

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

**YÜZ GÖRÜNTÜSÜ ESASLI BİYOMETRİK KİMLİK  
TANIMA VE DOĞRULAMA**

**Levent MORGÜL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**ELEKTRONİK-HABERLEŞME EĞİTİMİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Ahmet AKBAŞ**

**İSTANBUL 2010**

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

**YÜZ GÖRÜNTÜSÜ ESASLI BİYOMETRİK KİMLİK  
TANIMA VE DOĞRULAMA**

**Levent MORGÜL  
(141522220089008)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI  
ELEKTRONİK-HABERLEŞME EĞİTİMİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Ahmet AKBAŞ**

**İSTANBUL 2010**

EK II-5 Kabul ve Onay Belgesi

T.C.  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KABUL ve ONAY BELGESİ**

Levent MORGÜL'ün **YÜZ GÖRÜNTÜSÜ ESASLI BİYOMETRİK KİMLİK TANIMA VE DOĞRULAMA** başlıklı Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 09.02.2010 tarih ve 2010/03-28 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı Elektronik Haberleşme Öğretmenliği Programında **YÜKSEK LİSANS** Tezi olarak Kabul edilmiştir.

Danışman : Doç.Dr. Ahmet AKBAŞ  
1. Üye : Doç.Dr. Fevzi BABA  
2. Üye : Yrd.Doç.Dr. Erkan KAPLANOĞLU

Yalova Üniversitesi  
Marmara Üniversitesi  
Marmara Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 26.02.2010

**ONAY**

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 12-02-2010 tarih ve 2010/07-12 sayılı kararı ile Levent MORGÜL'ün Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı Elektronik Haberleşme Öğretmenliği Programında Y.Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*Prof. Dr. Meral ÜNAL*


# TEŐEKKÖR

Yüksek Lisans tez çalışmamın başından beri bilgi ve tecrübelerini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım sayın Doç. Dr. Ahmet AKBAŞ'a teşekkür ederim. Yine hiçbir zaman desteğini esirgemeyen eşime, bugünlere gelmemde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

**Şubat, 2010**

**Levent MORGÖL**

# İÇİNDEKİLER

## SAYFA NO

|   |      |
|---|------|
| TEŞEKKÜR.....   | i    |
| İÇİNDEKİLER .....                                       | ii   |
| ÖZET.....   | iv   |
| ABSTRACT.....   | v    |
| SEMBOL LİSTESİ .....                                    | vi   |
| KISALTMALAR.....  | vii  |
| ŞEKİLLER .....  | viii |
| TABLolar .....  | x    |
| BÖLÜM I.....  | 1    |
| GİRİŞ VE AMAÇ .....                                     | 1    |
| I.1. GİRİŞ.....   | 1    |
| I.1.1. Biyometrik Ölçme .....                           | 2    |
| I.1.2. Görme Süreçleri ve Biyometri.....                | 3    |
| I.1.3. Yüz Görüntüsünün Analizi ile Kimlik Tanıma ..... | 4    |
| I.2. AMAÇ .....   | 5    |
| I.3. BÖLÜMLERİN ÖZETİ.....                              | 6    |
| BÖLÜM II.....   | 7    |
| GÖRMEYE DAYALI BİYOMETRİK TANIMA SİSTEMLERİ .....       | 7    |
| II.1. BİYOMETRİ ESASLI KİMLİK TANIMLAMA.....            | 8    |
| II.2. GÖRÜNTÜ ANALİZİ .....                             | 13   |
| II.2.1. Düşük Seviyeli İşlemler .....                   | 14   |
| II.2.2.1. Gri-Düzey Ölçeklendirme.....                  | 14   |
| II.2.2.2. Histogram.....                                | 15   |
| II.2.2.3. Eşikleme.....                                 | 15   |
| II.2.2.4. Morfolojik İşlemler .....                     | 16   |
| II.2.2.5. Komşuluklar .....                             | 18   |
| II.2.2. Orta Seviyeli İşlemler .....                    | 19   |

|   |              |
|---|--------------|
| II.2.2.1. Fourier Dönüşümü .....                                      | 21           |
| II.2.2.2. Gabor Filtresi .....  | 21           |
| II.2.3. Yüksek Seviyeli İşlemler .....                                | 22           |
| <b>II.3. BİYOMETRİK GÖRÜNTÜ TANIMA .....</b>                          | <b>22</b>    |
| II.3.1. Tanıma Süreci .....   | 23           |
| II.3.2. Doğrulama Problemi .....                                      | 24           |
| II.3.3. Performans Değerlendirme .....                                | 24           |
| <b>II.4. YÜZ GÖRÜNTÜLERİNİN ANALİZİ İLE KİMLİK TANIMA .....</b>       | <b>27</b>    |
| II.4.1. Yüz Görüntüleri ile İlgili Temel Bilgiler .....               | 28           |
| II.4.2. Yüz Görüntülerini Elde Etme Düzenleri.....                    | 29           |
| II.4.3. Yüz Görüntüsünün Analizi ile Kimlik Tanıma ve Doğrulama ..... | 30           |
| II.4.3.1. Özellik Esaslı Tanıma .....                                 | 31           |
| II.4.3.2. Yüz Görüntülerin Özyüzler Uzayında Temsili .....            | 31           |
| <b>II.5. MATLAB UYGULAMALARI .....</b>                                | <b>36</b>    |
| <b>II.6. LİTERATÜRDE YÜZ GÖRÜNTÜSÜNÜN ANALİZİNE DAYALI</b>            |              |
| <b>KİMLİK TANIMA VE DOĞRULAMA ÇALIŞMALARI .....</b>                   | <b>38</b>    |
| <b>BÖLÜM III .....</b>  | <b>41</b>    |
| <b>YAPILAN ÇALIŞMALAR .....</b>                                       | <b>41</b>    |
| <b>III.1. YÜZ GÖRÜNTÜSÜ VERİ TABANLARI .....</b>                      | <b>42</b>    |
| III.1.1. Yüz Görüntüsü Veritabanları .....                            | 42           |
| III.1.2. Yüz Görüntülerinin Elde Edilmesi .....                       | 44           |
| <b>III.2. ÖZNİTELİK VERİLERİNİN ELDE EDİLMESİ .....</b>               | <b>44</b>    |
| III.2.1. Ön İşlemler .....  | 45           |
| III.2.2. Özyüzler Uzayının Oluşturulması .....                        | 46           |
| <b>III.3. ANALİZ ÇALIŞMALARI.....</b>                                 | <b>48</b>    |
| III.3.1. Euclid Uzaklığı Ölçümüne Dayalı Analizler.....               | 49           |
| III.3.2. Korelasyon Yaklaşımı ile Yapılan Analizler.....              | 53           |
| <b>BÖLÜM IV. ....</b>   | <b>59</b>    |
| <b>ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLEDİRİLMESİ .....</b>                     | <b>59</b>    |
| <b>BÖLÜM V.....</b>   | <b>61</b>    |
| <b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>   | <b>61</b>    |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>   | <b>62</b>    |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>  | <b>.....</b> |

# ÖZET

## YÜZ GÖRÜNTÜSÜ ESASLI BİYOMETRİK KİMLİK TANIMA VE DOĞRULAMA

Günümüzde sayısal teknolojilerin giderek daha yoğun kullanıldığı bir dünyada, bilgisayarların işlem gücünden yararlanarak gerçekleştirilen biyometrik uygulamalar önemli bir yer tutmaktadır. Bu kapsamda güvenilir bir kimlik tanımlama ve/veya doğrulamaya ihtiyaç duyulan örnekler arasında; milli güvenlik, elektronik ticaret ve bilgisayar ağlarına erişim gibi uygulamalar sayılabilir. Bu uygulamalarda gerçek yetkili kişiler biyometrik yaklaşımla sahtelerinden ayrılabilir.

Biyometri kapsamında kullanılan önemli araçlardan birisi, yüz görüntüsüdür. Bununla beraber, güvenilir bir yüz tanıma problemi hala çözüm bekleyen sorunlar barındırmaktadır. Bu tez çalışmasında, anılan sorunların çözümüne katkıda bulunmak üzere, öz-vektörler yaklaşımının kullanıldığı bir kimlik tanımlama ve tanıma sistemi tasarlanmıştır.

Buna göre; kimlik tanımlama evresinde, elde edilen yüz görüntüleri, bir kısım görüntü ön-işlemlerinin ardından öz-yüzler uzayındaki bir noktaya karşılık gelen bir katsayılar vektörü ile temsil edilir. Bu yolla, farklı bireylerden elde edilen yüz görüntüleri ile bir veri tabanı oluşturulur. Kimlik doğrulama evresinde, bilinmeyen yüz görüntüsünü temsil eden katsayılar vektörü ile, veri tabanındaki diğer kişilere ait yüz görüntülerini temsil eden katsayılar vektörleri arasında Euclid mesafeleri ve/veya korelasyonlar hesaplanarak, önceden belirlenen bir eşik değere göre karşılaştırmalar yapılır. Böylece bulunan en küçük Euclid uzaklığına (veya en büyük korelasyona) karşılık gelen yüz görüntüsü ile bilinmeyen bireyin kimliği eşlenir.

Çalışmanın filtrelemeler ve test süreçlerini de kapsayan bütün evreleri, MATLAB'ın hazır komutları ve fonksiyonlarından yararlanarak gerçekleştirilmiştir. ROC analizine dayalı performans testleri için, ORL\_FACES veri tabanından elde edilen 40 farklı bireye ait toplam 400 yüz görüntüsü kullanılmıştır. Test sonuçları, tasarlanan sistemin; hem Euclid uzaklığı, hem de korelasyona bağlı karşılaştırmalara dayanarak yaptığı kimlik tanımlama ve tanımlarında tatmin edici bir hassasiyetin elde edildiğini göstermiştir.

**Şubat, 2010**

**Levent MORGÜL**

# **ABSTRACT**

## **BIOMETRIC RECOGNITION AND VERIFICATION OF PERSONALITY USING FACE IMAGE**

Biometric applications using the power of computers are gaining an important role in an increasingly digital world. National security, e-commerce, and accessing computer networks are some examples where reliable personal identification and/or verification is important. They can differentiate between the genuine authorized user and imposters.

Face image is one of the important form of biometrics used in this context. However, reliable face recognition is still an open problem. In this thesis, an eigenvectors based personal identification and recognition approach has been contributed for solving this problem.

In the identification phase, following some image processing steps, acquired face images are represented by a coefficients vector in the eigenfaces space. A data base including the coefficient vectors of different personal face images has been created by this way. In the verification phase, Euclid distances and/or correlations between the coefficient vector of unknown face image and other coefficient vectors in the data base are calculated and compared with a threshold value to find the minimum distance (or maximum correlation) corresponding to the recognized personal face image.

All phases of the studies including filtering and testing processes have been completed by using MATLAB's ready commands and functions. A data base including 400 face images of 40 different person have been chosen from ORL\_FACES data base and they are used for ROC analysis based performance tests. Test results show that, designed system has sufficient identification and recognition accuracy both for Euclid distance based and correlation based comparisons.

**February, 2010**

**Levent MORGÜL**



## SEMBOLLER

|            |  |
|------------|--|
| $P(r_k)$   | : k'inci gri seviyenin histogramı                                  |
| $n_k$      | : k'nin gri seviyeye sahip toplam piksel adedi                     |
| $n$        | : Görüntü üzerindeki toplam piksel adedi                           |
| $I(m, n)$  | : Gri ton görüntü dizisi   |
| $B(m, n)$  | : Siyah-beyaz görüntü dizisi                                       |
| $T$        | : Eşik gri ton değeri  |
| $\lambda$  | : Kosinüs faktörünün dalga boyu                                    |
| $\theta$   | : Gabor fonksiyonunun paralel çizgilere göre normalin oryantasyonu |
| $\Psi$     | : Faz ofset değeri   |
| $\gamma$   | : Uzaysal görüş açısı  |
| $\sigma$   | : Standart sapma   |
| $B_i$      | : $i$ bireyinin kimliğini temsil eden biyometri                    |
| $T_i$      | : $B_i$ biyometrisinin makine sunumu (öznitelikler vektörü)        |
| $T_h$      | : Eşik seviyesi  |
| $\Gamma$   | : Veritabanındaki resimlerin yerini tutar                          |
| $M$        | : Veritabanındaki resimlerin sayısı                                |
| $\Psi$     | : Veritabanındaki resimlerin ortalama değerleri                    |
| $\Phi_j$   | : Veritabanındaki her bir resmin ortalamadan farkı                 |
| $u_n$      | : Veri dağılımını ifade eden vektör                                |
| $V_i$      | : $S_i$ lokal bölgesinin tahmini varyans değeri                    |
| $\Omega^T$ | : Bir yüze ait öznitelik vektörü                                   |
| $x$        | : Bir kişiye ait yüz sayısı  |
| $y$        | : Veritabanındaki kişi sayısı                                      |
| $H_0$      | : Sıfır Hipotezi   |
| $H_1$      | : Alternatif Hipotez   |

## KISALTMALAR

|               |                                     |
|---------------|-------------------------------------|
| <b>PIN</b>    | : Kişisel kimlik tanımlama numarası |
| <b>YZ</b>     | : Yapay Zekâ                        |
| <b>YSA</b>    | : Yapay Sinir Ağları                |
| <b>MLP</b>    | : Çok Katmanlı Algılayıcı           |
| <b>IPT</b>    | : Görüntü İşleme Araç Kutusu        |
| <b>MATLAB</b> | : Matris Laboratuvarı               |
| <b>AGF</b>    | : Alçak Geçiren Filtre              |
| <b>FFT</b>    | : Hızlı Fourier Dönüşümü            |
| <b>FM</b>     | : Yanlış Eşleme                     |
| <b>FNM</b>    | : Yanlış Eşlememe                   |
| <b>FTE</b>    | : Kaydetme Hatası                   |
| <b>FTA</b>    | : Doğrulama Hatası                  |
| <b>FMR</b>    | : Yanlış Eşleme Oranı               |
| <b>FNMR</b>   | : Yanlış Eşlememe Oranı             |
| <b>ROC</b>    | : Alıcı İşletim Karakteristiği      |

# ŞEKİLLER

|  | <u>SAYFA NO</u> |
|--|-----------------|
| Şekil II.1. Biyometrik görüntü tanıma sistemi.....   | 7               |
| Şekil II.2. Biyometrik sistemlerin genel çalışma mekanizması.....                            | 9               |
| Şekil II.3. Görüntü yakalama ve sayısallaştırma aşamaları.....                               | 13              |
| Şekil II.4. Onatlı bitlik gri-düzey skala işlemleri.....                                     | 14              |
| Şekil II.5. Gri düzey Histogramı.....  | 15              |
| Şekil II.6. Morfolojik işlem örnekleri.....  | 17              |
| Şekil II.7. Komşuluk kodlamaları ve olası komşuluk ilişkileri.....                           | 18              |
| Şekil II.8. En yakın komşuluk ekleme yapma metodu kullanarak bir rotasyon dönüşümü .....     | 20              |
| Şekil II.9. Gerçek ve sahte skorların dağılımlar.....  | 26              |
| Şekil II.10. Tipik FMR ve FNMR hata eğrileri ve tipik ROC eğrisi.....                        | 27              |
| Şekil II.11. Yüz özneliklerinin gösterilmesi.....  | 29              |
| Şekil II.12. Yüz görüntülerinin elde edilmesi için kullanılan farklı tiplerde kameralar..... | 29              |
| Şekil II.13. Görüntünün uzaklığına göre lens boyutunun hesaplanması .....                    | 30              |
| Şekil II.14. Örnek eğitim kümesi .....   | 32              |
| Şekil II.15. Örnek eğitim kümesine ait ortalama yüz.....                                     | 33              |
| Şekil II.16. Yüz uzayının temel şekli .....  | 34              |
| Şekil II.17. Yüz uzayında yüz vektörlerinin toplamı .....                                    | 34              |
| Şekil II.18. Özyüzlerin genel işlem yapısı .....   | 35              |
| Şekil II.19. Yüz uzayı içine olası izdüşümler .....  | 35              |
| Şekil II.20. Yüz tanıma için alınabilecek 22 geometrik nokta.....                            | 37              |
| Şekil II.21. Şablon eşleme ile yüz tanıma.....   | 37              |
| Şekil III.1. Yüz tanıma süreci .....   | 41              |
| Şekil III.2. Yüz veritabanını oluşturmak için kullanılan arayüz .....                        | 44              |
| Şekil III.3. Veritabanından seçilmiş 6 adet özyüz görüntüsü.....                             | 45              |
| Şekil III.4. Yüz tanıma için kullanılan arayüz .....   | 46              |
| Şekil III.5. Veritabanında kayıtlı bir yüz görüntüsü için elde edilen ekran çıktısı ...      | 47              |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Şekil III.6.</b> Veritabanında kayıtlı olmayan bir yüz görüntüsü için oluşan ekran çıktısı.....                | <b>48</b> |
| <b>Şekil III.7.</b> Gerçek birey yüzleri arasında Euclid uzaklıklarının dağılımı. ...                             | <b>49</b> |
| <b>Şekil III.8.</b> Gerçek birey yüzleri arasında Euclid uzaklıklarının normalize edilmiş dağılımı .....          | <b>50</b> |
| <b>Şekil III.9.</b> Sahte birey yüzleri arasında euclid uzaklıklarının dağılımı .....                             | <b>51</b> |
| <b>Şekil III.10.</b> Sahte birey yüzleri arasında euclid uzaklıklarının normalize edilmiş dağılımı .....          | <b>51</b> |
| <b>Şekil III.11.</b> Gerçek ve sahte birey yüzleri arasında Euclid uzaklıklarının dağılımları.....                | <b>52</b> |
| <b>Şekil III.12.</b> Gerçek ve sahte birey yüzleri arasında Euclid uzaklıklarının dağılımları .....               | <b>52</b> |
| <b>Şekil III.13.</b> Euclid uzaklığının hesaplanmasını esas alan ROC eğrisi.....                                  | <b>53</b> |
| <b>Şekil III.14.</b> Gerçek birey yüzleri arasında korelasyon dağılımı .....                                      | <b>54</b> |
| <b>Şekil III.15.</b> Gerçek birey yüzleri arasından korelasyonun normalize edilmiş dağılımı .....                 | <b>54</b> |
| <b>Şekil III.16.</b> Sahte birey yüzleri arasında korelasyon dağılımı.....  | <b>55</b> |
| <b>Şekil III.17.</b> Sahte birey yüzleri arasındaki korelasyonun normalize edilmiş dağılımı.....                  | <b>56</b> |
| <b>Şekil III.18.</b> Gerçek ve sahte birey yüzleri arasında korelasyonlarının dağılımları.....                    | <b>56</b> |
| <b>Şekil III.19.</b> Gerçek ve sahte birey yüzleri arasında korelasyonlarının normalize edilmiş dağılımları ..... | <b>57</b> |
| <b>Şekil III.20.</b> Korelasyon hesaplamasını esas alan ROC eğrisi.....   | <b>58</b> |

# TABLolar

|  | <u>SAYFA NO</u> |
|--|-----------------|
| <b>Tablo III.1.</b> Analiz sonuçları ..... | <b>53</b>       |
| <b>Tablo III.2.</b> Analiz sonuçları ..... | <b>57</b>       |

# BÖLÜM I

## GİRİŞ VE AMAÇ

### I.1. GİRİŞ

Kimlik tanıma ve/veya doğrulama amacıyla kullanılan geleneksel araçlar; ulusal güvenlik, elektronik ticaret ve bilgisayar ağlarına ulaşım gibi, güvenilir bir kişisel kimlik tespitinin çok önemli olduğu uygulamalarda, yerini biyometrik ölçümlere dayanan modern kimlik tanıma araçlarına terk etmektedir [1].

Güvenlik uygulamalarında biyometrik sistemlerin temel olarak iki senaryoda kullanıldığını görüyoruz. Kimlik doğrulama (*authentication* veya *verification*) senaryosunda kişi sisteme kimliğini söyler ve biyometrik özellik bu kimliği doğrulamak için kullanılır. Evinizin kapısını açmak için kullanacağınız bir ses tanıma sistemi, cep telefonunuzun tuş kilidini açmak için parmak izinizin tanınması bu senaryoya örnek gösterilebilir. Kimlik doğrulamada kişinin biyometrik özelliği önceden sistemde saklanır ve doğrulama sırasında alınan özelliklerle karşılaştırılır. Eğer değerler yeterince yakınsa, kişinin kimliği doğrulanır.

İkinci senaryoda ise, kişi kimlik belirtmeden tanınmaya çalışılır (*screening*). Veritabanında bir arama yapılır ve biyometrik özellik bütün kişilerle karşılaştırılır. Eğer en yakın kişinin özellikleriyle aradaki fark belli bir eşikten küçükse, tanıma gerçekleşir. Havaalanı girişine konan bir kamerayla içeri girenlerin yüzlerinden aranan bir grup suçluyu bulma uygulaması, aynı kişinin ikinci bir ehliyet almasına engel olmak için daha önce verilmiş ehliyetlerdeki yüzleri tarama uygulaması bu senaryonun tipik örnekleridir [2].

Biyometri esaslı kimlik tanıma araçlarının kullanıldığı uygulamalar, bir yandan kişilerin kimlik tespitini kolaylaştırırken, diğer yandan tanıma sürecinde yaşanan yorucu ve üzücü işlemleri en alt düzeye indirmektedir. Ayrıca, kullanıcının kimlik kartı benzeri tanıtıcıları yanında bulundurmamak zorunda olmayışı, şifre numarası gibi gizli olması gereken bilgileri ezberlemek zorunda olmayışı ve benzeri nedenler, biyometri esaslı kişisel kimlik tanıma yaklaşımlarını cazip hale getirmektedir.

