktadır. Geometrik ve görünüm tabanlı sistemleri karıştırarak daha yüksek performans elde edilmektedir. Otomatik YTS için genelde üç veri setine ihtiyaç duyulmaktadır [92],[93].

- 1.veriseti: Şekil 3.2’de sunulduğu gibi insan yüzü dışındaki görüntülerden oluşmaktadır.
- 2.veri seti: Şekil 3.3’de gösterildiği gibi sisteme tanıtılan yüzler bulunmaktadır.
- 3.veri seti: Şekil 3.4’de gösterildiği gibi sisteme tanıtılmayan yüz görüntülerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.2. Karışık nesne görüntüleri [92],[93].

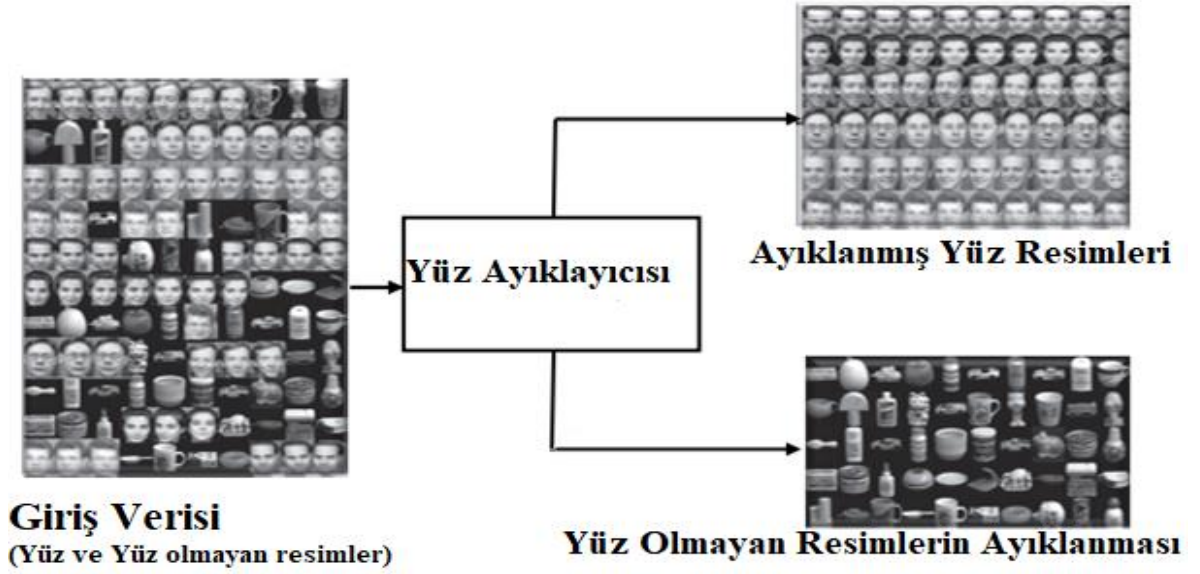


Şekil 3.3. Sistem tarafından bilinen yüz veri kümeleri [92],[93].



Şekil 3.4. Sistem tarafından bilinmeyen yüz veri kümesi [92],[93].

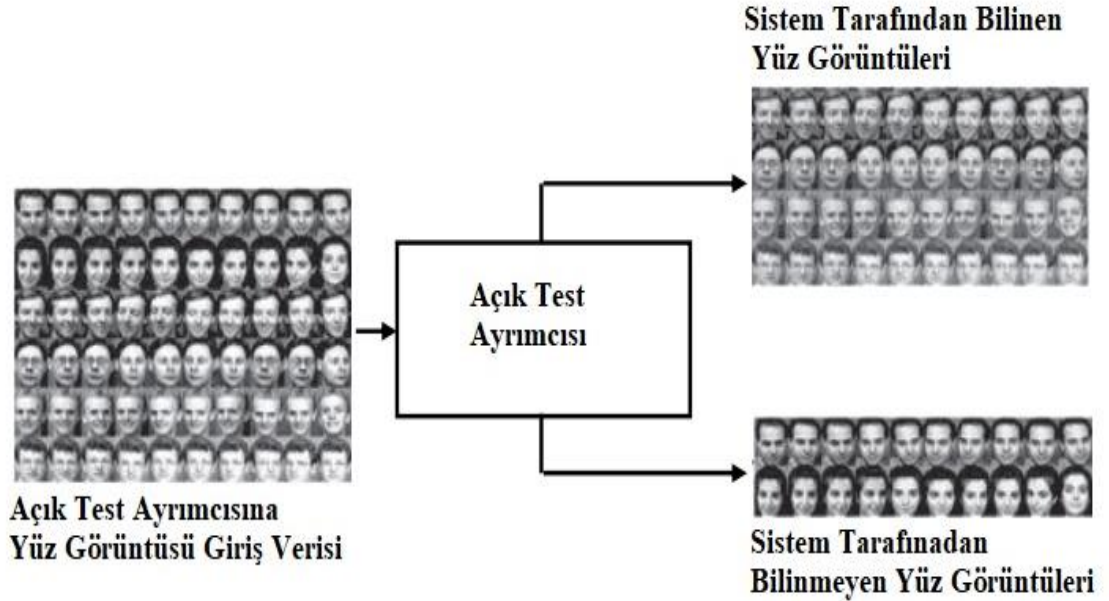
Sistem tarafından tanınan yüzler, tanımsız yüzler ve yüz olmayan görüntüler, Şekil 3.5'te sunulan temel sisteme veri olarak girilmektedir. Algılama modülü yüz görüntüleri ile yüz olmayan görüntüler arasında ayırım yapabilmek görevinde kullanılmaktadır [92].



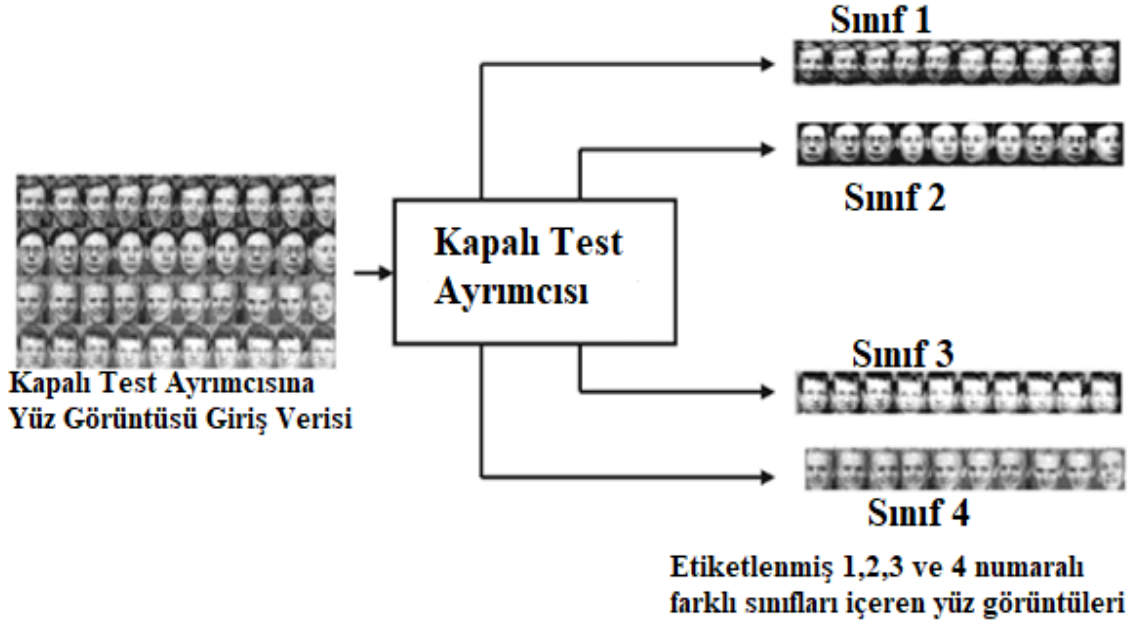
Şekil 3.5. Yüz tespit süreci [92].

Yüz tanıma işlemini sağlayan 2 temel modül bulunmaktadır [92].

- Şekil 3.6'de sunulan açık test modülü ile doğrulama işlemini gerçekleştirerek yüzün sistem tarafından tanınması veya tanınmamasına karar verilmektedir.
- Kapalı test modülü ise sınıflandırma etiketinin Şekil 3.7'te sunulan tanımlama sistemi ile ayırt edilerek karşılaştırma işlemini gerçekleştirmektedir.



Şekil 3.6. Açık test sınıflandırma modülü [92].



Şekil 3.7. Kapalı test sınıflandırma modülü [92].

YTS genellikle;

- Yüz tespiti yapılması
- Yüze ait özelliklerin çıkarılması
- Yüz ait özelliklerin eşleştirilmesi işlevlerini yerine getiren farklı fonksiyonel modüllerden oluşmaktadır.

Yüz tespiti süreci temel olarak yüz lokalizasyonu ve normalizasyonu ile ilgilidir. Yüz tespiti ve özellik çıkarma genelde yüz tespiti modülünde yapılmaktadır. Eşleştirme ve tanıma ise yüz tanıma sürecinde aktif görev almaktadırlar. Yüzdeki yerel alanların belirlenmesi işlemi yüz alanının arka plandan bölümlenmesini içerebilir. Bu işlemle yüzün konumu ve ölçeği elde edilmektedir. Ayrıca sistemin değişen poz durumları, aydınlatma şiddetleri ile yüz görüntülerini tanıması beklenir. Yüz görüntülerini geometrik ve fotometrik olarak normalleştirmek için bazı yüz görüntülerinin normalizasyonu gerekmektedir. Geometrik normalizasyon işlemi, yüz görüntüsünü standart bir çerçeveye dönüştürülerek normalleşme amacıyla kullanılabilir. Fotometrik normalleştirme işlemi, aydınlatma seviyesi ve gri skalasına göre yüz görüntüsünü normalleştirir. Normalize edilmiş yüz görüntüsünden, yüzün özellikleri elde edilerek farklı kişilerin ayırtılması için gerekli bilgiler elde edilmiş olur. Geometrik ve fotometrik değişimler ile doğru sonuç çıkarılması için sağlam bir modül tasarlanması gerekmektedir. Elde edilen yüz özellikleri

eşleştirme modülünde karşılaştırma işlemi için kullanılmaktadır. Test görüntüsünden elde edilen yüz özellikleri daha önceden tespit edildikten sonra kaydedilen yüz özelliklerini depolayan veri tabanındaki yüz görüntüleri ile eşleştirilmektedir. YTS eşleştirme modülünde yüz özelliklerini eşleştirecek uygun benzerlik ölçeğinin seçilmesinde genelde zorlanılmaktadır. YTS'nin doğru sonuçlar vermesinde yüzü temsil eden özellikler, büyük ölçüde etkili olmaktadır. Yüz özellikleri çıkarılırken lokalizasyon ve normalleşme işlemlerinin YTS için önemi aşamalıdır [92]-[94].

### **3.2. YÜZ TANIMA SİSTEMLERİNDE KARŞILAŞILAN GENEL PROBLEMLER**

Yüze ait özelliklerin belirlenmesi otomatik olarak yapılması gerekmektedir. Otomatik tanıma sistemlerinde çok boyutlu verilerin sınıflandırılması ve veri tabanlarındaki özellikler ile karşılaştırma yapılması en temel problemler arasında görülmektedir. Sisteme test edilmesi amacı ile rastgele seçilmiş kişinin yüz görüntüsünü verildiğinde tasarlanan YTS'nin önceden aynı kişinin çok sayıda farklı yüz görüntüleriyle eğitilmesi gerekmektedir. Çok sayıda görüntünün elde edilmesi problemi ve elde edilen görüntülerin sistem tarafından eğitilebilmesi işlemi oldukça zor bir süreçtir. İnsan yüzü zamanın ilerlemesine göre sabit kalmadığı için daima değişim göstermektedir. Yüz görünümünü içsel faktörler ile dışsal faktörler olarak iki sınıfa ayırabiliriz. Yüzün fiziksel bileşenlerle ilgili olanlara iç faktör sınıfına girmektedir. İçsel faktörler de kendi içinde iki alt sınıfa ayrılmaktadır: iç özellikler (intrapersonal) ve kişilerarası (interpersonal) özelliklerdir. İç özellikler genelde kişilerin yaş, yüz ifadesi, sakal/bıyık, gözlük, kozmetik gibi yüz gereçlerinden dolayı yüz görünümü değişimlerini incelemektedir. Kişilerarası faktörler ise insanların etnik kökenleri, cinsiyet farklılığı gibi durumlarında ortaya çıkan ayırt edici konuları incelemektedir. Dışsal faktörler ise yüz görünümünün değişik algılanmasına sebep olan çevresel şartları analiz etmektedir. Dışsal faktörler aydınlatma, poz, ölçek ve çözünürlük, odak, gürültü gibi parametreleri içermektedir. Görüntü içerisindeki dışsal faktör parametrelerinin, gerçek zamanlı çalışan sistemlerde hem yüzün tespit edilmesinde hem de yüzün tanınmasında; YTS'nin performansını önemli oranda etkilenmesine sebebiyet vermektedir [92]-[94].

YTS'nin performans iyileştirilmesinde dikkat edilmesi gerekenler:

- Aydınlatmanın kötü olmadığı durumlarda performansı kabul edilebilir olan 2 boyutlu YTS tercih edilmekte fakat aydınlatma koşullarında ciddi farklılıklar varsa performansları azalmaktadır.
- Görüntüde insan yüzü, sakal, gözlük, maske gibi unsurlar varsa YTS'nin tanıma performansını azaltmaktadır.
- Kafa açısının farklı oluşu veya poz değişikliği durumlarında da tanıma performansı değişiklik göstermektedir. Güvenlik kameralarının farklı konumlarda oluşu ve farklı açılar ile kişiyi takip edilmesi durumlarında tanıma oranları azalmaktadır.
- Kabul edilebilir bir açıdan alınmış bir görüntüde, yüzün farklı ifade şekline girmiş olması durumunda tanıma sonucunu olumsuz olarak etkilemektedir.
- İnsanın zaman içinde vücudu değiştiği için yüzünde de değişim olmaktadır. Yaşlanma etkisini daha yüksek görüldüğü bu problemin aşılması için fazla çalışma olmadığı tespit edilmiştir [92]-[94].

Son dönemlerde biyometrik sistemlerde sahte veriler üretilmesiyle sistemin doğru çalışmamasından ötürü biyometrik sistemlerin güvenliğinin artması için araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Sahte yöntemler arasında önceden çekilmiş fotoğraflar veya 3 boyutlu yazıcılar kullanılarak gerçek kişinin yüzüne yüksek oranda benzetilerek gerçekleştirilen tasarımların; YTS tarafından test edildiğinde doğru olarak algılanma yüzdesi yüksek olmaktadır. Sahte girişimleri engellemek için canlı olarak yüzler tespit edildikten sonra tanıma işlemi yapılması gerekmektedir. Bir insanın fotoğrafını, videosunu veya 3 boyutlu tasarlanmış sanal yüzünü kullanarak YTS'ni yanıltmak için üç farklı yol bulunmaktadır. Kamuya açık kameralardan veya internet ortamından kolay bir şekilde elde edilen fotoğraf ile sisteme saldırı yapılması en basit yöntemlerdendir. Sistemi yanıltmak isteyen kişi, sahte görüntü yöntemi tercih etmesi durumunda, sanki kameranın önündeymiş gibi fotoğrafı döndürme, kaydırma, bükme gibi işlemleri kameranın karşısında yapmaktadır. Sahte görüntü yanıltma tekniğine karşı son yıllarda farklı çözümler önerilmiş olsa bile geleneksel YTS yanıltılabilmektedir. İnsanların fotoğraf ile canlı bir kişiyi ayırt etmesi oldukça kolay iken bilgisayarlar tarafından ayırt edilmesi oldukça zor ve karmaşık olduğu anlaşılmıştır. Burada canlılığı ayırt etmenin en temel yolu fotoğrafın 2 boyutlu olarak tarama işlemi yapılırken, canlılarda 3 boyutlu

yapılmasıdır. Güvenilir YTS’de canlılarda bulunan harekete bağlı doğal özelliklerin yapısal değişiklikleri bilhassa yüzün derinlik bilgisi üzerinden işlem yapmada kullanılmaktadır. Yüzün derinlik bilgisinin en büyük dezavantajı kafa pozisyonu sabitken derinlik bilgisinin tahmin edilmesinin zor olmasıdır. Yüzün derinlik bilgisini elde ederken ortamın gürültüsü ve aydınlatma koşullarına karşı çok hassas olmaktadır. Ortam gürültüsü ve aydınlatma koşullarının iyi olmadığı durumlarda güvenilirliği pek doğru olmadığı gözlemlenmiştir [92]-[94].

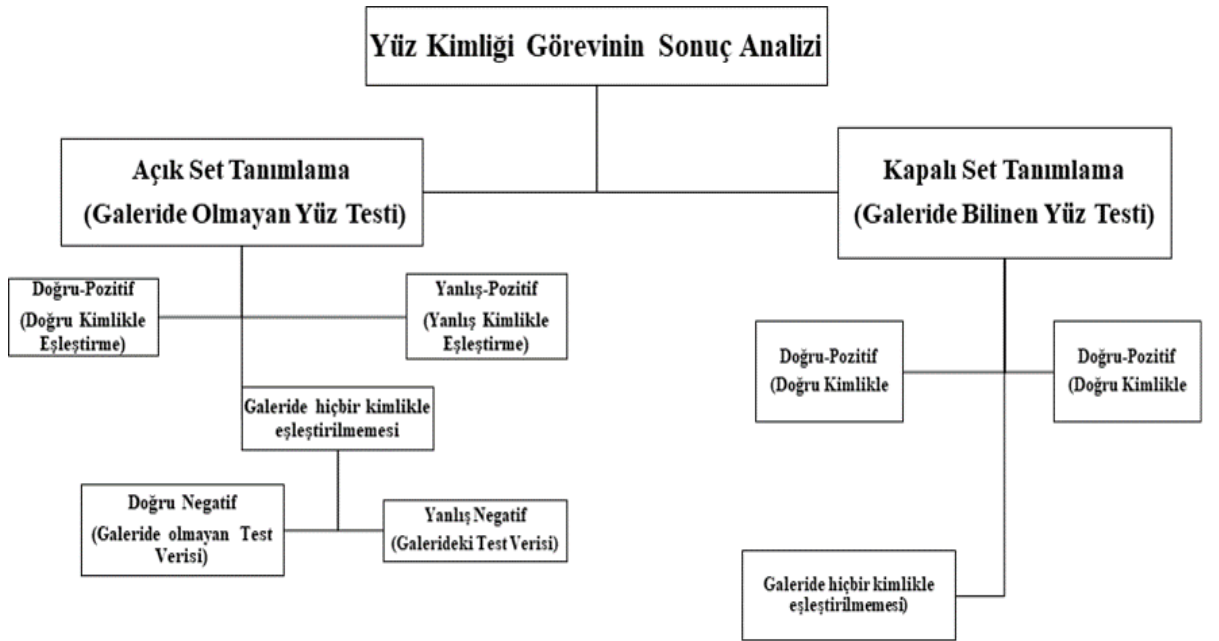
Fotoğraflar ile karşılaştırma yapıldığında canlı yüzlerdeki deformasyonlar olmaktadır. Ağız hareketi ve yüz ifadesi değişimleri çok farklı değişimler göstermektedir. Değişimlerin doğru ve güvenilir bir şekilde algılanması için genellikle yüksek kaliteli veriler elde olmalı veya kullanıcılar ile birebir iletişime geçerek gerekli yönlendirmeler yapılmalıdır. Canlı yüz verisini kontrol etmek için kullanılan yöntemlerden biri olan optical flow (optik akış ) yaygındır fakat bu yöntemde de fotoğrafın bükülmesi veya hareketlendirilmesi sırasında yanılarak doğruluk oranı düşmektedir. Bazı araştırmacılar insanların konuşurken dudak hareketini gözlemleyerek, yüz ile ses arasında bir ilişki kurarak canlı yüzü yakalamaya çalışmışlardır. Çalışılan yöntemde bir ses kaydedicisi ile kişinin yardımına ihtiyaç duyulmaktadır. Kişinin sese karşı kafa ile tepki vermesi gerekmektedir. Fourier spektrumlarını kullanan araştırmacılar ise fotoğrafta yüksek frekans bileşenlerinin canlı insan yüzlerinin frekans bileşenlerinin sahte yüzlere göre daha fazla frekansa sahip olmasından yararlanmışlardır. Termal kızılötesi kamera görüntüleri kullanan araştırmacılar yüzün canlılık tespitinde ideal seviyelere yükselterek doğru yüzü tanımışlardır. Günümüzde termal kameraları kullanılarak görüntülerin elde edilerek YTS aktarılması işlemi maliyeti yükseltmiş olsa da sistemin dışarıdan sahte yüzlerin ayırt edilmesinde daha başarılı sonuçlar vermektedir [92]-[94].

### 3.3. YÜZ TANIMA SİSTEMİNİN TEST EDİLMESİ

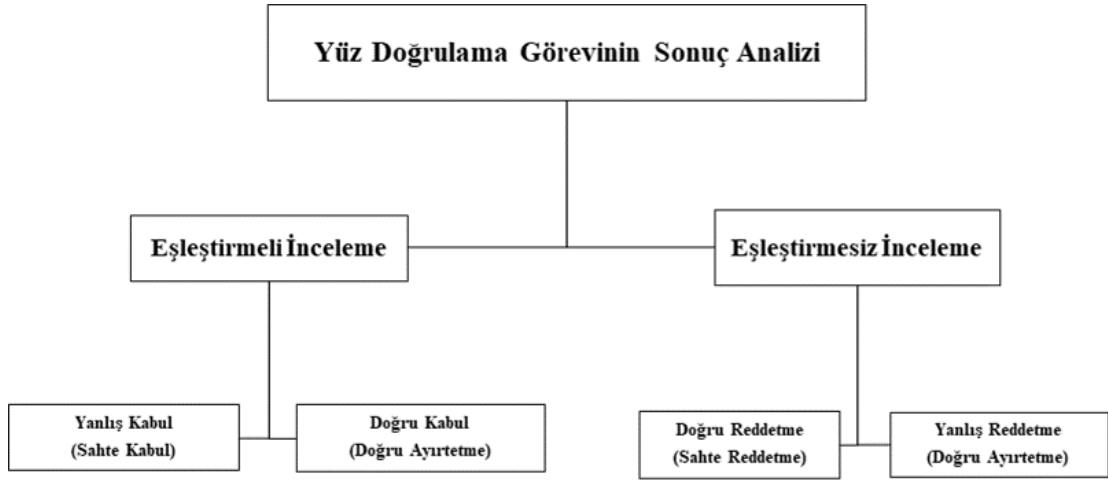
Yüz tanıma algoritmalarının test edilebilmesi için üç farklı görüntüye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar sırasıyla eğitim, veri seti, test edilecek adayın görüntüsüdür. Eğitim seti, algoritmanın sınıflandırılması, eğitilmesi ve öğrenilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Veri seti ve test görüntüleri ise sistemin çalışmasının doğruluğunu ölçmek için gerekli olmaktadır. Veri seti genelde tanınan kişiler etiklendirilmesi ile oluşurken, test görüntülerinde ise bilinmeyen görüntülerden oluşmaktadır.

YTS'nin doğru tanıma karmaşıklığı veri seti ve test edilecek aday görüntü sayısına bağlıdır. Sistemin eğitilmesindeki görüntü sayısının çok büyük olması avantajdır. İdeal olarak sistemin eğitilmesi ve test işlemleri için kullanılan görüntüler farklı zaman ve kaynaklarda olması tercih edilmektedir [92].

Yüz tespit işlemi yapıldıktan sonra, kişiyi tanıma ve doğrulama görevini yerine getirmek için yüz doğrulama aşaması gereklidir. Yapılan işlemler sırasıyla Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'de gösterildiği gibi olması gerekmektedir. Yüzlerin doğrulama aşamasında; yüze ait özelliklerin ve geometriksel şekil ile mesafe oranları doğru hesaplanması gerekmektedir [92].



Şekil 3.8. Kimlik ayırt etmenin olası sonuçları [92].



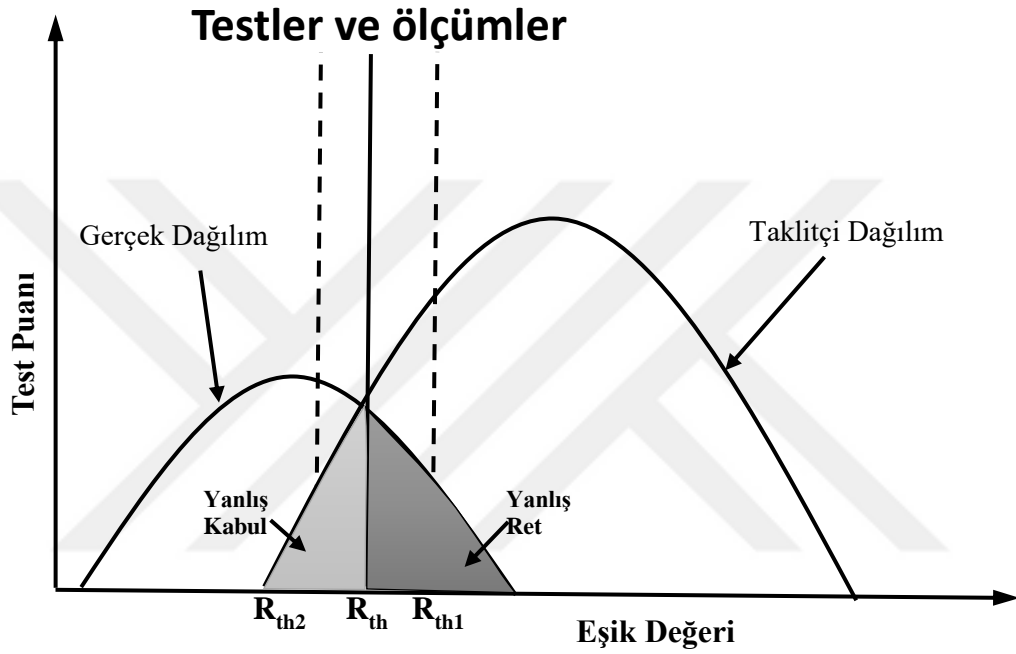
Şekil 3.9. Doğrulama işleminin olası sonuçları [92].

YTS’de doğruluk oranlarının ölçülmesindeki sıralama aşağıda verilmiştir [92].

- Yanlış kabul oranı (false acceptance rate FAR): Sistem tarafından bilinmeyen bir insan yüzünü sisteme giriş olarak verildiğinde, yüz tanıma sisteminde tanımlı olmadığı halde doğru tanıyarak sonuç üretmesi durumunda yanlış kişi tanınmış olmasıdır.
- Yanlış reddetme oranı (false rejection rate FRR) : Veri seti kalitesiz olduğu durumlar içinde tanınamayan yüz görüntü ölçөгüdür.
- Yanlış tanıma oranı (false identification rate FIR): İki veri seti arasındaki görüntülerde bulunan yüzlerin yanlış ayırt edilmesindeki ölçüdüür.

Genellikle yanlış reddetme kısmının, yanlış tanıma durumundan daha ciddi olduğu ve yanlış kabulün en ciddi hata olduğu varsayılmaktadır. YTS’de belirtilen hata türleri oldukça farklı ölçeklerde olması ve performansının ölçülmesinde iyi bir seçim olamayacağı için basit hata oranı tercih edilmektedir. Genel bir YTS’de FRR ve FAR bir kişinin sisteme tanıtılan doğru kişi mi yoksa yanlış kişi mi olduğuna karar verebilecek, belirlenen bir eşik değeri ile ilgilidir. Hata eşik değeri ile kişinin doğru tanınırlığı belirlenmektedir. Geliştirilen sisteme bağlı olarak sistemin eşik değeri seçilerek istenen FAR ve FRR değeri özel olarak belirlenmektedir [92],[94].

Şekil 3.10’da  $R_{th}$  eşik değerinin FAR ve FRR üzerindeki etkisini açıklamaktadır. Doğru tanınan ve yanlış tanınanların tipik olasılık eğrileri ile temsil edildiği eğridir.  $R_{th}$  değerinin,  $R_{th1}$ ’e doğru kaydırılması ile FRR değerinin azalmasına fakat FAR değerinin artmasına sebep olmaktadır. Benzer şekilde  $R_{th}$  eşik değerini  $R_{th2}$ ’ye doğru kaydırılması FAR değerinin azaltırken FRR değerinin artmasına sebep olmaktadır. Eşik değerinin doğru belirlenmesi çok önemlidir aksi durumlarda FAR veya FRR üzerindeki hata oranları değişmektedir [92]-[94].



Şekil 3.10. FRR ve FAR eşik değeri değişiminin etkisi [92].

Önerilen YTS’nin performansı, eşit hata oranı (ERR) ve dprime değeri olarak adlandırılan diğer tek değerli ölçütler kullanılmasıyla yapılmaktadır.

EER değerinin, FRR ve FAR değerlerine eşit olduğu noktadır ve (receiver operating characteristics ROC) eğrisinde en çok belirtilen tek sayıdır. ERR değerinin küçük olması sistemin daha performanslı çalıştığını göstermektedir. Tespit hatası eğrisi, FRR değerini normal bir sapma ölçeğinde çeşitli eşiklerde FAR değerine karşı noktalar arası enterpolasyonu yapılarak çizilmektedir. Hata oranlarını çizmek için doğrusal, logaritmik veya yarı logaritmik ölçek kullanıldığında ortaya çıkan grafik ROC olarak isimlendirilmektedir.

ROC eğrisi hatalı olarak kabul görülen yüzdeye karşı değişilecek olan FRR verilerin yüzdesini özetlemektedir. ROC tabanlı yöntem, ikili sınıflandırma problemine odaklanırken göre oluşturulurken, YTS’de ise çoklu sınıflandırma yapılmasından dolayı problem oluşturmaktadır. ROC yöntemlerini çoklu sınıfa genişletmek önemsiz değildir. FAR ve FRR'nin karar maliyeti işlevine (DCF) birleştiren denklem (3.1)’de sunulmuştur [92]-[94].

$$DCF = C_{FR}P_{gal}FRR + C_{FA}P_{imp}FAR \quad (3.1)$$

$C_{FR}$  değerinin yanlış reddetme maliyet miktarının hesaplanması için denklem (3.1) kullanılmaktadır.  $C_{FA}$  yanlış kabul maliyetini,  $P_{gal}$  galeri yüz görüntüsünün öncül olasılığını ve  $P_{imp}$  yanlış öncül olasılığını göstermektedir. Belirli durumda olasılıklar 0.5 değerinde ve maliyet 1 değeri aldığı anda, DCF yarı toplam hata oranı (half total error rate HTER ) olarak adlandırılır ve denklem (3.2)’de gösterilmektedir [92]-[94].

$$HTER = (FRR + FAR)/2 \quad (3.2)$$

Farklı performans ölçütü, d-prime ölçeğidir. Performans ölçeğinde, sisteme tanıtılan doğru yüz verileri ve yanlış yüzlerin standart sapma birimlerindeki olasılık dağılımları arasındaki farkı ölçmektedir. Belirli bir periyot süresince çalışan YTS için kullanılan başka bir hesaplama metriği de doğrulama oranı yeteneği (ability to verify rate ATV) adı verilmektedir. Toplam kullanıcıların yüzdesi, yanlış eşleştirmeler ve başarısız kayıtların oranlarını oluşturmaktadır. Sistem tarafından yanlışlıkla tanınmayıp reddedilen kullanıcılar ile birlikte kayıt edilemeyen kullanıcı grubunu bu metrik ile temsil edilmektedir. Yüksek oranda bir ATV değeri istenmektedir fakat hiç bir sistem yüzde yüz ATV’e değerine sahip olamamıştır.