Üstelik bu yaklaşım, gerçek zamanlı ve hızlı bir kimlik tespitine de imkân sağlamaktadır [3].

Bu durum, bilgisayarların gücünden yararlanarak gerçekleştirilen yeni biyometri araştırmalarını da motive etmektedir. Bu nedenle, biyometri esaslı kimlik tanıma ve/veya kimlik doğrulama araçlarını geliştirmeye yönelik çalışmaların giderek ivme kazanacağı söylenebilir.

### **I.1.1. Biyometrik Ölçme**

Biyometrik ölçme sistemlerinde kimlik tanımlayıcı veriler, kişinin fizyolojik veya biyokimyasal özelliklerini, ya da bazı doku veya organlarının morfolojik özelliklerini temsil eden bir kısım parametrelerle temsil edilir. Bu kapsamda kullanılan parametreler; vücut ısısı, konuşma sesi, kalp sesi ve vücut kokusu gibi çeşitli fizyolojik veya biyokimyasal değişkenlerin kişiye özel karakteristiklerini yansıtır. Bunun gibi, morfolojik parametreler de; yüz, retina, iris, parmakizi, avuçiçi, el, cilt gözenekleri, bilek ve el damarları gibi çeşitli doku veya organ görüntülerine ilişkin değişkenlerin kişiye özel karakteristiklerini yansıtır.

Diğer taraftan, kimlik tanımlama amacıyla kullanılan biyometrik parametreler, kişilerin davranış özelliklerini temsil eden bir kısım değişkenliklerin analiz edilmesi suretiyle de elde edilebilmektedir. Bu amaçla, imza, klavye tuşlarına basış şekli, ses izi, yürüyüş biçimi, mimik ve jestler gibi davranışsal değişkenlerin kişiye özel karakteristiklerini yansıtan parametreler kullanılır.

Biyometrik kimlik tanıma ve doğrulama uygulamaları, biyometrik ölçümlerle elde edilen kimlik tanımlayıcı parametrelerin bir veri tabanında tutulması ve bunların gerçek zamanlı ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmasına ilişkin çalışmaları kapsar. Bu kapsamdaki çalışmalar, insan beyninin bir kişiyi tanması ve diğer insanlardan ayırt etmesi için kullandığı yöntemleri benzeştirmeyi amaçlar. Bu amaçla geliştirilen işaret ve görüntü işleme yöntemleri, günümüzdeki araştırmalar ve teknolojik gelişmelerle giderek daha da zenginleşmektedir [4].

Bu gelişmeler, biyometrik ölçümlerin kimlik tanıma açısından giderek daha güvenilir hale gelmesine imkân sağlamaktadır. Bununla beraber, biyometrik kimlik tanıma ya da doğrulama amacıyla kullanılan sistemlerin çoğu yeteri derecede karmaşık olup, bunlarla ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları halen devam etmektedir. Bu kapsamda geliştirilen algoritmaların başarısı, uygulamada sağladıkları

kolaylıkların yanı sıra, kimlik tanıma veya doğrulamada sağladıkları doğruluk ve güvenilirlikle ölçülmektedir [1].

### I.1.2. Görme Süreçleri ve Biyometri

Görme süreçleri, görüntüden, gerçek nesne özelliklerinin tahmin edildiği veya nesne özelliklerini yansıtan karakteristik bilgilerin çıkarıldığı süreçlerdir. Nesnelere görüntü düzlemi üzerinde iki boyutlu olarak temsil edildiğinden; görme sürecinde gerçek nesne özelliklerini tahmin etmek veya nesne özelliklerini yansıtan karakteristik bilgileri çıkarmak için, çeşitli seviyelerde işlemler yapmak gerekir. Bu işlemler, genellikle, bilinen en karmaşık görme sistemi olan *insan görme sistemi* ya da diğer biyolojik görme sistemlerinin yapıları ve fonksiyonları benzeştirilerek geliştirilmeye çalışılır. Literatürde bu amaçla yapılan çalışmalar, *görme*, *bilgisayarlı görme* veya *makine görmesi* gibi başlıklar altında toplanmaktadır. Bu kapsamda yapılan işlemler, *görüntü elde etme*, *görüntü işleme* ve *görüntü analizi* gibi başlıklarla ifade edilen çeşitli çalışmaları kapsamaktadır.

Bunlardan görüntü işleme ve görüntü analizi kavramları, genellikle benzer uygulamaları çağrıştırır. Bununla beraber, görüntü işleme kavramının, daha çok, görüntülenen nesnelere karakteristik özelliklerine ilişkin ölçüm sonuçları üretmeyi amaçlayan işlemleri kapsadığı; görüntü analizi kavramının ise, daha çok, görüntüyü anlama ve yorumlama gibi işlemleri kapsadığı şeklindeki bir yaklaşım, bilim adamları arasında kabul görmektedir [3].

Diğer taraftan, görüntü işleme ya da analiz amacıyla yapılan çeşitli işlemlerin, bilgisayarla yapılabilecek işlemlerin özelliklerine göre sınıflandırılması, pratikte daha yararlı bir yaklaşım sağlamaktadır. Buna göre, görme sistemlerinde bilgisayarla yapılabilecek işlemler; düşük seviyeli işlemler, orta seviyeli işlemler ve yüksek seviyeli işlemler olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir.

Düşük seviyeli işlemler, görüntüyü gürültüden arındırma, görüntüdeki zıtlıkları (kontrast) pekiştirme (zenginleştirme) ve görüntü keskinleştirme (netleştirme) gibi basit işlemleri kapsarken; orta seviyeli işlemler, görüntüyü bölgelere veya nesnelere ayırma (segmentasyon), nesnelere bilgisayarda işlenebilecek uygun biçimlere indirgeme, tanımlama ve sınıflandırma gibi işlemleri kapsar. Yüksek seviyeli işlemler ise, görüntü analizinin hedeflenen nihai amacını oluşturan ve normalde insan görmesi ile ilgili algılama ve tanıma fonksiyonlarını benzeştiren işlemleri kapsar [3]. Nesnelere karakteristik özelliklerini ortaya çıkarmak için matematiksel modellerin



veya Yapay Zekâ (YZ) modellerinin oluşturulması, birer yüksek seviyeli işlem örneğidir [2].

Görmeye konu olan süreçler; yukarıda belirtilen çeşitli seviyelerdeki işlemlerin belirli bir mantıksal yapı içinde birlikte kullanıldığı algoritmik yapılarla oluşturulur. Literatürde bu kapsamda yer alan çalışma sahalarından birisi de yüz görüntülerinin analiz edilmesi suretiyle kimlik tanıma çalışmalarıdır [1].

### **I.1.3. Yüz Görüntülerinin Analizi ile Kimlik Tanıma**

Yüzi görüntüleri, genetik ve/veya çevresel faktörlere bağlı olarak her birey için farklı şekilde oluşan desenlerdir. Kimlik tanımlayıcı parametreler, yüz görüntüsüne dayalı biyometrik tanıma sistemlerinde, özellik esaslı ve görüntü işleme esaslı olmak üzere iki farklı yaklaşımla yapılan analizler sonucunda belirlenir.

Özellik esaslı tanıma yaklaşımı, yüz görüntülerinin temel bileşenlerini oluşturan organ yapılarındaki farklılıkların tespit edilmesi prensibine dayanır. Bu yaklaşımda önileme, özellik çıkartma ve eşleme olmak üzere üç aşama gerçekleştirilir. Önileme aşamasında, görüntüleme sisteminden alınan yüz görüntü resmi pekiştirilir, daha sonra segmentasyon ve binarizasyon işlemleri yapılır. Özellik çıkarma aşamasında, ön işlemleri tamamlanmış görüntüden karakteristik nokta ve yapılar tespit edilir. Bulunan bu özellikler eşleme aşamasında kullanılır.

Görüntü işleme esaslı yaklaşımda ise, temel önileme aşamaları yürütülerek elde edilen bir yüz görüntüsü, Fourier dönüşümü veya Dalgacık dönüşümü gibi dönüştürme yöntemleriyle işlenir ve görüntüyü sayısal olarak niteleyen öz-nitelik verileri tespit edilir [5].

Literatürde, kimlik tanımlama, doğrulama veya tanıma için, yüz şeklinin bütünündeki farklılıkları yansıtan global parametrelerin belirlenmesini esas alan çalışmaların yanı sıra; görüntü segmentlerindeki farklılıkları yansıtan lokal parametrelerin belirlenmesini esas alan çalışmalar da yer almaktadır.

Yüz görüntülerinin elde edilmesi için kullanılan donanım elemanları yaygınlaştıkça, bu görüntülerin analizine dayanan kimlik tanıma ve doğrulama uygulamaları da yaygın bir kullanıma kavuşmaya aday gözükmektedir. Bununla beraber, avuçiçi görüntülerinin analizi ile kimlik tanıma ve/veya doğrulama uygulamalarının yaygınlaşması, hedeflenen kimlik tanıma uygulamasının performans ihtiyaçlarını (eşleme hızı ve eşleme doğruluğu) karşılayacak yöntemlerin geliştirilmesi ile de yakından ilgilidir [6].

## I.2. AMAÇ

Bu tez çalışmasında, öz-vektörler (öz-yüzler) yöntemi kullanılarak, yüz görüntülerini temsil eden öz-nitelik verilerinin (vektörlerinin) çıkartılması; böylece, yüz görüntüsünün analizine dayalı bir kimlik tanımlama, tanıma ve/veya doğrulama sürecinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu yolla, bir popülasyondaki bireylerin kimliklerini öz-yüzler uzayındaki karşılığıyla kayıt eden bir veri tabanı oluşturularak, biyometri esaslı bir kimlik tanıma ve/veya doğrulama sisteminin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada, sorgulanan bir yüz görüntüsünün, tanıma amacıyla kullanılan bir veri tabanındaki görüntüler içerisinde olup olmadığının belirlenmesi için; literatürde öz-nitelik vektörleri arasındaki Euclid uzaklığının hesaplanmasını esas alan bir yaklaşım kullanılmıştır. Bununla beraber; korelasyon hesaplamasını esas alan bir yaklaşım da denenerek; bu iki yaklaşım arasındaki tanıma performanslarının karşılaştırılması yapılmıştır.

Yukarıdaki izahlara bağlı olarak, bu tez çalışmasının diğer bir amacı da, yüz görüntülerinin analizine dayalı alternatif kimlik tanıma ve/veya doğrulama uygulamaları için performans analizlerinin yapılması ve sonuçların değerlendirilmesi şeklinde belirlendiği ifade edilebilir.

Diğer taraftan, bir görüntünün analizi için yapılan işlemler, MATLAB Görüntü İşleme Araç Kutusunun (IPT) sağladığı hazır fonksiyon ve komutlardan yararlanarak kolayca gerçekleştirilebilmektedir. Bu kolaylıklar, görüntü işleme esaslı biyometrik analizler için de geçerlidir. Bu kapsamda, görüntünün bütünü ve/veya segmentleri bazındaki öz-nitelik verilerini üretmek için kullanılan fonksiyonlar, MATLAB'ın hazır fonksiyon ve komutlarıyla kolayca gerçekleştirilebilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında yapılan bütün algoritma geliştirme ve test çalışmaları, yukarıda anılan kolaylıklar da dikkate alınarak, MATLAB çalışma ortamında ve büyük ölçüde onun hazır fonksiyonlarından yararlanarak gerçekleştirilmiştir.

### **I.3. BÖLÜMLERİN ÖZETİ**

Bölüm II'de yüz görüntülerinin analizi ile ilgili temel konular üzerine detaylı bir inceleme yapılmıştır. Bu kapsamda, görüntü analizi ile ilgili temel konular hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Yüz görüntülerini tanıma veya doğrulama algoritmalarının performansının değerlendirilmesi için kullanılan ROC analizi yöntemi bu bölümde tanıtılmıştır. Bu bölümün sonunda literatürde yüz tanıma ve doğrulama üzerine yapılan çalışmalarla ilgili bir araştırmanın sonuçları da verilmiştir.

Bölüm III'de yüz görüntülerinin analizi ile kimlik tanımlayıcı verilerin üretilmesi, veri tabanının oluşturulması, tanıma ve doğrulama üzerine yapılan bütün çalışmalar sonuçları ile beraber verilmiştir.

Bölüm IV'de elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve analiz sonuçlarına ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.

Bölüm V'de yapılan çalışmanın sonuçları değerlendirilerek, ileriye dönük çalışmalar için öneriler oluşturulmuştur.

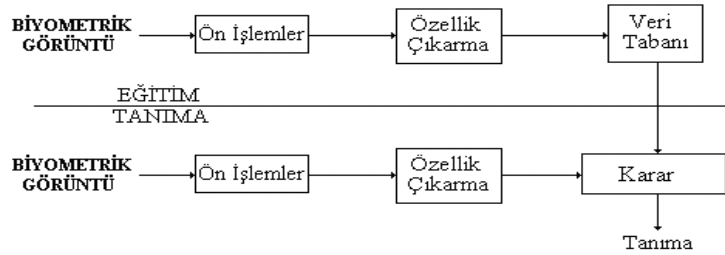
## BÖLÜM II

### GÖRMEYE DAYALI BİYOMETRİK TANIMA SİSTEMLERİ

Görüntü, bir nesne ile ilgili ölçülebilen ve gözlemlenebilen bilgiye verilen addır. Görüntü tanıma ise, ilgilenilen nesnelere veya işaretler şeklindeki çeşitli görüntüler arasında ortak özellikler bulup sınıflandırma işlemidir. Görüntü tanıma işlemi günümüzde teknolojinin de gelişmesiyle birlikte birçok alanda kullanılmaktadır. Karakter tanıma, konuşmacı tanıma, yüz tanıma gibi birçok alan görüntü tanıma işleminin uygulama alanlarındandır. Görüntü tanıma temel amaç bir görüntüyü sınıflandırma ve böylelikle tanımlamaktır.

Görüntü tanıma, günlük yaşamda da insanların çevrelerinde karşılaştıkları birçok şeye verdikleri biçimlerdir. İnsanların diğer bireylere ait yüzleri ve sesleri tanıması çevrelerindeki ağaçları, bitkileri sınıflandırması ve tanımlaması buna örnek verilebilir. İnsanlar tanımladıkları bu verileri değerlendirebilmektedirler. Görüntü tanıma insanların tecrübelerinden ve yeteneklerinden yola çıkarak bunları akıllı sistemlere veya makinelere yaptırmak amacıyla ortaya çıkmıştır. Bunu ayrı bir uğraşı alanı olarak artık bilim ve mühendisliğin her alanında görebilmek mümkün olmaktadır. Görüntü tanıma çeşitli nesnelere arasında ortak özellikleri sayesinde belirli bir sınıfa ait kabul etmek ve bu şekilde tanımlama işlemini gerçekleştirmekte kullanılmaktadır. Aralarında ortak özellik bulunan ve aralarında bir ilişki kurulabilen karmaşık işaret örneklerini veya nesnelere bazı tespit edilmiş özellikler veya karakterler vasıtasıyla tanımlama veya sınıflandırmadır [7].

Şekil II.1’de biyometrik görüntü işleme aşamaları bloklar halinde şematize edilmiştir.



Şekil II.1 : Biyometrik görüntü tanıma sistemi[8].

**Ön İşlemler:** Algılayıcılar tarafından, bilgisayara sayısal olarak alınmış olan görüntü, daha basit bir şekle getirmek için bir dizi önışlem sürecinden geçirilir. Alınan nesne bir görüntü ise görüntü eşikleme, kenar çıkarma gibi aşamalardan geçirilir [8]. Bu işlemler daha detaylı bir şekilde görüntü analiz yöntemleri başlığı altında incelenmiştir.

**Özellik Çıkarma:** Özellik çıkarma görüntü tanımanın en önemli kısmı olup, bir anlamda görüntü tanıma sisteminin başarımında anahtar rolü oynar. Görüntü sınıfları arasında ayrımı gerçekleştirmek için görüntü özelliklerinin çıkarılması gerekir. Günümüzde, çok başarılı sonuçlar veren görüntü sınıflandırıcı türleri mevcut olup, sınıflandırıcının da doğrudan başarımını etkileyen özellik çıkarımı üzerine çalışmalar odaklanmıştır.

**Sınıflandırma:** Sınıflandırma aşamasının amacı, görüntüleri özellik uzaylarına göre kendilerine en yakın sınıflara minimum hata ile eşlemektir. Sınıflandırıcının başarımında iyi belirlenmiş özellikler kilit rolü oynarlar[8].

## II.1. BİYOMETRİ ESASLI KİMLİK TANIMLAMA

Biyometri insanları birbirinden ayırt edebilecek fiziksel özelliklerini ve sergiledikleri davranışları inceleyen bilim dalıdır. İnsanları birbirinden ayırt edebilme şansını bize sunduğundan dolayı biyometri bir kimlik doğrulama sistemi olarak da kullanılmaktadır. Biyometrik tanıma sistemleri bir bireyin gerçekten 'kim' olduğunu kanıtlamasına olanak sağlar.

İnsanların bunu yapması için ek olarak bir kart, cihaz, kimlik taşımamaları ve şifre gibi ezberle dayalı bilgileri kafalarında tutmamaları ise bu biyometrik tanımanın önemli avantajlarından. Unutulması veya başkası tarafından kullanılması söz konusu olmayan bir kimlik onaylama yoludur. Bu sayede kimlik, pasaport, ehliyet gibi kartların yerini tamamen alacak bir sistem geliştirilebilir. Hem daha güvenli hem de aşılması zor sistemler gün geçtikçe ortaya çıkacaktır. Örneğin üniversitemizin giriş kapısında bulunan kapılarda manyetik kartlar yerine araç sürücüsünü tanıyarak girişine izin veren bir sistemin kullanılması çok daha güvenli ve mantıklı olacaktır. Bu sayede yetki verilen kişi başka araçla da giriş yapabildiği gibi, yetkisiz bir kişi herhangi bir kartla giriş yapamayacaktır [9].

Günümüzdeki mevcut biyometrik tanıma sistemleri şunlardır [2]:

Fizyolojik özellikleri esas alan biyometriler:

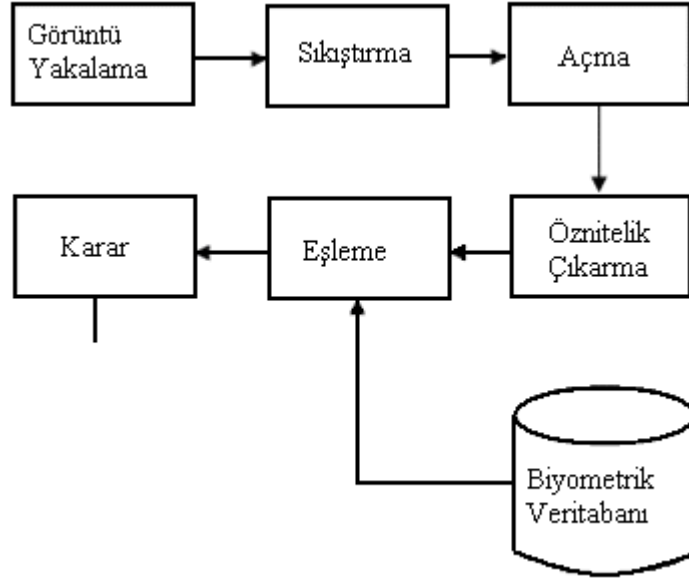
- Parmak izi

- Retina
- DNA
- Damar
- Yüz
- El Geometrisi
- Ses
- Yüz Termogramı
- İris

Davranışsal özellikleri esas alan biyometreler:

- İmza Atımı
- Yürüyüş
- Tuş Vuruşu
- Konuşma

Bu biyometrik sistemlerin genel modeli Şekil II.2’de blok olarak daha detaylı bir biçimde gösterilmektedir.



Şekil II.2 : Biyometrik Sistemlerin Genel Çalışma Mekanizması [10].

**Parmakizi:** Kullanılan biyometrik sistemlerin belki de en önemlisi polis merkezlerinde, pasaport ve vize başvurularında kullanılan parmak izi sistemleridir. Parmak izi en fazla kullanılan, taklit edilemez bir biyometrik bilgidir. İlk kullanılmaya başlandığı yıllardan bu yana gerek yazılım gerekse donanım alanında parmak izi sistemlerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bir otomatik parmak izi

tanıma sisteminde (OPTS) parmakizi tanıma genellikle parmak izinde bulunan özellik noktalarının ve bunlara ait parametrelerin karşılaştırılması esasına dayanır.

Bu sistemlerin en önemli dezavantajı, parmakizinin taklit edilmesi durumunda sistemin yanılabilmesidir. Diğer bir dezavantaj bazı kişilerin pek çok sebepten ötürü (organ eksikliği, yanma, deri hastalıkları) parmak izlerinin bulunmamasıdır. Parmak izi taklit problemi, parmak izinin alındığı parmağın canlılığını test edecek gelişmiş sensörlerin kullanılması ile giderilebilecekken parmak izinin bulunmaması probleminin çözümü bulunmadığından bu sistem bu tip kişilerde uygulanamaz [11].