Bilişsel psikoloji ve nörofizyoloji alanında yüz tanıma ile ilgili yapılan birçok araştırma, insanlarda yüzleri nasıl tanıdıkları, tanıma süreci nasıl gerçekleşmekte olduğunu anlamaya çalışmaktadırlar. Araştırılan çalışmalarının merkezinde ise insanların yüzleri tanıırken kavramsal ve pratik olarak anlaşılmasını sağlayan bilişsel süreçleri deneysel değerlendirmeleri ve teorik gelişimlerini incelemektedirler. Sonuçlanan çalışmalar sayesinde yanlış sınıflandırma, özellik çıkarma gibi işlemleri geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Yüz körlüğü hastalığı (prosopagnosia) olan insanlar daha önce tanıdıkları insanların yüzlerinin tanıyamazlar bilhassa yüze ait parçaları ayırt edemedikleri bilinmektedir. İnsanın görebilmesini, doğumdan saatler sonra ortaya çıktığı

ve çevresindeki yüzleri ayırt etmeye başladığını tespit edilerek anlaşılmıştır. İnsanın görsel görüş yeteneğini diğer nesnelere tanımada da kullanıldığı düşünülmektedir. Yetişkinlerde yüz tanıma, benzer şekilleri ayırt etme gibi üstün yeteneklerin nasıl olduğu henüz tam olarak anlaşılmamış olduğu için sayısallaştırma işleminde istenilen performansıda elde edilmemiştir. İnsanların uzun yıllar sonra, bildiği yüzü tanıması işleminde yapılandırılmış ve bütünsel verimli işlem stili kullanarak tanıması sürecini oldukça uzmanlaşmışlardır. Görüntüdeki yüzlerin tespit edilmesi, tanınması işleminde gözlerin şekli veya burun büyüklüğü gibi kişisel yüz özelliklerinin karakterlerinin ayırt edilmesi işlemine yüz karakter tespiti (YKT) işlemi adı verilmektedir.

YKT'den daha gelişmiş bir işleme tarzı olan yapısal işleme yöntemi ise, yüzlerin özelliklerine göre algılanması ve tanınması anlamına gelmektedir. Bütünsel işlem, yüzlerin bir bölümüne dayanmak yerine bir bütün olarak algılanması ve tanınması anlamına gelmektedir. Genelde bebeklerin yüzlerini tanımada fazla gelişmemiş bilhassa tüyleri referans aldıkları düşünülmektedir. Öte yandan gençler de bilgi temeline dayalı YKT işlemi için bilgiden daha fazlası işlem yapabildikleri öngörülmektedir. Yetişkinlerde ise yüzlerin tespiti ve tanıma işlemi daha gelişmiştir. Bütünsel yüz tanıma yöntemi ile güçlü YTS elde etmeye yardımcı olmaktadır. İnsanlar kendi ırklarındaki yüzleri tanımada performansı daha yüksek olduğu bilinmektedir. Irklar arasında ki ayırım gücüne diğer ırk etkisi (other -race effect) ismi verilmektedir. Kişi yüzleri öğrenirken genelde kendi ırkındaki yüzleri referans almaktadır bundan dolayı farklı ırktan bir insanın doğru tanıma oranı oldukça düşmesine sebep olmaktadır. Yüz algısı yüzle ilgili deneyimlerin sonucunda çıkmaktadır. Deneyimler arttıkça insan yüzü prototipi daha doğru ortaya çıkarılmaktadır. Nörofizyolojik açıdan insanın oğlunun yüzleri tespit edip tanıyabilmesi için özel sinir kaynakları ayırdığı saptanmıştır.

İnsan görsel sisteminde yüz işleme için benzersiz bilişsel ve sinirsel mekanizmaların sahip olduğu düşünülmektedir. İnsan beyinde yüzü işlemeye yönelik işlemlerin **ekstrastriat** adı verilen görsel kortekste bulunabileceğine dair pek çok kanıt bulunmuştur. Beynin ekstrastriat bölgesinde şematik yüzlerin fazla etkinliğe neden olmadığı ve hayvan yüzlerine iyi bir tepki vermesi deneylerinden anlaşılan ilginç bir seçicilik ve genellik modelini göstermektedir. İnsan beyinde kişinin yüzünü tanınması ile yüz ifadelerinin ayırt edilebilmesi işlemi ayrı nörofizyolojik sistemler tarafından işlenebileceği düşünülmektedir.

Böyle durumlarda bir insanın kimliğini tanımlamadan yüz ifadelerini anlaşılabilirliği çıkmaktadır. Farklı çalışmalarda kimlik tanıyarak yüz ifadelerini aynı anda yorumlanabileceğini savunmaktadır. İnsan beynindeki bazı nöronlar sadece kimliğe, bazıları ise yalnızca yüz ifadelerini anlamak için oluşturulmasına rağmen daha küçük alt grubu ise her iki faktöre de cevap verdiği düşünülmektedir. Görüntüdeki bir yüzün tanınmasında hem kimlik kontrolü hemde yüz ifadeleri ile birlikte yapıldığında daha sağlam çalıştığı gözlemlenmiştir [92],[93],[94].

### **3.3.1. YTS Karşılaşılan Zorluklar**

Kamu ve özel kuruluşlar, yüz tanıma teknolojisinde çalışmaların artması için araştırmacıların teşvik ederek gelişme sürecini hızlı ilerlemesine sebep olmuşlardır. YTS'nin hızlı ilerlemesine rağmen geliştirilen tasarımlar için temel sorun olarak görüntüdeki bozukluk veya yüzün tespit edilmesini engel problemlerin olmasıdır. Akademi ve araştırma kurumlarında, YTS alanında araştırma yapan geliştiriciler ile aşamalı zorlukların önerilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Her önerilen yüz tanıma yöntemi sonucunda geliştirilen sistem için tanımlanmış yüz deneme setleri kullanılarak oluşturulmaktadır. Geliştirilen sistemlerin test edilmesini sağlayan en büyük engellerden biri de yeteri miktarda büyük veri setinin doğrudan araştırmacılara erişim izni verilmemesidir. Geleneksel yöntemleri kullanarak gözün merkezleri arasındaki piksel sayısı ölçülerek mesafelerin hesaplanması işleminde aktif şekilde tercih edilmektedir. 10.000 ile 20.000 arasında piksellerden oluşan bir yüz görüntüsünde gözün merkezleri arasında ortalama 40 ile 60 arası piksel mevcuttur. Yüksek çözünürlüklü görüntüler; ortalama gözlerin merkezleri arasında 250 piksel olan yüz görüntülerini barındırmaktadır. İlk olarak YTS için genellikle aydınlatma ve pozunu düzeltmek için yüz görüntüsünün ön işlenmesi gerçekleştirilmektedir. Ön işleme bölümü görüntü işleme için geliştirilen algoritmaların performansı üzerindeki etkisini ölçülmesi işleminde kullanılmaktadır.

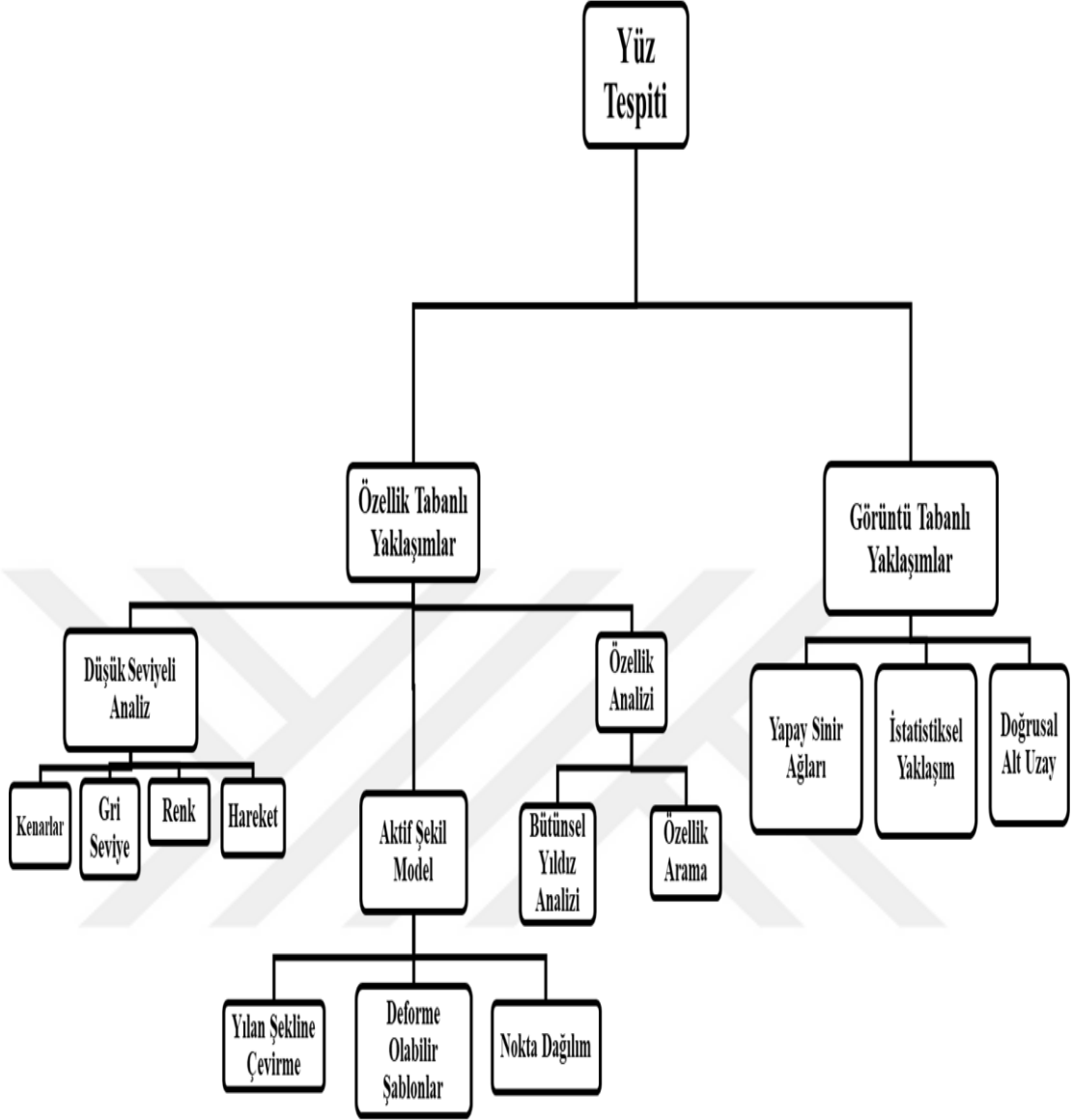
### 3.4. YÜZ TESPİTİ

Yüz tespiti (face detection) işlemi yüz bölgesini oluşturan alanın, görüntüden çıkarılarak görüntü içerisindeki yüzlerin bulunması için kullanılmaktadır. Yüz tanıma işlemi için yapılması gereken ilk işlemler arasındadır. Video konferans bilgi sistemleri, kalabalık gözetim sistemleri, akıllı insan bilgisayar arayüzleri, video kodlama, içerik tabanlı görüntü alma gibi pek çok uygulamada kullanılabilir [92].

İnsan yüzü sürekli değişebilen özelliğe sahiptir. Basit kenar tabanlı algoritmalar, gelişmiş görüntü tanıma yöntemlerinde kullanılan yaklaşımlar gibi farklı teknikler uygulanabilir. Yüz tespiti algoritmaları genelde görüntü içerisindeki yüzlerin bulunması işleminde bir veya iki boyutlu matematiksel işlem yapmaktadırlar. Yüz tespiti algoritmaları sadece görüntüdeki kişilerin ön profildeki bölgesinde işlem yaparak sonuç üretebilmektedir.

Video dosyalarında yüz tespiti işlemi için her bir görüntü karesi alınarak işlem yapılmaktadır. Bazı video işleme yöntemlerinde video dosyasındaki sıralı görüntülerde analiz işlemi yaparak piksel değerlerinin çoğunluğu önceki görüntü karesi ile benzerliği kontrol edilmektedir. Video karesinin benzerliği kontrol edilerek yüksek benzerlikteki görüntülerin yüz tespiti için gerekli işlemleri yapmayarak işlem sayısı azaltılarak hız kazancı elde edilmektedir [94].

Şekil 3.11’de yüz tespiti için yapılan sınıflandırılma sunulmuştur [92],[93].



Şekil 3.11. Yüz tespiti için geliştirilen farklı yaklaşımlar [92],[93].

Şekil 3.12’de yüz sınıflandırılması için kullanılan bazı yüz görüntüleri bulunmaktadır. Gerçek hayatta anlık olarak çekilen fotoğraf veya video görüntüleri içinde birden fazla insan, cisim ve nesnelere karışık olarak aynı görüntüde bulunabilir. Karışık görüntüler içerisinde insanların yüzlerinin tespit edilmesi oldukça zor ve istenilen seviyede olmadığından dolayı araştırılması sürmektedir. Şekil 3.13’de karışık bir görüntü örneği verilmiştir. Görüntü örneği içerisindeki yüzlerin bulunmasının ön cepheden çekilen ve sadece bir insan yüzü olan görüntülere göre daha zor olmaktadır [92].



Şekil 3.12. Ön cepheden çekilmiş yüz görüntüleri [92].

Şekil 3.13’de gösterilen görüntüler üzerinde herhangi bir işlem yapmadan yüzlerin tespit etmek istediğimizde doğru sonuçlar çıkmayabilir. Yanlış sonuçlar ile hem yüz tespiti hem de yüz tanıma algoritmalarında doğruluk gücünü zayıflatmaktadır. Seçilen görüntüler arasında yüz görüntüsü olmayan alanlar görüntü zemininden yerleştirilerek ayıklandıktan sonra yapılan işlemler daha doğru olmaktadır. Sisteme bir görüntü verildiğinde, yüz tespiti modülünün amacı görüntü içerisinde bir insan yüzünü arayıp konumu, boyutu, piksel ağırlık gibi bilgilerin değerlerini vermektir. Yüz tespiti ile ilgili yaşanan zorluklar aşağıda sıralanmıştır [92]-[94].

- Yüzlerin atkı, örtü, boya vb. gibi nesnelere ile kapatılması,
- Yüzdeki mimikler ve ifadelerin kasıtlı olarak değiştirilerek sistemin yanıltılması,
- Görüntü içerisindeki yüzlerin göreceli kameraya bağlı olarak 45 derece yukarı/aşağı olarak belirlemektir.

Görüntü oluştururken ortamın aydınlık seviyesi, çevre şartları, kameranın özellikleri gibi unsurlar doğrudan etkilidir. Yüz tespiti için genel olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. İlk olarak özellik tabanlı yaklaşımlar sonrada görüntü tabanlı yaklaşımlar olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 3.13. Farklı açılardaki yüz görüntüleri [92].

#### 3.4.1. Özellik Tabanlı Yaklaşımlar

Görüntüden yüzleri tespit edebilmek ve yüzü temsil eden özelliklerin çıkarabilmek için pek çok çalışma yapılmıştır. Kaşlar, gözler, burun, ağız ve çene gibi yüzü oluşturan organların tespit edilme işlemlerinden sıkça faydalanılmaktadır. Çıkarılan özelliklerin mesafe oranları gibi bilgilerden yararlanarak bir yüzün varlığını doğrulamak için istatistiksel model üzerinde işlemler yapılmaktadır. Özellik tabanlı yüz tespit edici yöntemler genelde aydınlatma, gürültü ve yüzün kapatılması gibi durumlar ile karşılaştıklarında ciddi oranda çalışma performansı azalarak yüz tespitinde başarısız oldukları gözlemlenmiştir. Özellik tabanlı yaklaşımlar 3 sınıfa ayrılmaktadır [92]-[94].

- Düşük seviyeli analiz yöntemi: karışık bir görüntüde yüzlerin konumu tespit edilmesi istendiğinde karşılaşılan zorluklar arasından piksel değerlerinin renkli veya gri renkli ölçeklerinde analiz seviyesini çıkartmada başarılı olmayışı gözlemlenmiştir.
- Aktif şekil modeli: görsel özellik analizinde yüzün geometriksel bilgisini kullanarak tam bir yüz şablonu oluşturulması olarak bilinmektedir.
- Özellik analizi: yüzün yerleri analiz edilerek ve taraması yapılarak konum bilgilerine erişilebilmesi süreci olarak tanımlanır.

Belirtilen modeller 1980 yıllarının sonlarında yılan şekli modellerine referans alarak; göz, gözbebeği, dudak izlemesi gibi karmaşık ve rijit olmayan özellik çıkarımı ile beraber

belirtilen unsurların takibi amacıyla kullanılması işlemi ile dağıtık nokta modeli adı geliştirilmiştir [92].

Düşük seviyeli analizler yöntemleri için geliştirilen alt kategoriler [92]-[94];

**Kenarlar Yöntemi:** Yüz tespitinde özellik çıkarma amacıyla ilk yapılan çalışmaların öncülüğünü kenar çıkarma algoritmaları temsil etmektedir [24]. Kenarlar yöntemi çalışmasında verilen görüntüden yüzün çizgi çizimlerini analiz ederek yüzün özelliklerini ve görüntüde nerede olduğunu bulmak için kullanılmaktadır. Kenar çıkarma çalışması daha da değiştirilerek bir insan kafasının çerçevesinin taslağı oluşturmak amacıyla kullanılmıştır [25]. Belirtilen çalışmada kenarların bozuk olduğu görüntüler için eğrilik sınırlamasını uygulayan bir çizgi izleyici içerilmiştir. Başın dış çizgisindeki kenar özellikleri belirlendikten sonra yüzün şekil ve konum bilgileri oluşturularak özellik analizi yapılmaktadır. Daha yeni gelişmiş kenar tabanlı yöntemler ile yüzün tespiti ve özelliklerinin çıkarılmasında [26],[27] deki çalışmalar incelenmiştir. Kenar tabanlı yüz tespiti yaklaşımları genelde algılanan yüzün doğruluğunu etiketlenen kenarlar ile yüz modelini eşleştirme yaparlar. Bazı zamanlar yüz görüntüsünün ön taraftan, sağ, sol veya saç çizgilerini etiket vererek ideal yüzün altın oranlarını modeldeki oranlar ile karşılaştırılma işlemindeki puanlama hesaplanmasıyla yapıldığı görülmektedir. Ayrıca [28]'deki çalışmada yüzdeki gözlüğü tespit edebilmek için farklı kenar tespiti yaklaşımları kullanılarak test edilmiştir. Sobel operatörü ve MarrHildreth kenar tespiti algoritmalarının detaylı olarak araştırılmıştır [26],[29]. Gaussians'ın önerdiği ve sonradan değiştirilmiş olan yöntemlerde metodunun birinci ve ikinci (Laplacian) türevleri kullanılmıştır. Yapılan araştırmalarda büyük ölçekli Laplace kullanılmış sonraki çalışmada ise çok ölçekli yönlendirilebilir filtrelerle çizgi çizilebileceği gösterilmiştir [24],[30]. Yönlendirilebilir filtreleme kullanılarak, kenarların tespit edilmesi, tespit edilen kenarların filtre yönünü belirlenmesi ve komşu kenarların oryantasyon bilgisi kullanılması bölümlerinden oluşmaktadır. Araştırılan yöntemin adım adım izlenerek gözün anahtar noktalarının bazılarını tespit etmede başarılı olduğu anlaşılmıştır.

**Gri Seviye Analizi Yöntemi:** Yüzdeki gri piksellerin değerleri kullanılarak yüzün özelliklerini çıkarılabiliriz. Saçlar, göz bebekleri ve dudaklar gibi yüz özellikleri yüz alanında daha koyu renkte olmasından dolayı, yüz kısımlarını ayırt edilmesi kolay olmaktadır. Bazı yüz özellik çıkarma algoritmaları parçalanmış yüz bölgelerinin içinde az miktarda lokal gri rengini arayarak yapmaktalar [31]. Genel gri seviyeli algoritmaların yüz tespitini kolaylaştırmak için koyu renkteki alanların kalitesini yükselterek

çalışmaktadırlar. Böylece gri renkteki morfolojik renkler daha belirgin olmaktadır.

Koyu renkli piksel değerlerinin çıkarılması için düşük seviyeli gri piksellerin eşitlemesinden faydalanılır. Bazı algoritmalar bir resimde insan gözü çiftinin olası yerini belirlemek için genelde insan gözü şablonunu kullanmaktalar. 8 koyu renkli pikselin çevrelediği parlak piksel genelde burun uçları gibi parlak yüz bölgelerini tespit etmek için kullanılır [32]. Tespit noktaları daha sonra korelasyon ölçümleri için özellik şablonları ile hizalanır. Mozaik (piramit) görüntülerde yüzlerin gri tonlarında davranışını araştırmışlardır [33]. Bir yüz görüntüsünün çözünürlüğü, alt örnekleme veya ortalama alma yoluyla kademeli olarak azaltıldığında, yüzün mikroskobik özellikleri kaybolur ve düşük çözünürlükte, yüz bölgesi tek biçimli hale dönüşür. Düşük çözünürlük değerlerine sahip görüntülerden başlayarak yüz adaylarını tek tip bölgeleri arayan farklı kurallar kullanılmaktadır. Resim içerisindeki yüz adayları daha sonra yüksek çözünürlüklerde yerel minimum değerleri kullanan belirgin yüz özellikleri ile doğrulama yapar. Resim içerisinde eğimli yüzlerin tespiti için sisteme dâhil edilmiş ve algoritmanın bir uzantısını sunmuşlardır [34], [35].

**Yüz Tespiti İçin Renk Bilgisi Yöntemi:** Gri renk bilgisi; görüntü için temel gösterimi oluştururken, çoklu renk ise nesne görünümünü ayırt etmek için daha kuvvetli sonuçlar çıkarabilmektedir. Rengin sahip olduğu ekstra boyutlardan dolayı, gri renkli benzer bir resme göre renk tonu farklı görülebilmektedir. Farklı insanların ten renkleri, farklı ırklardaki insanların yüzleri incelendiğinde bile renk uzayları arasında sıkı bir kümeye yol açtığı da tespit edilmiştir. İnsan derisinin renk kompozisyonunun ırkı oluşturan bireyler arasında çok az farklılık gösterdiği anlamına gelmektedir. En yaygın kullanılan renk uzayı kırmızı, yeşil ve mavi ana renk bileşenlerinin kombinasyonları ile tanımlandığı RGB olarak bilinmektedir. Vücut cildinin görünümündeki ana değişkenlik büyük ölçüde parlaklık değişiminden kaynaklandığı için genelde RGB veya gri renk değerleri tercih edilerek parlaklık etkisi filtrelenir. Yüz tespiti için RGB renk modelinin haricinde modeller bulunmaktadır. HSI renk gösteriminin, yüz özellikli renk kümeleri arasında büyük farklılıkları olduğu anlatılmıştır. HSI renk modelinde dudak, göz ve kaş gibi yüz özelliklerini çıkarmak için kullanılabileceği sunulmuştur. İnsan renk algısı ile kuvvetli bir bağı olduğu için yüz parçalarının şemasal olarak bulunmasında tercih edilmektedir. YIQ renk modeli kullanılarak yüz tespiti gerçekleştirmişlerdir [37]. RGB renklerini YIQ temsiline dönüştürerek, turuncudan cam göbeği rengine kadar değişen renkleri içeren bileşen değerinin Asyalıların cilt bölgesini arttırdığı tespit edildi. Dönüşüm aynı zamanda

diğer renklerin arka planını etkili bir şekilde bastırır ve küçük bir yüzün doğal ortamda algılanmasını sağlamaktadır. Yüz tespiti işlemi sırasında uygulanan diğer renk modelleri arasında HSV, YES, YCrCb, YU, CIE-xyz, CSN (değiştirilmiş bir RQ gösterimi) ve UCS gibi modellerde kullanılmaktadır. Terrilon ve arkadaşları son zamanlarda yaygın olarak kullanılan birçok renk uzayını karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır ve yüz tespiti için uygun renk uzayı çalışmalarını adlandırmışlardır [38]. Genel olarak, yüz tespiti için en önemli kriterin verilen bir alandaki cilt ve cilt dışı dağılımlar arasındaki örtüşme derecesi olmasıdır (eğitim için mevcut olan cilt ve deri dışı örneklerin sayısına bağlı olması). Renk bölümlenmesi temel olarak ten renginin miktarlarını veya çizelgeler yoluyla modellerine uygun ten rengi eşik değerleri kullanılarak gerçekleştirilmesidir. Daha karmaşık yöntemler ise, geniş bir kullanıcı yelpazesinde değişen varyasyonları modelleyen istatistiksel yöntemlerden yararlanmaktadır. Ortalama ve kovaryans matrisi ile karakterize edilmiş bir Gauss dağılımı, farklı insan ırklarından alınan binlerce ten rengi örneğini temsil etmede kullanılmaktadır [39],[40]. Aydınlatma koşulları ve kamera özellikleri gibi çevre faktörlerinde ki değişiklikler renk tespitine karşı daha dayanıklı olabilmekteler.

**Hareket Tabanlı Analiz;** Video dosyaları üzerinde yüz tespiti yapılması için hareket tabanlı analiz uygun bir tekniktir. Hareket bölümlerinin elde etmenin basit yolu kare (frame) farkı analizi yöntemidir. Bu yaklaşım basit olmasına rağmen arka plan içeriğinden bağımsız olarak, hareketli bir ön planı etkili bir şekilde ayırt etmesi gerekmektedir. Yüz ve vücut kısımlarını içeren hareketli silüetleri toplam kare farkının eşik değeri ile eşleştirilmesi işlemine dayanmaktadır. Yüzdeki göz çiftinin yeri bulunabilmesi için çerçeve farkından elde edilen yatay ve dikey yer değiştirmelerin ölçülmesi kullanılarak bulunur [25]. Görsel hareketi ölçmenin bir başka yöntemi de yüzün hareketli hatlarını tahmin edilebilmesidir. Hareketli yüz şeklinin dış hatlarından elde edilen sonuç, kare farkı yöntemi ile karşılaştırılması yapıldığında hareketin önemsiz olduğu zamanlarda daha güvenilir olmaktadır. Hareketli kenarları ve bölgeleri tanımlayan yöntemlerin aksine optik akış adı verilen yöntemde görünümde fark edilen parlaklık hızlarını doğru tahmin etme ve kısa mesafeli hareketli desenlerin analizlerine dayandığından ince hareketlere daha hassas duyarlılık göstermektedir.

**Aktif Şekil Modeli Yaklaşımları:** Özellik tabanlı yaklaşımlar kategori için önemli bir yöntemdir. İncelenen yüz tespiti modellerine farklı olarak yüzün gerçek fiziksel özelliklerini kullandığı için daha yüksek seviyede görünüm göstermektedir. Aktif şekil

modeli yerel görüntü özellikleri ile (kenarlıklar, parlaklık gibi) etkileşim içindedir ve yüz özelliğinin şeklini almak için kademeli olarak deforme olmasına sebep olmaktadır. Güncel yüz özellik çıkarıma tekniklerinde genellikle üç tip aktif şekil modeli bulunmaktadır. İlk aktif hat(yılanlar) yöntemi incelenerek uygulanma aşamaları gösterilmiştir [42]. Yüz özelliklerinin öncülüğünü dikkate almak ve yılanların daha iyi performans göstermesi için deforme olabilen şablonların çeşitleri tanıtılmıştır. Akıllı yüzler olarak adlandırılan yeni jenerik esnek model, insan yüzünü etkili bir şekilde yorumlamasını sağlamak için tanıtılarak başarı performansını sunulmaktadır[43]. Tasarlanan model bir eğitim prosedürüne göre yalnızca belirli şekillerde değişiklik göstermeye izin veren bir dizi istenilen noktaların işaretlenmesine dayanmaktadır. Aktif şekiller genellikle insanın başının sınırlarını tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Yılan metodu öncelikle başın yakınından başlayarak başın hatlarını ortaya çıkarmaktadır. Yılan algoritması tipik olarak küçülerek ve genişleyerek hedef bölgeyi seçme işlemini gerçekleştirmektedir. Yılan uygulaması uygun kuvvet ve kuvvetin azaltılması olarak iki temel kısımdan oluşmaktadır. Uygun kuvvet kontrol noktaları arasındaki mesafeyle orantılıdır. Yılan üzerinde ve dolayısıyla hat şeklinin büzülmesine veya genişlemesine neden olan elastik bir bant özelliği bulunmaktadır. Dışarıda uygulanacak algoritmanın kuvveti görüntü üzerinde seçilen bölgenin özelliklerine bağlıdır. Yüz bölgesinin hatlarını çevreleyen ve ten rengi analiz işlevini de göstermektedir. Yılanlar yönteminde genellikle istenilen görüntünün sınırlarını çıkarabilseler de genelde yanlış görüntü üzerinde sıkışıp kalması ve dışbükey olmayan şekillerde etkili olamadıkları tespit edilmiştir. Görüntü içerisindeki yüz ve kafa sınırı çıkarımı için parametrelili hale getirilmiş bir yılan modeli oluşturularak hesaplanmaktadır. Parametrelili modellerde hedef şeklin hatlarını doğru seçerek yanlış görüntüyü ayırt edilmiş olmaktadır. Görüntü içerisinde son hatların belirlenmesi için bir çift yılan modeli istenilen sınırlarda hareket ederek hat sınırlarını tamamlamaktadır. Yılan modelinin yüz özelliklerinin sınırlarını belirlenmesi görevinde kullanımı çok fazla jenerik olmasından dolayı kolay değildir. Belirlenen özelliklerden bazılarının etrafında düşük parlaklık kontrastı problemi kenar algılama işlevini de olumsuz olarak etkilemektedir. Yılan yöntemi ile yüzdeki gözün bilgilerini daha güvenilir çıkarmak için kullanılması incelenmiştir [44]. Yılan olarak göze çarpan özelliklere dayanan bir göz şablonu parametre olarak belirlenmiştir. Deforme olabilecek bir şablonun değişimi sabit eşleştirme stratejisi nedeniyle ilk baştaki hedef konumuna duyarlıdır. Minimize etme işleminin sıralı bir şekilde uygulanması sebebiyle işlem süresi çok yüksek olmaktadır.

Yılan uygulamalarının yılan kuvvet terimlerinin ağırlıkları sezgisel ve genelleştirme de zorunluluğunun neler olduğu sunulmuştur [45]. Göz ve ağız bölgelerinin sınırlarının bulunması istendiğinde şablon eşleştirmeli yılan metodunun daha doğru çalışabilmesi için seçilen şablona verilecek parametrelerin doğru seçilmesinden dolayı doğruluk oranı yüksek çıkmaktadır. Yeni bir gelişme olan göz şablonunu ilk parametrelerini tahmin etmek için göz köşesi bilgisini kullanmışlardır. Gözün köşe bilginin ilavesi daha güvenilir şablon uyumu sağlanmasına sebep olmuştur [46].