**DNA:** Kişinin saç, tırnak, deri parçası, kan, sperm veya herhangi diğer bir biyolojik materyali ele alınarak hücre içerisinde bulunan DNA moleküllerindeki dizilim incelenir. Özellikle emniyet güçleri tarafından cinayet mahallinde kalan biyolojik materyaller incelenerek katillere ulaşılması veya babalık davalarının sonuçlanması işlemlerinde kullanılmaktadır. Doğruluğu çok yüksek bir yöntem olmasına rağmen maalesef pek çok dezavantaja da sahiptir. DNA'nın elde edileceği biyolojik dokunun kirlenmesi gibi durumlarda örnek kalitesi düşeceğinden analiz yapmak zorlaşır. Diğer dezavantajları işlemin 24 saat gibi bir sürede gerçekleştirilme zorunluluğu ve yüksek maliyet olarak sayılabilir [10].

**El Geometrisi:** Kişinin elinin veya kullanılan sisteme göre iki parmağının geometrik yapısı analiz edilir. Söz konusu yöntemde belirleyici özellikler parmakların uzunluğu, genişliği ve büküm noktalarıdır. Özellikle Amerika'da havaalanları ve nükleer güç istasyonlarında kullanılır. El geometrisi de diğer biyometrik yöntemler gibi doğruluk oranı yüksek bir yöntemdir. Ancak büyük ve ağır okuma cihazları nedeniyle maliyet ve kullanım açısından, resmin alınma süresinin uzun oluşu nedeniyle hız açısından dezavantajlara sahiptir. Bunun dışında elde bulunan yüzük gibi aksesuarlar, yara bandı gibi maddeler sebebiyle ya da yaralanma ve parmakların kaybedilmesi, gut veya kireçlenme gibi bir takım hastalıklar nedeniyle elin tanınması zorlaşır. Çocuklarda ve el ve ayakların çok hızlı büyüdüğü hastalıklara sahip olan kişilerde ise bu sistem kullanılamamaktadır [10].

**Yüz:** Biyometrik teknolojide devrim sayılabilecek buluşlardan bir tanesi olan yüz tanıma sistemleri gelişen birçok teknolojide olduğu gibi ilk kez askeriyede kullanılmıştır. İleri teknoloji silahlarının yönetimi için, özellikle ABD'de sıkça kullanılan bu sistemler bunun dışında, caddelere yerleştirilen güvenlik kameraları ile caddelerin izlenmesi ve aranmakta olan bir suçlunun bu şekilde yakalanması gibi uygulamalarda da kendilerine yer edinmişlerdir. Özellikle son 10 yıldır uygulama

alanlarının artması nedeniyle yüzlerin otomatik olarak tanınması popüler bir konu haline gelmiştir [10].

**İris:** Yaklaşık 30 senedir kullanılan iri tanıma sistemlerinin çıkış noktası, kişinin sahip olduğu iris şeklinin ömrü boyunca değişmemesi ve diğer biyometrik sistemlere göre gözün daha az deforme olacak ve dış etkenlerden daha az zarar göreceği bir yapıya sahip olmasıdır. Uykusuzluk, gözyaşı, hastalıklar iris yapısını etkilemekle beraber diğer yöntemlerdeki kadar bariz bir etkilenme söz konusu değildir. Elbette ki bu yöntem gözü olmayan, gözleri görmeyen, Nistagmus hastalığına sahip (gözleri titreyen) veya irisleri olmayan kişilerde uygulanamaz. Ancak bu kişiler dışında havaalanı gibi kimlik doğrulamanın mutlak surette önemli olduğu yerlerde oldukça yüksek bir doğruluk oranı ile uygulanabilmektedir. Genel olarak parmak izi tanımaya benzetilen bu sistemin, parmak izine göre en önemli avantajı, parmak izi kullanılan biyometrik sistemlerde 60 veya 70 karşılaştırma noktası bulunurken, iris taramada karşılaştırma için yaklaşık 200 referans noktası kullanılmasıdır [10].

**İmza:** Bir kişinin, herhangi bir yazının altına söz konusu bu yazıyı yazdığını, okuduğunu veya onayladığını belirtmek için her zaman aynı biçimde yazdığı ad veya işaretler olarak tanımlanabilen imza kişiler tarafından yaşamları boyunca pek çok kez kullanılmaktadır. Özellikle hukuksal açıdan büyük yaptırımlarının bulunması ve taklit edilmesi sonucunda kişiyi borç altına sokabilmesi, tüm malvarlığını başka bir kimseye bağışlamasına sebep olması, işlemediği suçların üzerine kalmasına neden olması gibi sebeplerle hayatî önem taşımaktadır. Dolayısıyla kimlik doğrulamasında belki de en sık kullanılan yöntem olan imzanın gerçekten o kişi tarafından atılıp atılmadığının belirlenmesi önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu sebeple kullanılan imza tanıma sistemlerinde imzayı tanımak için iki tip bilgi kullanılmaktadır. Bunlardan ilki imzalama süresi, hızı, ivmesi, kalemin basım şiddeti, kalemin gibi kişinin imzalama işlemi ile ilgili özellikler, diğeri ise bir desen olarak imzaya ait özelliklerdir. Bir imzayı taklit eden herhangi bir kişi desen olarak imzayı taklit edebilse bile imza atış şeklini (süre, ivme, kalemi yerden kaldırma miktarı vs) tekrarlaması güçtür. İmza tanıma sistemlerinin dezavantajları, sistemin kullanıcının hızını, imza atma davranışını vs öğrenebilmesi için uygun sayıda örneğe ihtiyaç duyması ve imza atımının kullanıcının o anki ruh haline, özellikle de acelesi olup olmadığına bağlı olarak değişmesidir [10].



Kullanıcı kimliğini belirleyen diğer sistemler (bilgi temelli ya da aidiyet temelli) ile biyometrik sistemler benzer yönere sahip olmakla beraber birbirlerinden ayrıldıkları noktalar da oldukça çoktur. Biyometrik yöntemler dışındaki yöntemlerin biyometrik yöntemlere göre en önemli dezavantajı kullanıcıya bazı bilgileri bilme ve hatırında tutma ya da bazı araçları sürekli olarak yanında taşıma, çaldırmama, unutmama gibi sorumluluklar vermesidir. Biyometrik sistemlerde böyle bir durum söz konusu değildir ve kişinin kimliğini doğrulayabilmek için kendisinden başka herhangi bir bilgiye, nesneye vs ihtiyacı yoktur. Biyometrik sistemlerin diğer sistemlere göre avantajları, dezavantajları, benzer ve farklı yönleri kısaca aşağıdaki gibi ifade edilir [12].

- Diğer kimlik doğrulama yöntemlerinde kullanılan veri her kullanıcı için kesinlikle farklı ve eşsiz iken biyometrik veriler farklı olmakla beraber benzerliklere sahip olabilir.

- Diğer yöntemlerde kullanılan veri, kullanıcı tarafından değiştirilebilir (sistem yöneticisinin isteği üzerine, güncelleme amacıyla veya başka herhangi bir sebepten ötürü). Buna karşın biyometrik veri kişinin istemesi ile değiştirebileceği bir veri değildir, ancak kaza, hastalık vs geçirilmesi durumunda değişir.

- Biyometrik sistemler genelde ek bir donanım, yazılım gerektirdiğinden ek bir maliyet getirir iken diğer yöntemler genelde kullanılan mevcut sistemlerle uyumludur.

- Diğer yöntemler çalındığı veya benzeri bir duruma uğradığı zaman yenisi ile değiştirilebilir, oysaki biyometrik veriler herhangi bir şekilde elde edildiğinde, geçerliliği kalmaz.

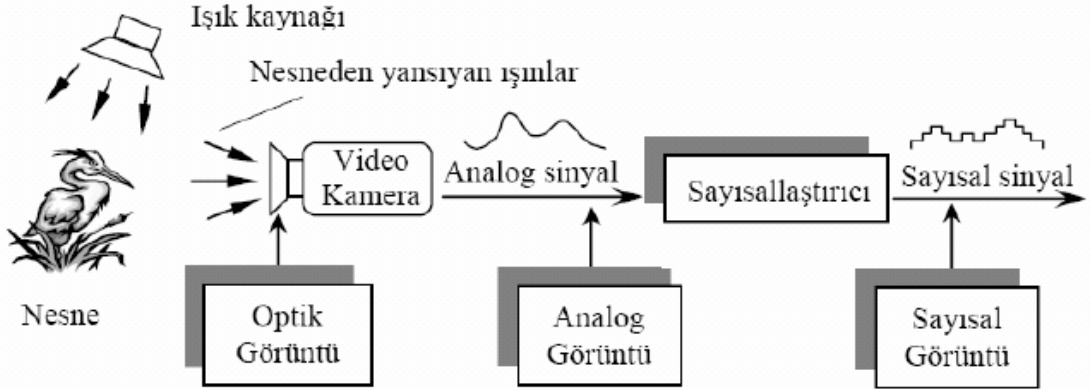
- Biyometrik veriler zaman içerisinde deformasyona uğrayabilir, buna karşın diğer yöntemler için böyle bir durum söz konusu değildir.

Biyometrik sistemler dışındaki tanıma sistemlerinde verinin unutulması, çalınması, kaybedilmesi riski oldukça fazladır. Ancak biyometrik sistemlerde kullanılan veri kişinin fiziksel ya da davranışsal bir özelliği olduğundan bu tarz bir tehlike ile karşı karşıya kalma ihtimali yok denecek kadar azdır [10].

## II.2. GÖRÜNTÜ ANALİZİ

Görüntü işleme, genel terim olarak resimsel bilgilerin manipülasyonu ve analizi demektir [13]. Bu analizde takip edilen bazı temel aşamalar şu şekilde özetlenebilir.

Birinci aşama, görüntü edinme işlemidir. Şekil II.3'de görüntü yakalama aşamaları kabaca şematize edilmiştir. Burada bir ışık kaynağı ile aydınlatılmış nesne mevcuttur. Nesneden yansıyan ışınlar optik formda kameraya aktarılır. Nesneyi tanımlayan bu ışınlar, kamerada elektrik sinyallerine dönüştürülür. Böylece görüntü analog forma çevrilmiş olur. Analog sinyaller bir sayısal dönüştürücüde sayısal sinyallere dönüştürülür. Son aşamada sayısal forma dönüştürülen görüntü artık bilgisayar ortamına aktarılarak işlenecek hale getirilmiş olur. Bu işlem için görüntü sensörü ve bu sensörün üretmiş olduğu sinyalleri dijital forma dönüştürebilecek sistemlere ihtiyaç vardır. sensörlerden elde edilmiş sinyaller hala analog formda ise analog-sayısal dönüştürücüler ile sayısal hale getirilebilir.



Şekil II.3. Görüntü yakalama ve sayısallaştırma aşamaları [16].

Sayısal görüntü elde edildikten sonra, diğer adım ön işleme işlemidir. Bu aşamada, alınan görüntü bir sonraki aşamada hatasız ve kolay işlenebilmesi için daha belirgin ve anlaşılır hale getirilir. Bu işlemlerden bazıları; görüntüyü belirginleştirmek, görüntüde bulunan kirlilikleri filtrelemek ve görüntü üzerindeki yapısal bozuklukları yok etmek veya minimize etmektir.

Sayısal görüntü işleme ya da sayısal görüntü analizi insan görme sisteminin sayısal olarak ifade edilmesi yada analog bilgilerin sayısallaştırılarak sonuç elde edilmesidir. Sayısal görüntü işleme temelde parlaklık, kontrast, renk vb. görüntüye ait bilgilerin değiştirilmesi; manyetik alan, görüntüleme sırasında hatalı donanım ayarların kullanılması vb. nedenlerle oluşan görüntü kirliliklerinin giderilmesi, detayların daha belirgin hale getirilmesi gibi görüntü kalitesinin iyileştirilmesine

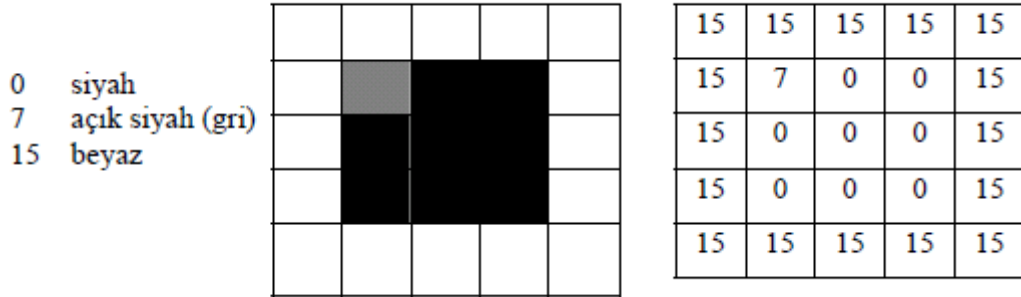
yönelik işlemleri ifade eder ve sonuçta yeni bir görüntü elde edilir. Sayısal görüntü analizinde ise genellikle yapılan işlemler sonucunda yeni bir görüntü elde edilmez, ancak görüntüye ait sınıflandırmalar yapılabilir, görüntüyle ilgili istatistikler üretilir. Sayısal görüntü analizinde nesnelere ait parametrelerin ölçülmesi söz konusudur [14].

### II.2.1. Düşük Seviyeli İşlemler

Düşük seviyeli görüntü işleme uygulamaları kapsamında, gri ton veri yapısına sahip görüntülerin parlaklık ve kontrast ayarı, gri ton ölçekleme dönüşümü, filtreleme ve gri ton görüntüden siyah-beyaz görüntüye dönüşüm için kullanılan eşikleme yöntemi, siyah-beyaz görüntü üzerinde uygulanan morfolojik işlemler; nesnelere çevreleyen hatları belirleme, iskelet çıkarma gibi amaçlarla kullanılan ve pikseller arasındaki geçişleri düzenleyen komşuluk ilişkileri aşağıda açıklanmıştır.

#### II.2.1.1. Gri-Düzye Ölçeklendirme

Görüntü üzerindeki aydınlatma değerlerinin farklı seviyelerde olması, piksel düzeylerinin farklı olmasındandır. Bu şekilde ifadelerde görüntü siyah-beyaz renk tonlarından meydana geliyorsa, görüntü üzerindeki her bir nokta gri-düzye ölçek üzerindeki renk değerleriyle ifade edilir. Görüntü üzerindeki noktalar farklı olduğundan, her bir aydınlatma düzeyi için gerekli bitlerin yerleşimi farklıdır.



Şekil II.4. On altı bitlik gri-düzye skala ifadesi.

Bu gibi değişik düzeylerin oluşturduğu görüntüler, gri-düzye veya gri-düzye ölçekleme ile ifade edilirler. Piksel başına düşen bit sayıları; şekil II.4'te 4 bit/piksel yani bir pikselin değerini belirtmek için 4 bit kullanılmıştır. 0 ile 15 arasında 16 gri-düzye değerleri mevcuttur [15].

### II.2.1.2. Histogram

Histogram, görüntü üzerindeki piksellerin değerlerinin grafiksel ifadesidir. Buna görüntü histogramı veya gri-düzey histogramı denir. Görüntü histogramı, görüntünün her bir noktasındaki piksellerin tespiti ile bu piksellerin sayısının ne olduğunu gösterir. Bu sayede histogram üzerinden görüntü ile ilgili çeşitli bilgilerin çıkartılması sağlanır.

Görüntü üzerindeki piksellerin nerede yerleştiği tam olarak çıkartılamaz. Fakat görüntünün Şekil II.5'de gösterildiği gibi aydınlık-karanlık bölge değerlerinden görüntü hakkında genel bilgiler elde edilebilir. Uygulanmak istenen eşik değerleri tahmin edilebilir. Matematiksel olarak, bir dijital görüntü histogramı Eşitlik (1)'de verildiği gibi tanımlanabilir:

$$P(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad (\text{II.1})$$

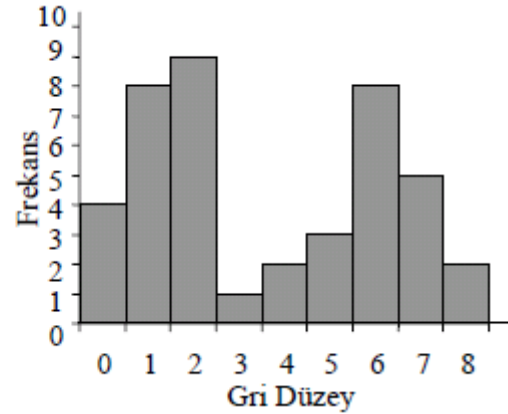
Burada;  $r_k$ : k'ncı gri seviye,

$n_k$ : bu gri seviyeye sahip toplam piksel adedi,

$n$ :görüntü üzerindeki toplam piksel adedi,

olarak tanımlanmıştır [16].

|   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| 7 | 4 | 0 | 0 | 6 | 6 | 6 |
| 0 | 4 | 2 | 2 | 6 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 2 | 2 | 6 | 1 | 7 |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 7 | 7 |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 8 | 8 |



Şekil II.5. Gri Düzey Histogramı [16].

### II.2.1.3. Eşikleme

Görüntü analizinde en önemli sorun, nesnelere temsil eden alt görüntüleri belirlemektir. İnsanlar için çok doğal ve çok kolay olan bu işlem, bilgisayar için sürpriz bir şekilde zordur. Bir görüntünün bölgelere ayrılmasına *segmentasyon* denir. İdeal olarak, her bir parça bir nesneyi veya nesnenin bir parçasını temsil eder.

Eşikleme, ilgilenilen nesnelere arka plandan (zeminden) ayrılmasını sağlayacak şekilde bir gri ton görüntünün siyah-beyaz görüntüye dönüştürülmesidir.

Nesnelerin arka zeminden etkin bir eşikleme ile ayrılabilmesi için, arka zeminle aralarında yeterli bir kontrast olmalı, ve nesne ile arka zeminin gri ton seviyesi hakkında bilgimiz olmalıdır. Bu amaçla görüntünün gri ton yoğunluk dağılımı fonksiyonundan (histogram) yararlanır.

$I(m,n)$  gri ton görüntü dizisi,  $T$  eşik gri ton değeri olmak üzere, eşikleme sonucunda oluşan  $B(m,n)$  siyah-beyaz görüntü dizisi aşağıdaki gibi belirlenir:

$$B(m,n) = \begin{cases} 1, & I(m,n) \leq T \\ 0, & I(m,n) > T \end{cases} \quad (\text{II.2})$$

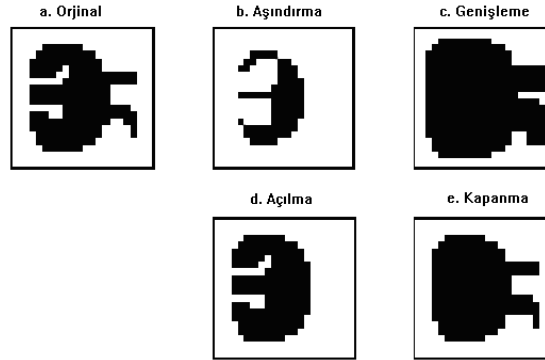
Bilgisayarlı görme sistemlerinde görüntülerin eşiklemesi genellikle gri ton eşik değerinin amaca bağlı olarak dinamik bir şekilde değiştirilmesi ile yapılır [15].

#### II.2.1.4. Morfolojik İşlemler

Siyah-beyaz görüntü üzerinde yapılan düşük seviyeli görüntü işleme uygulamalarının en önemlilerinden birisi, morfolojik görüntü işlemedir. Morfolojik işlemler oldukça basit bir matematiksel alt yapıya dayanır. Morfolojik işlemlerden en yaygın olarak bilinenleri, aşındırma ve genişletmedir. Genişletmede zengin daha zengin olurken, aşındırmada ise fakir daha fakir olur. Özellikle genişletmede merkez veya aktif piksel, kendi komşularının maksimumuna ayarlanır ve aşındırmada ise merkez veya aktif piksel kendi komşularının minimumuna ayarlanır. Bu işlemler ikili görüntüler üzerinde sıklıkla gerçekleştirildiğinden, genişletme kenar, sınır veya bölgeleri genişletmek, büyütme eğiliminde iken; aşındırma küçük bölgeleri küçültmek veya elimine etmek eğilimindedirler. Açık olarak, kullanılan komşuluğun boyutu ve şekli iki işlemden biri tarafından üretilen sonuç üzerinde çok kuvvetli bir etkiye sahiptir.

Bu iki işlem birlikte aynı alan üzerinde yapılabilir. Aşındırma ve genişletme doğrusal olmayan işlemler olduğu için tersi alınamayan işlemlerdir. Bir başka deyişle, birinin diğerini takip etmesi genellikle orijinal görüntü ile sonuçlanmaz. Eğer aşındırma işlemini genişletme işlemi takip ederse, bu işlem *açma* olarak adlandırılır. Eğer görüntü ikili ise bu birleşik işlem büyük nesnelerin boyut ve şeklini değiştirmeden küçük nesnelere kaldırma eğiliminde olacaktır. Sonraki aşındırma, aşındırma tarafından kaldırılmayan nesnelere eski haline getirecektir. Eğer sıralama ters çevrilir ve genişletme işlemi ilk uygulanıp onu aşındırma takip ederse bu birleşik işlem *kapama* olarak adlandırılır. Kapama birbirine yakın olan nesnelere bağlar, küçük delikleri doldurma eğilimindedir ve bir nesnenin iskeletini küçük boşluklar ile

doldurarak düzleştirir. Genişletme ve aşındırmanın daha temel işlemleri ile olduğu gibi, açma ile kaldırılan veya kapama ile doldurulan nesnenin boyutu, seçilen komşuluğun boyutu ve şekline bağlıdır [17].