### **Özellik Analizi Yaklaşımları:**

Yüz tespiti yöntemleri içerisinde düşük seviyeli analiz kategorisindeki yöntemlere göre üretilen sonuçlar daha kalitelidir. Ten rengi kullanılarak yüz tespitinin edilebilmesi istendiğinde benzer renkteki arka plan renklerini de doğru olarak kabul etmesi gerekmektedir. Geliştirilmiş üst seviyeli özellik analizi ile çözülebilen bire bir haritalama tekniği yöntemi bulunmaktadır. Yüzün geometri bilgisi belirsiz durumlar da çeşitli özellikleri kategorilere ayrılması ve doğrulama işlevini amacıyla kullanılır. Yüz geometrisi uygulamalarında iki farklı teknik kullanılmaktadır. İlk yöntem sıralı özellik arama stratejisine dayalı bireysel yüz özelliklerini değişken konumlandırmasına dayanmaktadır. Özellik varlığını doğruluk yakınındaki özelliklerin tespitiyle artmaktadır. İkinci yöntemin grubunda bulunan teknikler, çeşitli yüz modelleri kullanılarak esnek takımyıldızlar olarak öne çıkmaktadır. Özellik arama teknikleri, seçilen yüz özelliklerinin belirlenmesi ile başlamaktadır. Daha sonra daha az öne çıkan diğer özellikler, yüz geometrisinin antropometrik ölçümleri kullanılarak oluşturulan hipotezlerdir. Görüntüdeki bir yüz alanına göre daha büyük olan baş ve omuz arasındaki alan yerine daha küçük bir alan olan yüzün seçilmesi ve yüz alanında bulunan bir çift karanlık bölge, yüz varlığının güvenini artırmaktadır. Göz çifti, genelde yan yana görünmesi için en sık uygulanan referans özelliği olarak bilinmektedir. Ana yüz eksenini, anahat (başın üstü) ve gövde (başın altında) dahil olmak üzere diğer özelliklerin bulunması içinde kullanılmıştır [47]. Yüz özelliği çıkarma algoritması, bir başın tepesinden başlar ve daha sonra bir arama algoritması yatay düzlemler boyunca siyah-beyaz oranıyla ölçülen, kenar yoğunluklarında ani bir artışa sahip olan bir göz düzlemi bulmak için aşağı doğru tarama yapan yaklaşımdır. Başın uç noktası ile göz düzlemi arasındaki uzunluk referans uzunluğu olarak kullanılabilir. Belirlenen referans uzunluğu kullanılarak, verilen giriş görüntüsü üzerinde gözler ve ağız gibi özellikleri kapsayan esnek bir yüz şablonu başlatılmaktadır. Ardından esnek yüz şablonu, kenar

tabanlı bir fonksiyon kullanılarak en son özellik konumlarına göre ayarlanarak eşleştirilmesi yapılmaktadır. Antropometrik ölçümlere dayanan bir yüz tespiti ve yüz özellik bulma sistemi ile ilgili önermede bulunmuşlardır [48]. Yapılan önermede, gözlerin muhtemel yerleri, önceden işlenmiş görüntülerde oluşturulduktan sonra algoritma burun, ağız ve kaşları konumlarını bulmak için aramaya devam etmektedir. Her yüz özelliğinin muhtemel bir yüz adayını belirlemek için manuel olarak seçilen katsayılar ile önem derecesine göre ağırlık değeri kullanılan ilişkili bir değerlendirme görevi bulunmaktadır. GAZE adı verilen göz hareketi stratejilerinin motivasyonuna dayanarak otomatik bir yüz özellikleri arama algoritması önerilmiştir. Algoritmanın önemli olan kısmı, hassas sıralı en belirgin konumundaki özellikler için bir mekanizmanın işletilerek kontrol edilebilmesine dayanmaktadır [30]. Çok düzeyli bir belirginlik mekanizma gösterimi için ilk önce çok yönelimli Gauss filtresi kullanılarak oluşturulması gerekmektedir. Yaygın özellik çıkarma, genelde yüz hatlarındaki çıkıntıların hassas ölçülmesinde kalın şekil kullanılmasıyla oluşmaktadır. Burun ve ağız gibi diğer yüz bölgeleri sonraki yinelemelerde tespit edilmektedir. Algoritma tarafından kullanılan test görüntüleri farklı yönlerdeki yüzler (veya eğimleri farklı), aydınlatma koşullarının değişikliği ve ölçeklerdeki eşitsizlik gibi durumlarda yüksek oranda tespit edicinin farklı görüntü varyasyonundan nispeten az etkilendiğini göstergesi olmaktadır. Göz hareketi stratejileri de çeşitli özellik analiz algoritmalarının temeli olarak kabul görmektedir. Önerilen algoritmada, arama hedeflerinin(Gözler) eğitim setindeki deneklerin göz merkezleri olan retina örnekleme kaynağında ki gabor değerlerinin ortalaması alınarak yapılmaktadır [49]. En küçük Gabor fonksiyonları örnekleme kaynağının merkezinde, en büyüğü merkez dışında kullanılmaktadır.

### 3.4.2. Görüntü Temelli Yaklaşımlar

Yeni geliştirilen özellik temelli çalışmalardan bazıları yetenekli olmasına rağmen çoğu hala ön profilden çekilen görüntülerde yarım yüz, omuz ve başın tespitinde tahmin edilebilirliği zayıftır. Görüntü zemini karışık yoğunluktaki görüntü içerisinde çoklu yüzlerin bulunması için daha çok çalışma yürütülmesi gerekmektedir. Karışık zemine sahip görüntülerde çoklu yüz tespiti için görüntü temelli yaklaşımlar daha çok tercih edilmektedir. Görüntü temelli yaklaşımların çoğunda yüz bilgisinin özel bir şekilde uygulamasından kaçınılır. Yüz bilgisinin eksikliği veya yanlışlığına bağlı olarak modelin potansiyelini yanıtılabılır. Yüz tespitinde temel yaklaşımlar yüz içeren ve yüz görüntüsü içermeyen örneklerin bulunduğu sınıfın eğitilmesi ile ayrılmaktadır. Bir görüntüden elde edilen 2B yoğunluk dizisi ile oluşturulan sınıflar karşılaştırılarak yüzün tespiti yapılabilmektedir. En basit görüntü tabanlı yaklaşımlar şablon eşleşmesine dayanmaktadır, ancak bu yaklaşımlar iyi performans göstermez ve daha karmaşık teknikler önerebilmektedir [50].

Görüntü tabanlı yaklaşımların çoğu, yüzleri tespit edebilmek amacıyla, olası yüzlerin konumlarının giriş görüntüsünün kapsamlı bir şekilde arama yapılması için tüm ölçeklerde geliştirilen pencere taraması tekniği ile yapılabilmektedir. Neredeyse tüm görüntü tabanlı sistemlerin algoritmalarının uygulanmasında farklılıklar bulunmaktadır. Genellikle, tarama penceresinin boyutu, alt örnekleme oranı, adım boyutu ve yineleme sayısı önerilen yöntem ve hesaplama açısından verimli bir sisteme duyulan gereksinime göre değişmektedir.

Görüntü temelli yaklaşımlar arasında istatistiksel yaklaşımlar yöntemi; maksimum olasılıklı yüz tespiti temelli çalışmalar için Kullback göreceli bilgisinin (Kullback sapma) kullanıldığı istatistiksel bir metot sunulmuştur. Kullback sapması eğitim prosedürü için olasılık oranları ile kontrol tablosu (look-up table) ile sonuçlanmaktadır [51]. Yüz tespiti sistemlerinde performansı daha çok artırmak ve işlem sayısını azaltmak için aynı piksel çiftlerini kontrol tablolarına eklenerek genel sapmaya azda olsa katkı sağlatılması amaçlanmaktadır. Ön yükleme hatasını da içeren gerçek zamanlı yüz izleme sistemi için yüz tespitinin diğer metotlarını sinir ağları ve doğrusal alt uzay yöntemleri gibi YTS kullanılması gösterilmektedir [52].

### 3.5. YÜZ TANIMA YÖNTEMLERİ

Son 20 yıl içerisinde farklı yüz tanıma algoritmaları önerilmiştir. Önerilen teknikler arasında alt uzay metotları ile görünüm tabanlı metotlar yüz tespiti ve YTS önemli ölçüde katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir. Kullanılan görüntü dönüşümünün türüne bağlı olarak, alt uzay yöntemleri genel olarak doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler olarak ayrılmaktadır. Mevcut yüz tanıma tekniklerini, yüzleri ayırt etme yöntemlerine göre beş kategoriye ayırabiliriz [92]- [95];

- Görünüm- (özellik) bilgilerini kullanan teknikler,
- Alt uzay tabanlı teknikler,
- Yapay sinir ağlarını kullanan teknikler,
- Yüzün şekli, dokusunu ve 3B derinlik bilgisi ile çalışan model tabanlı teknikler,
- Korelasyon ve destek vektör makinelerinin kullanımı temelli teknikler olarak bilinmektedir.

#### 3.5.1. Geometrik Özellik Tabanlı Yöntem

Yüz tespiti ve tanıma sistemleri için kullanılan ilk yaklaşımlar arasında geometrik özellik tabanlı yaklaşımları yer almaktadır. Yüzü temsil edebilmek için yüzün önemli özellikleri öncelikle tespit edilir ve tespit edilen özellikler arasındaki mesafelerin yanı sıra diğer geometrik özellik vektörleri birleştirilerek kullanılmaktadır. Bir yüzü tanımak için ilk olarak veri setindeki görüntü ile test görüntüsünün özellik vektörünün elde edilmesi gerekmektedir. Yüzlerin kimliklerini saptamak için de vektörler arası benzerlik ölçüsü ile çoğunlukla minimum uzaklık kriterleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Şablon tabanlı yaklaşımlar ilk geometrik özellik tabanlı yaklaşımlara göre daha iyi performans gösterebileceklerdir. Şablon tabanlı yaklaşımlar, yüzleri tanımak ve tespit etmek için kullanılan en popüler tekniği temsil etmektedirler. Geometrik özellik yaklaşımların aksine şablon temelli yaklaşımlar yüzün çoğu önemli özelliklerinden ziyade yüzün tamamını temsil eden bir özellik vektörü kullanarak özellikleri bulabilmektelerdir [92]- [95].

### 3.5.2. Alt Uzay Tabanlı Yüz Tanıma

Genel olarak alt uzay yöntemleri bir koordinat uzayını hesaplamak için yüz görüntülerinden oluşan eğitim seti kullanmaları gerekmektedir. Seçilen eğitim sınıfındaki görüntüler daha az boyutta sıkıştırılarak, her dikey alt uzay yönü boyunca maksimum aralığını korumaya çalışılmaktadır. Genel konfigürasyonlar da benzer olan yüz görüntüleri devasa görüntü uzayında rastgele dağılmamak ta, bunun yerine nispeten daha düşük boyutlu bir alt uzayı tanımlanmaktadır. Tüm görüntü alanı içerisinde yüz görüntülerinin dağılımını en iyi açıklayan vektörleri bulunması önemli olmaktadır. Boyutu azaltılmış vektörler yüz alanı olarak tanımlanan yüz görüntülerinin alt uzayını oluşturmaktadır. Böylece doğrusallaştırma işleminden sonra, tüm görüntüler arasında ve orijinal yüzlere karşılık gelen tüm vektörlerden çıkarılarak ortalama vektör hesaplanır. Kovaryans matrisi en büyük öz değerlere karşılık gelen sınırlı sayıda öz vektör değerini çıkarmak için hesaplanmaktadır. Öz yüzler olarak da adlandırılan bir kaç öz vektör, düşük boyutlu bir alanda temsil edilir. Yeni bir görüntü test edilmesi gerektiğinde genişletilmiş özyüzlere göre karşılığı hesaplanır ve veri tabanının tamamını genelde Öklid mesafe( Euclidean Distace) ölçüsüne göre karşılaştırılması ile sonuç bulunmaktadır [92]-[95].

### 3.5.3. Yapay Sinir Ağ Tabanlı Yüz Tanıma

YTS için doğrusal olmayan yöntemler arasında yapay sinir ağları gelmektedir. Yapay sinir ağları sınıflandırmasında doğrusal yöntemlere göre komşu sınıflar arasındaki yanlış sınıflandırılmış verilerin miktarının azaltılmasıdır. Görüntüyü oluşturan her piksel için bir nöron ağı oluşturulması gerekmektedir. Sisteme girdi olarak verilen görüntü değerinden, görüntüdeki desen şekillerinden dolayı yapay sinir ağlarını kullanarak eğitilemez ancak görüntünün boyutunu azaltmak için bu teknik uygulanabilmektedir. Belirtilen problemi çözebilmek için otomatik ilişkilendirme modunda çalışan ikinci bir sinir ağının eğitilerek kullanılabilmesi gerekmektedir. İlk olarak yüz görüntüsü ilk ağa göre boyutları otomatikleştirilebilen daha küçük bir vektör tarafından yakınlıştırdıktan sonra seçilen vektörün sınıflandırma yapılabilmesi için ağı girdi değeri olarak kullanılması gerekmektedir. Genel olarak ağın yapısı uygulama alanına büyük ölçüde bağımlıdır, bu nedenle farklı bağlamlar farklı ağlar ile sonuçlanmaktadır. Kendi kendini düzenleyen harita (self organizing map SOM) olarak bilinen bir sinir ağı sınıfı, belirli özelliklerinden yararlanmak için yüz tanımda test edilmiştir.

SOM, görüntü örneğindeki küçük farklılıklar bakımından sabitken, evrişimli ağlar tarafından çeviriler, rotasyonlar ve ölçeklendirme gibi kısımlarda kısmi değişmezlik sağlamaktadır. Olasılıklı karar temelli sinir ağları; yüz tespiti, yüz tanıma ve göz lokalizatörlerinde kullanılmaktadır. TBA yöntemi aracılığıyla en ayırt edici özelliklerin ortaya çıkarıldığı ve radyal temel fonksiyonun (RTF) yapay sinir ağına giriş olarak kullanılan hibrit bir yöntemden söz edilir. RTF'ler yüz tanıma problemi için öğrenme hızının yüksek olması ve kompakt bir topolojiye sahip olmasından dolayı performansı yüksek olmaktadır. Genel olarak yapay sinir ağı kullanan yaklaşımlar sınıfların sayısı arttığı durumlarda problemler çıkarmaktadır. Ayrıca bu yöntemler görüntüdeki tek bir modelin tanınması görevi için uygun değildir çünkü sistemin eğitilmesi için yüz tanıma tek model yetersiz kalmaktadır [92]-[95].

#### **3.5.4. Korelasyona Dayalı Yöntem**

Yüz tespiti için korelasyona dayalı yöntemler normalleştirilmiş çapraz korelasyon katsayısına dayanmaktadır. İlk olarak gözler, burun veya ağız gibi önemli yüz özelliklerinin yerini belirlemek korelasyon yöntemi için ilk aşama olmaktadır. Hem yüz tespitinde hem de yüz tanıma teknikleri için doğru şekilde yüzün özelliklerinin tespit edilmesi önemli olmasından dolayı çeşitli yüz özelliklerinin tespit edilebilmesini sağlayan algoritmaların geliştirilmesine sebep olmuştur.

Yüz özelliklerini tespiti için dışarıdan verilen test görüntüsünün her noktasında yüze ait gözlerin görüntüdeki konumunu bulmak amacıyla bir şablon kümesi oluşturularak normalleştirilmiş korelasyon katsayısını maksimum mutlak değerlerini aramak için kullanmak gerekmektedir. Belirlenen ölçek varyasyonları ile baş etmek için farklı ölçeklerde bir dizi şablon kullanılarak çözüm bulunmuştur. Ölçek değişikliğinden dolayı oluşan problemler hiyerarşik korelasyon kullanılarak önemli ölçüde azaltılması sağlanmıştır. Yüz tanıma için test görüntülerinin önemli yüz özelliklerine karşılık gelen şablonlar veri tabanındaki tüm resimlere karşılık gelen şablonlar ile sırayla karşılaştırılır yapılan karşılaştırma işlemi için normalleştirilmiş çapraz korelasyon ile eşleştirmede hesaplanan puanlara karşılık bir vektör değeri oluşturulmaktadır. Yüz tanıma için farklı özelliklerin benzerlik puanları global bir puan oluşturmak için birleştirilmektedir. Diğer benzer metodların korelasyon veya daha üst düzey istatistik yöntemlerinin hem doğruluğunu hem de karmaşıklığını ortaya çıkarmışlardır. Rotasyonları işlemek için farklı görünümünden şablonlar tercih edilmektedir. Poz belirlendikten sonra, yüz tanıma

görevi klasik korelasyon yöntemine dönüşmektedir. Yüz özellik şablonlarının, çapraz korelasyon katsayısı kullanılarak uygun görünüm esaslı modellere karşılık gelen şablonlarla eşleştirilerek dönüşme işlemi yapılmaktadır. Ancak bu hesaplama yaklaşımı uzun sürmekte fakat aydınlatma koşullarına duyarlı olmaktadır [92]-[95].

### **3.5.5. Eşleştirme Takibi Tabanlı Yöntemler**

Şablona dayalı yüz tespiti ve tanıma sistemi yüz vektörlerini elde edebilmek için eşleştirmenin takibini sağlayan bir filtre kullanmayı tercih ederler. Seçilen görüntüye uygulanan eşleştirme takibi algoritması, tüm tekrarlı görüntülerin artan kalanlarını sıralı seçerek en iyi şekilde ayrıştırılmasını sağlamaktadır. Belirlenen algoritma görüntünün artan kalanlarını tek tek belirlediği için maliyet fonksiyonunu tekrarlı bir şekilde optimize ederek dizi şeklindeki görüntüyü en iyi şekilde ayrıştırmış olmaktadır. Temel fonksiyonların sözlüğü TBA ve LDA tabanlı tekniklerden daha iyi görüntü gösterimi sağladıktan sonra görüntüleri vektörler olarak saklayan iki boyutlu bir dalgacıklardan meydana getirmektedir. Yüz tanıma için, maliyet fonksiyonu yüzler arasındaki mesafelerin ölçülmesi ve her tekrarlama maksimum edilmesi işlemidir. Yüz tespiti yapılabilmesi için algoritmanın her tekrarlama en az değere indirilmiş olan minimum değeri ve bir arada toplanmış benzer şablonları bulması gerekmektedir. Temel seçilen şablonları, planlanan ortalama değeri olan özellikler temsil etmektedir bundan dolayı şablonlar tekrarlı kullanılmaktadır [92]-[95].

### **3.5.6. Destek Vektör Makinesi Yaklaşımı**

YTS'de yüzün sınıflandırılmasında verilerin ayrılabilmesinde kullanılan K sayısı olduğu için K sınıfı olarak adlandırılan bir problem oluşmaktadır. Böylece ikili sınıflandırma yöntemleri ile ilgilenen destek vektör makineleri (DVM) (Support Vector Machines SVMs) sınıflandırıcılarının çıktısının yeniden yorumlanması ile yüz tanıma probleminin yeniden düzenlenmesi durumlarında kullanılmaktadır. İki farklı yüz görüntüsü arasındaki farklılıkları modelleyen farklı alandaki problemin formüle edilmesinin sorunu olmaktadır. Farklı alanda yüz tanıma, aynı kişinin yüzleri arasındaki farklılıkları ve farklı insanların yüzleri arasındaki değişiklikleri belirten iki sınıfın probleminin temsil edilmesidir. DVM tarafından oluşturulan yüzeysel karar yorumu değiştirilerek, yüzler arasındaki farklılık örneklerinden yüzlerin benzerlik ölçüsü oluşturulmasının öğrenilmesini sağlamaktadır [92]-[95].

### 3.5.7. Yüz Oluşturma Teknikleri

Son yıllarda sentetik yüz üretimi yüz tanıma amacıyla araştırılmıştır. Farklı şekiller ve görünümelerde yeni yüzlerin 2B ve 3B oluşturulmasında başarılı olunmuştur. 2B görüntülerden 2B yüz oluşturma [80] ve 2B yüz görüntülerinden üretilen aktif görünüm modeli güçlü yöntemler arasında olduğu bilinmektedir.

Günümüze kadar yüz modellemesi için dört ana yaklaşım bulunmaktadır.

- Aktif görünümlü modeller [80],
- Manifoldlar [81],
- Yüz animasyonlarını içeren ve geometriye dayalı yüz sentez yöntemleridir [68], [82],
- Yüz ifadelerini haritalama teknikleridir [83],[84].

3B modeller yüz sınırlarını, taşınabilir modelleri ve derinlik haritası tabanlı modelleri içermektedir. Yüksek kaliteli grafikler ve karmaşık animasyon algoritmaları modellerin içermesi gerektirir. 3B ve çok modlu yüz tanıma yaklaşımları ve zorlukları hakkında bir literatür araştırmasını detaylı olarak sunulmuştur [85]. 3B kafa pozları, 2B görüntünün özelliklerine karşılık gelir [86]. 3B kafa pozları, 2B görüntülerini kullanılarak 3B özelliklerin benzetmesini sağlamaktadır. İstatistiksel analize sahip 3B Morphable model yerleştirilerek yüz tanıma gerçekleştirilmiştir [87]. 2B görüntülerde çok görünümlü yüz oluşturulması manifold analizi tarafından yapılmaktadır. Yansıtımlı ve geometri odaklı yüz sentezi ile ilgili modeller [83] ve [88] de sıralanmıştır. Yüz ifadelerinin analizlerini çıkarma teknikleri 2B yüz oluşumunu sağlayan yöntemlerden faydalanılarak yapılmaktadır.

### 3.5.8. Üç Boyutlu Yüz Tanıma

Yüz tanıma araştırmalarının ve ticari YTS'nin büyük çoğunluğu, tipik 2B yüz görüntülerini kullanırlar. Hiç bir zaman yüz tanıma sürecinde bir yüzün 3B modeli oluşturulmadığı nede algoritmalar 3B bir yüzü gözlemlemenin sonucu olduğu gerçeği açık ve güçlü şekilde kullanılmamıştır. 2B yüz görüntülerinin aksine, 3B yüzlerin yüzeyleri, baş pozları ve kozmetik malzemelerine karşı aydınlatma işlevi duyarsızdır. Dahası 3B veriler, 2B verilerin dışında değişmez ölçümler üretmek için kullanılmaktadır. 2B yüz tanıma geleneksel kamera kullanarak 2B yüz görüntüsü oluşturulur fakat 3B yüz genellikle derinlik, kameraya uzaklık veya 3B tarayıcı kullanarak derinlik bilgisi elde

edilmektedir. Geleneksel kameralara göre daha karmaşık algılayıcı gerek duyulmaktadır. Ancak yüz tanıma amacı için yüzün 3B şekli genellikle 2B yoğunluklu bir görüntüyle birlikte elde edilir. Bu durumda 2B görüntü, 3B şekline yerleştirilmiş bir desen haritası olarak düşünülür. Bazen derinlik görüntüsü olarak bilinen aralık görüntüsü, piksel değerinin sensörden görüntülenen yüzeye olan mesafeyi yansıttığı görüntüdür. Bir aralıklı görüntü, gölgeli bir model ve ince çerçeve ağı kullanılarak 3B yüz verilerini görüntülemek için ortak alternatiftir. Diğer genel yaklaşım 3B Morhable yüz modeli, yüz tanıma için 2B görüntü eşleştirmesinde bir ara adım olarak kullanılır. Bu yaklaşım 3B şekil tanımlamasının eşleşmesi veya karşılaştırmasını içermez; bunun yerine 3B deforme olabilen bir model 2B bir görüntü ile eşleştirilir ve desenli 3B model ile sentetik 2B görüntünün eşleştirilmesi için bir dizi sentetik 2B görüntü üretmek için kullanılır. Bu tür yaklaşımın varyasyonları birçok ticari YTS'de zaten kullanılmaktadır. Şekil 2.4'te bazı basit 3B örnek görüntüler gösterilmektedir [92]-[95].

#### **Tipik 3B YTS aşağıdaki bölümlerden üretilmiştir:**

- Görüntü toplama
- Ön işleme
- Yüze ait özelliklerin çıkarılması
- Benzerlik ölçüsünü hesaplanması
- Sınıflandırma

3B genel bir algılayıcının çıktısı, taranan yüzeyin 3B noktalarının her bir noktasında  $x$  in değeri ile  $y$  ve  $z$  bileşenlerinden olmaktadır. 3B veri genellikle görüntü aralığı veya nokta bulutu olarak temsil edilir. Nokta bulutu, nesne yüzeyinde taranan noktaların  $(x,y,z)$  koordinatlarının bir kümesidir. Aralık görüntüsü (derinlik) taranan 3B noktaların  $(x,y)$  düzlemine yansıtılmasıyla elde edilir. Aralık görüntüsü, 2B yoğunluk görüntüsüne benzer şekilde biçimlendirilir, fakat aralık görüntüsündeki piksel yoğunluğunun, taranan nesnenin ( $z$  koordinatları) derinlik bileşenleriyle orantılı olmasının farkı vardır. 3B bir görüntüde ilk önce yüz tespiti ve yerleştirme işlemleri genellikle gerçekleştirilir. Görüntüdeki yüzlerin sayısını ve konumlarının belirlendiği işleme tespit etme olarak belirtilir. Görüntü içerisinde sadece bir yüz olduğu varsayarsak, yüz bölgesinin konumunu ve büyüklüğünü yerleştirme (localization) kullanılarak yapılmaktadır. 3B görüntülerde yüz yerleştirilmesi için çoğu yöntem, insan yüzünün yüzeyinin yerel

noktalarının analizine dayanmaktadır. Yüzün karakteristik parçaları olan ağız, göz, burun gibi organların yerlerini ve yüzün büyüklüğü, yönü ve konumu belirlenmesinde kullanılacak bir dizi olası noktayı verir. Bu yerleştirme noktalarının konumlarına bağlı olarak, görüntü içerisinde yüz alanı kesilebilir, yeniden ölçeklendirilmesi ve normal poza dönüştürülmesidir [92]-[95].

### **3.5.9. Özellik Çıkarma**

2B yüz tespiti ve tanımda olduğu gibi özellik çıkarmanın amacı, farklı yüz görüntülerindeki bilgileri ayırt etmek için uygun olan, fotometrik ve geometrik varyasyonları açısından uygun olan görüntülerden kompakt bilgileri çıkarmaktır. Yüz bölgesinden bir veya daha fazla yüze ait özellik vektörü çıkarılır. Tanınmış özellik çıkarma yöntemleri genel ve yerel operasyon gruplarına ayrılabiliriz [92]-[95].

### **3.5.10. Genel Özellik Çıkarması**

Genel özellik çıkarma yöntemlerinde, tüm yüz bölgesindeki özellik vektörleri çıkarılır. Genel 3B yüz özelliklerini çıkarma yöntemlerinin çoğu, 2B gri tonlamalı görüntülerin çoğu aralık görüntüleri ile değiştirildiği 2B yüz görüntüleri için kullanılan yöntemler üretilmiştir. Genel özellik yöntemleri, doğru tanıma için ölçek, aydınlatma, kesin yerleştirme ve normalleştirilmesi gerekmektedir. TBA (temel bileşenler analizi principal component analysis PCA), genel özellik çıkarması için en yaygın bilinen yöntemdir ve 2B yüz görüntüleri ile aralıklı görüntülerden özellik çıkarmak için tercih edilir. Diğer yaygın bilinen genel özellik çıkarma yöntemleri aralıklı görüntülerde DDA (doğrusal diskriminant analizi LDA) ve BBA (bağımsız bileşen analizi independent component analysis ICA) olarak bilinmektedir. Genel özellikler sadece veri boyutluluğunu azaltmakla kalmıyor, aynı zamanda yüzün farklı bölümleri arasındaki mesafe ilişkisini de koruyor. Genel özellik yönteminin kullanımı, kontrollü ortamda elde edilen görüntüye dayanan YTS'de yaygındır. Genel özellik tabanlı tanıma sistemlerinde, yerleştirme ve normalizasyon genellikle yüzdeki karakteristik noktaların manuel olarak isimlendirilmesi ile gerçekleştirilir. Otomatik yerleştirme ve normalleştirme genellikle yinelemeli en yakın nokta algoritması (iterative closest-point ICP) kullanılarak gerçekleştirilir. Yerel özellik çıkarma yöntemleri, her vektörün belirli bir yüz bölgesinin özelliklerini taşıdığı bir yüzeyden bir dizi özellik vektörü çıkarmaktadır. Yerel özellikler çıkarma yöntemleri, kontrolsüz ortamlardaki yüz aydınlatması, yüz eğimi, ifadeler ve ölçek değişimlerinin bulunduğu küresel özelliklere göre avantajlara sahiptir.

Yerel özellik çıkarma işlemi iki bölüme ayrılmaktadır [92]-[95].

- İlk bölümde, yüz bölgesindeki ilgi noktaları tespit edilmektedir.
- İkinci bölümde, ilgi noktaları, yerel özellik vektörlerinin hesaplandığı yerler olarak kullanılmaktadır.

İlgi noktaları görüntü ölçeği için karakteristik noktalar olarak bilinmektedir. İlgi noktalarının özellikleri ölçeğe göre değişmediğini göstermektedir. İlgi noktaları yüz özelliklerinin eğrilerini analiz ederek ve dikdörtgen bir ızgaraya ait düğümlerin yüz bölgesinin kapladığı yerleri elastik demet grafik yöntemiyle tespit edilebilir [92]-[95].

### **3.5.11. 3B Morphable Modeli**

Morphable model, yüzdeki herhangi bir aydınlatmanın ve poz lamanın doğru bir şekilde modellenmesini sağlayan 3B bir yöntem olarak önerilmiştir. Doğrusal 3B şekil ve görünüm modelinin yanı sıra bir görüntüleme modellerinden elde edilen görüntü yüzeyini 3B eşleyerek oluşmasını sağlayan modeldir. 3B şekil ve görünüm verileri, örnek insan yüzlerinin bir eğitim setinin doğrusal kombinasyonları alınarak modellenmiştir. Model yapımının önemli adımı bir dizi 3B yüz taramasının benzetmesini oluşturmaktadır. Tek boyutlu bir görüntü verisi verildiğinde, Morphle yöntemi otomatik olarak 3B şeklini, desenini, poz, aydınlatma vb. gibi tüm değişkenleri 3B sahne parametrelerini otomatik olarak tahmin eder. İkinci adımda eşleştirmelerin her biri ile yüzeyin referans ağı arasındaki eşleşmeler hesaplanır. Kayıtlı yüz taramaları daha sonra kesin genel dönüşüm içermeyecek şekilde hizalanır. Hizalama işleminden sonra insan yüzlerinin 3B şeklini ve renk verilerini öğrenmek için istatistiklerini tahmin etmek amacıyla TBA gerçekleştirilir. Yüz tanıma görevi, galerideki modellerin şekil ve doku parametreleri ile uygulama modeli arasındaki mesafeyi Mahalanobis olarak bilinen algoritma kullanılarak ölçülmektedir [92]-[95].

## 4. FPGA TABANLI PARALEL YÜZ EŞLEŞTİRME

FPGA tabanlı yüz eşleştirme çalışmalarına dair bilgiler bu bölümde açıklanmıştır. Şekil 4.1’de sunulan blok şemasına göre tezde yapılan çalışmalar organize edilmiştir. Tez çalışmasının katkısını sunabilmek için öncelikle Intel firması tarafından açık kaynak olarak sunulan OpenCV kütüphanesinden yararlanılarak ve C++ dilinde modellenerek bilgisayar tabanlı yüz eşleştirme çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmaların FPGA sistemlerde çalışabilmesi için VHDL’e uygun hale getirmek amacıyla OpenCV’de kullanılan hazır birçok fonksiyon tekrardan kodlanarak kullanılabilirlik seviyesi yükseltilmiştir [96],[97]. Yapılan çalışmalar beş kısımda verilmiştir.