Şekil II.6. Morfolojik İşlem Örnekleri

Şekil II.6.a'da gri-tonlu görüntüden eşikleme ile oluşturulan bir siyah-beyaz görüntü örneği verilmiştir. Görüntüdeki nesne, kırmızı ötesi görüntüleme ile elde edilmiş bir düşman tankı, uzay görüntüleme sistemi ile elde edilmiş bir gök taşı veya röntgen görüntüsünden elde edilmiş bir tümörü temsil edebilir. Arka plandaki her bir piksel, beyaz olarak görüntülenirken, resme ait her bir piksel siyah ile görüntülenir. Sıklıkla siyah-beyaz görüntüler, gri-tonlu bir resmin eşiklenmesi ile elde edilir; eşik seviyesinden büyük olan piksel değerleri 1 değerini alırken, eşik seviyesinden küçük olan piksel değerleri 0 değerini alır. Gri-tonlu bir resmin eşikleme işleminden önce doğrusal teknikler ile işlenmesi alışılmış bir durumdur. Morfolojik işlemler, burada görüldüğü gibi nesne tanımadaki belirsizlikleri gidermede yardımcı olur. Bu amaçla kullanılan temel morfolojik işlemlerden aşındırma, genişletme, açma ve kapama uygulamaları Şekil II.6'deki örnek üzerinde gösterilmiştir.

*Aşındırmada*, nesnenin arka plana yakın konumdaki ya da nesneye teması az olan bütün pikseller arka plan pikseline dönüştürülür. *Genişletmede* ise, nesnenin piksellerine temas eden bütün arka plan pikselleri nesne pikseline dönüştürülür. Dolayısıyla, aşındırma nesnelere daha küçültürken, toplu halde bulunan nesnelere içinden bir nesneyi koparabilir. Benzer şekilde, genişletme nesnelere daha büyütür ve toplu halde bulunan farklı nesnelere tek bir nesne halinde birleştirebilir.

Bu örnekte gösterildiği gibi, nesnedeki küçük piksel grupları ve ince piksel uzantıları açma işlemi ile ortadan kaldırılmıştır. Aynı şekilde, arka plandaki adacıklar ve ince piksel grupları kapama işlemi ile ortadan kaldırılmıştır. Bu teknikler, yanlış ikili değere sahip bazı piksellerdeki gürültüyü gidermek için yararlıdır. Örneğin, bu

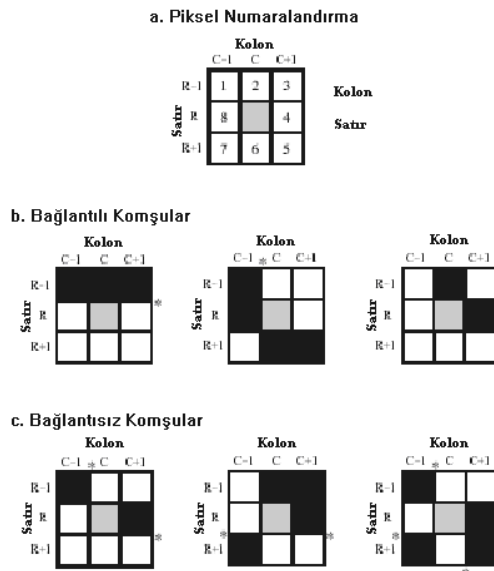
bir “boşluk” içermeyen bir nesne veya kenarları düzgün olan bir nesne olarak bilinebilir [17].

### II.2.1.5. Komşuluklar

Şekil II.7a’da gösterildiği gibi, bir görüntünün  $[R, C]$  uzaysal konumunda bulunan pikselin sekiz komşusu vardır. Bunlar yatay ve dikey doğrultularda 2,4,6,8 numaraları ile kodlanan *yakın komşular* ile pikselin köşegenleri doğrultusunda 1,3,5,7 numaraları ile kodlanan ve *uzak komşular* olarak adlandırılan piksellerdir.

Bu komşuluk tanımlamaları görüntü işleme uygulamalarında önemli bir yer tutar. Örneğin, bir nesnenin çevresini belirleyen en küçük uzunluklu çokgeni oluşturmak, bir nesnenin iskeletini çıkarmak gibi uygulamalarda (parmak izi tanıma gibi) bu komşuluk kodlamasına göre işlenerek oluşturulan siyah-beyaz görüntüler, nesnelerin özelliklerini çıkarmaya yönelik orta seviyeli görüntü işleme algoritmaları için esas alınan görüntülerdir.

Komşuların bağlantılı veya bağlantısız olduğunu belirlemek için kullanılan algoritmalar, bitişik komşu pikseller arasında siyah-beyaz geçişlerini sayma prensibine dayanır. Bununla beraber, uygulamada Şekil II.7’de gösterilen sekizli komşuluk ilişkisine dayanan uygulamaların yanı sıra, yalnız yakın komşulukların dikkate alındığı dörtlü komşuluk ilişkileri de kullanılabilir. Örneğin, bir nesnenin çevresini oluşturan poligonun çıkarılması uygulamasında, sekizli komşuluk ilişkisine dayanan 8-yönlü zincir kodu kullanılabilir gibi, dörtlü komşuluk ilişkisine dayanan 4-yönlü zincir kodu da kullanılabilir.



Şekil II.7. Komşuluk Kodlamaları ve Olası Komşuluk İlişkileri [17].

Sekizli komşulukta bir piksel ile bütün komşuları arasında siyah-beyaz geçişi oluşabilir. Bu ilişkiler Şekil II.7b ve Şekil II.7c'deki bağlantılı ve bağlantısız komşuluk örneklerinde siyah-beyaza geçişlerini temsil eden bir \* işareti ile belirtilmiştir [17].

### II.2.2. Orta Seviyeli İşlemler

Orta seviyeli işlemler, gri ton bir görüntünün siyah-beyaz görüntüye dönüştürülmesi için kullanılan eşikleme işlemi ile başlar. Gri ton - siyah-beyaz dönüşümü için seçilen eşik değere ve oluşan siyah-beyaz görüntü üzerinde bundan sonra yapılan bir takım morfolojik işlemlere bağlı olarak, siyah-beyaz görüntü üzerinde çeşitli bölgeler (segment) oluşur. Bu aşamadan sonraki süreç, her biri sınırları bir piksel dizisi ile belirlenen ve ayrı bir nesne olarak kabul edilen bu nesnelere diğerlerinden ayırt edecek özellikleri tanımlamaktır. Orta seviyeli işlemler, bu amaçla kullanılan görüntü işleme uygulamalarını kapsar.

**Filtreleme:** Filtreleme kavramı gerçekte *frekans domeninde* sinyal işleme için Fourier dönüşümlerinin kullanılmasına dayanır. Uzaysal filtreleme terimi ise frekans domenindeki filtrelemeden ayırt etmek için kullanılmıştır. Filtre içindeki değerler piksel yerine *katsayı* olarak adlandırılır.

Filtre kullanılarak görüntü zenginleştirilmesi de görüntü işleme fonksiyonlarının bir diğer çeşididir. Uzaysal filtreler bir görüntüdeki bazı nesnelere belirginleştirmek ya da bastırmak amacıyla kullanılırlar.

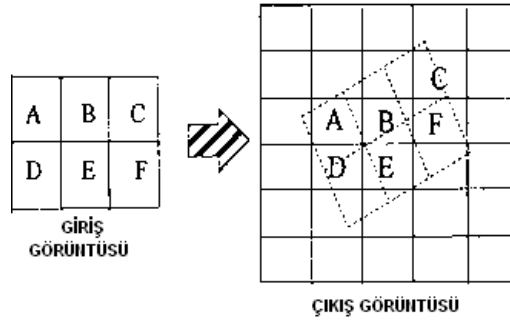
Alçak geçiren bir filtre büyük, benzer tonda homojen alanları belirginleştirmek ve çok küçük detayları azaltarak sadeleştirmek üzere kullanılır. Yüksek geçiren filtreler ise küçük detayları keskinleştirmek ve mümkün olduğu kadar çok detayı ortaya çıkarmak için kullanılır. Doğrusal filtreler veya kenar çıkartımı filtreleri, yolları ve alan sınırları gibi çizgisel yapıları vurgulamak için kullanılmaktadırlar [18].

**Dönüştürme:** Çeşitli kullanışlı dönüşümler tamamen uzaysal domende meydana gelmektedir. Bu dönüşümler görüntüyü yeniden boyutlandırma, döndürme, kesme, uzatma, kırpma ve görüntü gösterimlerini içermektedir. Uzaysal dönüşümler, piksellerin yeniden haritasını yapma işlemi (remapping) gerçekleştirir ve sık sık mümkün örtüşme (anti-aliasing)-önlere ekleme yapma (ara değerini bulma) ihtiyacını gerektirir. Anti-aliasing'e öncelikli bir yaklaşım AGF işlemidir. Ekleme yapmak için görüntü işlemede kullanılan ve MATLAB'in desteklediği üç popüler metot



bulunmaktadır. Bu üç ekleme yapma stratejisi aynı temel yaklaşımı kullanır: çıkış resmindeki ekleme yapılmış piksel, dönüşümden sonra orijinal pikselin çevresindeki piksellerin ağırlıklandırılmış toplamıdır.

Metotlar öncelikle kaç tane komşu pikselin değerlendirileceğine göre farklılık gösterir. Yukarıda bahsedildiği gibi, uzaysal dönüşümler, bir piksel kümesinin (diğer deyişle görüntü) diğerine yeniden haritasını yapma işlemini içerir. Bu bakımdan orijinal görüntü yeniden harita yapma işleminin girişi ve aynı şekilde dönüştürülen görüntü, bu işlemin çıkışı olarak düşünülebilir. Eğer görüntüler sürekli ise yeniden harita yapma işlemi, ekleme yapmayı gerektirmez fakat piksellerin ayrık yapısı genellikle ekleme yapma işlemini gerektirir. En basit ekleme yapma metodu, çıkış pikseli dönüştürülmüş görüntüdeki en yakın piksel değerine atanan en yakın komşuluk metodudur (Şekil II.8).



**Şekil II.8** En yakın komşuluk ekleme yapma metodu kullanarak bir rotasyon dönüşümü [18].

Eğer dönüştürülen görüntü orijinal görüntüden büyük ve daha fazla piksel içeriyor ise yeniden haritası yapılan giriş pikseli iki veya daha fazla çıkış pikseline karşı gelir. Şekil II.8 için çıkış görüntüsündeki piksel değerleri dönüşümü yapılan giriş resminde en yakın piksellerden atanmış değerlerdir [18].

**Kayıt işlemi:** Görüntü kayıt işlemi, iki veya daha fazla görüntünün en iyi şekilde üst üste gelebilmesi için hizalanması işlemidir. Kayıt işlemi, zaman içinde farklı noktalardan aynı nesneden elde edilmiş görüntülerin karşılaştırılması için oldukça faydalıdır. En iyi örtüşmeyi elde etmek için görüntülere dönüşüm işlemi uygulamak gerekli olabilir. Görüntü kayıt işlemi, görüntüler eş veya çok benzer olsa bile zorlayıcı olabilir. Genellikle hizalanacak görüntüler benzer değildir çünkü farklı tarayıcılar ile veya farklı şartlarda elde edilmiştir. Az çok benzer olan görüntüleri kesin bir şekilde hizalamada zorluk, görüntü kayıt işlemi algoritmalarına önemli bir talep getirmektedir [18].

### II.2.2.1. Fourier Dönüşümü

Fourier dönüşümü ve onu hesaplamak amacıyla kullanılan Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transformation, FFT) algoritması, iki ya da daha fazla boyutlara genişletmektedir. Fourier dönüşümünün iki boyutlu versiyonu, görüntü içeriğinin bir spektral analizi olması koşulu ile görüntülere uygulanabilir. Elbette sonuç spektrumu, iki boyutlu olacaktır ve bir boyutlu spektrumu yorumlamaya göre daha güç olacaktır. Bununla beraber Fourier dönüşümü, hem bir görüntünün içeriğini tanımlaması ile hem de filtrelerin tasarımına yardımcı olması ile çok faydalı bir analiz aracıdır. Görüntülere uygulandığı zaman, uzaysal doğrultular tek boyutlu Fourier dönüşümün zaman değişkeni ile eşit olur ve bu benzer uzaysal frekans saykıl/birim uzunluk (bir diğer deyişle saykıl/cm veya saykıl/inch) şeklinde verilir veya saykıl/örnek normalize edilir [18].

### II.2.2.2. Gabor Filtresi

Gabor filtresi, Dennis Gabor tarafından geliştirilmiştir ve minimum belirsizlik ile frekans ve zaman (ya da uzay) işaretlerini tanımlar. Gabor filtresi, darbe cevabı harmonik bir fonksiyon ile Gaussian bir fonksiyonun çarpımından oluşan lineer bir filtredir. Çarpım-konvolüsyon özelliğinden dolayı (konvolüsyon teoremi), Gabor filtresinin darbe cevabının Fourier dönüşümü, harmonik fonksiyonun ve Gaussian fonksiyonun Fourier dönüşümünün konvolüsyonudur [19].

$$g(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi\frac{x'}{\lambda} + \psi\right)$$
$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta$$
$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$$
(II.3)

Bu eşitliklerde;

$\lambda$  : kosinüs faktörün dalga boyunu,

$\theta$  : Gabor fonksiyonunun paralel çizgilere göre normalin oryantasyonunu (yönelimi),

$\Psi$  : fazın ofset değerini,

$\sigma$  : standart sapmayı,

$\gamma$  : uzaysal görüş açısını temsil eder ve Gabor filtresinin eliptikliğini belirtir.

Gabor filtresi, Gabor dalgacıklar ile yakından ilgilidir, çünkü birçok sayıda açma (dilation) ve döndürme işlemleri için tasarlanmışlardır. Bununla beraber,

genelde genişletme Gabor dalgacıklar için uygulanmaz, çünkü bu tersinir (biortogonal) dalgacıkların hesaplanmasını gerektirir ki bu da zaman harcayan bir işlemdir. Bu nedenle, genellikle değişik ölçek ve rotasyonlara sahip Gabor filtrelerinden oluşan bir *filtre bankası* oluşturulur. Filtreler, sinyal ile konvolüsyon işlemine tabi tutulur ve Gabor uzayı olarak sonuçlanır. Gabor uzayı, örneğin iris ve parmakizi tanıma gibi görüntü işleme uygulamaları için oldukça kullanışlıdır. Ayrıca seyrek obje sunumlarını oluşturmak için Gabor uzayından önemli aktivasyonlar çıkartılır.

Gabor filtreleri, görüntü işlemede ön işlem olarak kullanılırlar. Gabor filtreleri, bilgisayarla görme ve görüntü işleme konularındaki bir uygulama için farklı kullanımları vardır. Bunlara örnek olarak, doku tanıma ve sınıflama, yazı tanımlama, doku ayrımı, kenar belirleme, görüntü sıkıştırma, hareket kestirimi, nesne tanımlama ve dokuda şekil tanıma verilebilir [20].

### **II.2.3. Yüksek Seviyeli İşlemler**

Görüntü analizi ve görüntü işleme amacıyla yapılabilecek yüksek seviyeli işlemler, görüntü işleme ve görüntü analizinin hedeflenen nihai amacını oluşturan ve normalde insan görmesi ile ilgili algılama ve tanıma fonksiyonlarından ilham alan işlemlerdir. Bu amaçla çeşitli model veya bilgi tabanlı tanıma yöntemleri ile sınıflandırma yöntemlerini konu alan algoritmalar kullanılır.

Bu algoritmalar, genellikle düşük ve orta seviyeli çeşitli işaret işleme yöntemlerinin birleştirilmesi suretiyle oluşturulur. Yüksek seviyeli görüntü işleme amacıyla kullanılan algoritmik yapılar çok çeşitli şekillerde geliştirilebilir.

## **II.3. BİYOMETRİK GÖRÜNTÜ TANIMA**

Biyometrik görüntü tanımada birçok yöntem vardır. Kullanıcıların gereksinimlerine göre bu yöntemlerden bir veya bir kaç kullanılabilir. Bugüne kadar literatürde yapılan çalışmalarda hiçbir yöntem için, yüzde yüz tanıma yapabilir denilememektedir. Bundan dolayı, yani tanıma sürecini daha doğru yapabilmek için farklı yöntemler bir arada kullanılabilir. Fakat bunun dezavantajı sistemin tanıma sürecini gerçekleştirmek için geçirdiği zamanı arttırmasıdır.

Yine yapılacak tanıma işlemi gerçek zamanlı uygulama ise, bunu göz ardı etmeden, kullanılacak yöntemi iyi belirlemek gerekir. Çünkü gerçek zamanlı

uygulamada tanıma sürecinin çok daha hızlı olması gerekmektedir. Bunu düşünerek analizi en hızlı yapan sistemler arasından seçim yapılmalıdır.

### II.3.1. Tanıma Süreci

Biyometrik görüntü tanıma süreci iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama, genel olarak sistemin eğitimi aşaması olarak tanımlanabilir. Bu aşamada biyometrik görüntüler, bilgisayar sistemlerinden yararlanılarak gerekli ön işlemlerden geçirildikten sonra veritabanına kaydedilir. Bu görüntüler, kullanılan yöntemin özelliğine uygun algoritmalarından geçirildikten sonra eğitim kümesi oluşturulmuş olur. İkinci aşama ise, tanınması istenen biyometrik görüntünün, veri tabanı ile eşlenmesi olarak tanımlanır. Bu aşamada, eğitim kümesi oluşturulurken yapılan işlemler tanıma sürecine girecek biyometrik görüntü için de tekrarlanır. Bu süreç sonunda görüntü veri tabanı ile eşleşirse, görüntü tanınmış olur.

Yukarıda geçen birinci adımda gerekli olan yöntemler arasında büyük farklılıklar görülmektedir. Örneğin, ses ve parmakizi tanıma arasında bilgiyi dijital ortama aktaran araçlardan bu bilginin analizinde kullanılan algoritmaya kadar çoğu araç ve yazılım farklıdır. Ancak sisteme alınan bilgilerin işlenişi çoğunda ortaktır. Hangi yöntemde olursa olsun, analogtan dijitalle çevrilen veri içinden belirli özellikler seçilir. Bu özellik seçimi sonucunda ortaya çıkan veriler bizim karşılaştırma ve kayıt fonksiyonlarına vereceğimiz parametrelerdir. Bu parametrelerin sayısı arttıkça tanıma işleminin doğruluğu artar. Ancak doğru orantılı bir artış söz konusu değildir. Belirli bir limitten sonra parametre sayısının artırılması sadece sisteme ek yük getirecektir ve tanımanın doğruluğu üzerinde bir etki etmeyecektir. Örneğin bir kişiyi tanımak için sadece boyunu parametre olarak alırsak aynı boyda iki insanı ayırt edemeyiz. Bunun yanı sıra eğer kişilerin kilolarını da parametre olarak alırsak başarı oranımız artar. Kişinin vücudundaki bütün ölçüleri almanın bir anlamının olmayacağı ortadadır.

Bireyi tanımlamada kullanılacak fiziksel ve davranışsal karakteristikler temelde aşağıdaki koşulları sağlamak zorundadır:

*Evrensellik (Universality)* : Herkes bu özelliğe sahip olmalıdır.

*Tekillik (Uniqueness)*: Herhangi iki insan ilgili karakteristik özellik bakımından yeterince ayrılabilir olmalıdır.

*Kalıcılık (Permanence)*: İlgili karakteristik özellik stabil olmalı ve zaman veya çevresel nedenlerle büyük ölçüde değişime uğramamalıdır.

*Elde edilebilirlik (Collectability)*: Nicel olarak ölçülebilir bir karakteristik olmalıdır.

*Kabul edilebilirlik (Acceptability)*: Kişilerin ilgili biyometrik sistemi ne derece kabulleneceğini belirtir.

*Başarım (Performance)*: Elde edilebilir tanımlama doğruluğuna karşılık gelmektedir

Bir insan karakteristiğinin biyometrik sistemler için uygun olup olmadığı son derece geniş örnekler üzerinde testler yapıldıktan sonra belirlenebilir.

Genel olarak biyometride kullanılmakta olan fiziksel ve davranışsal karakteristikler şunlardır:

*Fiziksel karakteristikler*: Vücut kokusunun kimyasal bileşimi, yüz özellikleri ve ısı emisyonu, gözün özellikleri (retina ve iris gibi), parmak izi, avuç içi izi, el geometrisi, cilt gözenekleri, bilek ve el damarları.

*Davranışsal karakteristikler*: İmza, klavyede tuş basım tarzı, ses izi, yürüyüş biçimi, mimik ve jestler [20].

### II.3.2. Doğrulama Problemi

Biyometrik doğrulama problemi, burada daha biçimsel şekilde düşünülmüştür. Doğrulama probleminde kullanıcıdan gelen biyometrik işaret, kayıtlı tek bir şablon ile karşılaştırılır. Bu şablon, kullanıcının hak iddia ettiği kimliğe dayanılarak seçilir. Her bir kullanıcı, bir  $B_i$  biyometrisi ile temsil edilir.  $B_i$  biyometrisi ile  $i$  bireyinin kimliği arasında bire bir eşleme olduğu kabul edilir. Öznitelik çıkarma aşaması,  $B_i$  biyometrisinin bir  $T_i$  makine sunumu ile (şablon) sonuçlanır.