Bölüm 4.1’de tezde kullanılan yüz tanıma yöntemlerinin doğru sonuçlar üretebilmesinde önemli olan görüntü ön işleme yer verilmiştir. Görüntü ön işleme teknikleri C++ dili kullanılarak uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

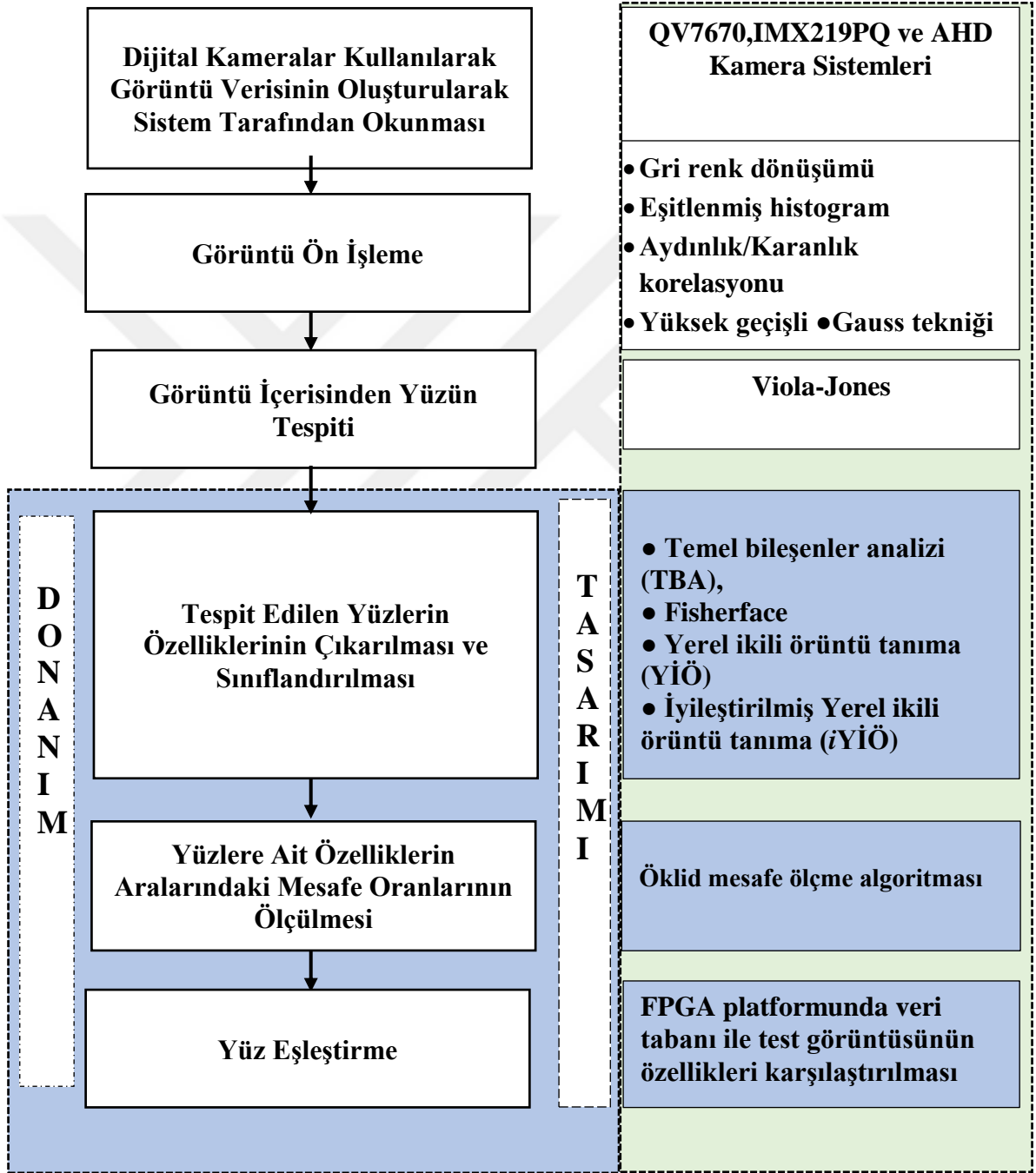
Bölüm 4.2’de görüntü ön işleme sonucunda iyileştirilmiş görüntüde, yüzlerin tespiti ile ilgili çalışmalar verilmiştir. Tez çalışmasında yüz tespiti için seçilen Viola-Jones algoritmasının uygulanabilmesi için önerilen akış diyagramı sunulmuştur.

Bölüm 4.3’te tespit edilen yüz görüntülerinin tanınabilmesi için kullanılan yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan YTS yöntemlerinin (temel bileşenler analizi (PCA), fisherface, yerel ikili örüntü tanıma (YİÖ)) temel çalışma prensiplerinin özelliklerine vurgu yapılmıştır. Seçilen YTS yöntemleri farklı programlama dillerindeki çalışma performansını ölçmek amacıyla C++ ve Python programlama dilleri kullanılmıştır. ORL veri seti kullanılarak performans analizleri yapılarak Bölüm 5.1’de zaman karşılaştırılması yapılmıştır.

Bölüm 4.4’te programlama dilleri kullanılarak geliştirilen YTS yöntemlerinin, FPGA platformlarında çalıştırılması için sayısal tasarım teknikleri gerçekleştirilmiştir. Yerel ikili örüntü (YİÖ) algoritmasının daha hızlı çalışması için aynı anda daha fazla işlem yapılmasını sağlayan *iYİÖ* adı verilen iyileştirilmiş bir algoritma önerilmiştir.

Bölüm 4.5’te önerilen yöntemin teknolojik hayatta kullanılabilirliğini göstermek için iki farklı uygulamada gerçekleştirimi üzerinde durulmuştur. Öğrenci otomatik yoklama sistemi için sınıf içi video görüntüleri ve kurumsal güvenlik uygulamaları için güvenlik kameralarından alınmış video görüntüleri üzerinde deneyler yapılarak elde edilen sonuçlar Bölüm 5’te sunulmuştur.

Şekil 4.1’de sunulan blok şeması iki sütundan oluşmaktadır. YTS için gereken işlem adımları sol sütunda, kullanılan yöntem ve algoritmalar sağ sütunda yer almaktadır. Sol sütunda yer alan blok parçalarının donanımla gerçekleştirilenleri, yüz özelliklerinin çıkarılarak sınıflandırılması, Öklid mesafe yöntemi ile özellikler arasındaki mesafelerin belirlenmesi ve veri tabanındaki değerler ile test edilen kişinin yüz özelliklerinin eşleştirilmesidir.



Şekil 4.1. Yüz Tanıma Süreci.

#### 4.1. GÖRÜNTÜ ÖN İŞLEME

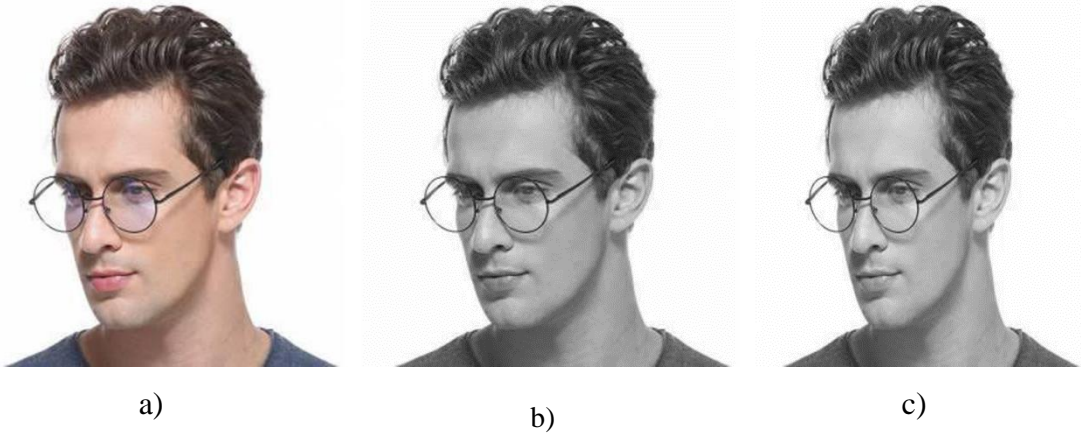
Bölüm 2’de sunulan renk uzayı bilgileri yazılım olarak uygulanmıştır. Öncelikle dijital kameradan elde edilen ve sistemin girdisi olan sabit RGB formatındaki görüntü gri renge dönüştürülmüştür. 8 bitlik bir görüntüde  $2^8=256$  (0...255) gri renk tonu elde edilmiştir. En küçük 0 değeri siyah renk için, en büyük 255 değeri ise beyaz renk olarak ayrılmıştır. 0 ile 255 arası ise gri rengin tonları olarak hesaplanmıştır. Gri formata dönüştürmek için öncelikle RGB formatındaki her bir pikselin R, G, B değerleri bulunmaktadır. Gri renk ölçeği için ortalama ve ağırlık yöntemleri bulunmaktadır. Ortalama yöntemi için eşitlik kullanılır. Denklem (4.1)’de eşitlikte gri renk ton değerini **GD** simgelemekte, kırmızı renk değerini **R**, yeşil renk değerini **G** ve mavi renk değerini **B** simgelenerek ortalama yöntem uygulanmaktadır.

$$GD=(R + G + B)/3 \quad (4.1)$$

Ortalama yönteminde parlaklık değerinin bazı görüntülerde çok iyi anlaşılır olmadığı gözlemlenmiştir. Normal renkli bir görüntüde kırmızı rengin dalga boyu fazla iken yeşil rengin dalga boyu daha azdır. Görüntüdeki renklerin ortalama değeri alındığında yöntem tüm renk değerlerinin ağırlıklarını eşit kabul ettiğinden sonuç daha siyaha yakın ve parlaklık değerinin anlaşılması oldukça zor olduğu tespit edilmiştir. İkinci yöntem olan ağırlık yöntemi denklem (4.2) eşitliğindeki katsayılar çarpılarak hesaplanır.

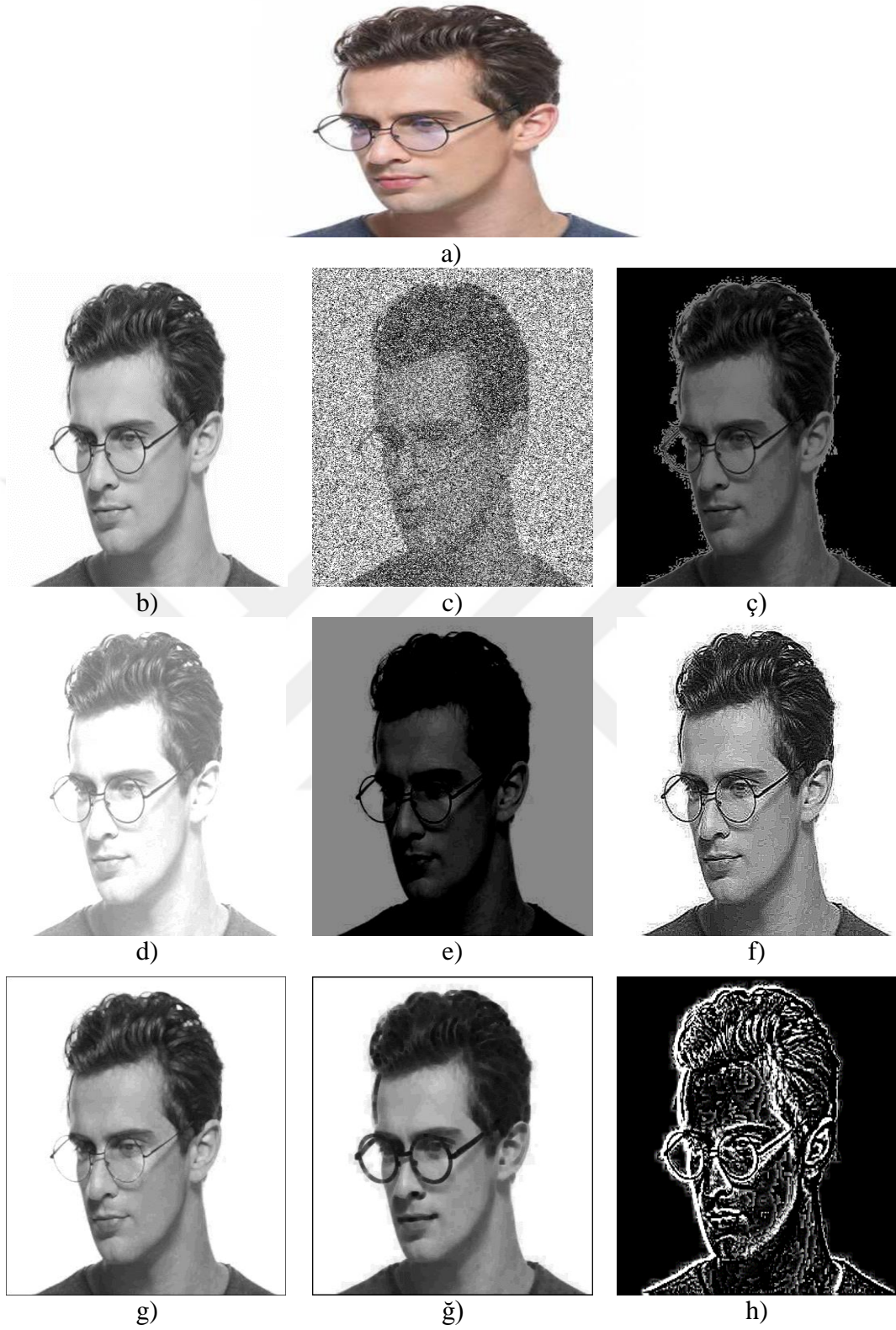
$$GD=R0.299+G0.587+B0.114 \quad (4.2)$$

Ağırlık yönteminde kırmızı rengin dalga boyu fazla olduğu için kırmızı renk ile çarpılacak katsayı daha küçüktür. Her iki yöntem denenerek elde edilen görüntüler Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. a) Orijinal görüntü, b) Ortalama yöntemi, c) Katsayı yöntemi.

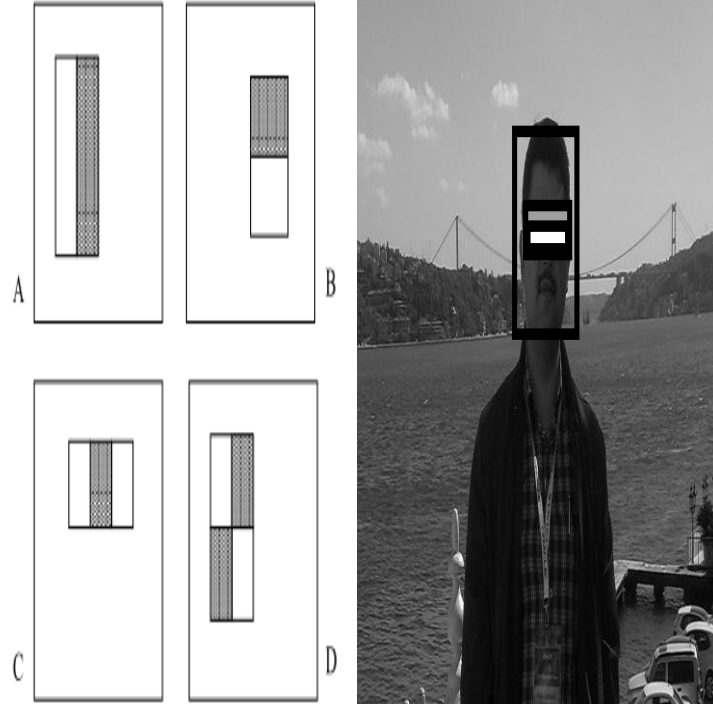
Görüntüde istenmeyen bileşenlere, gürültü adı verilmektedir. Dijital kameralar kullanılarak elde edilen görüntüler üzerinde gürültüler her zaman mevcuttur. YTS için kullanılacak görüntülerde gürültülerin mutlaka giderilmesi gerekmektedir. Gürültü türlerine göre uygulanacak farklı gürültü giderme yöntemleri bulunmaktadır. Tez çalışmasında yüz ifadesi, ışık şiddeti, kapalılık gibi sistem performansını etkileyebilecek olumsuzlukları azaltmak için düşük geçişli, tuz biber, yüksek geçişli, Gaussian ve medyan filtreleri beraber kullanılarak analizler yapılmıştır. Kullanılan filtreler C++ programlama dilinde kodlanmış ve VHDL’de kullanım için kolaylık sağlanmıştır. Gürültü giderme analizleri için test görüntüleri kullanılmıştır. Orijinal görüntü üzerinde uygulanan gri renk dönüşümü, tuz biber filtresi, eşitlenmiş histogram, aydınlık korelasyonu, karanlık korelasyonu, yüksek geçişli, gauss tekniği, en az seviyeli, ayırık evrişim filtreler sonucunda oluşan değişimler Şekil 4.3’de sunulmaktadır.



Şekil 4.3. Görüntü ön işleme a)Renkli orijinal görüntü, b) Gri renk dönüşümü, c) Tuz biber filtresi, ç) Eşitlenmiş histogram, d)Aydınlık korelasyonu,e)Karanlık Korelasyonu, f) Yüksek geçişli, g)Gauss tekniği, ğ)En az seviyeli, h)Ayrık evrişim.

## 4.2. YÜZ TESPİTİ

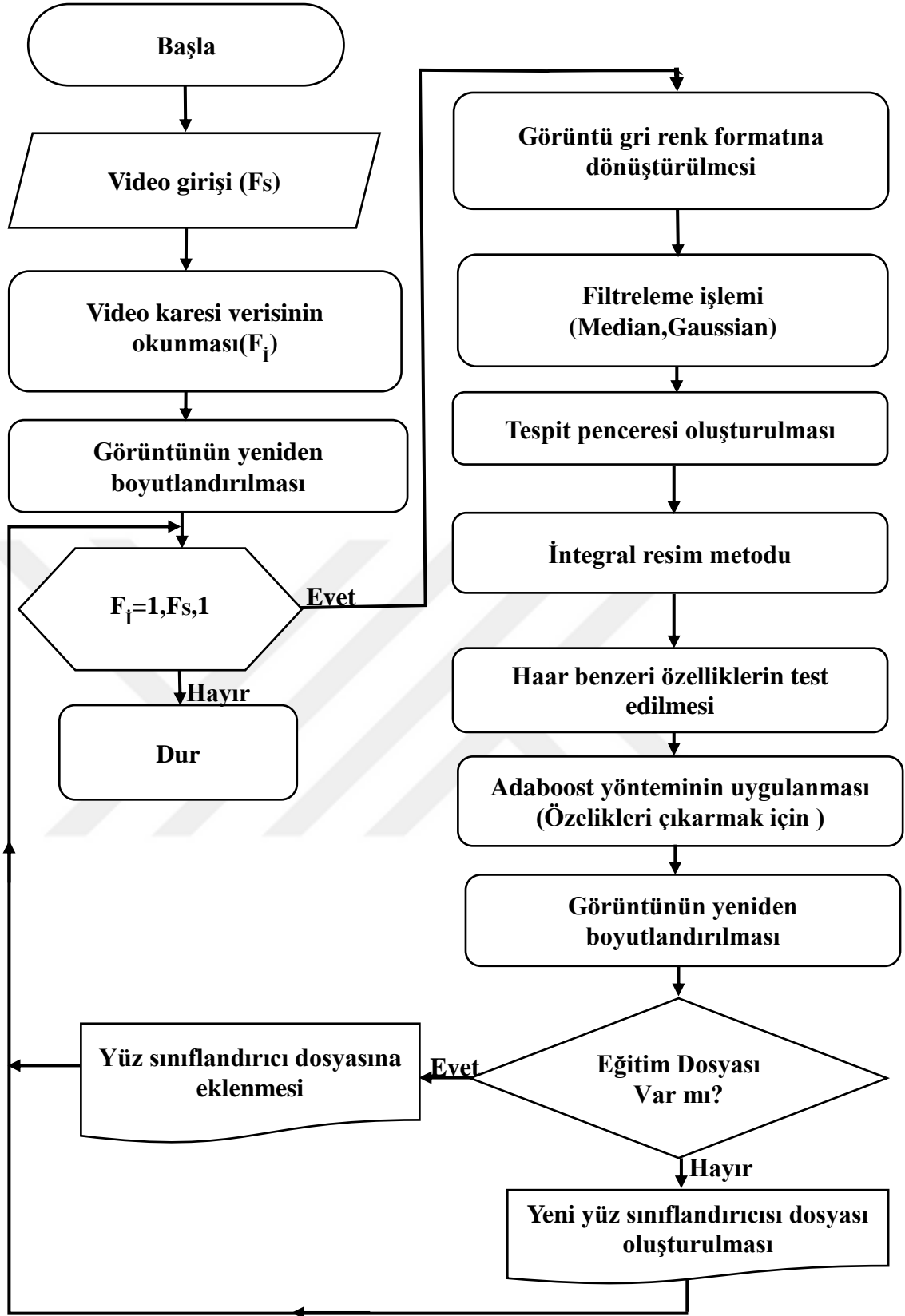
Bölüm 3,3’de sunulduğu gibi insanların yüzünün dijital sistemler tarafından tanınabilmesi için görüntü içinde yüzlerin algılanması önemlidir. Günümüz teknolojisinin hızlı ilerlemesi ve dijital makinelerin performanslarının artması sonucu farklı yüz tespiti yapan yöntemlerin kullanılabilir olduğu anlaşılmıştır. Görüntü üzerinden bir veya birden fazla insan yüzünün konumunun tespit edilmesini sağlayan yöntemler için literatür araştırması yapıldığında; geliştirilmiş çeşitli algoritmalar olduğu Bölüm 3’de detaylı olarak sunulmuştur. Genelde Viola-Jones yöntemi, temel bileşenler analizi, graf yöntemleri, zernike moment değişmezleri yöntemi, dudak yerini bulma gibi tekniklerin tercih edilirliğinin yüksek olduğu bilinmektedir. Viola-Jones yöntemi kullanılarak, insan yüzünün sınırlarının görüntü içerisinde tespit edilmesi sağlanmıştır. Kullanılan yöntemin doğruluk hız performansının ideal seviyede olmasından dolayı günümüz akıllı telefon ve bilgisayar üreticisi çok sayıda ticari firmanın yüz tespiti için aynı yöntemi tercih ettikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca farklı yazılım firmaları müşterilerinin kullanmaları için Viola-Jones tekniğini geliştirerek satışa çıkarmışlardır. Kullanılan yöntemde öncelikle yüzün organlarının eğrileri görüntü içerisinde aranarak bulunup çıkarılmaktadır. Geliştirilen mesafe hesabında, görüntüde yüz olan ve olmayan bölgeler sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırmaların yapılabilmesi için hazır şablonlar kullanılmaktadır. Tanımlanan şablonların kullanım amacı yüzün karanlık ve aydınlık kısımlarının referans alınmasını sağlamaktır. Görüntü içerisinde yanak ve burun köprüsü aydınlık iken gözlerin olduğu bölgenin karanlık olması gerekmektedir. Şekil 4.4’de A,B,C,D’de görülen hazır şablonların görüntü üzerinde yüze geldiği konum bilgisi simgelenmektedir [3].



Şekil 4.4. Viola-Jones hazır şablonları.

Şekil 4.5’de tezde kullanılan yüz tespit edicisi için; kameradan alınan görüntü üzerinden yüz tespitini sağlayan algoritmanın akış diyagramı sunulmuştur.

Akış diyagramında video dosyasını oluşturan karelerin(frames) toplam sayısını  $F_s$  değişkenine atandı. Her bir kare için ise  $F_i$  değişkeni ile numaralandı. Video karesi görüntüsünü işlem yapacağımız boyutlara dönüştürüldükten sonra gri renk ve görüntü önışleme filtreleri (Median,Gaussian) kullanıldı. Viola-Jones yüz tespiti algoritmasının çalışabilmesi için görüntü parçalara ayrılarak **integral resim** metodu uygulandı. Haar benzeri özellikleri Adaboost yöntemi ile sınıflandırıldı. Görüntü yüz sınıflandırıcı dosyasının olup olmadığını kontrol edildi. Eğer sınıflandırıcı dosyası yoksa oluşturuldu ama önceden dosya oluşturulmuş ise dosyanın sonuna görüntünün dönüştürülmüş hali eklenmektedir.

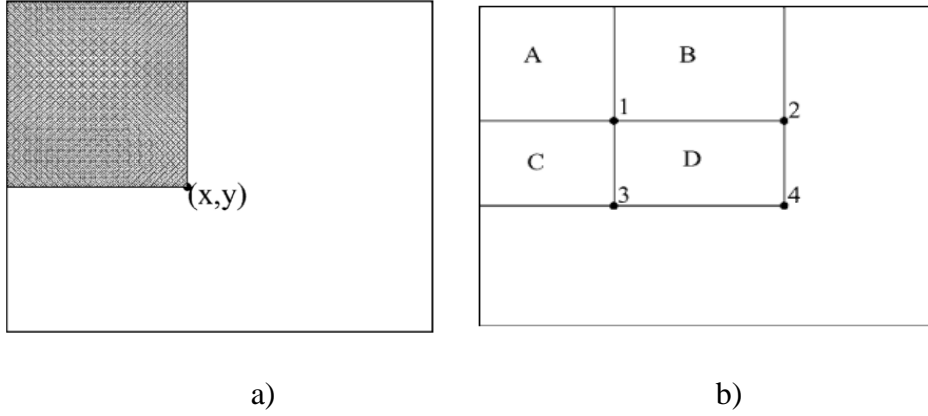


Şekil 4.5. Tez çalışmasındaki yüz tespiti algoritmasının akış diyagramı.

24x24 (576) piksel değerlerine sahip görüntüde Şekil 4.6'de gösterilen işlem için 160.000 den fazla şablonun karşılaştırılması gerekmektedir. Ayrıca toplamda 576 piksellik işlem sayısının miktarını düşürmek için "integral image" adında basit bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem sayesinde hesaplanacak aynı görüntüdeki piksel sayısı 288'e kadar düşürülerek, işlem sayısında fark edilebilecek seviyede azalma olmuştur [6].

Görüntüde yüzün bulunması için kullanılan Viola-Jones yöntemi; görüntünün ön cepheden çekilmesi, yüz görüntülerinin kameraya olan açısı, kameranın yüz görüntülerine mesafesi, ortamın aydınlığı gibi koşullardan etkilenmektedir. Tespit penceresi ile görüntünün tüm piksellerini tarama yaparken Haar benzeri öznelikleri ile eşleştirmenin doğru sonuçlar çıkarabilmesi için belirli eşik değerine denk olması gerekmektedir [6]. Yüz bulucu, profil görünümlü resimlerin y-ekseni düzleminde yaklaşık olarak  $\pm 15$  dereceye kadar ve x-ekseni düzleminde ise yaklaşık  $\pm 45$  dereceye kadar eğimli yüzleri tespit edebilir. Belirlenen açıların dışında güvenilir olmayan sonuçlar çıkarmaktadır [6]. Yüz içerisindeki ağız, burun ve özellikle gözler kapatıldığında yüz bulucu, görüntü içerisinde bulunan yüzlerin konumunu tespit edememektedir [6].

Geliştirilen yazılım Şekil 4.6'deki D dikdörtgenin piksel değerlerinin toplamı için dört dizi referansı kullanılarak hesaplanmaktadır. 1 numaralı konum noktasındaki referans değeri; integral hesaplama teknikleri kullanılarak A dikdörtgenindeki piksel değerleri toplanarak bulunmaktadır. 2 numaralı konum noktasındaki referans değeri ise A ve B dikdörtgen alanlarındaki piksel değerleri toplanarak hesaplanmaktadır. 3 numaralı konumdaki referans değerini bulmak için A ve C, 4 numaralı konumdaki referans değerini hesaplamak için A, B, C ve D dikdörtgenlerinin değerlerinin toplamı yapılmaktadır. D dikdörtgen alanı içindeki toplam değeri  $4 + 1 - (2 + 3)$  olarak bulunur.



Şekil 4.6. a) Görüntüdeki referans noktası, b) İntegral yöntemiyle hesaplama.

Denklem (4.3)'de verilen eşitlikler kullanılarak işlem sayısı azaltılmaktadır [1],[2]. Denklemde orijinal görüntünün piksel değerlerinin koordinatları  $i(x, y)$  ile temsil edilmiştir. İntegrali alınmış görüntünün koordinat bilgilerini göstermek için  $ii(x, y)$  simgeleri kullanılmıştır.

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y') \quad (4.3)$$

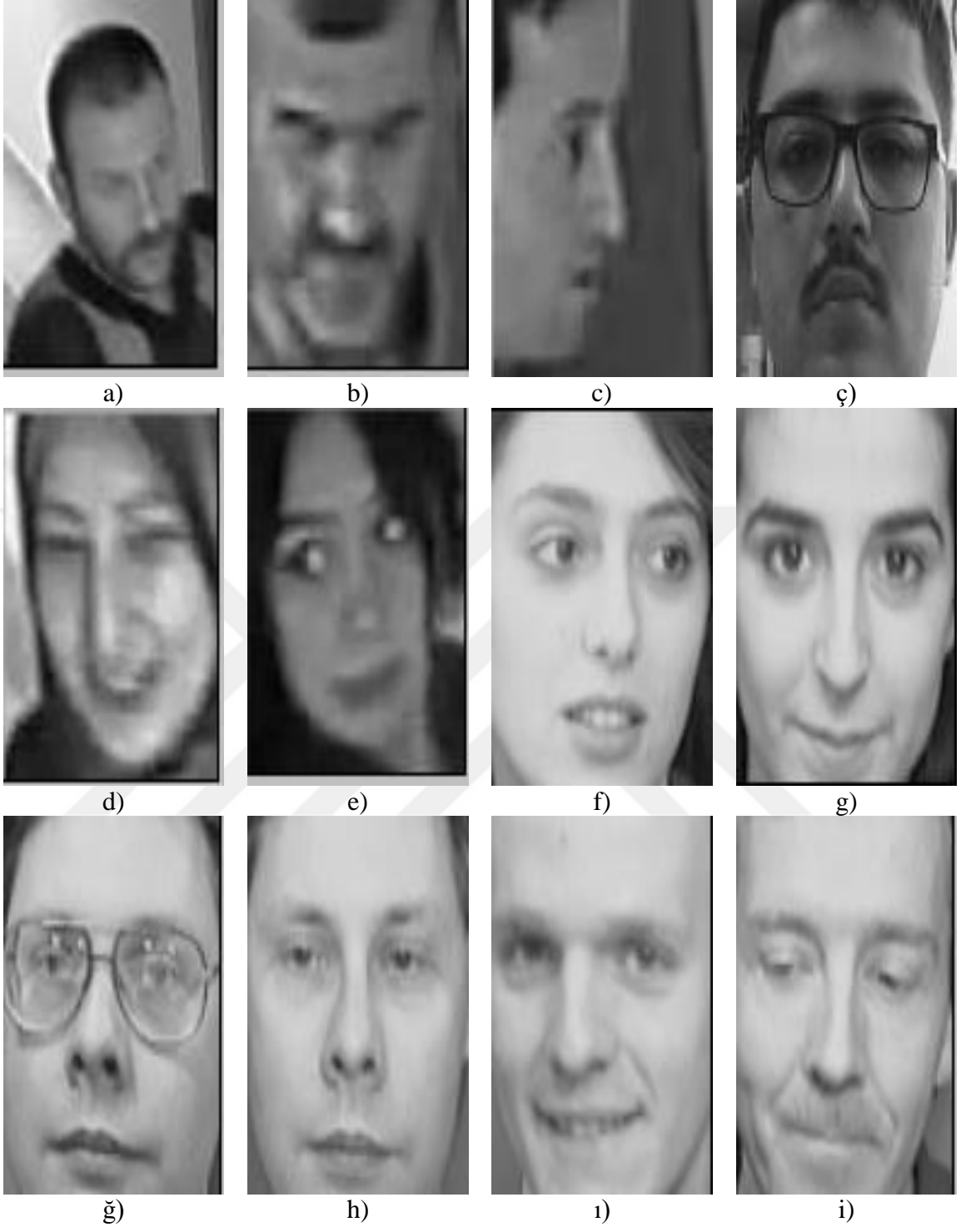
Denklem (4.4) ve Denklem (4.5) kullanılarak kümülatif satır toplamları yapılır.  $s(x, y)$  kümülatif satır toplamını ifade etmektedir. Denklem (4.4)'de  $y$  değişkenine 0 verilerek  $s(x, -1) = 0$  ifadesi yapılarak kümülatif satır işlemi başlatılarak hesaplanmaktadır.

$$s(x, y) = s(x, y-1) + i(x, y) \quad (4.4)$$

İntegral resim için denklem (4.5)'de kümülatif satır toplamını hesaplanması amacıyla  $x$  değişkenine 0 değeri verilerek  $ii(-1, y) = 0$  ifadesi kullanılmaktadır.

$$ii(x, y) = ii(x-1, y) + s(x, y) \quad (4.5)$$

Haar benzeri belirteçler kullanılarak Haar arka arkaya sınıflayıcılar (haar cascade classifier HCC) ile sınıflandırmalar yapılmıştır. Viola-Jones HCC zayıf sınıflarını eğitmek için Freund ve Schapire'in 1995 yılında önerdikleri uyarlamalı boosting'i (AdaBoost) uyarlayarak kullanmışlardır. Tez çalışmasında Viola-Jones yöntemi kullanılarak veri setlerindeki bazı video ve görüntülerden algılanan yüzler Şekil 4.7' de gösterilmiştir. a-e arası DÜBİM veri setinden, f-i arası ORL veri setinden elde edilen yüz görüntüleridir.



Şekil 4.7. Viola-Jones yöntemiyle algılanan yüzler.

### 4.3. YÜZLERİN TANINMASI

Tez çalışmasında YTS için temel bileşenler analizi (PCA), fisherface, yerel ikili örüntü tanıma (YİÖ) ve iyileştirilen yerel ikili tanıma algoritmaları kullanılarak gerekli analizler yapılmıştır.

#### 4.3.1. Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis PCA )

Yüz tanımda yaygın olarak kullanılan istatistiksel yöntemlerden birisi temel bileşenler analizidir. Çok boyutlu verinin temel bileşenlerini çıkartarak boyut miktarını azaltmak için kullanılan matematiksel bir modeldir. Yüz tanıma sürecinde yüzü temsil eden özelliklerin azaltılmasını sağlar. Böylece yapılan işlem sayısı azaltılarak hesap yükü düşürülerek sistemin çalışma hızı ve doğruluğunda artış sağlanmıştır. TBA, yüz görüntüleri koleksiyonundaki çeşitliliği ayırt etmek için özyüz temeline dayanarak bireysel yüz görüntülerini kodlayıp karşılaştırmak için 1991 yılında Turk ve Pentland tarafından duyurulmuştur [11]. PCA algoritmasında; eğitim seti olarak da adlandırılan veri seti  $V$ , sınıfı  $S$  ile simgelenmektedir.  $S$  sınıfındaki insan yüzü sayısını  $N$  sembolü temsil etmektedir.  $S$  sınıfındaki görüntü satırlarının birleştirilmesi ile her bir görüntü  $y_i$  adı verilen sütun vektörüne dönüştürülmektedir. Denklem (4.6)'daki eşitlik kullanılarak  $\bar{y}$  değeri elde edilmektedir. Elde edilen değer ortalama bir yüzü hesaplayabilmek amacıyla kullanılmaktadır [92],[93].

$$\bar{y} = \left( \sum_{i=1}^N y_i \right) / N \quad (4.6)$$

Her bir  $y_i$  sütun vektör değerinden kurucu (construct) vektörü temsil eden  $\phi_i$  değeri çıkarılır.  $\phi_i$  değerini oluşturmak için  $\phi_i = y_i - \bar{y} (x, y)$  formülünden yararlanılır. Elde edilen sütun vektörleri, A matrisinin verisinden kovaryans matrisini oluşturmak amacıyla denklem (4.7)'de verilen matematiksel eşitlikten yararlanılmıştır [92],[93].

$$C = AA^T \quad (4.7)$$

Denklem (4.8)'deki matematiksel eşitlik kovaryans matrisin ortalama yüzler ile elde edilmesini göstermektedir [92],[93].

$$\mathbf{C} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}) (y_i - \bar{y})^T \quad (4.8)$$

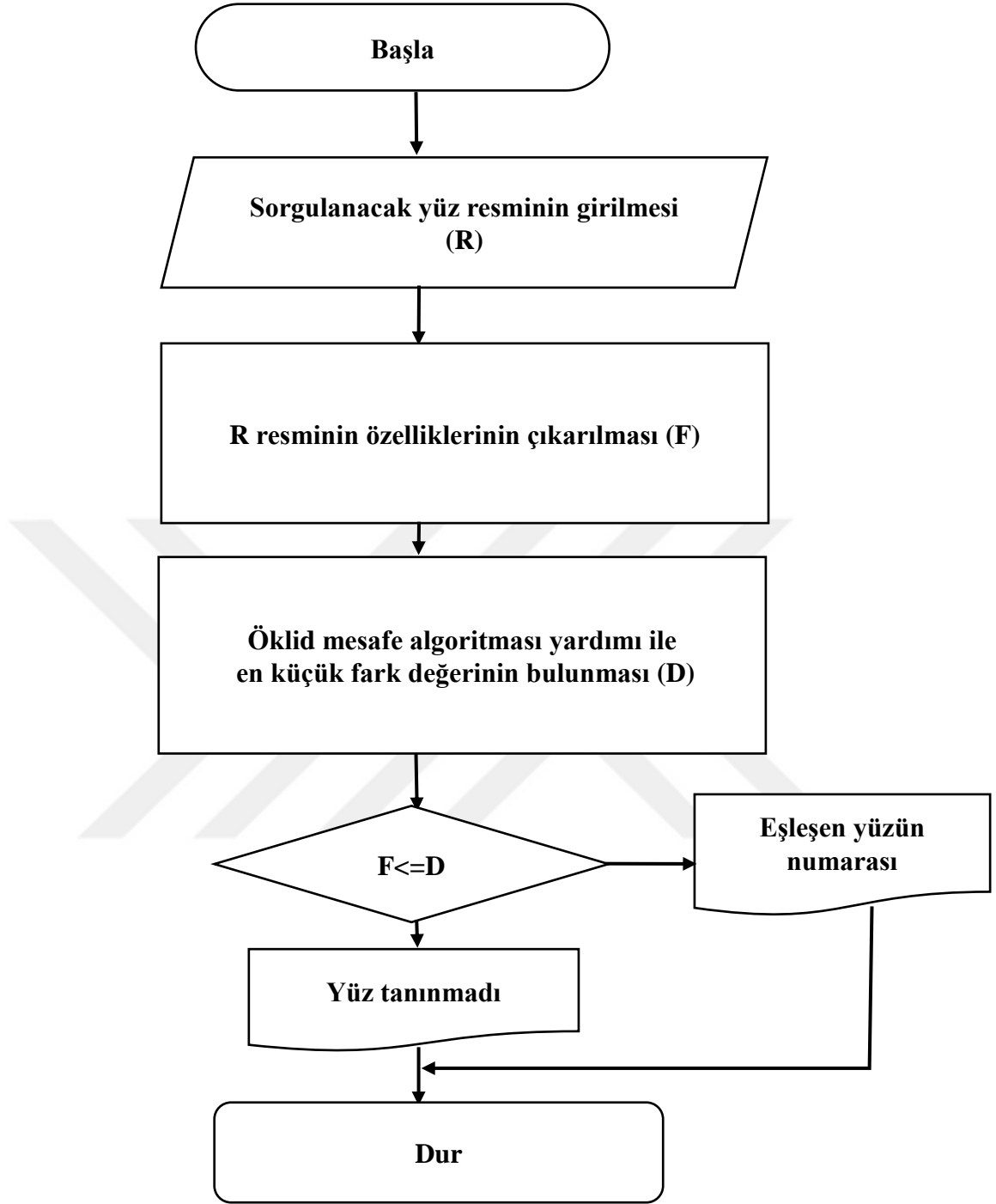
$\mathbf{C}$  değeri normal bir resim için büyük boyutlu bir matris değerini temsil etmektedir. Genellikle kovaryans matrisinin ( $\mathbf{C}$ ), öz vektörler ( $\mathbf{U}$ ) ile öz değerleri ( $\mathbf{A}$ ) ile doğrudan hesaplamak yerine;  $\mathbf{L}=\mathbf{A}^T\mathbf{x}\mathbf{A}$  matrisinin boyutunun azaltılması için öz değeri (eigen value) ve öz vektörü (eigen vector) ilk olarak bulunması gerekmektedir.  $\mathbf{C}$  matrisinin normalleştirilmiş öz vektör değeri denklem (4.9)'daki formülden yararlanarak hesaplanıp özyüzler (eigenfaces) ismi verilmektedir. 2B özyüzler yöntemi için denklem (4.10)'daki matematiksel eşitlik kullanılarak  $\mathbf{G}$  kovaryans matrisi elde edilmektedir [92],[93].

$$\mathbf{U}_i = \lambda_i^{-1/2} \mathbf{A} \mathbf{v}_i \quad \leftarrow \quad i = 1, \dots, N. \quad (4.9)$$

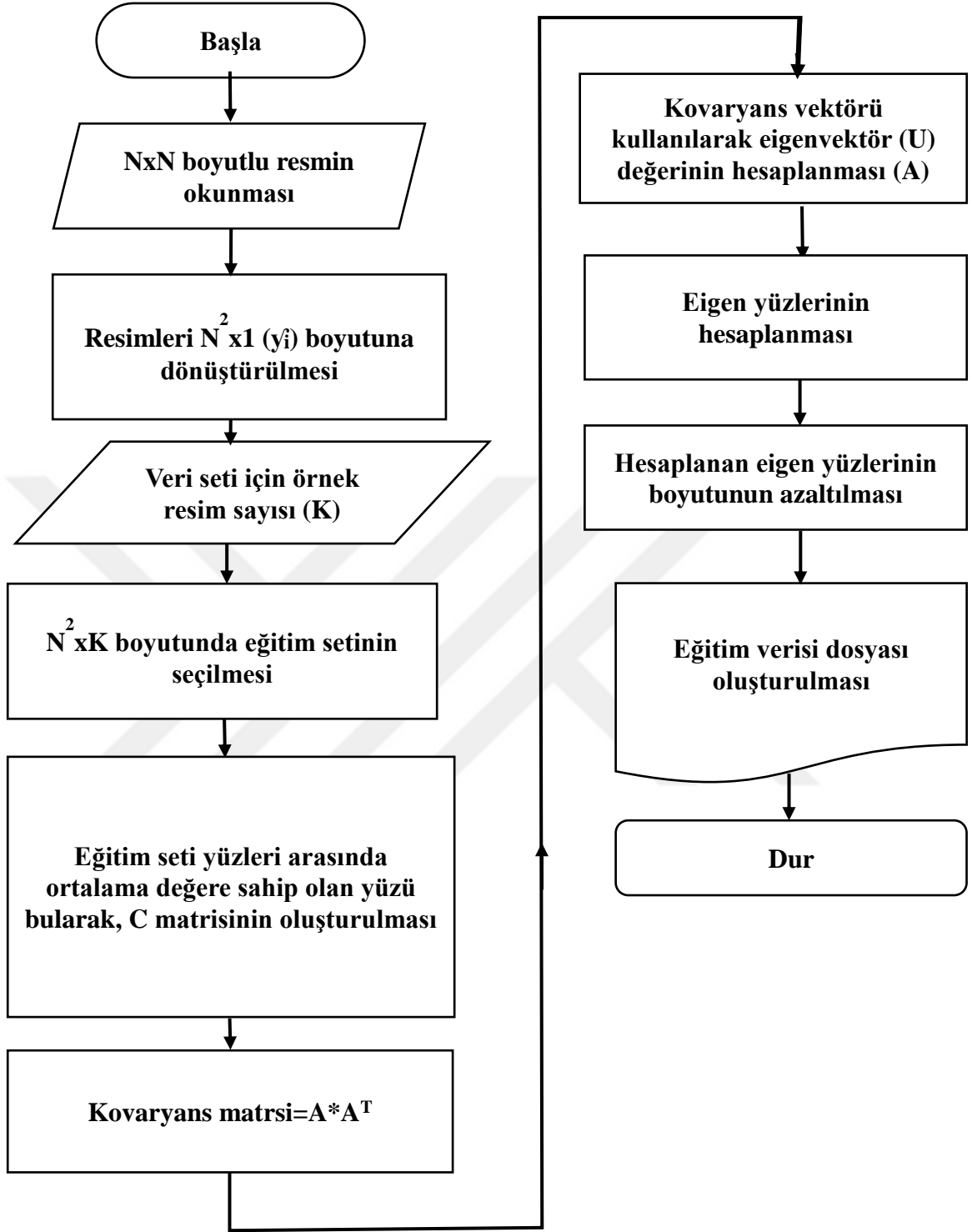
$$\mathbf{G} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\mathbf{A}_i - \bar{\mathbf{A}})^T (\mathbf{A}_i - \bar{\mathbf{A}}) \quad (4.10)$$

2 Boyutlu TBA(2D PCA), 2004 yılında Yang ve arkadaşları tarafından duyurulmuştur. Turk ve Pentland'ın geleneksel algoritmasını geliştirmişlerdir. 2B TBA algoritması yüz görüntülerini vektörlerden ziyade matrisler olarak incelemektedir. Hem satırla hem de sütunla ilgili özelliklerin çıkarıldığı bir kovaryans matrisinin tanımlandığı ve kullanıldığı analiz durumu oluşmaktadır. İlk temel bileşen, en yüksek değişkenlere sahip orijinal boyutların doğrusal birleşiminden oluşmaktadır.  $\mathbf{N}$ . ana bileşen,  $\mathbf{n}-1$  ilk temel bileşenlere dik olan, maksimum değişkenlikteki doğrusal kombinasyon değeridir.

Tez çalışmasında; yüze ait çıkarılan özellikler arasındaki mesafelerin ölçülmesi için Öklid tekniğinin kullanımı Şekil 4.8'de sunulan akış diyagramında yer almaktadır. YTS'nin eğitilmesi için Şekil 4.9'de sunulan akış diyagramı kullanılmıştır [92],[93].



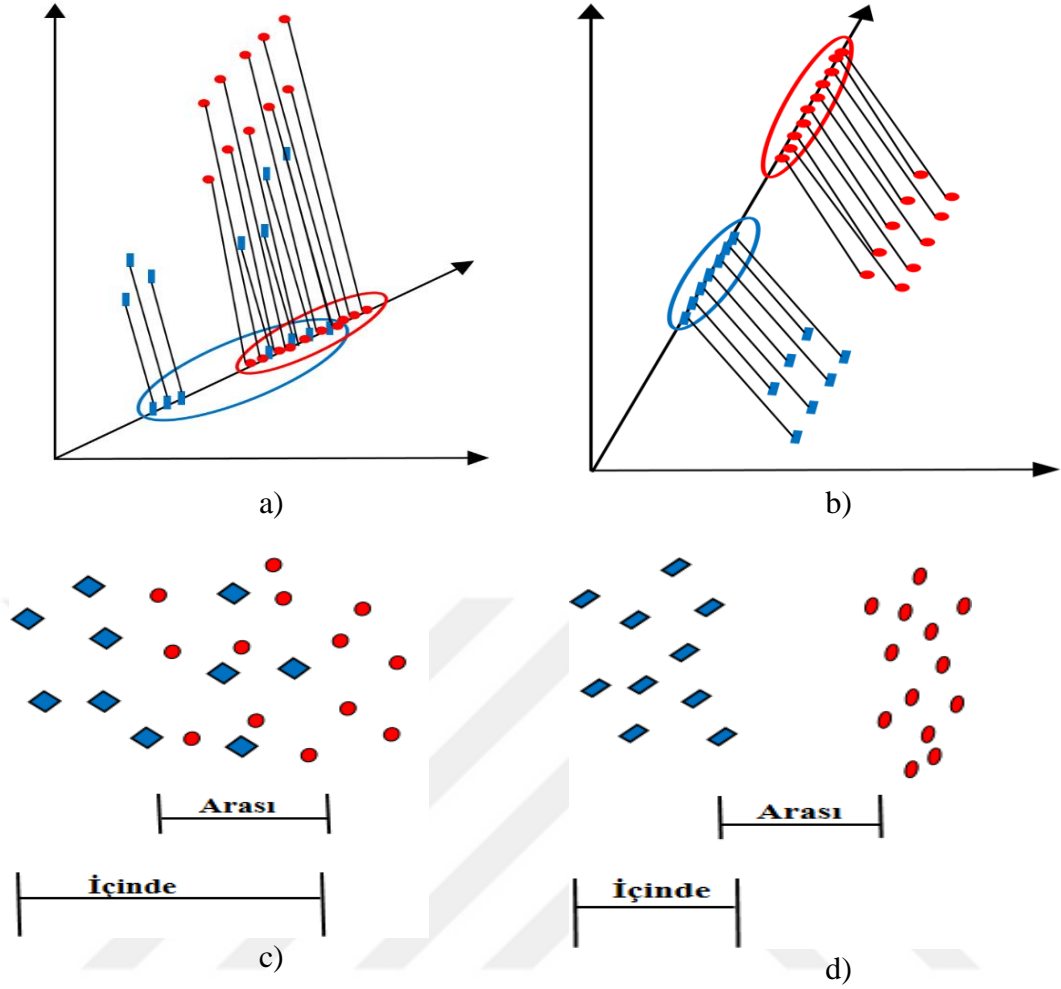
Şekil 4.8. Geliştirilen özellikler arası mesafe belirleme algoritması akış diyagramı.



Şekil 4.9. Geliştirilen sistemin eğitilmesini sağlayan akış diyagramı.

#### 4.3.2. Lineer Diskriminant Analizi

Yüz tanıma yöntemleri arasında Fisherfaces yöntemi olarak da bilinen lineer diskriminant analizi; ilk olarak 1997 yılında Belhumeur ve arkadaşları tarafından, aydınlatma oranı yüksek olan görüntüyü göz önünde bulundurarak daha doğru sınıflandırma yapılabilmesi amacıyla önerilmiştir. Eigenfaces yöntemi; Şekil 4.10 a) ve c) şekillerinde sunulan farklı verileri gruplara ayrılabilen fakat bazı verilerin bulunduğu alanlarda verilerin karışık olarak kaldığı görülmektedir. Fisherfaces yöntemi Şekil 4.10 b) ve d) şekillerinde sunulan aynı sınıfın görüntülerini gruplandırırken farklı sınıfların görüntülerini de keskin olarak ayırabilmektedir. Fisherfaces yönteminde verilerin ayırt ediciliği yüksek olmasından dolayı eigenfaces yöntemine göre tercih edilirliliği daha yüksektir. Fisherfaces yönteminde örneklerin sınıflar arası dağılım matrisinin determinantı, oluşturulan örneklerin sınıf içi dağılım matrisinin determinantına oranı en yüksek olmaktadır.



Şekil 4.10. a) ve c) Özyüzler yöntemi ile yüz verilerinin sınıflandırılması, b) ve d) Fisherface yöntemi ile yüz verilerinin sınıflandırılması.

Fisherface metodu denklem (4.11)'de sunulan matematiksel denklem ile ifade edilmiştir. Eşlenikteki oranın büyük bir değere sahip olması ayırt ediciliğin yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. Sınıf içi dağılım matrisi  $Z_w$  ile, yüz görüntülerinin sınıflar arasında nasıl dağıtıldığını  $Z_b$  ile ve sınıf dağılım matrisi arasında sınıfların birbirinden nasıl ayrıldığını açıklamaktadır. LDA için altuzay ,denklem (4.11)'de sunulan  $W = [W_1, W_2, \dots, W_d]$  vektörleri biçiminde yayılmıştır. Yüz görüntüleri ayırıcı vektörler  $W$  değerine yansıtıldığında, yüz görüntüleri sınıflar arasında yakından dağıtılmalı ve sınıflar arasında mümkün olduğunca ayrılması gerekmektedir [92],[93].

$$W_{(i)} = \arg \max \left| \frac{W^T Z_b W}{W^T Z_w W} \right| \quad (4.11)$$

Denklem (4.12)'de sunulan matematiksel eşitlik ile  $Z_w$  değeri sınıf içinde dağılmış grubu hesaplamak amacıyla kullanılmıştır.  $J$  sınıfının  $i$ . örneklerinin sayısı  $y_i^j$  ve  $J$  sınıfının ortalama değeri  $M_j$  simgesiyle gösterilmektedir. Sınıfın sayıları  $C$  ile ve  $J$  sınıfının örneklerin sayısı  $E_j$  ile gösterilmektedir [92],[93].

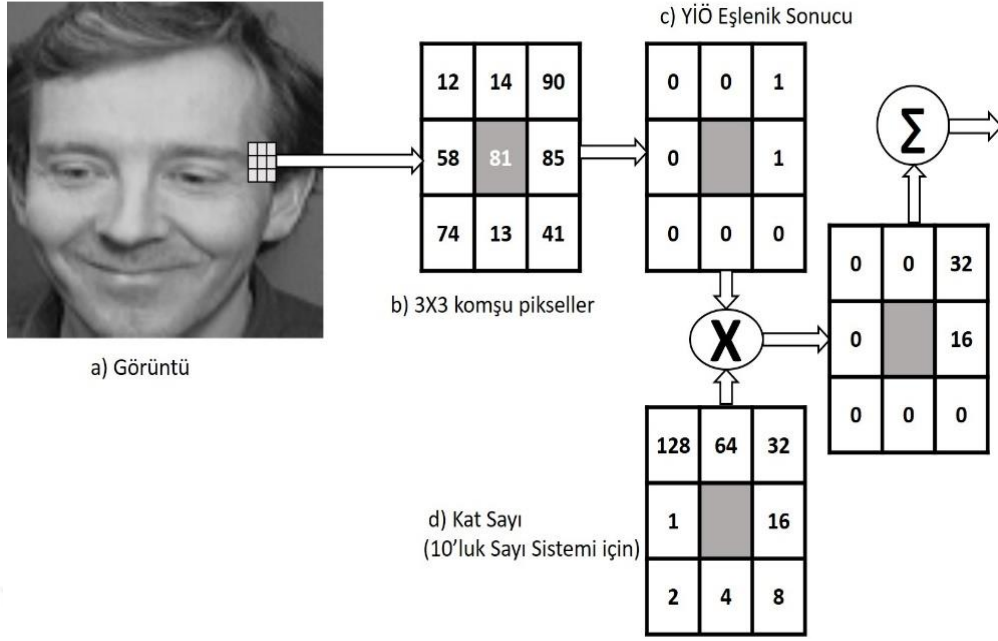
$$Z_w = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^{E_j} (y_i^j - M_j)(y_i^j - M_j)^T \quad (4.12)$$

Denklem (4.13)'de sunulan matematiksel ifade ile  $Z_b$  değeri hesaplanarak sınıflar arası dağılım değeri temsil edilmektedir [92],[93].

$$Z_b = \sum_{j=1}^c (M_j - M)(M_j - M)^T \quad (4.13)$$

#### 4.3.3. Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin Yüz Tanımda Kullanımı

Ojala ve arkadaşları tarafından yerel ikili örüntü (YİÖ) yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemde görüntünün geneline 3x3'lük parametrik olmayan filtre uygulanmıştır [15]. Tezde uygulanan YİÖ yönteminin ana fikri olarak gri renkteki bir görüntü üzerinde Şekil 4.11'de sunulan blok şemaya göre; görüntüyü oluşturan piksel değerlerini merkez piksel kabul ederek, komşu piksellerle karşılaştırma işleminde merkezden büyük olanlara "1", küçük olanlara ise "0" değeri verilmiştir. İkilik sayı tabanında bir sayı değeri elde edilmiştir. Elde edilen sayı değeri, Şekil 4.11'de gösterilen katsayı değerleri ile çarpılarak üretilen piksel değerleri toplanır. Toplam piksel değeri YİÖ kodu olarak bilinmektedir [16]. YİÖ yaklaşımının gri seviyeden bağımsız çalışabilmesi, teorik olarak basitliği ve farklı ışık şiddetlerinden çok aşırı etkilenmemesi gibi sebeplerden dolayı avantaj sağlamaktadır.



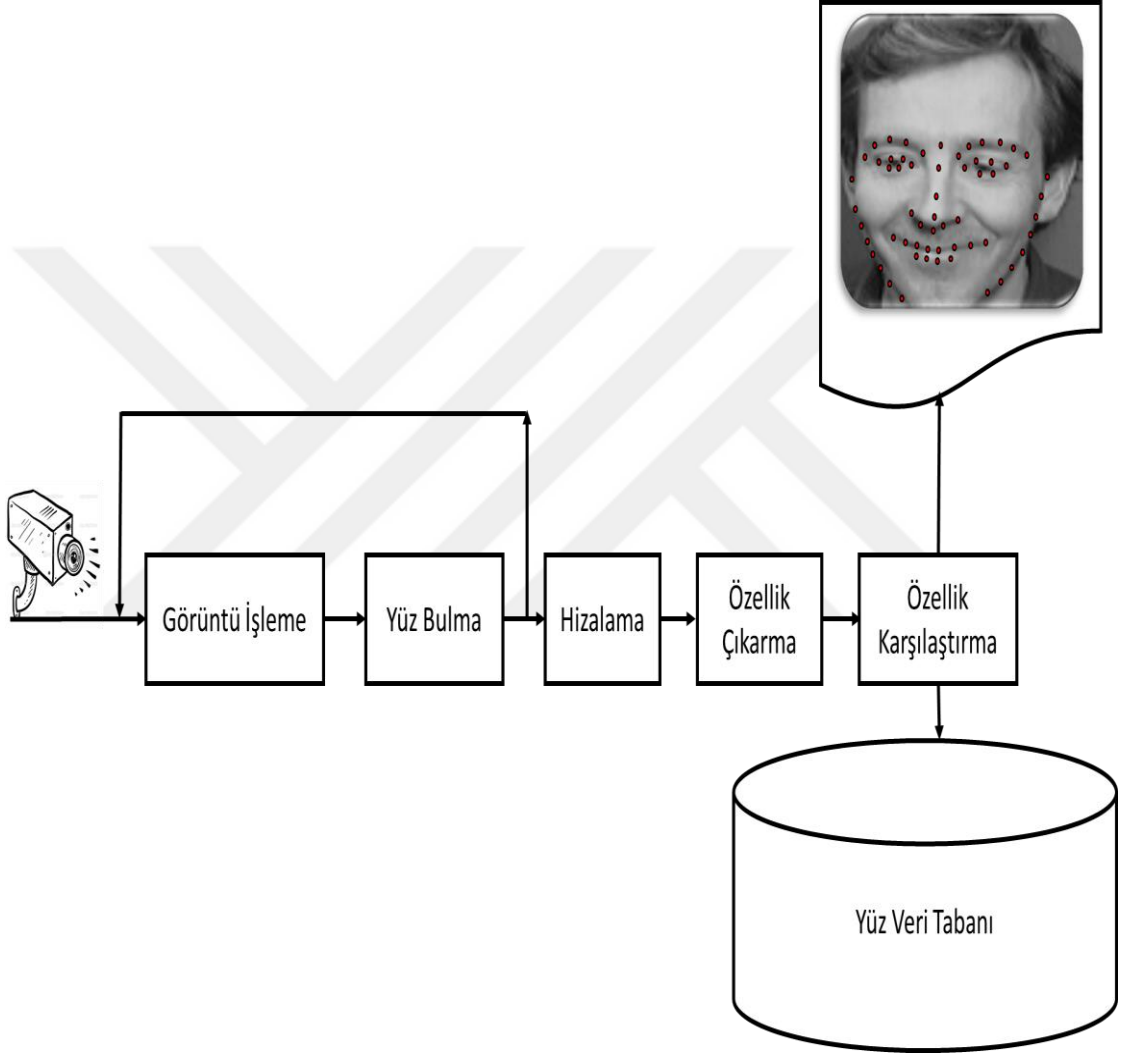
Şekil 4.11. YİÖ yönteminin çalışma prensibi.

#### 4.4. İYİLEŞTİRİLMİŞ YEREL İKİLİ ÖRÜNTÜ YÖNTEMİ

YİÖ yönteminin performansını artırmak için, yeni bir iyileştirilmiş yöntem önerilmiştir. Geliştirilen tasarımın kullanıcılar tarafından basit çalıştırabilmesi amacıyla iki ana seçenek tercihi sunulmuştur. İlk seçenekte gerçek zamanlı olarak kameradan görüntü alınmakta, ikinci seçenekte ise önceden kayıtlı bir video veya resim dosyası kullanıcı tarafından seçilerek sistemin başlatılması gerekmektedir.

Sistemin blok şeması Şekil 4.12' de sunulmuştur. Kamera bölümüyle gerçek dünyadan dijital kamera veya seçilmiş bir dosya ile elde edilen görüntü, bilgisayar ile Nexsy4 DDR borduna aktarılmaktadır. Gelen renkli görüntü, görüntü işleme modülü sayesinde gri renge çevrilmektedir. Gri renkteki görüntü içerisinde, insan yüzleri tespit edilmesi için Viola-Jones yöntemi referans alınarak yüz bulma modülü geliştirilmiştir. Yüz bulma modülü içerisinde tespit edilen yüz görüntüsünün tanınması için önceden belirlenmiş şablona göre ölçülerin aynı uzunlukta hizalanması, büyütülmesi ve küçültülmesi gibi işlemler tasarlanan hizalama modülü sayesinde gerçekleştirilmektedir.