Doğrulama boyunca, bir kullanıcı  $j$  kimliğini iddia eder ve bir  $B_j$  biyometrisini sağlar. Öznitelik çıkartıcı, ilgili  $T_j$  makine sunumunu çıkarır. Tanıma  $S(T_i, T_j)$ , benzerlik skorunun hesaplanmasından oluşur. İddia edilen kimlik,  $T_h$  eşik seviyesi için  $S(T_i, T_j) > T_h$  şartı sağlanırsa doğru kabul edilir. Eşik değerinin seçimi ayrıca kullanıcı uygunluğu ile sistem güvenliği arasındaki alış-veriş belirler [21].

### II.3.3. Performans Değerlendirme

Biyometrik görüntülerden elde edilen şablonlar şifre veya parolalara göre yüksek belirsizliğe sahiptir. Biyometrik görüntü aynı kişiye ait olsa da bazı farklılıklardan dolayı oluşan şablonlarda farklı olmaktadır. Bu nedenle, biyometrik görüntü eşleme sonucunda doğrulanabilirde, doğrulanmayabilirde. Bu olasılıklardan

dolayı, parola ve anahtar merkezli yaklaşımlar tarafından ihtiyaç duyulan doğru eşlemeye karşıdır [21].

Tamamıyla doğru olmayan bu eşleme yaklaşımında iki önemli hata şekli oluşabilir. Bunlar Yanlış Eşleme (False Matching, FM) ve Yanlış Eşlememe (False Non-Matching, FNM) hatalarıdır:

**Yanlış Eşleme (FM):** Eğer sahtekarın şablon benzerliği, gerçek kullanıcının kullanıcı değişimleri dahilinde ise bazen bir gerçek kullanıcı olarak kabul edilebilir.

**Yanlış Eşlememe (FNM) :** Elde edilen biyometrik sinyal düşük kalitede olduğunda, gerçek bir kullanıcı bile doğrulama süresince reddedilebilir. Bu hata şekli “Yanlış Eşlememe” olarak ifade edilir.

Sistem ayrıca daha az sıklıkla ihtiyaç duyulan aşağıdaki hata şekillerine sahiptir:

**Kaydetme Hatası (FTE, Failure to Enroll):** Yüz tanıma sistemleri göz önünde bulundurulduğunda veritabanı oluşturmada kaydetme hatasından söz etmek pek mümkün olmaz. Fakat kaydetme sistemlerinin kalitesi ve ortamdaki ışığın etkisinden dolayı veritabanı oluşturulurken kaydedilen verilerde hatalar olabilir. Bir biyometrik sistemde bu tip durumlarla ilgilenmeye uygun olağandışı durum işleme mekanizmaları bulunmalıdır.

**Doğrulama Hatası (FTA, Failure to Authenticate):** Bu tip hata, kayıt süresince biyometri okunabilir olmasına karşın, sistemin doğrulama boyunca öznelikleri çıkartılamadığında oluşur. Bu, yüz için yaralanma gibi durumlardan dolayı; konuşma için boğaz ağrısından dolayı oluşabilir. Bu hatanın, eşleme sürecinde gerçekleşen Yanlış Eşlememeden farklı olduğuna dikkat edilmelidir. FTA’da ise reddetme sadece öznelik çıkarma aşamasında iken oluşur.

Bir biyometrik eşleyici,  $T$  ve  $T'$  şablonlarını alır ve çıkış olarak  $S = S(T, T')$  skorunu üretir. Bu skor, iki şablon arasındaki benzerliğin bir ölçüsüdür. Eğer  $S(T, T')=1$  ise iki şablon eşittir. Eğer  $S(T, T')=0$  ise şablonlar tamamıyla farklıdır. Bu nedenle benzerlik bazı değişmez biçimlerde eşleme olasılığı ile ilişkilendirilebilir. Eşleme olasılığını hesaplayan bir alternatif yol,  $D(T, T')$  eşleme uzaklığını hesaplamaktır. Bu durumda, eş şablonlar  $D(T, T')=0$  uzaklığına sahip olurken; farklı şablonlar ideal olarak  $D(T, T')=\infty$  uzaklığına sahip olmalıdır. Genellikle bir eşleyici benzerlik skorunu,  $S(T, T') \in [0, 1]$  şeklinde verir.

Verilen iki biyometrik örneğe göre iki hipotez oluşturulmuştur:

*Sıfır Hipotezi  $H_0$ :* İki örnek eşleşir.

*Alternatif Hipotez  $H_1$* : İki örnek eşleşmez.

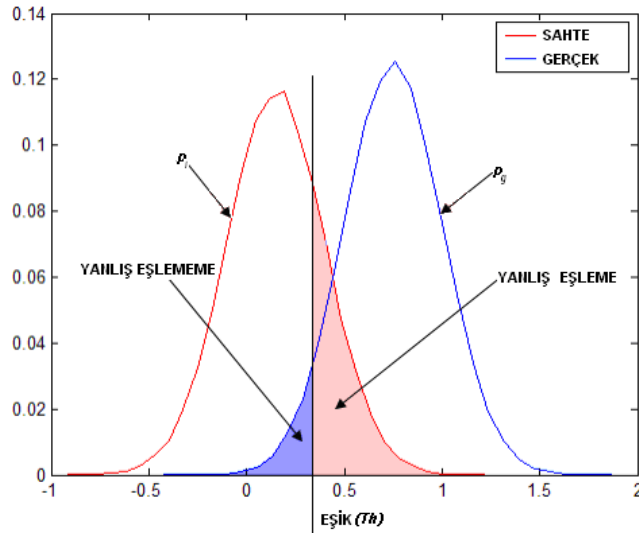
Eşleme aşaması,  $H_0$  ya da  $H_1$ 'in doğru olduğuna karar verir. Eşleyicinin kararı ayarlanmış eşik değerine ( $T_h$ ) bağlıdır:

Eğer  $S(T, T') > Th$ ,  $H_0$ 'ı seçer.

Eğer  $S(T, T') \leq T_h$ ,  $H_1$ 'i seçer.

Biyometrik sinyaldeki değişiklikten dolayı aynı kişiye ait  $S(T, T')$  skorları her zaman bütünlük göstermez ve farklı kişiler için  $S(T, T')$  skorları tamamıyla sıfır olmaz. Genellikle gerçek çiftlerin eşlenmesiyle oluşan skorlar 'yüksektir' ve sahte çiftlerin eşlenmesiyle oluşan skorlar genellikle 'düşüktür' [13].

$p_g$  gerçek skorların dağılımını ve  $p_i$  sahte skorların dağılımını temsil etmek üzere,  $T$  eşik değerindeki FM ve FNM hatalarına ilişkin oranların (False Matching Rate, FMR ve False Non-Matching Rate, FNMR) nasıl belirlendiği Şekil II.9'da gösterilmiştir.



**Şekil II.9** Gerçek ve Sahte skorların dağılımları [21].

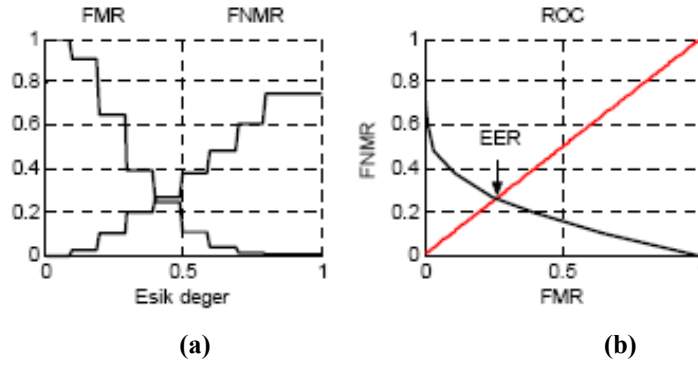
Buna göre, anılan FMR ve FNMR hata oranları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$FMR(T) = \int_T^1 p_i(x) dx \quad (II.4)$$

$$FNMR(T) = \int_0^T p_g(x) dx \quad (II.5)$$

İlgili Alıcı İşletim Karakteristiği (Receiver Operating Characteristic, ROC) eğrisi, FMR'nin x-eksenine; FNMR'nin y-eksenine çizilmesiyle elde edilir. Şekil II.10'da FMR ve FNMR hata oranlarının eşik değere bağlı olarak değişimini

gösteren karakteristik hata eğrileri ile, bunlara karşılık gelen tipik bir ROC eğrisinin değişim şekli gösterilmektedir [21].



Şekil II.10 a-Tipik FMR ve FNMR hata eğrileri, b-Tipik ROC eğrisi [22]

#### II.4. YÜZ GÖRÜNTÜLERİNİN ANALİZİ İLE KİMLİK TANIMA

Yüz tanıma günümüzde önemini hızla arttırmakta olan bir uygulama konusu haline gelmektedir. Mevcut yüzlerden elde edilecek bir veri tabanı üzerinde otomatik olarak yapılacak tanımların suçluların teşhisi sırasında, emniyet görevlilerinin işini ne kadar kolaylaştıracağı açıktır.

Yüz tanıma için bir bilgisayar modeli oluşturmak oldukça zordur. Bu zorluk yüzlerin, çok boyutlu, karmaşık ve anlamlı görsel objeler olmalarından kaynaklanmaktadır. Oysa insan beyni, bir an gördüğü bir yüzü yıllar sonra bile yaşlanma, saç uzaması, sakal bırakma gibi değişimlere rağmen, birkaç saniye içerisinde hatırlayabilmektedir. İnsan beynindeki bu üst düzey yetenek, yüz tanıma esnasında bilginin en iyi ve en kısa şekilde kodlandığı gerçeğini ortaya çıkarmaktadır.

Bilgisayar yardımı ile yapılan yüz tanıma çalışmalarında izlenen bir yöntem yüz üzerinde yer alan göz, ağız, burun gibi organların geometrik özellikleri ile birlikte, bu organların birbirine göre konumlarından elde edilen öznitelik vektörlerinin kullanılması ilkesine dayanmaktadır. Yüzün geometrisine dayanan bu tanıma yöntemlerinde genellikle esnek göz ve ağız şablonları kullanılmaktadır.

Yüz tanıma ile ilgili kullanılan başka bir yöntem özyüzler yöntemidir. Bu yöntemde, yüzlerdeki en gerekli bilgilerin bir grup karakteristik yüz üzerinden elde edilmesi ve daha sonra diğer yüzlerin, bu özyüzler adı verilen resimlerin birer doğrusal bileşimi olarak ifade edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Özyüzler, eğitim kümesinde yer alan yüzlerin temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Tanıma olayı yeni bir yüzün, elde edilen bu özyüzler tarafından gerilen yüz uzayına izdüşümü ile



gerçeklenmektedir. Projeksiyon sonucu elde edilen konum, sisteme tanıtılmış yüzlerin bu yüz uzayındaki konumları ile karşılaştırılır. Yeteri kadar yakın olan bireyler varsa, bu yeni yüz sistemine daha önce tanıtılmış demektir. Aksi halde, yeni yüzün, yüz uzayındaki konumu saklanarak, sistemin bu yüzü öğrenmesi sağlanabilir.

Tam başarılı bir yüz tanıma sistemi, kendisine daha önce öğretilmiş bir yüzü, aşağıda belirtilen koşullar altında bile doğru tanıyabilmelidir [23]:

- Işık kaynağının şiddetinin ve konumunun değişmesi,
- Kafa pozisyonunun ve büyüklüğünün değişmesi,
- Arka planın değişmesi,
- Sayısallaştırmaya ait gürültülerin bulunması,
- Gözlük, sakal, bıyık, maske gibi detayların bulunması

#### II.4.1. Yüz Görüntüleri İle İlgili Temel Bilgiler

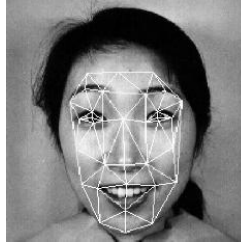
Herhangi bir yüz ifadesi, bir insanın hissi durumunun, anlayış tavrının, karakterinin ve içinde bulunduğu psikolojik durumunun görünen belirtileri olup aynı zamanda insanlar arası ilişkilerde bir haberleşme aracı olma rolü vardır.

Sabit görüntülerin ve görüntü dizilerinin kullanılmasıyla birlikte yüz ifade analizi, sadece psikoloji alanında yapılan bir araştırma konusu olmaktan çıkmıştır. Bununla birlikte görüntülerde yüz bulma (face detection), yüz takip etme (face tracking) ve yüz tanıma (face recognition) alanındaki ilerlemeler, yüz ifade analizi üzerine yapılan çalışmaların artmasına sebep olmuştur [24].

Yüz ifadeleri biçimsel olarak yüzdeki belirli bölgelerin şekil değiştirmesi ile ortaya çıkmaktadır. Özellikle yüz kaslarının kasılarak göz kapakları, kaşlar, burun, dudaklar ve yüz derisi gibi yüz özniteliklerinde geçici değişimler oluşturması sonucu ortaya çıkan zamana bağımlı ve birkaç saniye süren bu değişimlerin yeri, yoğunluğu ve dinamiğinin ölçülmesi, yüz ifadelerinin tanınarak sınıflandırılması için önem taşıyan niteliklerdir. Bu değişimlerin kişiye, yaşa, ırka, cinsiyete göre miktar ve zaman olarak değişim göstermesi, problemi çok boyutlu hale getirip zorlaştırmaktadır [25].

Yüz ifade analizi çalışmalarında karşılaşılan 3 temel problem tanımlanmıştır. Bunlardan ilki, bir görüntüdeki ilgi bölgesinin (Region of Interest, ROI) belirlenmesi, ikincisi, yüz ifadelerine ait özniteliklerin çıkarılması ve son olarak da yüz ifadelerinin sınıflandırılması. Bunlardan özniteliklerin çıkarılması ifade

sınıflandırması için üzerinde sürekli çalışmalar yapılan bir araştırma konusu olmuştur. Şekil II.11’de yüze ait özniteliklerin nasıl çıkarıldığına ilişkin bir örnek gösterilmektedir [26].



Şekil II.11 Yüz özniteliklerinin gösterilmesi [26].

#### II.4.2. Yüz Görüntüleri Elde Edilme Düzenleri

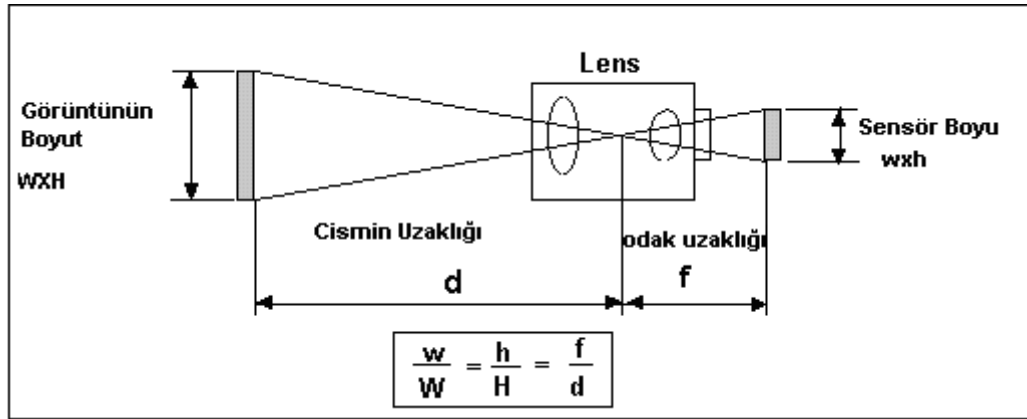
Yüz tanıma sistemleri, son zamanlardaki gelişmelerle günlük kullanım alanına iyice girmeye başlamıştır. Buna en uygun örnek olarak, dizüstü bilgisayarların açılış güvenliğini sağlayıp, istenilmeyen kişilerin sisteme girişini engellemek verilebilir. Dizüstü bilgisayarlara uyarlanan bu sistemin çalışması da oldukça basit görünmektedir. Burada görüntüyü elde etmekte dizüstü bilgisayara dahili konumlandırılmış, yüksek çözünürlüğe sahip olmayan, lens değeri düşük, basit bir web kamera kullanılmıştır. Dolayısıyla, yüz tanıma da kullanılacak görüntünün çok yüksek çözünürlüğe sahip olmasına gerek duyulmamaktadır. Şekil II.12’de farklı yüz tanıma sistemlerinde kullanılan farklı kamera tipleri görülmektedir.



Şekil II.12 Yüz görüntülerinin elde edilmesi için kullanılan farklı tiplerde kameralar [27].

Bu kamera tiplerinde bazıları yüksek çözünürlüğe sahipken bazıları da yüksek lens değerlerine sahiptirler. Bunlardan hangisinin hangi amaçla kullanılacağına karar verirken, ilk önce yüz tanıma sisteminin nasıl kurulacağı sorusu cevaplanmalıdır.

Çünkü yüz tanıma sisteme girilen görüntünün özneteliklerini oluşturmadan önce görüntü bir takım önışlemlerden geçiriliyordu. Bu önışlemlerden biride görüntünün çözünürlük boyutunun ayarlanmasıydı. Çok yüksek çözünürlükteki görüntünün zaten boyutu küçüleceğinden buna ihtiyaç duyulmaz. Diğer önemli durum, yüz tanımı yapılacak kişinin kameraya olan uzaklığıdır. Burada kameranın lens boyunun önemi devreye giriyor. Örneğin bir stadyumda güvenlik amaçlı yapılacak bir yüz tanıma sistemi için lens değeri büyük kameralar tercih edilmelidir. Şekil II.13'de bu hesaplamanın nasıl yapıldığı gösterilmektedir. Buna göre 50 m uzaktaki bir kişiyi görüntüleyebilmek için odak uzaklığı 103mm olan bir lens kullanılması gerekir [27].



Şekil II.13 Görüntünün uzaklığına göre lens boyutunun hesaplanması [27].

#### II.4.3. Yüz Görüntüsünün Analizi ile Kimlik Tanıma ve Doğrulama

Son yıllarda askeri, ticari ve yasal uygulama alanlarının artması nedeniyle yüzlerin otomatik olarak tanınması çok popüler bir konu haline gelmiştir. İmge-video işleme, görüntü tanıma ve yapay zeka-sinir ağları gibi alanlar bu konuyla yakından ilgilenmektedir. Kişi yüzlerinin tanınmasında her bir kişiye ait daha önceden kaydedilen görüntülerden faydalanılır. Veriler kontrol edilmiş şartlarda elde edilen görüntülerden (pasaport, kredi kartı, kimlik, v.b. üzerindeki görüntüler) gelebileceği gibi, gerçek zamanda kaydedilen video görüntülerinden de gelebilir[28]. Son 10 yılda yüz tanıması için birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler arasında görünüşe dayalı yöntemle yüz görüntülerini iki boyutlu nesnelere olarak işlemektedir. Bu yöntemlerde  $w \cdot h$  boyutlu görüntüler,  $wh$ -boyutlu uzaydaki noktalar olarak ifade edilirler. Örnek uzayı olarak isimlendirilen bu uzay genellikle çok büyük boyutludur. Bununla birlikte, insan yüzlerinin benzer yapıya sahip olması nedeniyle, yüz görüntüleri daha küçük boyutlu bir uzayda fazla bilgi kaybı olmadan ifade

edilebilirler. Bu amaçla özyüzler, fisherface, Null Space ve Direct-LDA gibi yöntemler kullanılmaktadır [29].

#### II.4.3.1. Özellik Esaslı Tanıma

Literatürde yapılan çalışmalar sonucunda, bilgisayar yardımı ile yalpan yüz tanıma çalışmalarında iki temel yöntem izlendiği tespit edilmiştir. Bu yöntemlerden birincisi, yüz üzerinde yer alan, göz, ağız, burun gibi organların geometrik özelliklerinden elde edilen bilgiler ile bir özellik vektörü oluşturulmasına, tanıma işleminin de, benzer şekilde elde edilmiş vektörlerin karşılaştırılması ile yapılması ilkesine dayanmaktadır. Özellik vektörlerinin elde edilmesi sırasında üç temel ilişki dikkate alınmaktadır;

**Birinci derece özellikler:** Bunlar, yüz üzerinde yer alan organların birbirlerinden bağımsız nicel özelliklerinde oluşur. Göz çukurlarının çevre uzunluğu, dudakların uzunlukları bu tür özelliklerdendir.

**İkinci derece özellikler:** Birinci derece özelliklerin de kullanılarak, organların birbirleri ile ilişkilerinden elde edilen özelliklerdir. Gözlerin ve ağızın, burundan uzaklıkları gibi.

**Yüksek dereceden özellikler:** Yaşlanma etkileri gibi genellikle nicel olmayan, yüzün bütününe ilgilendiren özelliklerdir. Elde edilmeleri çok zor olduğundan, tanıma işleminde genellikle kullanılmazlar.

Geometrik özelliklerin elde edilmesi esnasında, esnek göz ve ağız şablonları ile “active contour”(aktif kontür) yöntemleri kullanılmaktadır. Şablonlar yüz üzerinde gezdirilerek, bazı enerji fonksiyonları minimize edilmeye çalışılır. Enerji fonksiyonu minimum değerini aldığı anda, göz yada ağız tam olarak saptanmış demektir.

Yüz tanıma kullanılan ikinci yöntem ise, temel bileşen analizi (Principal Component Analysis, PCA)dir. Bilgi teorisi temellerinin esas alındığı bu yaklaşımlarda, yüzleri en az bilgi ve en iyi şekilde ifade etme yoluna gidilmektedir. Yüzler ifade edilirken, göz, ağız gibi organlar bağımsız olarak düşünülmemekte, elde edilen kodlamada, onlara ait bazı ayırt edici özellikler de yer alabilmektedir.