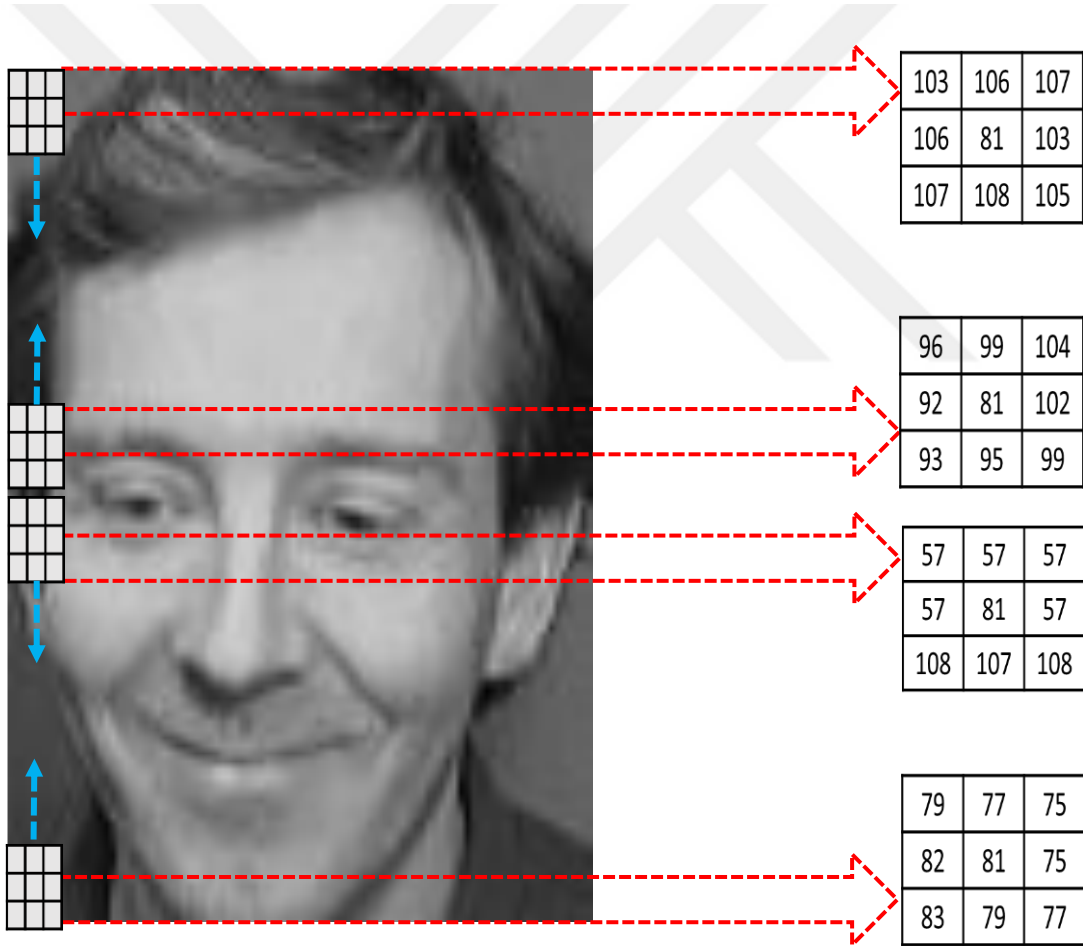
Hizalması yapılan yüz görüntüsü kullanılarak, Şekil 4.12’de sunulan yüzdeki 68 özel nokta hesaplanarak bulunmuştur. Yüzün ayırt edilmesinde kullanılan özel noktaların bulunması işlemi, özellik çıkarma modülü ile gerçekleştirilmektedir. Çıkarılmış özellikler önceden elde edilen veriler ile eşleştirilerek bir puan oluşturulmuştur. Şekil 4.11’de verilen eşik puanına göre kişi ya tanınarak veri tabanında kayıtlı bilgileri yazdırılmakta ya da sistemde tanımsız olarak sonuç üretilmektedir.



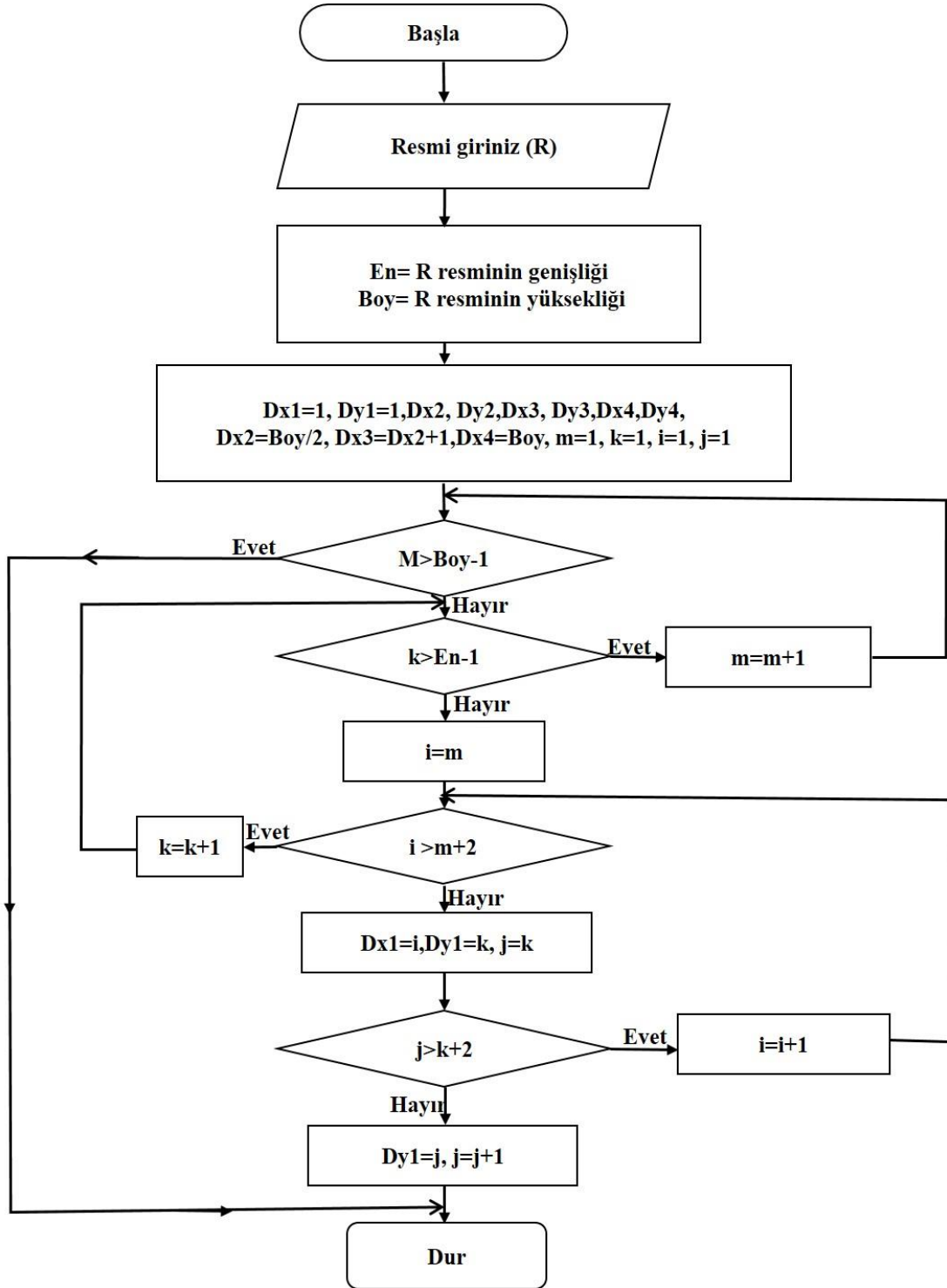
Şekil 4.12. Geliştirilen sistemin blok şeması.

YİÖ algoritması, FPGA'nın çalışma mantığına uygun bir tasarım ihtiyacından dolayı iyileştirilmiştir. Geliştirilen sistem, FPGA platformuna uygun mimaride tasarlanmış olmasından dolayı aynı anda birden fazla işi yapabilme yeteneğine sahiptir. Eş zamanlı iş yapabilme yeteneğini çalıştırmak için;

Şekil 4.13'de verilen büyüklükleri ve özellikleri aynı olan kare kutulardan (dedektörden) 4 adet oluşturulmuştur. Birbirinden bağımsız olarak ilk iki dedektör resmin ilk ve son satırlarında, diğer iki dedektör ise resmin ortasından konumlandırılarak ilk ve son satırlara doğru işlem yapmaktadır. Aynı anda 4 dedektör iş yaparak hızı artırmaktadır. Önerilen çalışmanın doğruluk ve zaman kazancına dair yapılan çalışmalar Bölüm 5'te sunulmuştur. Geliştirilen yöntem "iyileştirilmiş YİÖ (iYİÖ)" adı verilmiştir. iYİÖ'nün akış diyagramı Şekil 4.14' da sunulmaktadır.



Şekil 4.13. iYİÖ çalışma prensibi.

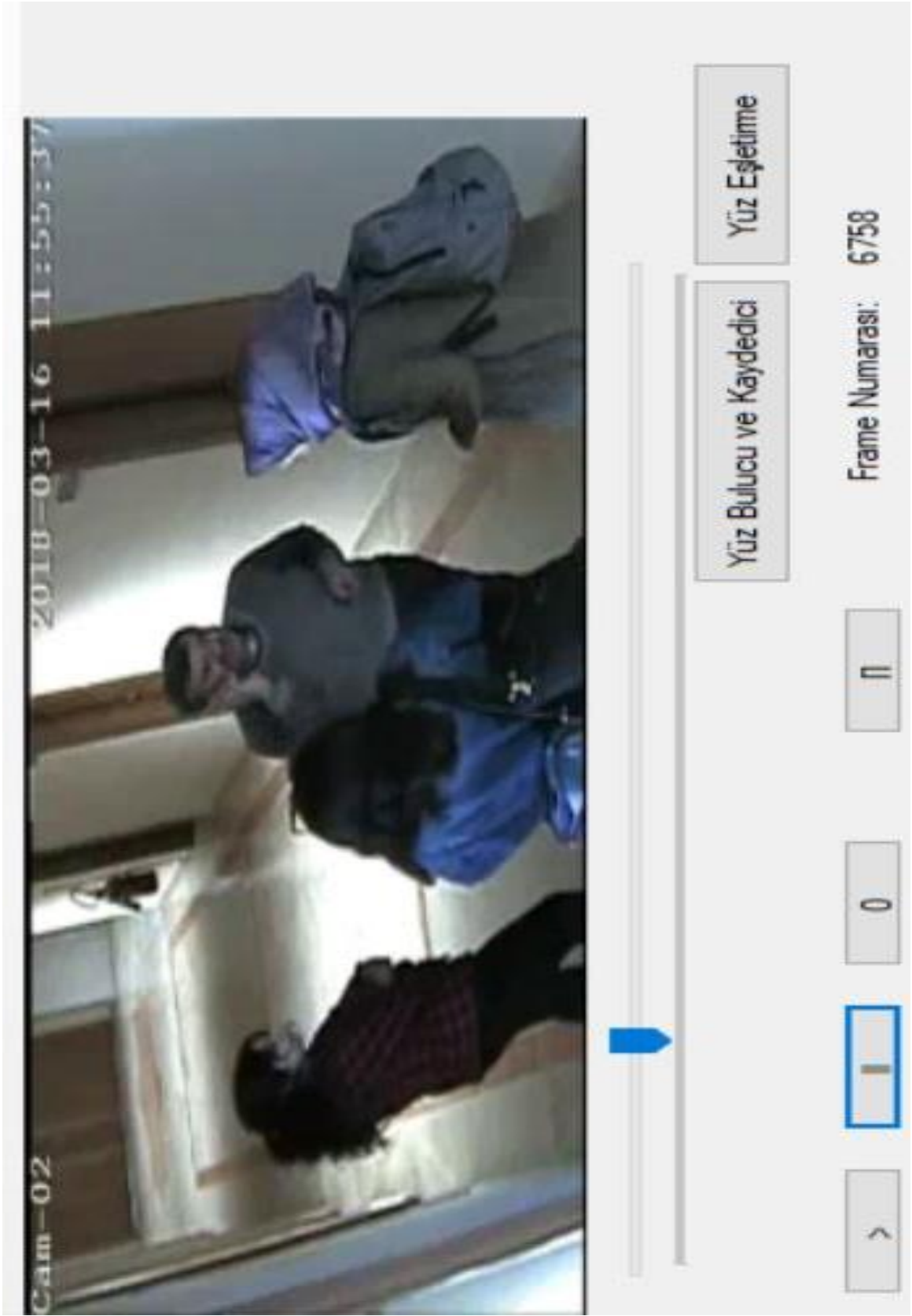


Şekil 4.14. İyileştirilen YİÖ algoritmasının (*iYİÖ*) akış diyagramı.

YTS'nin denenmesi için Şekil 4.15'deki arayüz tasarlanmıştır. Tasarlanan arayüz kullanılarak yüz eşleştirme işleminin hızlı modellenmesi sağlanmıştır. Gerçekleştirilen programın çalışabilmesi için, dosya menüsünün alt seçeneklerinde bulunan anlık kamera, fotoğraf veya video dosyası seçeneklerinden birinin seçilmesi gerekmektedir. Tercih edilen işlem türüne göre "Kaynak Görüntü" kısmında seçilen görüntü gösterilmektedir. Geliştirilen programda video dosyası seçilmesi durumunda Şekil 4.16'da sunulan video dosyası penceresi gösterilmektedir. Video dosyasının kare sayısı, başlatılması, duraklatılması, sonlandırılması, zaman çubuğu ile istenilen zamana getirilmiştir. Programda video dosyası için açılan pencerede yüz bulucu ve eşleştirme adımları sistemdeki görüntü işlemedeki kısım ile benzer yapılmaktadır. Eğer önceden sistem eğitilmediyse ilk olarak sistemin eğitilmesi gerekmektedir. Bölüm 4.2'de sunulan yüz tespiti yöntemi yüzlerin tespit edilmesi için kullanılmıştır. "Yüz Bul" menüsünden kaynak görüntünün içindeki yüzler sırayla bulunduktan sonra kişinin ismi/numarası ile veri seti dosyası ismi verilmektedir. Bölüm 4.3'de sunulan yöntemler kullanılarak sınıflandırma ve özellik çıkarma işlemi yapılmıştır. "Yüz Eğit" düğmesine tıklanarak, algılanan yüzü ayırt edici etiket ve veri seti dosyası oluşturulmaktadır. Farklı veya aynı kişiye ait her bir yüzün veri seti dosyasına eklenerek güncellenmektedir. Geliştirilen programın test edilmesi amacıyla dosya menüsünün alt seçeneklerinden seçim yaparak aktarılan görüntüde, yüzlerin tanınması için "Yüz Tanıma" menüsü seçilmesiyle tanıma işlemi yapılmaktadır. "Hedef Yüz" bölümünde görüntüdeki yüzler kırmızı kutunun içine alınmaktadır. Kırmızı kutu içine alınan yüz veri setinde kayıtlı ise yeşil harflerle kişinin ismi veya numarası yazılmaktadır. Eğer kırmızı kutunun içindeki yüz veri setinde kayıtlı değilse "Tanımsız Kişi" uyarısını yeşil harflerle yazmaktadır. "Sonuçlar" bölümünde tasarlanan sistemin tanıma süresini ve doğru tanıma oranı bilgisi verilmektedir. Geliştirilen programın kişileri daha doğru tanıyabilmesi için kişilere ait çok sayıda yüzlerle eğitilerek çalıştırılması ideal olmaktadır. Programın bazı kişileri doğru tanınamamasının sebebi eğitilen veri setinde kayıtlı farklı yüz sayısının az olmasıdır. Oluşturulan eğitilmiş veri seti dosyasının silinmesi için "Tüm Eğitimleri Sil" düğmesi kullanılmaktadır. Geliştirilen programda Bölüm 4.1'de sunulan görüntü ön işlemleri kısmı için "Görüntü Ön İşleme" düğmesi tasarlanmıştır. Görüntüye ait histogram bilgisinin grafiksel olarak çizdirilmesi için "Histogram" düğmesi kullanılmıştır. "Eşleştirme Puanı" düğmesiyle sistem tarafından görüntüde bulunan yüzün tanınması için veri setindeki her yüze ait özel verilerin karşılaştırması sonucu elde edilen puan belirlenmektedir.



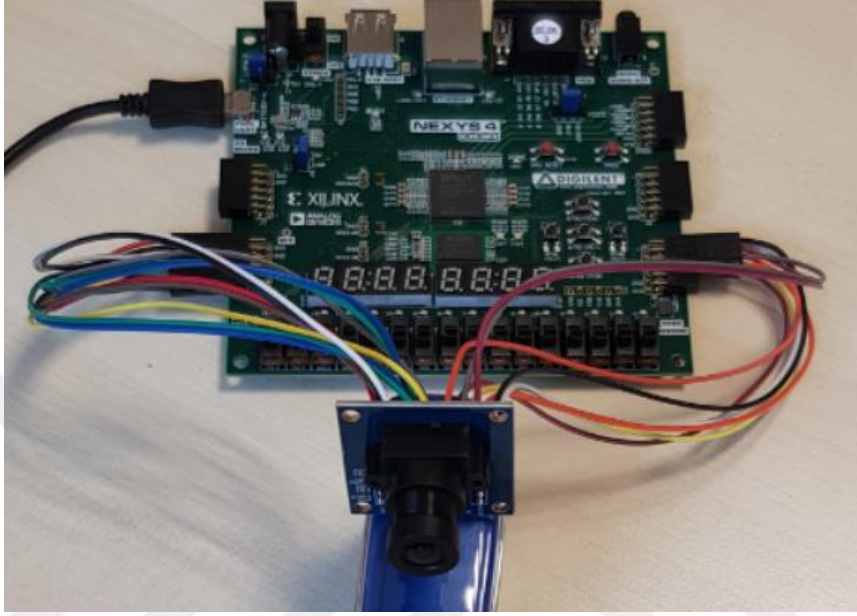
Şekil 4.15. Tasarlanan YTS programının arayüzü.



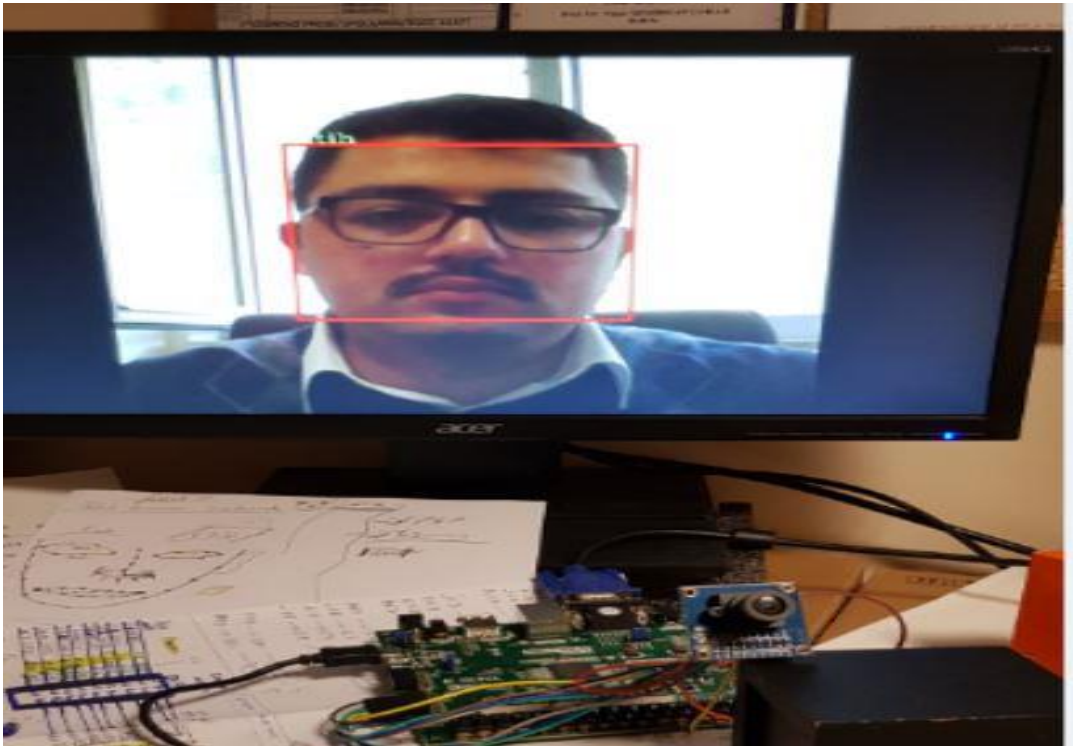
Şekil 4.16. Tasarlanan YTS programında video üzerinde işlem yapılması.

#### 4.4.1. Geliştirilen Donanım Modülü

Şekil 4.1’de verilen blok görünümde donanım tasarımı kutusu içinde yer alan blok işlemlerini gerçekleştirmek için FPGA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen donanımsal tasarımın, prototip görünümü ve kameradan alınan anlık görüntülerin işlenerek monitöre aktarılmasını temsil eden görünümü Şekil 4.17’de verilmiştir.



a)



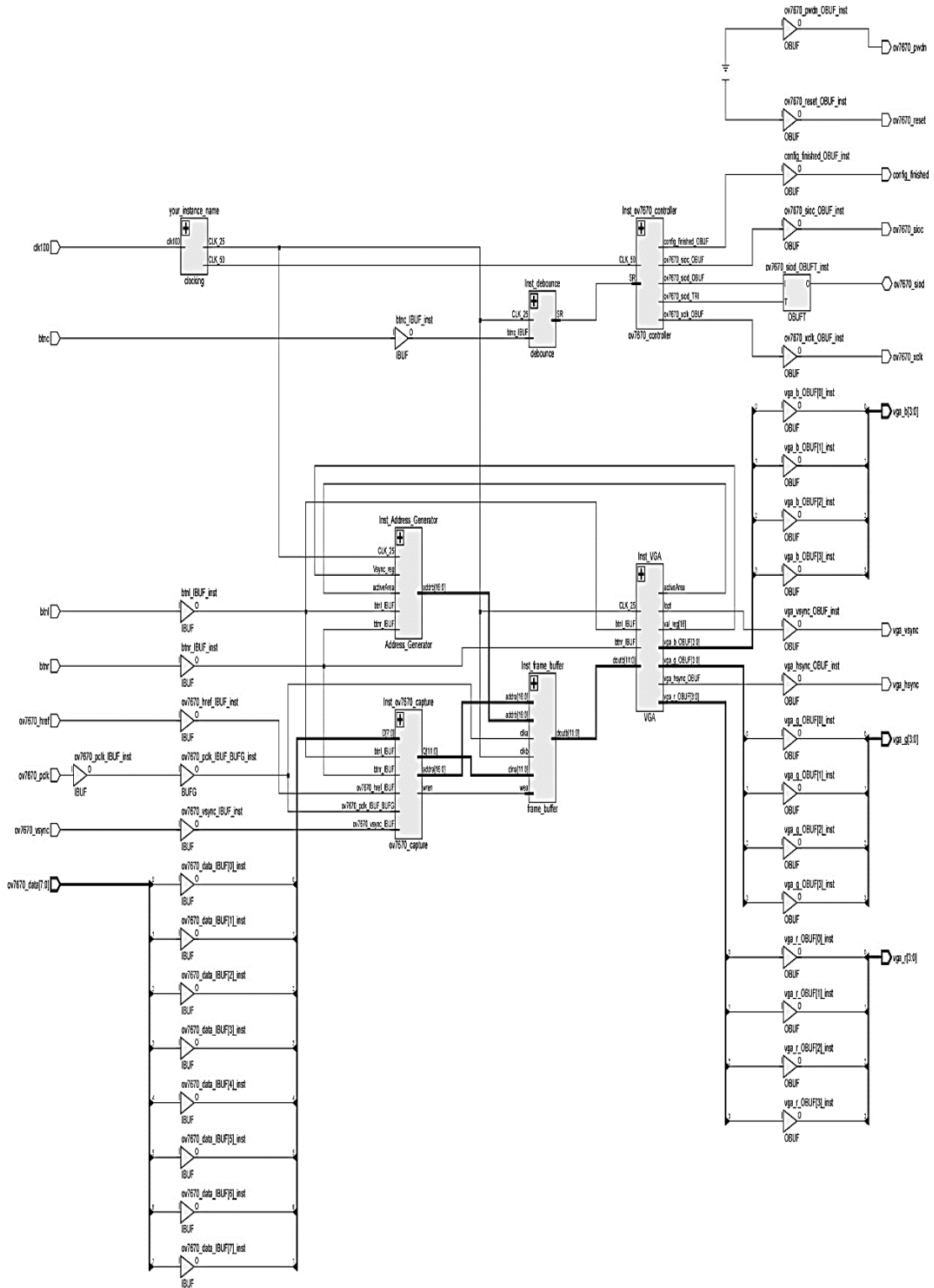
b)

Şekil 4.17. a) Geliştirilen prototip, b) Donanımın gerçek zamanlı olarak yüzü tanması

Şekil 4.17’de sunulan prototipte dış dünyadan görüntülerin alınması amacıyla gömülü sistemler için tercih edilen QV7670 CMOS serisi kamera kullanılmaktadır. Gerçek zamanlı görüntünün alınabilmesi için kamera ile Nexys 4 DDR bordu arasında iletişim sağlayacak devreler arası protokol (Inter-Integrated Circuit I2C) kullanılmıştır.

Xilinx firması tarafından FPGA platformların benzetiminin yapılmasını sağlayan ISE Design Suite 14.7 ve Vivado 2016.4 yazılımları kullanılarak sayısal tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.18’de sayısal tasarımların VHDL donanımsal programlama diliyle kodlanarak oluşturulan modüllerin mantıksal kapılara dönüştürülme işlemine (register transfer level RTL ) ait şemalar verilmiştir.





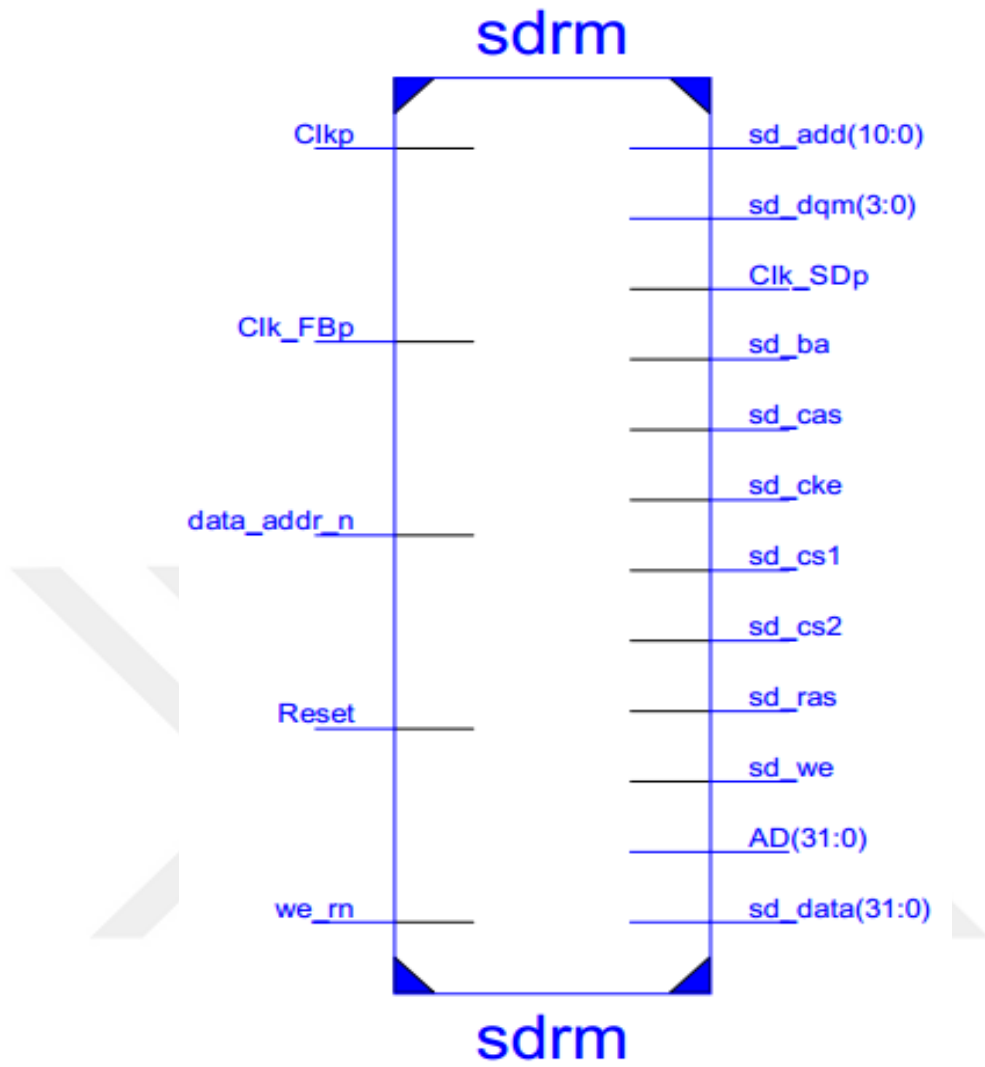
Şekil 4.18. QV7670 serisi kamera I2C protokol tasarımının RTL şeması.

#### 4.4.2. FPGA Bellek Tasarımı

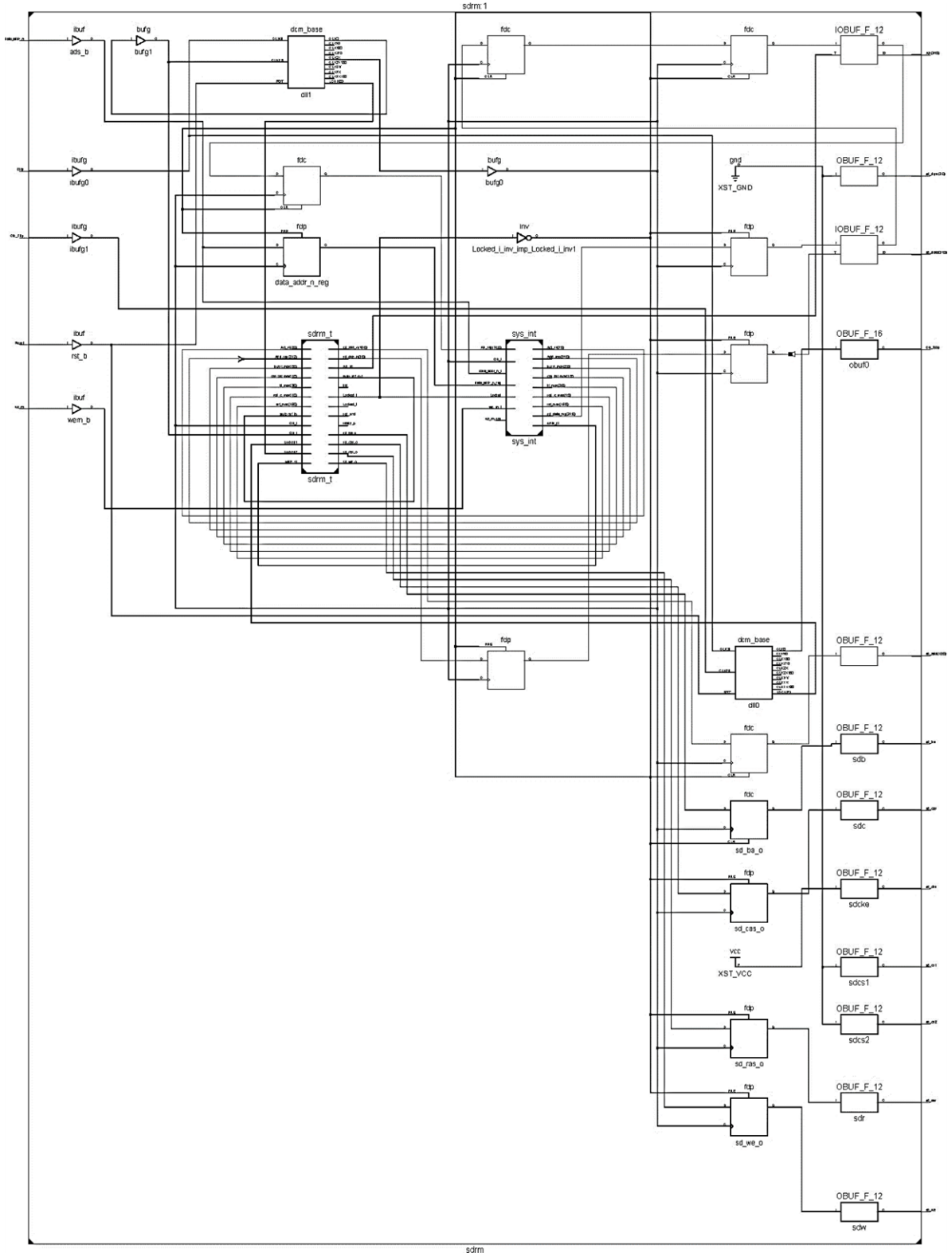
YTS için görüntüyü oluşturan piksel değerleri ile konum bilgilerine ait işlemlerin yapılabilmesi amacıyla hafıza ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Hafıza ihtiyacının giderilebilmesi için kaydediciler oluşturulmuştur. Verilerin kontrolü ve tasarlanan farklı modüllerin erişiminin yapılabilmesini sağlamak için SDRAM tasarımı VHDL dili yardımıyla yapılmıştır. Nexys4 DDR kartında 128MiB kapasiteye sahip olan hafıza modülü kullanılmıştır. VHDL kodları ile tasarımı yapılan 32 bit okuma ve yazma değerlerine sahip bellek yapısının ana modül bloğu

Şekil 4.19'da verilmiştir. SDRAM yapısının içindeki modüllerden mantıksal kapılar arasındaki adres kaydedicisinin mantıksal biçimi Şekil 4.20'de yer almaktadır.





Şekil 4.19. Geliştirilen SDRAM için ana modül.



Şekil 4.20. SDRAM içindeki en alt bölümdeki kesit.

#### 4.5. TASARLANAN YTS KULLANILABİLİRLİĞİ

Geliştirilen sistemin gerçek hayatta insanlara yararlı olabilmesi hedefinden dolayı kullanılabilir ve amaçlara göre değişebilecek şekilde modüler bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Günümüzde pek çok farklı alanda YTS uygulama örnekleri bulunmaktadır. Tez çalışmasında gerçekleştirilen YTS için iki uygulama alanı belirlenerek önerilen yöntem denenmiştir.

Birinci örnek uygulamada güvenlik kamerasından elde edilen videolar kullanılarak isim olarak belirlenen kişilerin eşsiz bir şekilde otomatik numaralandırılması sağlanarak eşleştirme işlemi yapılmıştır.

İkinci örnek uygulamada eğitim ve öğretim kurumlarında öğrencilerin devamsızlık kontrollerinin YTS ile yapılabilmesi için deneysel çalışma yapılmıştır. Geliştirilen sistem tarafından devamsızlık listelerinin otomatik oluşturulmasından dolayı; zamanın en verimli şekilde kullanılması ve otomatik raporlama yapabilmeye öne çıkan faydalardır. Gerçekleştirilen deney için Nexsy4 DDR kartı ile otomatik olarak gerçek zamanlı fotoğraflar çekilerek veya dışarıdan farklı bir kamera yardımıyla alınan fotoğraflar üzerinden iyileştirilen YİÖ (iYİÖ) tekniği kullanılarak sonuçlar alınmıştır. Şekil 4.21’de sınıf ortamında çekilen fotoğraf üzerinde öğrencilerin yüzleri bulunarak kırmızı kare kutular içine alınmış, tespit edilen yüzlere ait özellikler çıkarılarak mesafeler hesaplanıp veri tabanındaki yüzlerle karşılaştırılması sonucunda tanınan öğrencilerin numaraları kırmızı rakamlar ile kırmızı kare kutunun üzerine eklenmiştir. Elde edilen sonuçların doğruluğuna dair analizler Bölüm 5’de performans sonuçları ile birlikte sunulmaktadır.

Günümüz bilgisayarlarının çalışma performansları görüntü işleme gibi farklı uygulamalarda ve algoritmaların çalışmasında yeterli hızda olmamaları, fiziksel büyüklük ile farklı donanımlara ihtiyaç duymaları gibi sebeplerden dolayı geliştiriciler ve ticari firmalar tarafından tercih edilirlilikleri azalmaktadır. Nesnelerin interneti ile birbirinden bağımsız çalışan farklı dijital cihazlar artık birbirleri ile haberleşerek uyum halinde çalışabilir seviyeye ulaşmışlardır. Nesnelerin interneti fikri ile dijital aygıtların haberleşerek sistemi bütünsel olarak kontrol edilmesine fırsat verebilmesi günümüz kullanıcıları için avantaj olmaktadır.



Şekil 4.21. Öğrencilerin klasik yoklama listesi yerine YTS ile yoklama listesinin otomatik gerçekleştirilmesi.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde tez çalışması kapsamında yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler sunulmuştur. Yapılan deneylerde ortak veri setleri kullanılarak, geleneksel YTS yöntemleri ve iyileştirilen YİÖ yöntemi tekrardan gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen yöntemler bilgisayarlarda ve FPGA sistemlerinde karşılaştırmalı test edilmiştir. Test sonucunda oluşan veriler kullanılarak performans analizleri yapılmıştır.

### 5.1. BİLGİSAYARDA YAPILAN DENEYLER

Yüz tanıma algoritmalarını Visual C++ ve Python 2.7.10rc1 programlama dilleri ile modelleyerek çalışma hızlarının performans değerlendirilmesi yapılmıştır. YTS'nin eğitilebilmesi amacıyla bilgisayarda yapılan deneylerin sonucu Çizelge 5.1'de sunulmuştur. Yapılan deneyde her iki programlama dilinde aynı veri seti tercih edilmiştir. ORL veri setinde bulunan 40 insan yüzünün 10 farklı biçimi için toplam 400 (40X10) görüntü oluşturulmuştur. YTS için her bireye ait 5 görüntü eğitim için geliştirilen sisteme verilmiştir. Toplamda 200 (40X5=200) görüntü üç farklı yüz tanıma algoritmasında test edilerek ortalama işlem zamanları saniye biriminden Çizelge 5.2' de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Bilgisayarda Visual C++ ve Python programlama dilleri kullanılarak hesaplanan sistemin eğitime süresi.

Yöntemler	Eğitim Süresi (s)	
	Visual C++	Python
Özyüzler	2.10	6.70
Fisher	1.07	4.75
Yerel İkili Örüntü	1.24	4.49

Çizelge 5.1'de sunulan YTS'nin eğitilmesi için harcanan süre verileri incelendiğinde; Visual C++ programlama dilinin, Python programlama diline göre yaklaşık olarak 3.7 kat daha hızlı çalıştığı görülmektedir.

YTS'nin eğitilmesi işleminden sonra sistemin doğruluğu ve çalışma performansının test edilmesi işlemi için; ORL veri setindeki eğitilmeyen görüntüler arasından her kişiye ait seçilen bir adet yüz görüntüsü (toplam 40 görüntü) test amacıyla sisteme verilmiştir. Sistem tarafından yaklaşık tanıma süresi Çizelge 5.2'de yer almaktadır.

Çizelge 5.2. Bilgisayarda Visual C++ ve Python programlama dilleri kullanılarak hesaplanan sistemin yüz tanıma süresi.

Yöntemler	Tanıma Süresi (s)	
	Visual C++	Python
Özyüzler	2.83	8.45
Fisher	1.89	7.32
Yerel İkili Örüntü	1.95	7.75

Çizelge 5.2'de sunulan YTS'nin kişinin tanınabilmesi için harcanan süre verileri incelendiğinde; Visual C++ programlama dilindeki işlemlerin Python programlama dilindeki işlemlere göre yaklaşık olarak 3.6 kat daha hızlı çalıştığı görülmektedir.

Geliştirilen sistemin Çizelge 5.3'de sunulan donanımsal özelliklere sahip bilgisayarda modellenerek deneyler yapılmıştır. VHDL donanım tanımlama dilinde modüllerin daha hızlı ve kolay oluşturulabilmesi amacıyla belirlenen yöntemler modüller olarak C++ dilinde gerçekleştirilmiştir. Açık kaynak kodlu birçok sınıf ve fonksiyondan oluşan kodların C++ dilinde kodlanması performansın artmasına sebep olmuştur.

Çizelge 5.3. Bilgisayarın Özellikleri.

İşlemci Modeli	İntel i7 2.4Ghz
İşlemci Çekirdek Sayısı	4
Anabellek	16GB
İşletim Sistemi	Windows 10 Pro 64bit

## 5.2. FPGA ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER

Bilgisayarda gerçekleştirilen yüz tanıma yöntemlerinin yaptıkları işlemlerin hızını artırmak amacıyla aynı anda fazla işlem yapma kabiliyetine sahip olmasından dolayı FPGA platformu tercih edilmiştir. Digilent firmasının üretmiş olduğu Nexys 4 DDR kartı üzerinde Bölüm 4’de sunulan donanım tasarım bölümündeki işlemler gerçekleştirilmiştir. Tercih edilen kartta Xilinx firmasının üretmiş olduğu yüksek kapasiteli, XC7A100T-1CSG324C parça numarası olan Artix-7 serisi FPGA bulunmaktadır. Nexys 4 DDR kartının içinde bir mikroişlemci olmamasından dolayı tüm işlemler doğrudan mantıksal kapılar ile gerçekleştirilmiştir. Ek 1’de Nexys 4 DDR kartının donanımsal özellikleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ek 2’de FPGA benzetimini sağlayan temel VHDL kodları sunulmuştur. YTS için bölüm 4’de sunulan aşamalardan yüze ait özelliklerin çıkarılması Öklid mesafe algoritması kullanılmıştır. Çizelge 5.4’de gösterilen farklı büyüklükteki görüntüler kullanılarak tespit edilen yüz görüntülerine ait kişilerin ayırt edilmesinde önemli olan özelliklerin çıkarılarak aralarındaki mesafe oranlarının hesaplama süreleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Öklid mesafe algoritmasının farklı çözünürlükteki görüntülerde hesaplama süresi.

Görüntü Boyutu	Artix-7 (s)
100×100	1.143
512×512	32.426
1024×1024	141.478
2048×2048	563.912
4096×4096	2.252.789

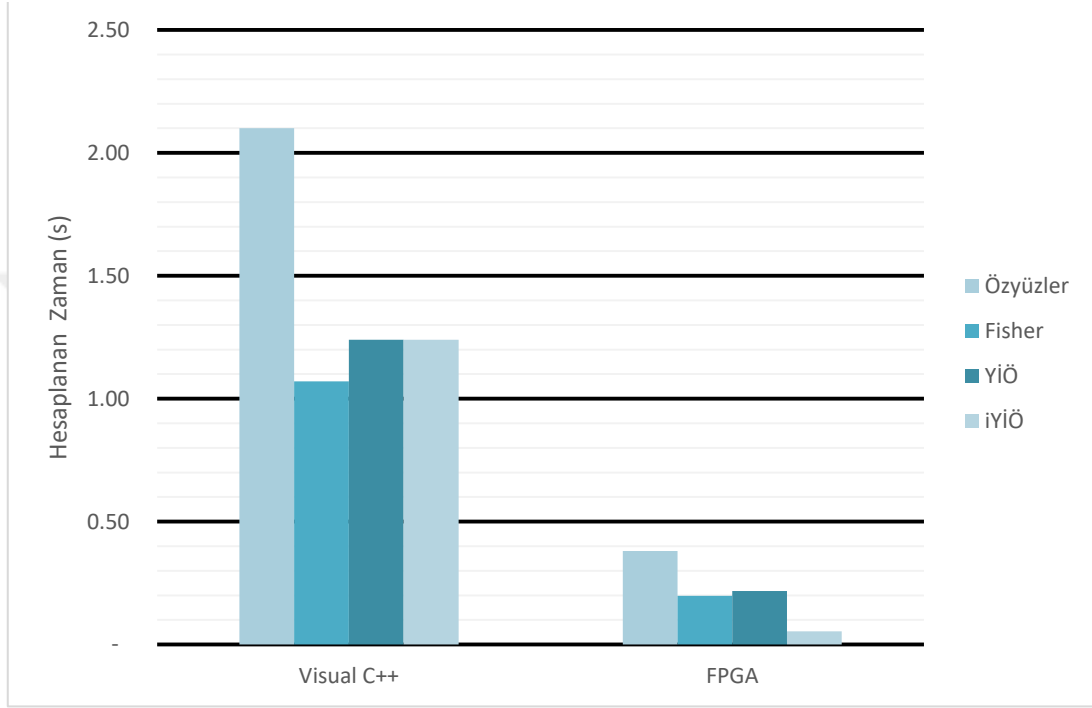
Öklid mesafe ölçme algoritmasının geleneksel yüz tanıma yöntemleri ile birlikte kullanılması durumunda geçen süre ölçülerek Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5 Artix-7'de yapılan deneyler için hesaplanan zaman değerleri

Yöntemler	Eğitim Süresi (s)	Tanıma Süresi (s)
Özyüzler	0.381	0.471
Fisher	0.198	0.312
YiÖ	0.217	0.346
iYiÖ	0.054	0.086

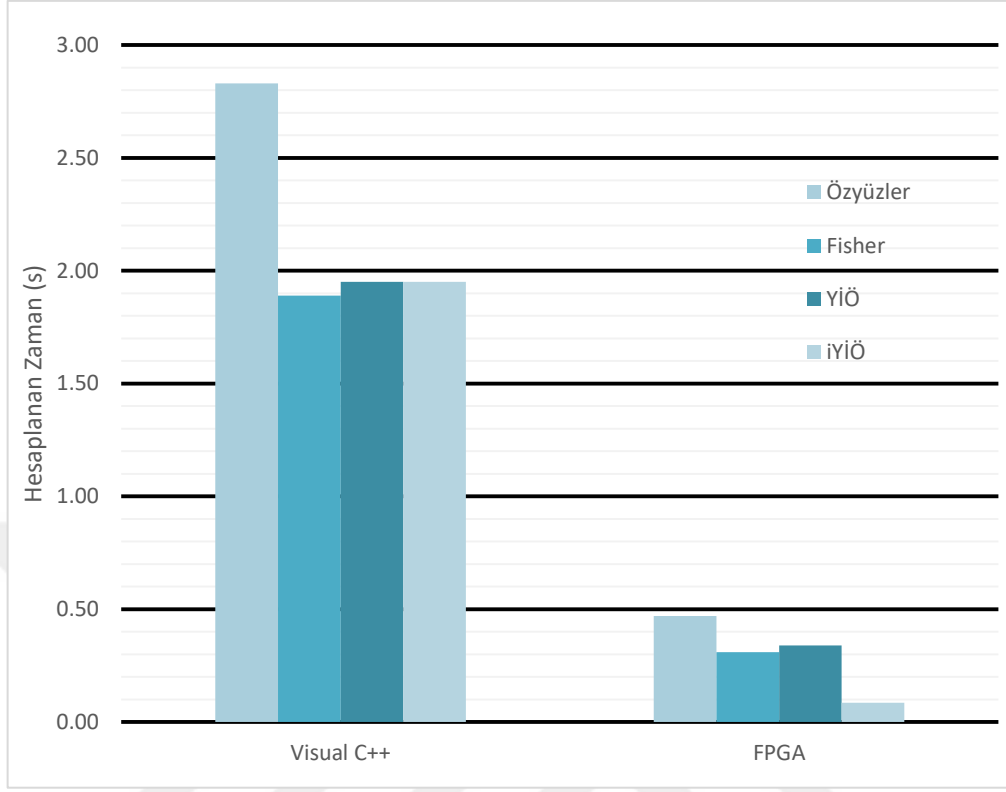
### 5.3. FPGA VE BİLGİSAYAR BULGULARININ KARŞILAŞTIRMASI

Geliştirilen dijital tasarım sisteminde yüz tanıma ile bilgisayarda yüz tanıma sistemlerinin eğitilmesi için harcanan toplam süreyi gösteren grafik Şekil 5.1’de sunulmuştur. Yüz tanıma için harcanan süreye ait grafik Şekil 5.2’de ve sistemin doğru tanıma sayısını ifade eden grafik Şekil 5.3’de sunulmuştur.



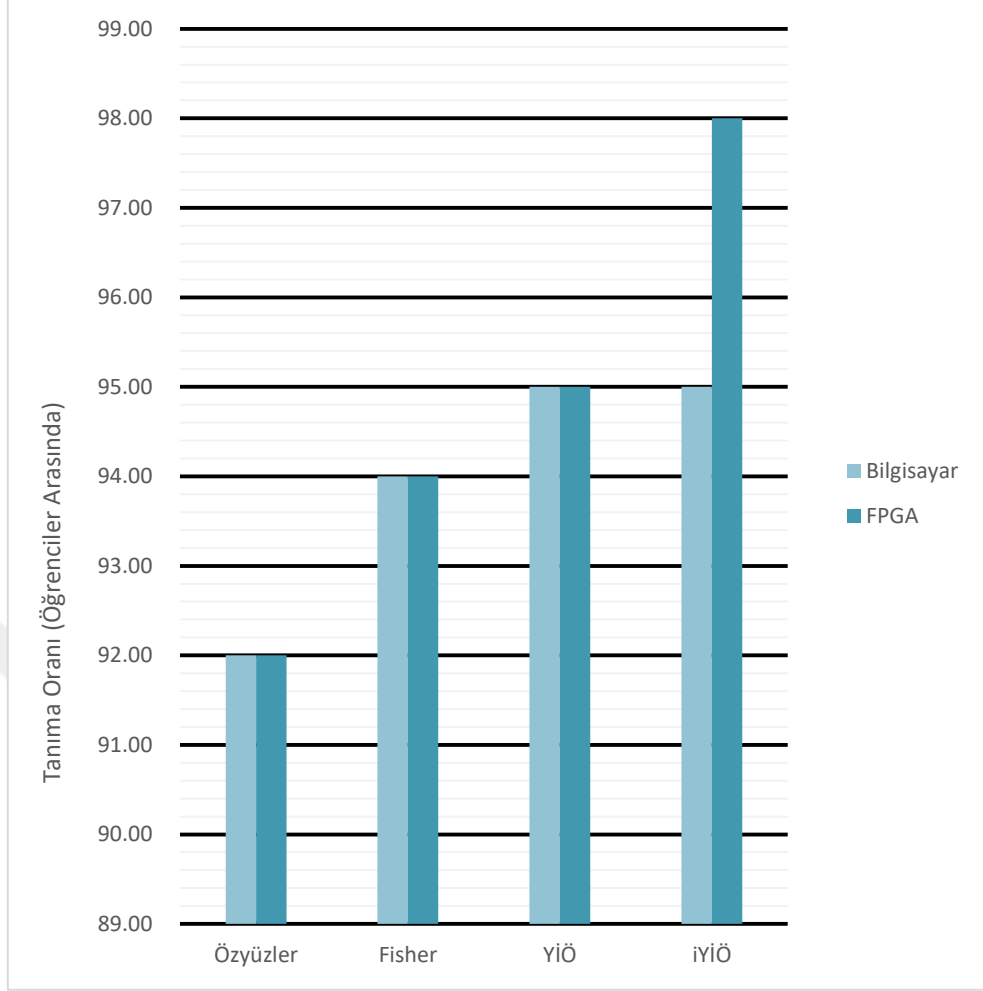
Şekil 5.1. Yüz tanıma tekniklerinin eğitiminin bilgisayar ve FPGA karşılaştırması.

Şekil 5.1’de tez çalışmasında kullanılan yüz tanıma algoritmalarının eğitilmesi amacıyla harcanan toplam süre ölçülmüştür. FPGA platformunda gerçekleştirilmiş çalışmanın, bilgisayara göre yaklaşık olarak 5.54 kat daha hızlı çalıştığı görülmüştür. *iYİÖ* yönteminin FPGA platformunda *YİÖ* yöntemine göre yaklaşık olarak 4.02 kat daha hızlı çalıştığı görülmüştür.



Şekil 5.2. Yüz tanıma tekniklerinin bilgisayar ve geliştirilen donanımın, yüz özelliklerinin eşleştirilmesinde harcanan zaman oranları.

Şekil 5.2’de tez çalışmasında kullanılan yüz tanıma algoritmalarının kişilerin tanınabilmesi amacıyla harcanan toplam süre hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada FPGA platformunda gerçekleştirilmiş çalışmanın, bilgisayara göre yaklaşık olarak 5.75 kat daha hızlı çalıştığı görülmüştür. *iYİÖ* yönteminin FPGA platformunda, *YİÖ* yöntemine göre yaklaşık olarak 3.93 kat daha hızlı çalıştığı görülmüştür.



Şekil 5.3. Yüz tanıma tekniklerinin doğruluk oranları.

Şekil 5.3’de tez çalışmasında kullanılan yüz tanıma tekniklerinin doğru tanıma oranları sunularak karşılaştırılmıştır. Sunulan karşılaştırmada önerilen *iYİÖ* tekniği için tanıma oranının ideale yakın olduğu anlaşılmıştır. İyileştirilen *iYİÖ* yönteminin varsayılan eşik değeri deneme yoluyla değiştirilerek sınıflardaki öğrencilere uygun ideal eşik değeri bulunmuş olması ve özellik bulucu dedektörün büyüklüğü değiştirildiğinde yüzün doğru tanıma oranında artmaya sebep olduğu anlaşılmıştır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen tez çalışmasında, biyometrik kimlik belirleme ve doğrulama sistemlerinden biri olan yüz tanımanın donanım tabanlı olarak gerçekleştirimi yapılmıştır. Donanım olarak FPGA kullanılmıştır. Yüz tanıma algoritmalarının FPGA üzerinde uygulanmasının, bilgisayar üzerinde çalışan yazılımlar üzerinde çalıştırılmasına göre performans kazancı belirlenmiştir. Yüz tanıma algoritmalarından biri olan yerel ikili örüntü (YİÖ) algoritmasının FPGA uygulamasında performans artışı sağlayabilmesi için iyileştirilmesi gerektiği belirlenmiş ve iyileştirilmiş yerel ikili örüntü (*iYİÖ*) adı verilen yeni bir yöntem tasarlanmıştır. *iYİÖ* kullanılarak yüz tanıma doğruluğunda artış ve zaman kazancı elde edildiği deneysel çalışmalarla gösterilmiştir. *iYİÖ* yönteminin YİÖ yöntemine göre 3.93 kat daha hızlı çalıştığı hesaplanmıştır. Donanım tabanlı gerçekleştirilen yüz tanımanın, bilgisayar üzerinde çalışan yazılım aracılığıyla yüz tanımaya olan üstünlüğü karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. FPGA platformunda gerçekleştirilen yöntemin bilgisayarda tanımaya göre 5.75 kat daha hızlı çalıştığı sonucu elde edilmiştir. Öne sürülen yöntemlerin uygulamada kullanılabilirliğini göstermek üzere, iki uygulama alanı seçilerek deneysel çalışmalar yapılmış, geliştirilen *iYİÖ* algoritması deneylerde kullanılmıştır. Öne sürülen yöntemlerin ve yapılan deneysel çalışmaların performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Tez çalışmasının bilime ve teknolojiye getirdiği ana katkılar aşağıda sunulmaktadır:

- Görüntü üzerinde yüz tanıma amacıyla özellik çıkarmada kullanılabilmesi için *iYİÖ* algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma sayesinde daha hızlı işlem yapılması sağlanmıştır.
- Özgün sayısal tasarım sayesinde istenilen modüle erişilebilir olmuştur.
- *iYİÖ* algoritması çoklu Öklid mesafe ölçme tekniği ile birleştirilmiştir.
- Donanım tabanlı sistemler sayesinde yüz tanımanın birçok alanda gerçek zamanlı işlemlerde kullanılabileceği örnek uygulamalarla gösterilmiştir.
- Geleneksel yüz tanıma teknikleri, her geçen gün kullanımını artan FPGA platformunda tasarlanarak uygulanmıştır.
- Öklid mesafe ölçme algoritması FPGA platformunda YTS için kullanılmıştır.

Tez çalışması sonucunda elde edilen çıktılar ışığında yapılabilecek çalışmalar şöyle sıralanabilir:

- FPGA platformunda gerçekleştirilen sistemin hızının artırılması için ASIC sistemler veya ekran kartları üzerinde çalışacak şekilde tasarlanabilir.
- 2B yüz tanıma tekniklerine ilave olarak 3B yüz tanıma teknikleri üzerinde çalışılarak sistemin yüz tanıma oranı artırılabilir.
- Görüntünün elde edilmesi, ön işlenmesi, yüzlerin tespiti gibi aşamalar farklı platformlarda gerçekleştirildikten sonra yüz tanıma için tek bir sistemde birleştirilebilir.
- YTS için literatürde yer alan güvenlik özelliklerinin yüz tanıma sistemine eklenmesi ile yanıltma saldırılarının önlenmesine yönelik çalışmalar yapılabilir.
- İnsan gözüyle yapılan tanımayı taklit eden, yüz dışındaki başın şekli, kulak yapısı, saç biçimi gibi diğer ayırt edicilerin tez çalışmasında ileri sürülen yöntemler yardımıyla geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılabilir.
- Önerilen *iYİÖ* algoritmasının sağladığı performans kazancı yüz tanıma dışında diğer görüntü ve video işleme çalışmalarında kullanılabilir.
- Önerilen *iYİÖ* algoritmasında kullanılan dedektör sayısı artırılarak performans kazancı sağlanabilir.
- Önerilen *iYİÖ* algoritması duygu analizinin yapılmasında kullanılarak zaman kazancı elde edilebilir.
- Bellek kapasitesi, mantıksal kapı sayısı ve mikro işlemci barındırma açılarından yüksek kaynağa sahip FPGA aileleri kullanılarak performans artırılabilir.
- Çoklu biyometrik sistemler kullanılarak tanımanın güvenilirlik seviyesi artırılabilir.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] R. Belaroussi ve M. Milgram, “A comparative study on face detection and tracking algorithms”, *Expert Syst. Appl.*, c. 39, sayı 8, ss. 7158–7164, 2012.
- [2] M. Chouchene, F. E. Sayadi, H. Bahri, J. Dubois, J. Miteran, ve M. Atri, “Optimized parallel implementation of face detection based on GPU component”, *Microprocess. Microsyst.*, c. 39, sayı 6, ss. 393–404, 2015.
- [3] H. Zhang, Y. Xie, ve C. Xu, “A classifier training method for face detection based on AdaBoost”, *Proc. 2011 Int. Conf. Transp. Mech. Electr. Eng. TMEE 2011*, ss. 731–734, 2011.
- [4] R. Abiantun ve M. Savvides, “Boosted multi image features for improved face detection”, *Proc. - Appl. Imag. Pattern Recognit. Work.*, sayı 1, 2008.
- [5] S. M. Jaisakthi ve C. Aravindan, “Face detection based on eigenfaces and legendre moments”, *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON*, ss. 1–5, 2009.
- [6] J. Jin vd., “A face detection and location method based on Feature Binding”, *Signal Process. Image Commun.*, c. 36, ss. 179–189, 2015.
- [7] Z. Jin, Z. Lou, J. Yang, ve Q. Sun, “Face detection using template matching and skin-color information”, *Neurocomputing*, c. 70, sayı 4–6, ss. 794–800, 2007.
- [8] B. Jun ve D. Kim, “Robust face detection using local gradient patterns and evidence accumulation”, *Pattern Recognit.*, c. 45, sayı 9, ss. 3304–3316, 2012.
- [9] S. Kang, B. Choi, ve D. Jo, “Faces detection method based on skin color modeling”, *J. Syst. Archit.*, c. 64, ss. 100–109, 2016.
- [10] J. Das ve H. Roy, “Human face detection in color images using HSV color histogram and WLD”, *Proc. - 2014 6th Int. Conf. Comput. Intell. Commun. Networks, CICN 2014*, ss. 198–202, 2014.
- [11] Y. Ma ve X. Ding, “Real-time multi-view face detection and pose estimation based on cost-sensitive AdaBoost”, *Tsinghua Sci. Technol.*, c. 10, sayı 2, ss. 152–157, 2005.
- [12] W. Zou, Y. Lu, M. Chen, ve F. Lv, “Rapid face detection in static video using background subtraction”, *Proc. - 2014 10th Int. Conf. Comput. Intell. Secur. CIS 2014*, ss. 252–255, 2015.
- [13] X. W. Zhang, L. Y. Liang, D. Q. Duan, ve W. L. Xia, “A novel method of face detection based on fusing YCbCr and HIS color space”, *Proc. 2009 IEEE Int. Conf. Autom. Logist. ICAL 2009*, sayı August, ss. 831–835, 2009.
- [14] S. Zhan, Q. Q. Tao, ve X. H. Li, “Face detection using representation learning”, *Neurocomputing*, c. 187, ss. 19–26, 2016.
- [15] S. Zafeiriou, C. Zhang, ve Z. Zhang, “A survey on face detection in the wild: Past, present and future”, *Comput. Vis. Image Underst.*, c. 138, ss. 1–24, 2015.
- [16] J. U. Yun, H. J. Lee, A. K. Paul, ve J. H. Baek, “Face detection for video summary using illumination-compensation and morphological processing”, *Pattern Recognit. Lett.*, c. 30, sayı 9, ss. 856–860, 2009.
- [17] M. H. Yap vd., “A short review of methods for face detection and Multifractal analysis”, *2009 Int. Conf. CyberWorlds, CW '09*, ss. 231–236, 2009.