#### II.4.3.2. Yüz Görüntülerinin Özyüzler Uzayında Temsili

Özyüzler yöntemi, yüz tanıma problemine iki boyutu bir tanıma problemi olarak yaklaşmakta ve yüzler arasındaki farklılıkları en iyi ortaya çıkaran bir yüz

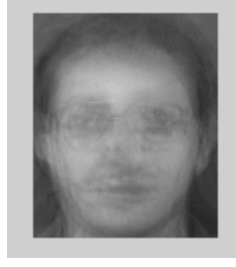
uzayının (face space) özvektörlerinin, yani özyüzlerin elde edilerek, diğer yüzlerin, bu özvektörlerin bir lineer kombinasyonu ile ifade edilmesi ilkesine dayanmaktadır.

Özyüzler, eğitim kümesinde yer alan yüzlerin temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Tanıma olayı yeni bir yüzün, elde edilen bu özyüzler tarafından verilen yüz uzayına iz düşümü ile gerçekleşmektedir. İz düşüm sonucu elde edilen konum, sisteme tanıtılmış yüzlerin bu yüz uzayındaki konumları ile karşılaştırılır. Yeteri kadar yakın olan bireyler varsa, bu, yeni yüz sisteme daha önce tanıtılmış demektir. Aksi halde, istenirse bu yeni yüzün, yüz uzayındaki konumu saklanarak, sistemin yeni yüzü öğrenmesi sağlanabilir.

Özyüzler, eğitim kümesinde yer alan resimlerin oluşturduğu dağılıma ait kovaryans matrisinin özvektörleridir. Eğitim kümesinde yer alan resimler  $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_M$  vektörleri ile sembolize edilir. Buna göre, kümede yer alan resimlerin ortalaması  $\Psi = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Gamma_n$  ifadesi ile bulunur. Şekil II.4'te örnek bir çalışma kümesi ve Şekil III.5'te bu çalışma kümesine ait ortalama yüz görülmektedir [23].



Şekil II.14 Örnek eğitim kümesi.



**Şekil II.15** Örnek Eğitim Kümesine Ait Ortalama Yüz.

Her bir görüntünün ortalamadan farkı,  $\Phi_j = \Gamma_j - \Psi$  vektörü ile ifade edilir. Elde edilen bu vektörler üzerinden, verinin dağılımını en iyi ifade eden M adet ortonormal  $u_n$  vektörü bulunmak istenmektedir. Bu  $u_n$  vektörlerinin her biri  $\lambda_k$  katsayılarını maksimum yapacak şekilde seçilir.

$$\lambda_k = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M (u_k^T \Phi_n)^2 \quad (\text{II.6})$$

$u_n$  vektörleri, ortonormallik koşulu olan (II.7)'deki ifadeyi sağlamalıdır.

$$u_l^T u_k = \delta_k = \begin{cases} 1, & l=k \\ 0, & l \neq k \end{cases} \quad (\text{II.7})$$

$u_k$  vektörleri ve  $\lambda_k$  sabitleri (II.8) eşitliğinde tanımlanan C kovaryans matrisinin sırasıyla, özvektörleri ve özdeğerleridir.

$$C = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Phi_n \Phi_n^T = AA^T \quad (\text{II.8})$$

$$A = [\Phi_1 \Phi_2 \dots \Phi_M] \quad (\text{II.9})$$

C matrisi  $N \times N$ 'lik resimlerden oluşan bir eğitim kümesi için,  $N^2 \times N^2$  boyutundadır. Pratikte, bu boyutlarda kullanılan resimlerin matrisleri de çok büyük boyutlu olacağından özvektörlerin hesaplanması oldukça zordur.

Eğitim kümesinde yer alan resimlerin sayısının, resimlerin boyutundan çok daha küçük olduğu ( $M < N^2$ ) düşünülürse,  $N^2$  yerine, M-1 adet anlamlı özvektör olduğu ortaya çıkar.  $M \times M$ 'lik bir matrisin, özdeğerlerinin elde edilmesi yüz tanıma problemi için yeterli olmaktadır. Bu amaçla,  $M \times M$  boyutunda olan bir L matrisi  $L = A^T A$ , her bir elemanı  $L_{mn} = \Phi_m^T \Phi_n$  olacak şekilde oluşturulur. Buradan L matrisinin diagonal bir matris olduğu ortaya çıkar. Daha sonra, bu L matrisinin  $v_l$  ile gösterilen M adet özvektörü elde edilir. Bu  $v_l$  özvektörlerinin yardımı ile, gerçek özvektörler için (II.10) eşitliğinde verilen ifadeler kullanılır.

$$u_l = \sum_{k=1}^M v_k \Phi_k, \quad l = 1, \dots, M \quad (\text{II.10})$$

Özyüzler kullanılarak herhangi bir yüz resmine ait özellik vektörü  $\Omega^T$  şu formül ile bulunabilir:

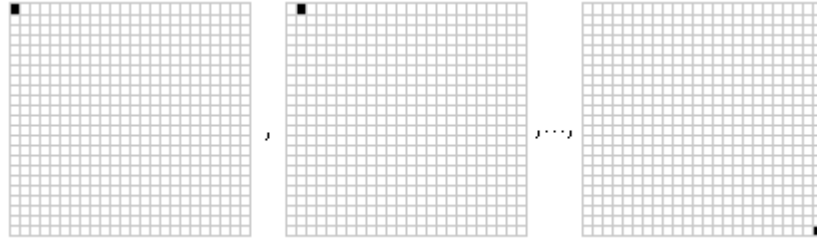
$$w_k = u_k^T (\Gamma - \Psi) \quad (\text{II.11})$$

$$\Omega^T = [w_1 w_2 \dots w_M] \quad (\text{II.12})$$

Herhangi bir resim, yüz uzayına yapılacak şu ifadede belirten izdüşüm ile tekrar elde edilebilir [30]:

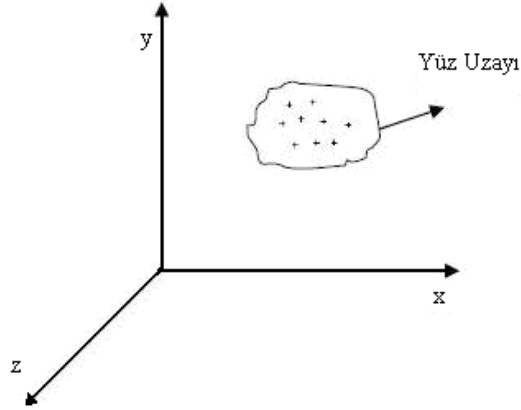
$$\Gamma = \Psi + \sum_{i=1}^M w_i u_i \quad (\text{II.13})$$

Görüntü vektörlerinin farklı toplamları, görüntü uzayı olarak tanımlanan uzayı oluşturur. Şekil III.6'da vektörlerin bileşenlerinden oluşmuş, yüz uzayı olarak tanımlanan, görüntü uzayının alt kümeleri gösterilmektedir.



Şekil II.16 Yüz uzayının temel şekli [31].

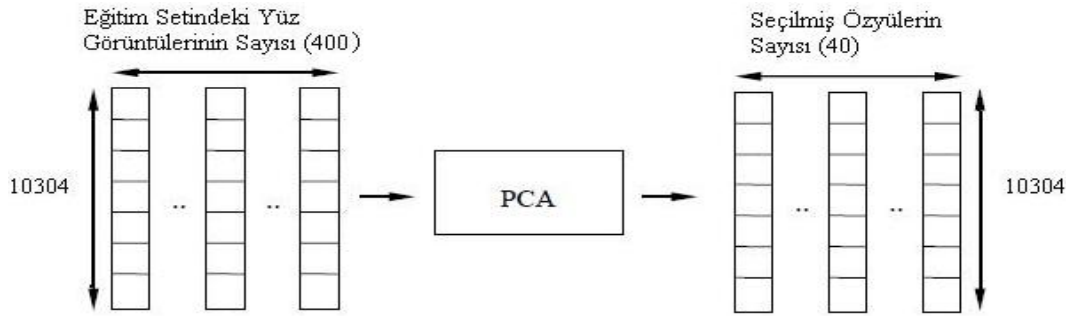
Şekil III.7'de gösterildiği gibi, veri tabanı ne kadar çok kişiden oluşursa oluşsun, görüntü uzayının tamamını düşündüğümüzde, yüz vektörleri çok dar bir bölgeye yerleşecektir.



Şekil II.17 Yüz uzayında yüz vektörlerinin toplamı [31].

Özyüzler yöntemi doğrusal temel bileşenler analizi tabanlı olup, bir yüz görüntüsünü bir bütün olarak alçak boyutlu bir vektöre kodlamaktır. Buradaki temel düşünce yüz görüntülerinin yüz uzayını özyüzler diye adlandırılan küçük bir öznitelik görüntüleri kümesine dönüştürmektir. Şekil III.8'de bu tez çalışmasında

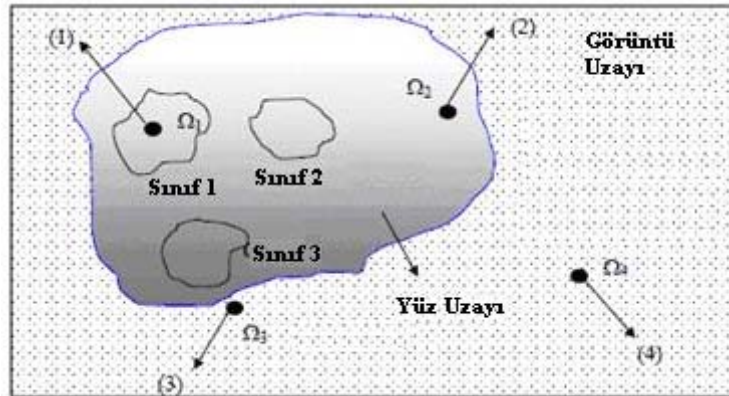
kullanılan yüz görüntülerinin özvektörlerinin Temel Bileşenler Analizi yöntemiyle bulunması gösterilmektedir.



Şekil II.18 Özyüzlerin genel işlem yapısı [31].

Herhangi bir yüz görüntüsü anlamlı özyüzlerin temsil ettiği alt uzaydaki yüz uzayında temsil edilebilmektedir. Bu yolla elde edilen temsil vektöründeki katsayı ağırlıkları her bir yüzü tanımlamaktadır. Yeni bir yüzün tanınması o yüzün özyüzlerin oluşturduğu alt uzaya aktarılarak oluşturulan katsayı ağırlık vektörünün veritabanındaki yüzlere ait katsayı ağırlık vektörleri ile karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Eğitim setlerindeki yüzlerdeki benzer yüzler, yüz uzayının içinde aynı sınıf içinde ifade edilmektedir. Bu durum Şekil III.9’da dört durumla anlatılmaktadır.

- (1) Yüz uzayının içinde benzer yüz vektörlerinden biri,
- (2) Yüz uzayının içinde fakat daha farklı bir yüz vektörü,
- (3) Yüz uzayının dışında farklı bir yüz vektörü
- (4) Yüz uzayından uzak bir yüz vektörü.



Şekil II.19 Yüz uzayı içine olası izdüşümler [31].

Yüz tanıma sistemlerinde özyüz yaklaşımının tercih edilme nedeni; yöntemin yüzün geometrisinden bağımsız olması, gerçekleşmesinin kolay olması, özel donanım kullanılmadan bile gerçek zamanlı çalışabilmesi ve sistemin yeni yüzleri



tanır hale gelmesinin, yani tanımayı öğrenmesinin diğer yöntemlere göre kolay ve hızlı olmasıdır.

## II.5. MATLAB UYGULAMALARI

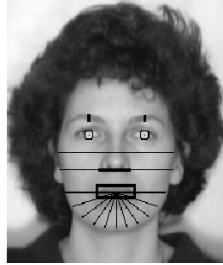
Parmakizi tanıma, retina ve iris tanıma, el geometrisi tanıma, ses tanıma, yüz tanıma, DNA tanıma, imza tanıma gibi tekniklerin tamamını kapsayan biyometri, yüksek seviyede güvenlik gerektiren alanlarda, giriş çıkışlarda kimlik kontrolünün gerektiği otomatik personel devam kontrol sistemleri gibi sistemlerde başarı ile kullanılan ve sosyal hayattaki uygulamalarda oldukça sık karşılaşılan çok hızlı gelişen ve benimsenen güvenilir bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır [32]. Bir biyometrik sistemin başarısı, büyük ölçüde giriş görüntüsünün kalitesine bağlıdır. Bu nedenle görüntünün iyileştirilmesi biyometrik sistemler açısından büyük öneme sahiptir [33]. Görüntünün bilgi taşımayan gereksiz kısımlarından ve gürültüden arındırılması, biyometrik sistemler için işlem hızının artması, işlem zamanının kısılması, özellik noktalarının bulunması sistem performansının ve güvenilirliğinin artması gibi bir takım üstünlükler sağlar [34]. Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanarak bütün bu işlemler yapılabilir. YSA'lar MATLAB yazılımındaki hazır fonksiyonlardan yararlanılarak kolayca oluşturulabilir.

MATLAB'ta bulunan hazır fonksiyonlardan newff, YSA'nın eğitim sürecini oluşturur. Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid (logsig) hazır fonksiyonu kullanılır. Eğitim fonksiyonu olarak trainscg fonksiyonu kullanarak bir ağı eğitmek oldukça kolay olabilir.

Son yıllarda yapılan biyometrik sistem çalışmalarında, yüz tanıma sistemi oldukça geniş yer bulmaktadır. Farklı teknikler kullanılarak yapılan çalışmaların büyük bir kısmında MATLAB yazılımından yararlanılmıştır. Diğer bilgisayar yazılımları ile yapılan tanımlarla, MATLAB yazılımıyla yapılan tanımlar performans ve tasarımın yapılış kolaylığı bakımından kıyaslandığında, MATLAB'ta bulunan hazır fonksiyonların kullanılabilirliği daha kolay ve sistem açısından daha anlaşılır olduğu için, MATLAB daha iyi bir akış sağlamaktadır.

Yüz tanımda kullanılan yöntemlerinde esas olan, yüz veritabanında bulunan yüzlerin özniteliklerini çıkartmaktır. Bu öznitelikleri elde etmek için kullanılan yöntemlerden bazıları, Geometrik Tanıma Algoritmaları, Şablon Eşlemeli Tanıma Algoritmaları, Özdeğer Vektöleri (PCA) ile Tanımadır.

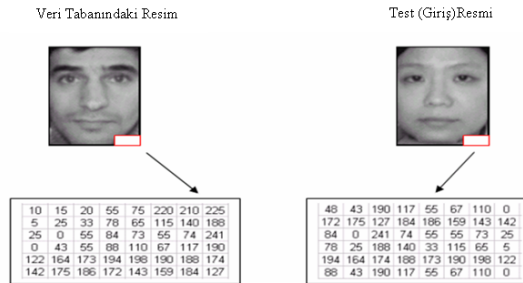
**Geometrik Tanıma Algoritmaları:** Bu yöntemde Şekil II.20’de görüldüğü gibi yüz için belirleyici 22 nokta tespit edilir. Daha sonra bu noktalar nearest neighbour algoritması kullanılarak karşılaştırılır ve en küçük değere sahip olan veritabanındaki resim ile eşleştirilir [35].



**Şekil II.20** Yüz tanıma için alınabilecek 22 geometrik nokta [35].

Nearest neighbour algoritması, MATLAB’ta yazılmış “nn” hazır fonksiyonu kullanılarak çok hızlı bir biçimde gerçekleştirilebilir.

**Şablon Eşlemeli Tanıma Algoritmaları:** Şablon eşleme yöntemi iki farklı desenin tümünü yada belirli özelliklerdeki parça şablonlarının Nearest Neighbour algoritması ile karşılaştırılmasıdır [36]. Şekil II.21’de yapılan bu işleme gösterilmektedir.



**Şekil II.21** Şablon Eşleme ile Yüz Tanıma [32].

Bu algorithmada da Nearest Neighbour algoritması için MATLAB’ın hazır fonksiyonlarından yararlanılabilir.

**Özdeğer Vektöleri (PCA) ile Tanıma:** Bu yöntemde, tanıma ile ilgili özellikleri bulmak için öz değerler ve öz vektörler (eigen faces) bulunur. Bu yöntem bir takım matematiksel ifadelerden oluşmaktadır. Tüm bu matematiksel ifadeler MATLAB yazılımı kullanılarak oluşturulur. Daha sonra hazır fonksiyonlardan “eig” kullanılarak öz değerler ve öz vektörlerin her ikisi birden oluşturulur.

## II.6. LİTERATÜRDE YÜZ GÖRÜNTÜSÜNÜN ANALİZİNE DAYALI KİMLİK TANIMA VE DOĞRULAMA ÇALIŞMALARI

Bledsoe ve Goldstein geometrik şekillere dayalı metotları geliştirerek, insanların bir takım aynı özelliklerine bağlı; burun, gözler, ağız yapısı gibi, yüz tanıma çalışmaları yapmışlardır [37].

Carey ve Diamond yaptıkları çalışmada, insanların, aynı kişiye ait görüntülerde çeşitli farklılıklar meydana geldiğinde ayırt etmekte zorlandığını ortaya koymuşlardır. 6, 8 ve 10 yaşlarında 12'şer çocuktan oluşan gruba, aynı kişiye ait farklı durumlardaki görüntüleri gösterilmiştir. Daha sonra bu kişiye ait görüntünün bulunması istendiğinde 6 ve 8 yaşlarındaki çocukların tanıma oranı yüzde 4-8 arasında, 10 yaşındaki çocukların tanıma oranı ise yüzde 25 civarında çıktığını gözlemlemişlerdir [38].

Goldstein, Harmon ve Lesk, standart model sınıflandırma tekniğini kullanarak yüz tanıma için 21 özelliği temsil eden vektörler geliştirmişlerdir. Bu vektörler insanları birbirinden ayıran temel farklılıklardan seçilmiştir. Dudak kalınlığı, saçın şekli, kulak uzunluğu gibi kriterler örnek olarak verilebilir. Bu seçimi otomatik olarak yapmak bir hayli zor olmuştur [8].

Fischler ve Elschlager benzer özellikleri otomatik olarak ölçebilen sistem tasarlamışlardır. Yüze ait özellikleri bulmak için, bölgesel özelliklerin ölçümü ile mantıksal bir yerleşim tasvir etmişlerdir [39].

Yullie, Cohen ve Hallinan yaptıkları çalışmada şablon eşleştirme yaklaşımını geliştirmişlerdir. Şablon eşleme yüz modellerini parametrik değerler yönünden karşılaştırma esasına dayalıdır [40].

Stonham's WISARD sistemi, genel amaçlı bir tanıma aracıdır. Sinirlerle ilgili temel kurallara dayanmaktadır. Bu sistem bazı iki elementli yüz görüntülerini sağlamakta başarılı olmuştur. Hem kimlik tespitinde hem de ifadeyi tanımakta kullanılmıştır [41].

Kanade ise geometrik şekillere dayalı metodu kullanarak ilk kez otomatikleştirilmiş yüz tanıma sistemini geliştirmiş, dahili aydınlatma olarak bilinen metodu önermiştir. Bu metot da resmin n satır ve m sütunlardan meydana geldiğini baz alınıp, her bir satır ve sütundaki piksel değerleri toplanmaktadır. Sonuç resmin satırları üzerindeki bir yoğunluk profili veren n boyutlu ve sütunlar üzerindeki yoğunluk profilini veren m boyutlu bir vektördür [42]

Brunelli ve Poggio, yüz resminden 35 tane boyut ve mesafe ölçümü almıştır. Bu 35 ölçüm, yüzü gösteren özellik vektörü olarak alınmıştır. Bu özellik vektörleri veri tabanı içerisindeki tüm resimler ve girişteki resim için bulunarak birbirleri ile karşılaştırıldığında, yüz tanıma algoritmaları resmi sınıflandırmak için kullanılabilir. Bu özellikler bulunarak resimler normalleştirildikten sonra resim içerisinde aydınlatma koşullarından dolayı oluşan değişimleri azalması sağlanmıştır [43].

Gonzales, gri seviyeli resmin içerisindeki öğelerin kenarlarını, yatay ve dikey gradyan operatörlerini uygulayarak hesaplamıştır. Gradyan resimleri binary şekline dönüştürmek için eşik aralığı uygulamıştır. Binary yatay gradyan resim, yüz ve burnun sağ ve sol kenarlarını belirleme de faydalı olurken, dikey gradyan resim gözü, burnu ve ağız yerleştirmede faydalı olmuştur. Kenarlar belirlendiğinde şablon eşleştirme işlemi özelliklerini karşılaştırmak için kullanılabilir. Daha belirgin özellik seçimi için her bir özelliğe birçok şablon kaydedilir [44].

Samaria ve Harter, test resimleri ve veritabanı için kullanılan örnekler, hidden markov modeli tarafından üretilmiş olup tanıma amaçlı kullanılırlar. Samaria, 40 kişinin 200 deneme ve 200 test resmini kullanarak bu metodu uygulamıştır. Hidden markov modelini uygulayarak yaptığı tanımada %84'lük bir doğru tanıma elde edilmiştir. Hidden markov modelinde örnekleri oluşturmak için gereken zaman çok uzun olduğu için yüz tanımada tutulan bir model değildir [45].

Sirovich ve Kirby, özyüzler yöntemini ilk olarak kullanmışlardır. Bilgi teorisinde veriyi kodlama ve kodunu çözmeye iyi bilinen bir tekniktir. Bu kişiler yüz resimleri gruplarından başlayarak bu resimlerin temel bileşenlerini hesaplamışlardır. Daha sonra da özvektörlerin sadece küçük parçalarının ağırlıklı birleşimini kullanarak yüz resmini yeniden oluşturmuşlardır [46].

Turk ve Pentland, özyüzler yöntemini daha da geliştirerek ilk tam otomatik sistemlerden birini üretmişlerdir. Sistemi 16 kişinin 2500 resmi bulunan bir veri tabanında denemişlerdir. Resimler farklı baş oryantasyonları, boyutları, ışıklandırma koşullarında seçilmiştir. Sistemleri, farklı ışıklandırmaya sahip resimler üzerinde %96, farklı baş oryantasyonun da %85, farklı görüntü ölçeklerinde %64 doğru sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir [47].

O'Toole, Deffenbacher ve Valentin, bir yüzü kodlamak için baskın özyüzü kullanmanın en uygun olduğunu ama tanıma işinde en uygun seçim olmadığını göstermişlerdir. 100 kişilik bir özyüz uzayı kullanılarak 45. ve 80. kişiler arasındaki

herhangi bir 15 özyüz seçiminin, en iyi 15 özyüz kadar, iyi ayırım gücüne sahip olduğunu göstermektedir [48].

Jacobs, Finkelstein ve Salesin, az sayıda katsayılar kullanarak resmi göstermek için kesikli dalgacık dönüşümünü kullanmışlardır. Kullandıkları veri tabanı farklı nesnelerin 20000 renkli resminden oluşmuştur. Buradaki amaç nesnenin şeklinin sadece taslağını veren bir deneme resmi kullanarak veri tabanından en iyi karşılık gelen 20 nesneyi geri elde etmektir. Veri tabanındaki her bir resmin kenar bilgisini elde etmek için kesikli dalgacık dönüşümünü kullanmışlardır. Kolay uygulanmasından ve basitliğinden dolayı haar ana dalgacığı temel fonksiyon olarak kullanılmıştır. Bu deneyde veri tabanındaki bütün resimler 128x128 boyutundadır. Kesikli dalgacık dönüşümü bu resimlerin hepsine uygulanmış ve bir dizi 128x128 katsayılı resimler oluşturulmuştur. En büyük 60 katsayı resmi görüntülemek için tutulmuştur. İlk katsayı nesnenin özet katsayılarını içermektedir. Diğer katsayılar nesne hakkında yatay, dikey ve diagonal bilgiler vermektedir [49].

Cottrell ve Munro YSA ile tanıma işleminde çok katmanlı perseptronları kullanmışlardır. MLP(Multilayer Perception) mimarisi üç katmandan meydana gelir. Bunlar; giriş katmanı, gizli katman, çıkış katmanıdır. Gizli katmandaki nöronların sayısı, giriş katmanındakilerden genelde daha küçüktür [50].

Nakamura ve arkadaşları, yüz resminin iso yoğunluk bölgelerinden yararlanarak resmi ikili resimler serisine dönüştürmüştür. Yapmış olduğu bu gruplandırmalar ile tanıma işlemini kolaylaştırmıştır [51].

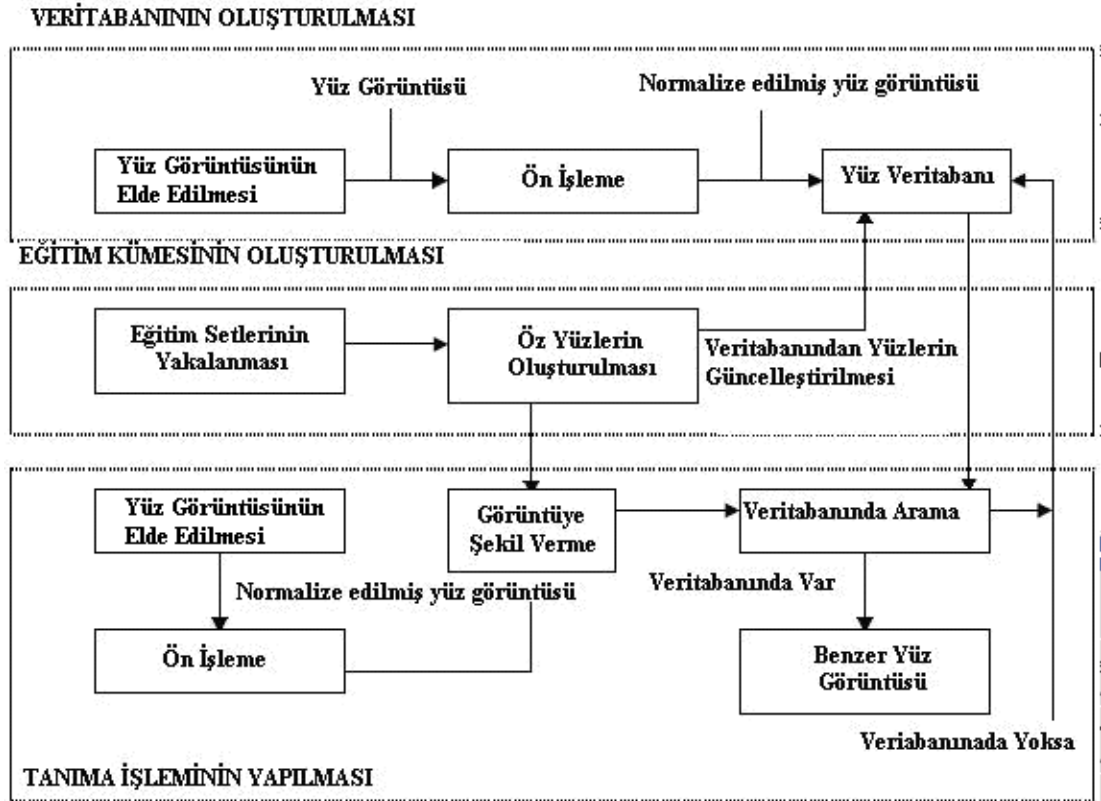
Kaya ve Kobayashi tarafından geliştirilen modelde ise, geometrik şekillere dayalı otomatikleştirilmiş yüz tanıma sistemindeki bazı sorunlar ortadan kaldırılmıştır. Bunlardan birinde, uygun özellikleri seçmek için bir takım yöntemler geliştirilmiştir. Otomatikleştirilmiş prosedürler tarafından daha kolay fark edilen özellikler seçilmelidir. Yani resimlerin özelliklerini belirlerken sistem çok yüklenmemelidir. Daha sonra, resimlerdeki aydınlatma farklılıkları olmamalıdır. Yüz özellikleri seçilirken yüz ifadesindeki değişiklik o özelliği etkilememelidir. Her bir özelliğin bilgi içeriği maksimize edilmelidir [52].

## BÖLÜM III

### YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında kullanılan algoritmalar, MATLAB yazılımı ile uygulanmış ve Intel (R) Pentium(R) M processor 1.70 GHz işlemci ve 760 MB Ram konfigürasyonuna sahip bir PC kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu özellikler, ileride yapılacak çalışmalarda, Euclid yaklaşımı ve korelasyon hesaplama yaklaşımı kullanıldığında, sorgulanan kişiye ait yüz görüntüsüne cevap süresinin ve performans analizinin rapor edilmesi sebebiyle önem taşımaktadır. Doğal olarak bu test işleminin süresi, test amaçlı kullanılan makinenin hız ve bellek özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterecektir.

Yüz tanıma modelinin blok şeması Şekil III.1’de sunulmuştur.



Şekil III.1 Yüz tanıma süreci

Buna göre, tanıma süreci iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada eğitim kümesinin oluşturulması amaçlanmaktadır. İkinci aşamada ise tanıma işlemi

gerçekleştirilecektir. Eğitim kümesinin oluşturulması, basit bir kamera düzeneği kurularak, yüz görüntülerinin uygun açılardan çekilmesi işlemi ile başlar. Yüz görüntüleri gerekli iyileştirme ve sayısallaştırma işlemleri için bir ön işlemden geçirilir. Daha sonra bu görüntülere ait öz değerler ve özvektörler üretilerek veritabanına kaydediliyor.

Tanıma sürecinde, uygun bir şekilde yüz görüntüsünü yakalamak için kamerada çekim yapılır. Tanıma işlemi yapılacak olan bu görüntüde eğitim kümesindeki görüntüler gibi ön işlemlerden geçirilir. Bu görüntüye ait öz değerler ve özvektörler üretilip veritabanındaki diğer görüntülere ait özvektörler ile karşılaştırılır. Bundan sonra, karşılaştırma sonucu son olarak verilen bir eşik değerle karşılaştırılarak tanınması istenen kişinin kimliğine ilişkin karar oluşturulur.

### **III.1. YÜZ GÖRÜNTÜSÜ VERİ TABANLARI**

Bu tez çalışmasında, veritabanında kullanılan yüz görüntüleri, Nisan 1992 ve Nisan 1994 yılları arasında Cambridge’te bulunan Olivetti Araştırma Laboratuvar’ında yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Veri bankasındaki yüz görüntüleri, 40 farklı kişiye ait farklı özelliklerde çekilmiş 10 görüntüden oluşur. Aynı kişiler için elde edilen 10 tane görüntü, farklı zamanlarda, farklı ışık şiddetinde, farklı yüz mimikleri kullanılarak, gözlük gibi yüzde olabilecek farklılıklar kullanılarak oluşturulmuştur. Her bir görüntünün arka zemini aynı oranda karartılmıştır. Görüntü boyutları 92X112 piksel, 8-bit gri ton ve pgm uzantılı olarak kaydedilmiştir. Aynı kişilere ait 10 farklı görüntü tek bir klasör içerisinde gruplanmıştır. Bundan dolayı 40 farklı kişi olduğu için 40 farklı klasör mevcuttur [55].

#### **III.1.1. Yüz Görüntüsü Veritabanları**

Yüz tanıma için literatürde yapılan çok sayıda çalışmada, çeşitli veri tabanları oluşturulmuştur. Bu veri tabanları yapılan çalışmanın özelliğine göre, yani kullanılan metotlara göre değişiklikler göstermektedir. Bu tez çalışmasında 92X112 piksel değerlerin sahip görüntülere ihtiyaç duyulduğundan Olivetti Araştırma Laboratuvar’ında elde edilmiş olan ORL\_FACES yüz veritabanından yararlanılmıştır. Bu veritabanı, 40 kişiden ve her bir kişiye ait 10 farklı resimden oluşmuştur. Resimlerin hepsi kontrast etkisini ortadan kaldırmak için gri ton seviyesinde ve yüz özelliklerinin ağırlık katsayılarını daha kesin bir şekilde ortaya koymak için kesme

işlemi yapılarak kaydedilmiştir. Bu veritabanı dışında geçmiş dönemlerde hazırlanmış olan bazı veritabanları şunlardır[56].

**AR Face Database:** 576x768 piksel, 70'i erkek, 56'sı kadın olmak üzere 126 kişiden oluşmaktadır. Her bir kişiye ait 26 farklı resim vardır. bütün resimler ön cepheden çekilmiştir.

**Richard's MIT Database:** 480x640 piksel boyutunda, 82'si erkek 74'ü kadın toplam 154 kişiden oluşmaktadır. Her kişi için farklı 6 resim vardır. Resimler; iki ön cepheden, profilden,  $\frac{3}{4}$ 'lük bir çerçeveden oluşmuştur.

**CVL Database:** 640x480 piksel boyutunda, 108'i erkek, 6'sı kadın toplam 114 kişiden oluşmaktadır. Her bir kişi için farklı 7 resim vardır. Resimler sağ ve sol profilden, 45° açıyla sağ ve sol taraftan, ön cepheden, gülerken ve dişler görünürken çekilmiştir.

**Notingham Scans:** 438x538 piksel boyutunda, 50'si erkek, 50'si kadın 100 kişiden oluşmaktadır. Her bir kişiye tek resim vardır. Bütün resimler ön cepheden çekilmiştir.

**Aberdeen:** 432x528 piksel boyutunda toplam 116 kişiden oluşmaktadır. Bütün resimler ön cepheden çekilmiştir.

**The Yale Face Database B:** 640x480 piksel boyutunda toplam 10 kişiden oluşmaktadır. Her bir kişinin toplam 576 resmi vardır. Bütün resimler 9'ar pozdan 64 farklı aydınlık durumunda oluşturulmuştur.

**The Yale Face Database:** 320x243 piksel boyutunda, 15 farklı bireye ait 165 gri ton ve gif dosya uzantısına sahip görüntülerden elde edilmiştir. Her bireyin, farklı ışık tonlarında, farklı açılardan, gözlüklü, gülerken, gözleri kapalı şekilde 11 farklı görüntüsü elde edilmiştir.

**PIE Database:** 640x486 piksel boyutunda, 15 kişiden oluşmaktadır. Her bir kişinin 11 farklı resmi vardır. Resimler ön cepheden ışık altında, gözlük ile, sağ ve sol ışık altında, mutlu, üzgün, uykulu, şaşkın, göz kırparken gibi durumlarda çekilmiştir.

**The UMIST Face Database:** 220x220 piksel boyutunda, 20 kişiden oluşmaktadır. Resimler sağ ve sol profillerden değişik görüş açılarıyla çekilmiştir.

**CNNL:** 115x82 piksel boyutlarında, 1266 kişiden oluşmaktadır. Her bir kişi için 8 hafıza setinde, 2 test setinde olmak üzere 10 resim vardır. Resimlerin tamamı ön cepheden ve gri tondan oluşmaktadır.



**Cohn-Kanade AU Coded Facial Expression Database:** Yaşları 18 ile 30 arasında değişen 100 üniversite öğrencisinde oluşmaktadır. Yüzde 65'i bayanlardan, yüzde 15'i Afrikalı ve Amerikalılardan, geri kalanı da Asyalı ve Latinlerden oluşmaktadır. Bu veritabanında 640X480 piksel 8 bit gri ton özelliğe sahip farklı şekilde çekilmiş 23 görüntüden vardır.

### III.1.2. Yüz Görüntülerinin Elde Edilmesi

Eğitim kümesini oluştururken, kamera ile bilgisayar ortamına alınan görüntüler, Şekil III.2'de arayüzü görünen program aracılığı ile veritabanına gönderilir.



Şekil III.2 Yüz veritabanını oluşturmak için kullanılan arayüz.

Bu programda “Görüntü Elde Et” butonuna tıklandığında, bilgisayarda kayıtlı olan yüz görüntüsü seçilir. “Görüntüyü Veritabanına Ekle” butonuna tıklandığında ise yüz görüntüsü veritabanına ilave edilmiş olur. Butonlara basıldığı anda MATLAB yazılımı aracılığıyla görüntü ön işlemlerden geçirilir. Eğer görüntü 8 bit gri ton değilse veritabanına ilave edilmez.

Veritabanı oluşturulurken dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan biri etiketleme işlemidir. Veritabanına kaydedilecek görüntülerin isimlendirilmesi dikkat gerektiren ve doğru tanıma sonucu elde etmek için önemli bir durumdur. Birinci kişiye ait birinci görüntüyü veritabanına eklerken, bu görüntü 1 rakamı ile isimlendirildi. Bundan sonra eklenen görüntülerde sırasıyla sayılardan yararlanılarak isimlendirildi.

### III.2. ÖZNETELİK VERİLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Kullanılan yöntemle bilgi teorisi kavramları ile açıklık getirilmek istenirse; yüz üzerinde yer alan en gerekli bilgilerin açığa çıkarılması, bu bilgilerin en uygun

şekilde kodlanması ve tanıma olayının, benzer şekilde kodlanmış bireyler üzerinde gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Bu en gerekli bilgilerin açığa çıkarılmasının en basit yolu, bir grup yüz arasındaki değişimlerin göz, ağız gibi bireysel özellikleri göz ardı etmeksizin saptamaktır.

Olayda yüzlerin dağılımını temsil eden temel bileşenlerin bulunması amaçlanmaktadır. Bir başka deyişle, yüzlerin dağılımını temsil eden kovaryans matrisinin özvektörlerinin bulunması hedeflenmektedir. Bu özvektörler, yüzler arasındaki farklılıkları temsil eden bir grup özellik olarak düşünülebilir. Her bir vektör az ya da çok bir yüze yakınsadığından, net olarak görünmeyen bu yüzlere özyüz adı verilmesi uygun görülmüştür. Şekil III.3'te bu tez çalışmasında kullanılmış olan yüz veritabanından rasgele seçilmiş 6 kişiye ait özyüzler görülmektedir.



Şekil III.3 Veritabanından seçilmiş 6 adet özyüz görüntüsü.

Veritabanında yer alan her bir yüz, bu özyüzlerin doğrusal bileşimi olarak ifade edilebilir. Özyüzlerin sayısı, veritabanında yer alan görüntü sayısına eşittir. Yani bu tez çalışmasında kullanılmış olan 40 kişiye ait 10 farklı görüntüden, toplam 400 adet özyüz vektörü oluşturulmuştur.

### III.2.1. Ön İşlemler

Yüz tanımadaki, veritabanına kaydedilen görüntülerin piksel sayısının eşit olması çok önemli bir durumdur. Yüz görüntülerinin piksel ya da çözünürlük gibi farklılıkları olabilir. Bu durum yüz uzayını oluşturmada istenmeyen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü yüz uzayında her kişiye ait bir yüz görüntüsü, bir öznitelik olarak yer alacaktır. Her kişi için farklı piksel değerlerine sahip görüntüler kullanıldığında öznitelikler arasında bir tutarsızlık ortaya çıkacaktır. Bu nedenle yüz veritabanını oluştururken sisteme girilen her yüz görüntüsünün aynı boyutlarda olması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan yüz görüntüleri 112X92 piksel boyutundadır. Böylece oluşturulmuş olan veritabanı içindeki görüntülerden temel

bileşenler analizi yöntemi kullanılarak özvektörler ve özdeğerler kolaylıkla elde edilmiştir.

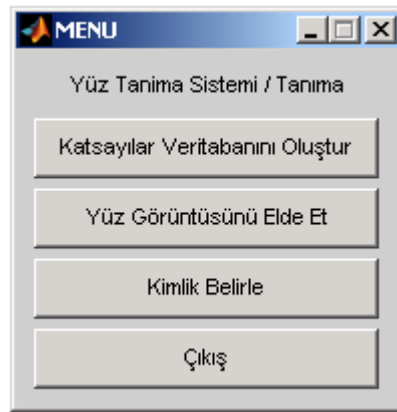
Veritabanını oluşturacak yüz görüntülerinde aranan diğer önemli bir özellik de, resmin gri ton 8-bit olmasıdır. Renkli yüz görüntülerinin her pikseline denk gelen bir RGB kodu mevcuttur. Buna göre her pikseli 0 ile 255 sayıları arasında değişen bir numara ifade etmektedir. Renkli resimlerde ortam ışığının etkisi ile bu piksel değerleri farklı çıkabilmektedir. Ortam ışığının etkisini ortadan kaldırmak ve tanıma işlemini daha doğru yapabilmek için görüntü gri tona dönüştürülür. Bu tez çalışmasında, veritabanındaki yüz görüntüleri gri ton 8-bit olarak kullanılmıştır.

### III.2.2. Özyüzler Uzayının Oluşturulması

Özyüzler yöntemi, yüz uzayının temel bileşenlerini ve yüz vektörlerinin temel bileşenler üzerine izdüşümünü kullanır. Bu yöntem boyut indirgeme yöntemidir ve yüz uzayının boyutunu azalttığı için tanıma ve öğrenme işlemleri hızlıdır. Resimler dönüş ve yönlendirme bakımından normalleştirildiğinde bu yöntemin doğruluk performansı kabul edilebilir bir düzeydedir.

Tasarlanan yüz tanıma sisteminde, bir veritabanı üzerinden özyüzler bulunarak, her bir yüz için bir özellik vektörü elde edilmektedir. Tanıma işlemi daha sonra, bu özellik vektörlerinin karşılaştırılması ile yapılmaktadır.

Şekil III.4’de gösterilmiş olunan arayüz kullanılarak daha önce oluşturulmuş olan, veritabanından her bir görüntü alınarak ağırlık katsayıları oluşturulmaktadır. Ağırlık katsayıları, gerçek resmi oluşturmak için kullanılan özyüzlerin ağırlıklarını temsil eden katsayılardır. Bu arayüzde birinci sırada bulunan “Katsayılar Veritabanını Oluştur” sekmesi tıklandığında veritabanında bulunan görüntülerin özvektörleri üretiliyor.



Şekil III.4 Yüz tanıma için kullanılan arayüz.