- [18] L. Xiaohua, K. M. Lam, S. Lansun, ve Z. Jiliu, “Face detection using simplified Gabor features and hierarchical regions in a cascade of classifiers”, *Pattern Recognit. Lett.*, c. 30, sayı 8, ss. 717–728, 2009.
- [19] C. Cui, X. Wang, ve H. Shen, “Improving the face recognition system by hybrid image preprocessing”, *6th Annu. IEEE Int. Conf. Cyber Technol. Autom. Control Intell. Syst. IEEE-CYBER 2016*, ss. 442–447, 2016.
- [20] Y. Hbali, M. Sadgal, ve A. El Fazziki, “Object detection based on HOG features: Faces and dual-eyes augmented reality”, *2013 World Congr. Comput. Inf. Technol. WCCIT 2013*, 2013.
- [21] D. Sur, M. Mondal, S. Patra, A. Das, ve S. Das, “Development of home intruder tracking system using face recognition”, *2016 Int. Conf. Recent Trends Inf. Technol. ICRTIT 2016*, 2016.
- [22] K. Tanaka, K. Machida, S. Matsuura, ve S. Akamatsu, “Comparison of racial effect in face identification systems based on eigenface and GaborJet”, *Proc. SICE Annu. Conf.*, ss. 2835–2840, 2004.
- [23] C. Ding ve D. Tao, “Robust Face Recognition via Multimodal Deep Face Representation”, *IEEE Trans. Multimed.*, c. 17, sayı 11, ss. 2049–2058, 2015.
- [24] L. Lenc ve P. Král, “Automatic face recognition system based on the SIFT features”, *Comput. Electr. Eng.*, c. 46, ss. 256–272, 2015.
- [25] D. Mery ve K. Bowyer, “Face recognition via adaptive sparse representations of random patches”, *2014 IEEE Int. Work. Inf. Forensics Secur. WIFS 2014*, ss. 13–18, 2014.
- [26] C. Wang, Y. Li, ve X. Song, “Video-to-video face authentication system robust to pose variations”, *Expert Syst. Appl.*, c. 40, sayı 2, ss. 722–735, 2013.
- [27] H. Yanbin, Y. Jianqin, ve L. Jinping, “Human face feature extraction and recognition base on SIFT”, *Proc. - Int. Symp. Comput. Sci. Comput. Technol. ISCSCT 2008*, c. 1, ss. 719–722, 2008.
- [28] S. S. Huang, F. C. Chang, Y. C. Liu, P. Y. Hsiao, ve H. F. Ho, “Vision-based crowd pedestrian detection”, *Int. Conf. Digit. Signal Process. DSP*, c. 2015-Sept, ss. 878–881, 2015.
- [29] A. Tofighi ve S. A. Monadjemi, “Face Detection and Recognition Using Skin Color and AdaBoost Algorithm Combined with Gabor Features and SVM Classifier”, ss. 141–145, 2011.
- [30] R. W. Donaldson, “Approximate Formulas for the Information Transmitted by a Discrete Communication Channel”, *IEEE Trans. Inf. Theory*, c. 13, sayı 1, ss. 118–119, 1967.
- [31] R. O. Duda, P. Hart, ve D. Stork, *Pattern Classification*, Second., c. 37, sayı 4. 1985.
- [32] B. Marti, “Support Vector Machines - Trends and controvesies”, 1998.
- [33] S. Bernhard, S. Alexander, ve M. Klaus, “Nonlinear Component Analysis as a Kernel Eigenvalue Problem”, *Neural Comput.*, sayı 10, ss. 1299–1319, 1998.
- [34] D. Zhou ve Z. Tang, “Kernel-based improved discriminant analysis and its application to face recognition”, *Soft Comput.*, c. 14, sayı 2, ss. 103–111, 2010.
- [35] S. Tulyakov, S. Jaeger, V. Govindaraju, ve D. Doermann,

- “reviewOfClassifierCombinationMethods\_TulyakovEtAl-2008”, c. 386, ss. 1–26, 2007.
- [36] J. Mansfield ve J. L. Wayman, “Best Practices in Testing and Reporting Performance of Biometric Devices ver 2.01”, *Natl. Phys. Lab.*, ss. 1–36, 2002.
- [37] M. H. Yang, “Kernel eigenfaces vs. kernel fisherfaces: Face recognition using kernel methods”, *Proc. - 5th IEEE Int. Conf. Autom. Face Gesture Recognition, FGR 2002*, ss. 215–220, 2002.
- [38] P. J. Phillips, P. Grother, R. Micheals, D. Blackburn, E. Tabassi, ve M. Bone, “Face Recognition Vendor Test 2002”, 2003.
- [39] W. Zhao, R. Chellappa, P. . Phillips, ve A. Rosenfeld, “Face Recognition: A Literature Survey”, *ACM Comput. Surv. Trans. Image Process.*, c. 18, sayı 8, ss. 1885–1896, 2003.
- [40] K. Baek, B. A. Draper, J. R. Beveridge, ve K. She, “PCA vs. ICA: A comparison on the FERET data set”, *Proc. Jt. Conf. Inf. Sci.*, c. 6, ss. 824–827, 2002.
- [41] Q. Liu, R. Huang, H. Lu, ve S. Ma, “Face recognition using kernel based fisher discriminant analysis”, *Proc. - 5th IEEE Int. Conf. Autom. Face Gesture Recognition, FGR 2002*, ss. 197–201, 2002.
- [42] R. Sam T. ve Lawrence K. Saul, “Nonlinear Dimensionality Reduction by Locally Linear Embedding”, *Science (80-. )*, c. 290, sayı 22, ss. 2323–2326, 2000.
- [43] G. Shakhnarovich ve B. Moghaddam, “Face Recognition in Subspaces”, *Handb. Face Recognit.*, ss. 19–49, 2011.
- [44] X. Lu, “Image Analysis for Face Recognition”, *East*, ss. 1–37, 2003.
- [45] A. M. Martinez ve A. C. Kak, “PCA versus LDA”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, c. 23, sayı 2, ss. 228–233, 2001.
- [46] P. Navarrete ve J. Ruiz-Del-Solar, “Analysis and comparison of eigenspace-based face recognition approaches”, *Int. J. Pattern Recognit. Artif. Intell.*, c. 16, sayı 7, ss. 817–830, 2002.
- [47] X. Wang ve X. Tang, “A unified framework for subspace face recognition”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, c. 26, sayı 9, ss. 1222–1228, 2004.
- [48] K. Delac, M. Grgic, ve S. Grgic, “Independent comparative study of PCA, ICA, and LDA on the FERET data set”, *Int. J. Imaging Syst. Technol.*, c. 15, sayı 5, ss. 252–260, 2005.
- [49] K. I. Kim, K. Jung, ve H. J. Kim, “Principal component analysis: Principal component analysis”, *Wiley Interdiscip. Rev. Comput. Stat.*, c. 9, sayı 2, ss. 433–459, 2002.
- [50] X. He, S. Yan, Y. Hu, P. Niyogi, ve H. J. Zhang, “Face recognition using Laplacianfaces”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, c. 27, sayı 3, ss. 328–340, 2005.
- [51] M. H. Yang, “Face recognition using extended isomap”, *IEEE Int. Conf. Image Process.*, c. 2, ss. 117–120, 2002.
- [52] M. Kirby ve L. Sirovich, “Application of the Karhunen-Loève Procedure for the Characterization of Human Faces”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, c. 12, sayı 1, ss. 103–108, 1990.

- [53] M. Turk, A. Pentland, E. Recognition, ve C. Neuroscience, “Eigenfaces for Recognition”, *J. Cogn. Neurosci.*, c. 3, sayı 1, ss. 1–11, 1991.
- [54] A. Pentland, B. Moghaddam, ve T. Starner, “View-Based and Modular Eigenspaces for Face Recognition”, *M.I.T Media Lab. Percept. Comput. Sect. Tech.*, sayı 245, ss. 2–8, 1994.
- [55] P. N. Belhumeur, J. P. Hespanha, ve D. J. Kriegman, “Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition using class specific linear projection”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, c. 1064, sayı 7, ss. 45–58, 1997.
- [56] B. A. Draper, K. Baek, M. S. Bartlett, ve J. R. Beveridge, “Recognizing faces with PCA and ICA”, *Comput. Vis. Image Underst.*, c. 91, sayı 1–2, ss. 115–137, 2003.
- [57] C. Liu ve H. Wechsler, “Comparative Assessment of Independent Component Analysis (ICA) for Face Recognition”, *Analysis*, 1999.
- [58] J. Yang, D. Zhang, A. F. Frangi, ve J. Y. Yang, “Two-Dimensional PCA: A New Approach to Appearance-Based Face Representation and Recognition”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, c. 26, sayı 1, ss. 131–137, 2004.
- [59] X. He, D. Cai, ve P. Niyogi, “Tensor Subspace Analysis”, *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, ss. 499–506, 2005.
- [60] P. A. Silpa ve A. Thomas, “Realization of image processing platform on ARM9 for face recognition”, *Proc. - 2014 4th Int. Conf. Adv. Comput. Commun. ICACC 2014*, ss. 80–83, 2014.
- [61] N. Stekas ve D. Van Den Heuvel, “Face recognition using local binary patterns histograms (LBPH) on an FPGA-based system on chip (SoC)”, *IEEE Comput. Soc. ,Proceedings - 2016 IEEE 30th Int. Parallel Distrib. Process. Symp. IPDPS 2016*, ss. 300–304, 2016.
- [62] Y. M. Mustafah, T. Shan, A. W. Azman, A. Bigdeli, ve B. C. Lovell, “Real-time face detection and tracking for high resolution smart camera system”, *Digit. Image Comput. Tech. Appl.*, ss. 387–393, 2007.
- [63] S. Gupta, V. H. Gaidhane, ve V. Singh, “A New Approach for Face Recognition Using Power Method Algorithm”, *Proc. Int. Conf. Adv. Comput. Control. Telecommun. Technol. ACT*, ss. 64–69, 2012.
- [64] Y. M. Mustafah, A. Bigdeli, A. W. Azman, ve B. C. Lovell, “Face detection system design for real time high resolution smart camera”, *2009 3rd ACM/IEEE Int. Conf. Distrib. Smart Cameras, ICDSC 2009*, 2009.
- [65] X. P. Zhang ve Z. Chen, “An automated video object extraction system based on spatiotemporal independent component analysis and multiscale segmentation”, *Hindawi Publ. Corp. EURASIP J. Appl. Signal Process.*, c. 2006, ss. 1–22, 2006.
- [66] J. Zhou ve X. P. Zhang, “Video event detection using ICA mixture hidden Markov models”, *Proc. - Int. Conf. Image Process. ICIP*, ss. 3005–3008, 2006.
- [67] Y. Tie ve G. Ling, “Local normalization with optimal adaptive correlation for automatic and robust face detection on video sequences”, *Proc. - 10th IEEE Int. Symp. Multimedia, ISM 2008*, ss. 160–165, 2008.
- [68] T. I. Dhamecha, P. Verma, M. Shah, R. Singh, ve M. Vatsa, “Annotated crowd video face database”, *Proc. 2015 Int. Conf. Biometrics, ICB 2015*, ss. 106–112, 2015.

- [69] M. Castrillón, O. Déniz, C. Guerra, ve M. Hernández, “ENCARA2: Real-time detection of multiple faces at different resolutions in video streams”, *J. Vis. Commun. Image Represent.*, c. 18, sayı 2, ss. 130–140, 2007.
- [70] O. Marques, *Practical Image And Video Processing Using Matlab*. New Jersey: Ieee Press Wiley, 211m.S.
- [71] R. C. Gonzalez ve R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Second. New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- [72] G. Ç. Çavdaroglu, “Sanal Gerçeklikte İlinti Operatörleri Geliştirilerek Yüz Tanıma Analizi”, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2013.
- [73] N. Baek, S.-M. Park, K.-J. Kim, ve S.-B. Park, “Vehicle Color Classification Based on the Support Vector Machine Method”, *Adv. Intell. Comput. Theor. Appl. With Asp. Contemp. Intell. Comput. Tech.*, ss. 1133–1139, 2007.
- [74] Erhan Taşkın, “Mpeg-4 Standardında Kodlanmış Video Verilerinin İçerisinden Video Nesnelere Elde Edilmesi”, Trakya Üniversitesi Fen, 2013.
- [75] C. Taşkın, “Mpeg-2 Kodlanmış Video Görüntülerinin İçerik Tabanlı Sorgulanması”, Trakya Üniversitesi Fen, 2010.
- [76] Michael Bar ve A. Massa, *Programming Embedded Systems, Second Edition with C and GNU Development Tools*. O'REILLY, 2017.
- [77] Dr Peter R. Wilson, *Design Recipes for FPGAs*, c. 53, sayı 9. Jordan Hill, Oxford: ELSEVIER, Great Britain by MPG Books Ltd, 2007.
- [78] E. A. Bezerra ve D. V. Lettnin, *Synthesizable VHDL design for FPGAs*, c. 9783319025. Springer, 2014.
- [79] K. M. S. Soyjaudah, G. Ramsawock, ve M. Y. Khodabacchus, “Cloud computing authentication using cancellable biometrics”, *IEEE AFRICON Conf.*, 2013.
- [80] A. Naït-Ali ve R. Fournier, *Signal and Image Processing for Biometrics*. WILEY, 2013.
- [81] E. Y. Du, *Biometrics: From fiction to practice*. Pan Stanford, CRC Press, 2012.
- [82] V. E. DURÓ, “Face Recognition By Means of Advanced Contribution in Machine Learning”, 2013.
- [83] A. E. Çapanoğlu, “Büyük Yüz Veritabanlarında Hızlı Arama Sistemi”, Gazi Üniversitesi, 2016.
- [84] S. Metin, “Akıllı Sistemlerle Yüz İfadesi Tanıma Ve Sistem Otomasyonu”, Fırat Üniversitesi, 2012.
- [85] R. Das, *Biometric Technology Authentication, Biocryptography, and Cloud-Based Architecture*, c. 14, sayı 3. CRC Press, 2015.
- [86] A. Abaza, A. Ross, C. Hebert, M. A. F. Harrison, ve M. S. Nixon, “A Survey on Ear Biometrics AYMAN”, *ACM Comput. Surv.*, c. 45, sayı 2, 2013.
- [87] A. Pflu, “Biometric Identification using 2- and 3-Dimensional Images of Human Ears”, Gjøvik University College, 2015.
- [88] D.Han, J.Choi, B.Kim “Design and VLSI implementation of a high-performance face detection engine”, *Computers & Electrical Engineering*, Volume 38, Issue 5, Pages 1222-1239, September 2012.

- [89] F. G. Prof.Dr. Kadhim M.Hashem ve A, “Human Identification Using Foot Features”, *I.J. Eng. Manuf.*, sayı July, ss. 22–31, 2016.
- [90] K. KumarNagwanshi ve S. Dubey, “Biometric Authentication using Human Footprint”, *Int. J. Appl. Inf. Syst.*, c. 3, sayı 7, ss. 1–6, 2012.
- [91] H. Mehrotra, D. R. Kisku, V. Bhawani Radhika, B. Majhi, ve P. Gupta, “Feature level clustering of large biometric database”, *Proc. 11th IAPR Conf. Mach. Vis. Appl. MVA 2009*, ss. 324–327, 2009.
- [92] K. Delac and M. Grgic, *Face Recognition*, vol. 38, no. 10. Vienna, Austria: I-Tech Education and Publishing [www.ars-journal.com](http://www.ars-journal.com), 2007.
- [93] A. K. Datta, M. Datta, and P. K. Banerjee, *Face Detection and Recognition: Theory and Practice*. New York: CRC Press, 2016.
- [94] W. Zhao and R. Chellappa, *Face Processing Advanced Modeling and Methods*. California: Academic Press is an imprint of Elsevier, 2006.
- [95] C. M. EPIFANO and A. QUAGLIA, *Face Recognition Methods, Applications And Technology*. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2012.
- [96] Açık kaynak bilgisayar görüntü işleme kütüphanesi, erişim tarihi:10.10.2017 adres: OpenCV library <https://opencv.org/license/>
- [97] Nexys4 DRR FPGA Board Reference Manual erişim tarihi: 01.10.2018 adres: [https://reference.digilentinc.com/\\_media/nexys4-ddr:nexys4ddr\\_rm.pdf](https://reference.digilentinc.com/_media/nexys4-ddr:nexys4ddr_rm.pdf)

## 8. EKLER

### 8.1. GERÇEKLEŞTİRİLEN DONANIM BİLGİSİ

FPGA tasarımı için tercih edilen Nexys4 DDR bordu üzerinde gereken işlemler gerçekleştirilmiştir. Aşağıda Nexys4 DDR bordunun donanımsal özellikleri hakkında genel bilgiler sunulmaktadır.

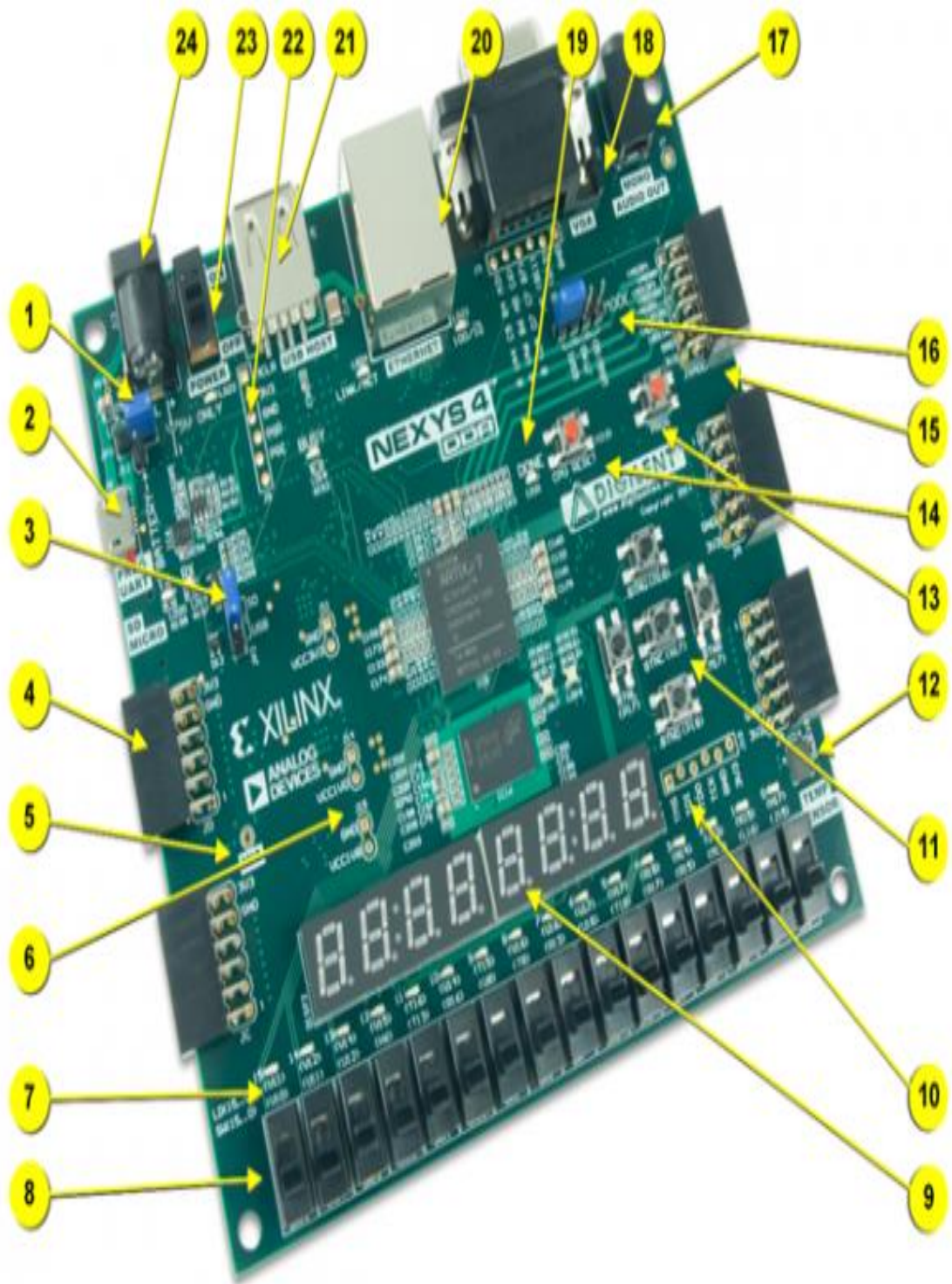
#### Özellikler:

- **Artix-7 FPGA**
  - 15,850 programlanabilir mantık dilimi, her birinde dört 6 girişli LUT
  - 1.188 Kbit hızlı blok RAM (\* 600 Kbit)
  - Her biri faz kilitlemeli döngü (PLL) olan altı saat yönetimi
  - 240 DSP dilimleri (\* 120 DSP)
  - 450 MHz'yi aşan dahili saat hızları
  - Çift kanallı, 1 MSPS dahili analog-dijital dönüştürücü (XADC)
- **Hafıza**
  - 128MiB DDR2
  - Seri Flaş
  - microSD kart yuvası
- **Güç**
  - USB veya herhangi bir 4.5V-5.5V harici güç kaynağından güç alır
- **USB ve Ethernet**
  - 10/100 Ethernet PHY
  - USB-JTAG programlama devresi
  - USB-UART köprüsü
  - Fareler, klavyeler ve bellek çubukları için USB HID Ana Bilgisayarı
- **Basit Kullanıcı Girişi / Çıkışı**
  - 16 Anahtar
  - 16 LED
  - İki RGB LED
  - İki adet 4 haneli 7 segmentli ekran

- **Ses ve video**
  - 12 bit VGA çıkışı
  - PWM ses çıkışı
  - PDM mikrofon
- **Ek Sensörler**
  - 3 eksenli ivmeölçer
  - Sıcaklık sensörü
- **Genişleme Konnektörleri**
  - XADC sinyalleri için pmod konektörü
  - Toplam 32 adet FPGA I / O sağlayan dört adet Pmod konektörü

Nexys4 DDR, Xilinx'in Vivado® Design Suite'in yanı sıra ChipScope™ ve EDK içeren ISE® araç seti ile uyumludur. Şekil 8.1'de Nexys4 DDR bordunun bileşenleri numaralandırılarak sunulmuştur.





Şekil 8.1. Nexys4 DDR boardu [97].

Şekil 8.1’de Nexys4 DDR kartındaki numaralandırılmış alanları Çizelge 8.1’de “Numara” sütununa eklenmiş ve her numaraya karşılık gelen bileşenin görevini “Açıklaması” sütununda yazılarak sunulmuştur.

Çizelge 8.1 Nexys4 DDR kartının bileşenleri

Numara	Açıklaması	Şekil Numarası	Açıklaması
1	Güç seçme ve pil başlığı	13	FPGA yapılandırma ve sıfırlama düğmesi
2	Paylaşılan UART / JTAG USB bağlantı noktası	14	Yeniden yükleme
3	Harici yapılandırma yükleme kablosu (SD / USB)	15	Analog sinyal Pmod bağlantı noktası (XADC)
4	Pmod bağlantı noktaları	16	Programlama modu
5	Mikrofon	17	Ses bağlantısı
6	Güç kaynağı test noktaları	18	VGA konektörü
7	LED'ler (16 adet)	19	FPGA programlama gösterge LED'i
8	Anahtarları	20	Ethernet bağlantısı
9	Sekiz haneli 7 segmentli ekran	21	USB ana bilgisayar konektörü
10	Harici kablo için (isteğe bağlı) JTAG bağlantı noktası	22	PIC24 programlama portu (fabrika üretimi)
11	Kontrol düğmeleri (5 adet)	23	Güç düğmesi
12	Sıcaklık sensörü	24	Güç girişi

## 8.2. VHDL DİJİTAL TASARIM

FPGA platformunda yapılan donanım tasarımı için VHDL dilinden yararlanılmıştır. Aşağıda tez çalışmasının donanım tasarımı için FPGA tasarımının benzetimini sağlayan bazı modülerin VHDL kodları sunulmuştur.

FPGA platformunda yapılan donanım tasarımı için VHDL dilinden yararlanılmıştır. Aşağıda tez çalışmasının donanım tasarımı için FPGA tasarımının benzetimini sağlayan bazı modülerin VHDL kodları sunulmuştur.

```
-----  
----- 9 bitlik karşılaştırma modülü -----  
-----  
  
library IEEE;  
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;  
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;  
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;  
  
ENTITY Comp9Bit IS  
    PORT ( A      : IN std_logic_vector(8 DOWNTO 0);  
          B      : IN std_logic_vector(53 DOWNTO  
0);  
          CompOut : OUT std_logic);  
END Comp9Bit;  
  
ARCHITECTURE Behavioral OF Comp9Bit IS  
  
BEGIN  
    PROCESS (A,B)  
        BEGIN  
            IF ((A=B(53 downto 45)) or (A=B(44 downto  
36)) or (A=B(35 downto 27)) or (A=B(26 downto 18)) or  
(A=B(17 downto 9)) or (A=B(8 downto 0))) THEN  
  
                CompOut <= '1';  
            ELSE  
                CompOut <= '0';  
            END IF;  
        END process;  
    END Behavioral;
```

```

library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;

ENTITY Reglbit IS
    PORT( Data_In   : IN std_logic;
          Load      : IN std_logic;
          Reset     : IN std_logic;
          Ck        : IN std_logic;
          Data_Out  : OUT std_logic
        );
END Reglbit;

ARCHITECTURE Behavioral OF Reglbit IS
    SIGNAL D : std_logic;
BEGIN
    PROCESS
    BEGIN
        WAIT UNTIL ((Ck'EVENT) AND (Ck= '1'));
        IF (Reset = '1') THEN
            -- Changed Reset to Active High
            D <= '0';
        ELSIF (Load = '1') THEN
            D <= Data_In;
        ELSE
            D <= D;
        END IF;
    END process;
    Data_Out <= D ;
END Behavioral;

```

```

-----
----- 8 bitlik piksel değerinin tutulması -----
-----
-----

library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;

entity PixelData is
    port(Data_In :IN std_logic_vector(7 DOWNTO 0);
          Load    : IN std_logic;
          Reset   : IN std_logic;
          Clock   : IN std_logic;
          Data_Out : OUT std_logic_vector(8
DOWNTO 0)
          );
end entity;

ARCHITECTURE Behavioral OF PixelData IS
    signal OneZeroOut: std_logic;
    signal OneZeroS : std_logic_vector (8 downto 0);
begin
OZ: entity work.OneZero port map (Data_In,OneZeroOut);
R22: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroOut, Load, Reset, Clock, OneZeroS(8));
R21: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(8), Load, Reset, Clock, OneZeroS(5));
R20: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(5), Load, Reset, Clock, OneZeroS(2));
R12: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(2), Load, Reset, Clock, OneZeroS(7));
R11: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(7), Load, Reset, Clock, OneZeroS(4));
R10: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(4), Load, Reset, Clock, OneZeroS(1));
R02: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(1), Load, Reset, Clock, OneZeroS(6));
R01: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(6), Load, Reset, Clock, OneZeroS(3));
R00: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(3), Load, Reset, Clock, OneZeroS(0));

Data_out(8) <= OneZeros(0);
Data_out(7) <= OneZeros(1);
Data_out(6) <= OneZeros(2);
Data_out(5) <= OneZeros(3);
Data_out(4) <= OneZeros(4);
Data_out(3) <= OneZeros(5);
Data_out(2) <= OneZeros(6);

```

```

Data_out(1) <= OneZeros(7);
Data_out(0) <= OneZeros(8);
end architecture;

```

```

library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;

```

```

entity PixelData is
    port(Data_In :IN std_logic_vector(7 DOWNTO 0);
          Load   : IN std_logic;
          Reset  : IN std_logic;
          Clock   : IN std_logic;
          Data_Out : OUT std_logic_vector(8 DOWNTO
0)
          );
end entity;

```

```

ARCHITECTURE Behavioral OF PixelData IS

```

```

    signal OneZeroOut: std_logic;
    signal OneZeroS : std_logic_vector (8 downto 0);
begin
OZ: entity work.OneZero port map (Data_In,OneZeroOut);
R22: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroOut,Load,Reset,Clock,OneZeroS(8));
R21: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(8),Load,Reset,Clock,OneZeroS(5));
R20: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(5),Load,Reset,Clock,OneZeroS(2));
R12: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(2),Load,Reset,Clock,OneZeroS(7));
R11: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(7),Load,Reset,Clock,OneZeroS(4));
R10: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(4),Load,Reset,Clock,OneZeroS(1));
R02: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(1),Load,Reset,Clock,OneZeroS(6));
R01: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(6),Load,Reset,Clock,OneZeroS(3));
R00: entity work.Reg1bit port map
(OneZeroS(3),Load,Reset,Clock,OneZeroS(0));

```

```

Data_out(8) <= OneZeros(0);
Data_out(7) <= OneZeros(1);
Data_out(6) <= OneZeros(2);

```

```

Data_out(5) <= OneZeros(3);
Data_out(4) <= OneZeros(4);
Data_out(3) <= OneZeros(5);
Data_out(2) <= OneZeros(6);
Data_out(1) <= OneZeros(7);
Data_out(0) <= OneZeros(8);
end architecture;

-----
----- x-bit_Register Tasarımı -----
-----

library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;

ENTITY Regxbit IS
    generic(width: integer := 4);
    PORT( Data_In      : IN std_logic_vector(width-1
DOWNTO 0);
        Load          : IN std_logic;
        Reset         : IN std_logic;
        Ck            : IN std_logic;
        Data_Out      : OUT
std_logic_vector(width-1 DOWNTO 0)
        );
END Regxbit;

ARCHITECTURE Behavioral OF Regxbit IS
    SIGNAL D : std_logic_vector(width-1 DOWNTO 0);
BEGIN
    PROCESS
    BEGIN
        WAIT UNTIL ((Ck'EVENT) AND (Ck= '1'));
        IF (Reset = '1') THEN
            -- Changed Reset to Active
High
            D <= (OTHERS => '0');
        ELSIF (Load = '1') THEN
            D <= Data_In;
        ELSE
            D <= D;
        END IF;
    END process;
    Data_Out <= D ;

END Behavioral;

```

```

----Address Toplayıcı Tasarımı
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;

entity Add2x32 is
    port( Ain:in std_logic_vector(31 downto 0);
          Bin:in std_logic_vector(31 downto 0);
          Qout:out std_logic_vector(31 downto
0));
end entity Add2x32;

architecture Beh of Add2x32 is
begin
    Qout <= Ain+Bin;
end architecture;

----Address Çıkartıcı Tasarımı
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;

entity Sub2x32 is
    port( Ain:in std_logic_vector(31 downto 0);
          Qout:out std_logic_vector(31 downto
0));
end entity Sub2x32;

architecture Beh of Sub2x32 is
begin
    Qout <= Ain-"00000000000000000000000000000010";
end architecture;

---MUX 4x1
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;

entity mux4x1_32 is
    port (sel : in std_logic_vector(1 downto 0);
          A : in std_logic_vector(31 downto 0);
          B : in std_logic_vector(31 downto 0);
          C : in std_logic_vector(31 downto 0);

```

```

        D: in std_logic_vector(31 downto 0);
        Q: out std_logic_vector(31 downto 0));
end entity;

architecture beh of mux4x1_32 is
begin
process (sel,A,B,C,D)
begin
    case sel is
        when "00" => Q <= A;
        when "01" => Q <= B;
        when "10" => Q <= C;
        when "11" => Q <= D;
        when others => Q <=(OTHERS => '0');
    end case;
end process;
end architecture;

```

```

----SS SAYACI
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;

ENTITY SS_Sayac IS

    PORT( Data_In      : IN std_logic_vector(31 DOWNT0
0);

        Load          : IN std_logic;
        Dec            : IN std_logic;
        Reset          : IN std_logic;
        Ck              : IN std_logic;
        Satir_sonu     : OUT std_logic
        );

END SS_Sayac;

```

```

ARCHITECTURE Behavioral OF SS_Sayac IS
    SIGNAL D : std_logic_vector(31 DOWNT0 0);
BEGIN
    PROCESS
    BEGIN
        WAIT UNTIL ((Ck'EVENT) AND (Ck= '1'));
        IF (Reset = '1') THEN
            -- Changed Reset to Active
            D <= (OTHERS => '0');
        ELSIF (Load = '1') THEN

```



# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Fatih İLKBAHAR  
Doğum Tarihi ve Yeri :1985 AHLAT  
Yabancı Dili :65  
E-posta :fatihilkbahar@duzce.edu.tr

## ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Müh.	Düzce Üniversitesi	Devam Ediyor
Y. Lisans	Bilgisayar Müh.	Sakarya Üniversitesi	2010
Lisans	Bilgisayar Sistemleri Öğrt.	Süleyman Demirel Üniversitesi	2007
Lise	Bilgisayar Yazılımı	Gebze Teknik Endüstri ve Anadolu Lisesi	2002

## YAYINLAR

[1] Performance Analysis of Face Recognition Algorithms (IEEE), International Artificial Intelligence And Data Processing IDAP 2017 , 16.09.2017 - 17.09.2017, ISBN:978-1-53861880-6-17

[2] Interdisciplinary Scientific Research (Examination of biometric systems:Run face detector for face recognition algorithms), Strategic Researches Academy, ISBN: 978-605-81950-0-4,2017

- [3] Analysis of Face Recognition System in Education and Training Institutions Using Full Automatic, IAREC 2017 , 16.11.2017 - 18.11.2017
- [4] Implementation Of Fpga Based Distance Measurement Algorithm For Biometric Systems, International Conference on Engineering Technologies , 07.12.2017 - 09.12.2017, ISBN:978-605-67535-5-8
- [5] YTS Öğretme Etkisinin Analizi, Icosresse 2017 , 13.10.2017 - 15.10.2017,ISBN:978-605-67769-4-6
- [6] Hardware Based Face Recognition System, International Conference On Engineering Technologies 2017 , 07.12.2017 - 09.12.2017, ISBN:978-605-67535-5-8
- [7] Hardware Based Face Matching System (International Conference On Engineering Technology And Innovation Isbn:978-605-67955-0-3, March 07-11 2018 Budapest Hungary)
- [8] Hybrid Method For Reducing Illumination Effect In Face Recognition Systems (International Conference On Engineering Technology And Innovation Isbn:978-605-67955-0-3, March 07-11 2018 Budapest Hungary)