Veritabanında bulunan toplam 400 adet görüntü için 400X400' lük bir katsayılar matrisi oluşturulmuştur. Arayüzde ikinci sırada bulunan “Yüz Görüntüsünü Elde Et” sekmesi tıkladığında ise sisteme tanıtılması istenen görüntünün seçilmesi sağlanır. Aynı zamanda seçilen görüntüye ait özvektörlerde üretilmiş olur. Üretilen bu özvektörler matris yapısında olup, sütun sayısı her bir görüntüyü, satır sayısı da bu görüntüleri ifade eden katsayıları temsil etmektedir. Veritabanında kayıtlı bulunan görüntülerin boyutu 92X112 boyutundaydı. Yani bir görüntüyü 1X10304'lük bir matris temsil ediyordu. Böyle bir büyüklüğe sahip matrisi, tanımada kullanmak sistemin zaman performansını düşürmekteydi. Temel bileşenler yöntemini kullanarak, bu matris bir görüntüyü temsil eden 1X400'lük matrislere dönüştürülerek zaman açısından performansı da geliştirilmiş oldu. “Kimlik Belirle” sekmesi tıkladığında seçili olan görüntüye ait özvektörler ile veritabanında kayıtlı olan özvektörler karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucu oluşan fark vektörleri belirlenen eşik seviyenin altında ise görüntünün veritabanında, hangi isimle kayıtlı olduğu Şekil III.5'deki ekran çıktısında gösterildiği gibi elde edilir.

```
Command Window
Gosterilen veritabanından verileri cekip,
öz vektörleri üretir ve secilen resimden tanima islemini gerceklestirir.

Database var oldugundan dolayi veriler oradan cekilecektir, lütfen bekleyiniz.
veriler yüklendi.
Selected image:
C:\Documents and Settings\Administrator\Belgelerim\MATLAB\s20\10.pgm

Done.

Resim basariyla secildi ve preprocessing asamalarini asti.

Seçilen resim için ağırlık katsayısı oluşturuldu.
Tanıma islemi başarıyla tamamlandı.

Secilen resime ait sinif numarası:
    20

Resim numarası:
    200
```

Şekil III.5 Veritabanında kayıtlı bir yüz görüntüsü için elde edilen ekran çıktısı.

Eğer oluşan fark vektörleri belirlenen eşik seviyesinin üstünde ise görüntünün veritabanında kayıtlı olmadığı Şekil III.6'daki ekran çıktısı ile gösterilir.

```
Command Window
Gosterilen veritabanından verileri çekip,
öz vektörleri üretir ve secilen resimden tanıma işlemini gerçekleştirir.

Database var olduğundan dolayı veriler oradan çekilecektir, lütfen bekleyiniz.
veriler yüklendi.
Selected image:
C:\Documents and Settings\Administrator\Belgelerim\MATLAB\s22\6.pgm

Done.

Resim başarıyla secildi ve preprocessing asamalarını asti.

Seçilen resim için ağırlık katsayısı oluşturuldu.
Tanıma işlemi başarıyla tamamlandı.

Gosterilen resim veritabanında bulunamadı.
K>>
```

Şekil III.6 Veritabanında kayıtlı olmayan bir yüz görüntüsü için elde edilen ekran çıktısı.

### III.3. ANALİZ ÇALIŞMALARI

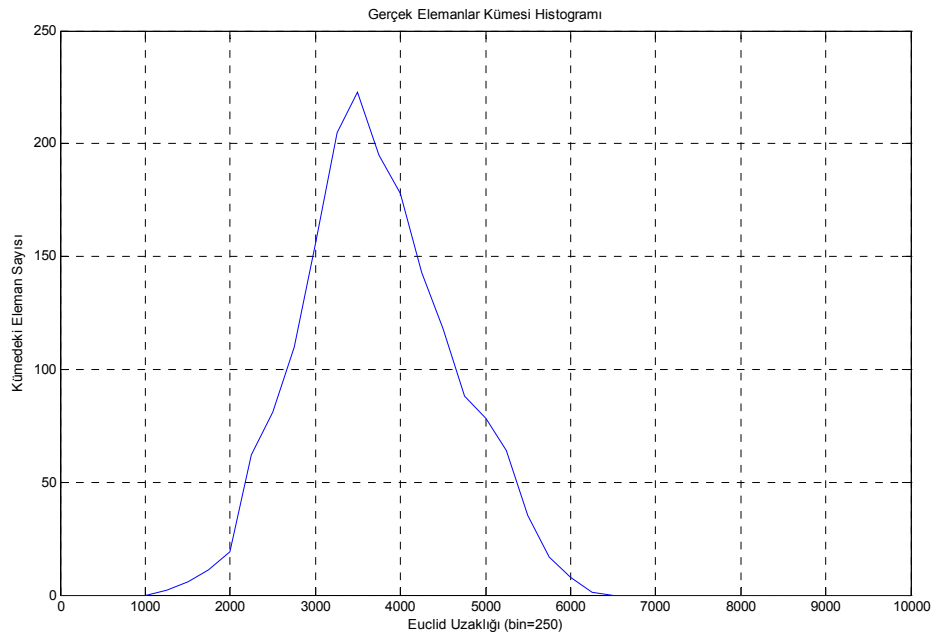
Daha önce üretilmiş olan veritabanı kullanılarak, bilinmeyen bir kişiye ait yüz görüntüsünün, anılan veritabanında kayıtlı olup olmadığına bakıp, var ise kim olduğunu, yok ise veritabanında olmadığını iki farklı tanıma yaklaşımı kullanılarak testler yapılmıştır. Bunlar, iki yüz öznitelik vektörü arasındaki Euclid uzaklığını ve korelasyonun hesaplanmasını esas alan yaklaşımlardır. Her iki yaklaşım için, hesaplanan Euclid uzaklığı ya da korelasyonun, verilen eşik değeri ile doğrudan karşılaştırılmasını esas alan tanıma testleri yapılmıştır. Bu testlerden elde edilen sonuçlar, performans değerlendirilmesi için uygun tablolar ve grafikler halinde verilerek yorumlanmıştır.

Buna göre,  $x$ , bir kişiye ait görüntü sayısını  $y$ , ise veritabanındaki kişi sayısını temsil etmek üzere, gerçek birey yüzleri arasındaki karşılaştırmaların sayısı  $\frac{x(x-1)}{2}y$  şeklinde belirlenir. Uygulamamızda  $x = 10$  ve  $y = 40$  olduğundan, sonuç 1800 çıkacaktır. Yani Euclid uzaklığı ve korelasyon için 1800 tane ölçüm yapılmıştır.

Sahte birey yüzleri arasındaki karşılaştırmaların sayısı  $\frac{y(y-1)}{2}x$  şeklinde belirlenir. Buna göre 7800 tane Euclid uzaklığı ve korelasyon ölçümü yapılmıştır.

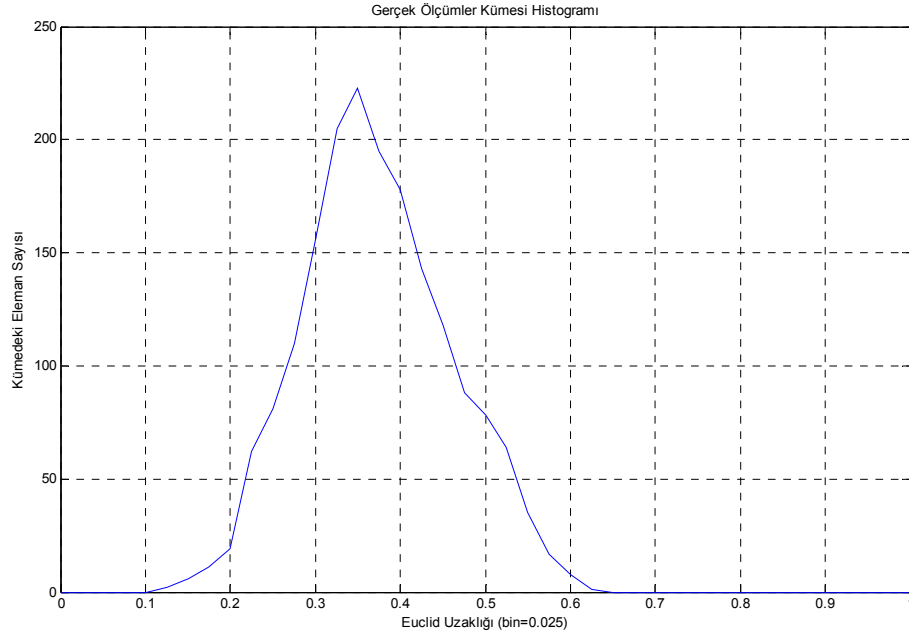
### III.3.1. Euclid Uzaklığı Ölçümün Dayalı Analizler

Şekil III.7’de, yapılan ölçümler sonucu gerçek birey yüzleri için, 1800 ölçüm sonucu hesaplanan Euclid uzaklığına göre dağılımını gösteren histogram verilmiştir. Gerçek birey yüzleri, bir kişiye ait 10 farklı görüntüden elde edilen ağırlık katsayıları matrisinin, her birinin birbirlerine olan Euclid mesafelerinin ölçümüyle oluşur. Yani birinci kişiye ait birinci görüntü ile yine birinci kişiye ait ikinci görüntü arasındaki Euclid mesafesinin hesaplanması gibi devam etmektedir. Bu işlem, 40 kişi için tekrarlandığında toplam 1800 değer bulunmaktadır. Grafiğin x eksenini Euclid mesafelerini, y eksenini ise bu mesafelerden kaç tane bulunduğunu gösteriyor. Euclid uzaklıkları için artım sayısı 250 aralıklı (bin) olarak seçilmiştir.



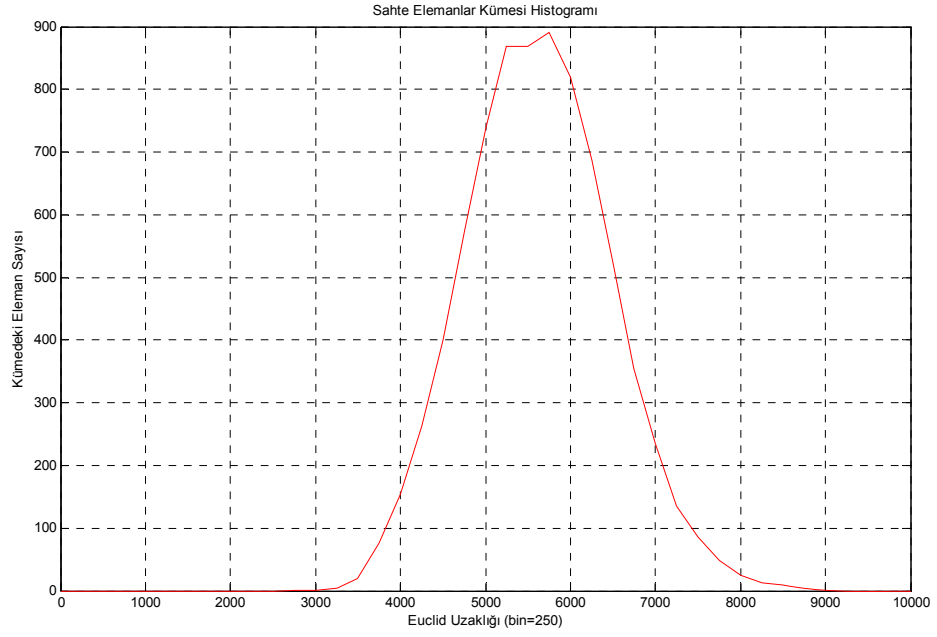
Şekil III.7 Gerçek birey yüzleri arasında Euclid uzaklıklarının dağılımı.

Şekil III.8’de Euclid uzaklığına göre sonuçları bulunan gerçek elemanlı ölçümlerin normalize edilmiş grafiği verilmiştir.



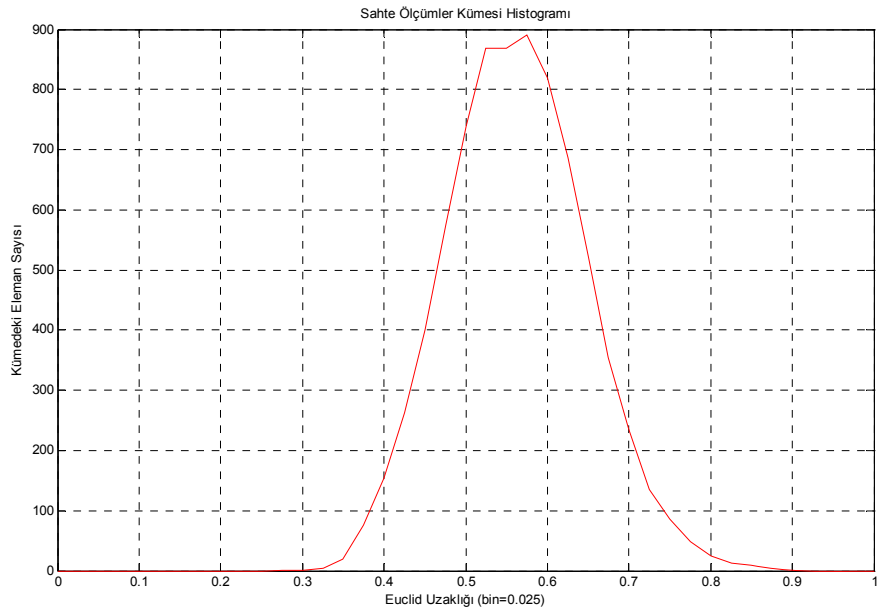
**Şekil III.8** Gerçek birey yüzleri arasında Euclid uzaklıklarının normalize edilmiş dağılımı.

Şekil III.9'da, yapılan ölçümler sonucu sahte ölçümler kümesi için, 7800 ölçüm sonucunun hesaplanan Euclid uzaklığına göre dağılımını gösteren histogram verilmiştir. Sahte ölçümler kümesi, bir kişiye ait 10 farklı görüntüden elde edilen ağırlık katsayıları matrisinin, diğer bir kişiye ait 10 farklı görüntüden elde edilen ağırlık katsayılarından oluşan matris ile olan Euclid mesafelerinin ölçümüyle oluşur. Bir kişiye ait 10 farklı görüntüyle, diğer bir kişiye ait 10 farklı görüntünün arasındaki Euclid mesafesi teker teker hesaplanır. Yani; birinci kişiye ait birinci görüntü ile ikinci kişiye ait birinci görüntü, birinci kişiye ait birinci görüntü ile ikinci kişiye ait ikinci görüntü gibi, aralarındaki Euclid mesafesinin hesaplanması sonucu elde edilmektedir. Bu işlem, 40 kişi için tekrarlandığında toplam 7800 değer bulunmaktadır. Grafiğin x eksenini Euclid mesafelerini, y eksenini ise bu mesafelerden kaç tane bulunduğunu gösteriyor. Euclid uzaklıkları için artım sayısı 250 aralıklı (bin) olarak seçilmiştir.



**Şekil III.9** Sahte birey yüzleri arasında Euclid uzaklıklarının dağılımı.

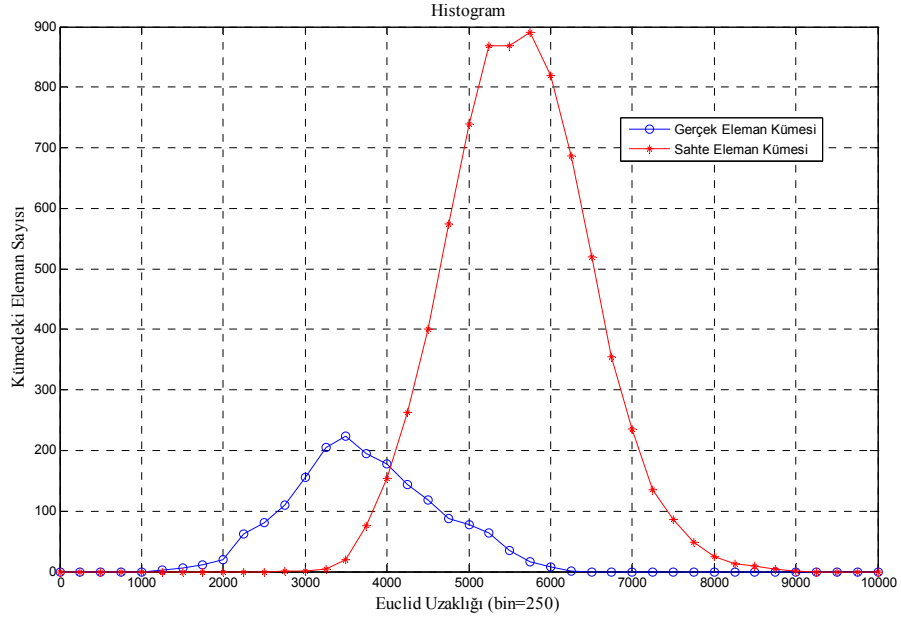
Şekil III.10'da, Euclid uzaklığına göre sonuçları bulunan sahte elemanlı ölçümlerin normalize edilmiş grafiği verilmiştir.



**Şekil III.10** Sahte birey yüzleri arasında Euclid uzaklıklarının normalize edilmiş dağılımı.

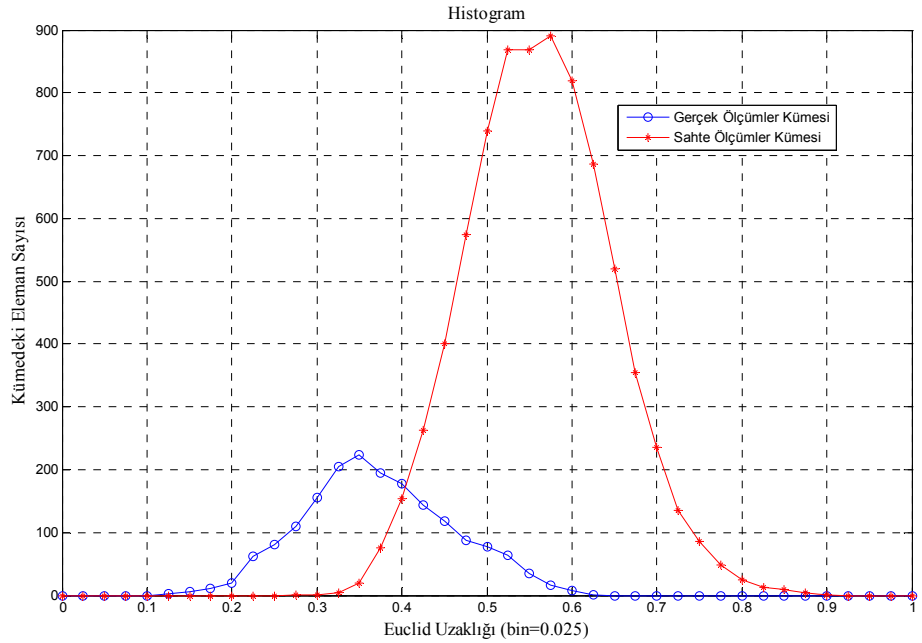
ROC analizine esas olmak üzere, yukarıdaki şekillerde verilen dağılımlar, Şekil III.11'da birlikte değerlendirilerek gerçek eşik değerlere göre gösterilmiştir.





**Şekil III.11** Gerçek ve sahte birey yüzleri arasında Euclid uzaklıklarının dağılımları.

Şekil III.12’de Euclid uzaklığı ölçümlerine göre normalize edilen gerçek ve sahte birey yüzleri kümesi gösterilmektedir.



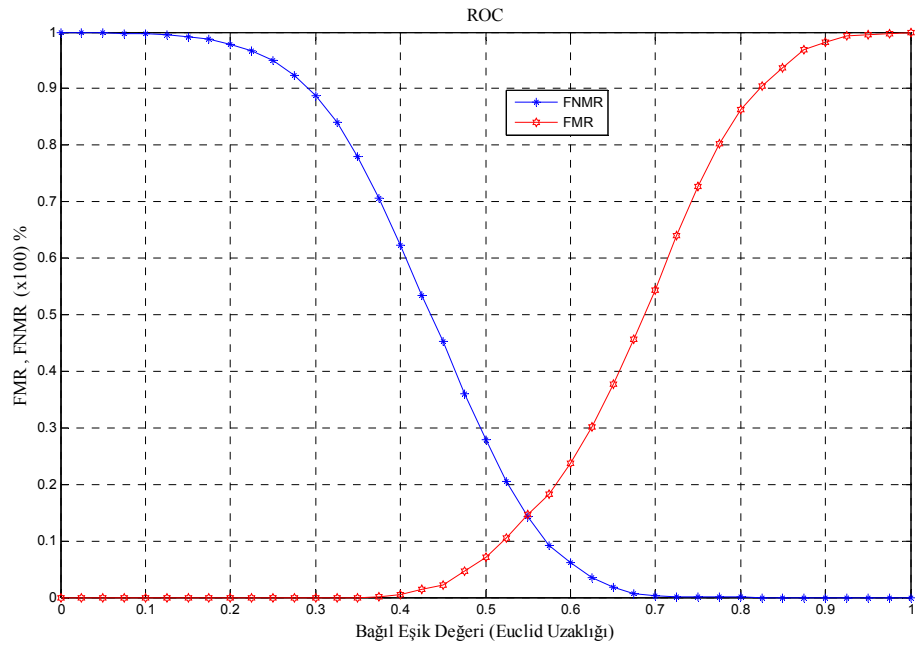
**Şekil III.12** Gerçek ve sahte birey yüzleri arasında Euclid uzaklıklarının dağılımları.

Buna göre, gerçek ölçümler kümesi için ölçülen Euclid uzaklıkları yaklaşık olarak [1255 ; 6138] arasında değişmektedir. Sahte ölçümler kümesi için ölçülen Euclid uzaklıkları yaklaşık olarak [2685 ; 8957] arasında değişmektedir. Euclid uzaklığı için gerçek eşik değerlerin yukarıda verilen sınırlar arasındaki dağılımı 10 basamak halinde Tablo III.1’de gösterilmiştir. Aynı tabloda, Euclid uzaklığı için ölçülen bu eşik değerlere karşılık gelen bağlı eşik değerler de gösterilmiştir.

Tablo III.1 Analiz sonuçları

| Ölçü            | Bağıl Eşik Değeri | 0.05                       | 0.15   | 0.25   | 0.35   | 0.45   | 0.55    | 0.65   | 0.75   | 0.85   | 0.95   |        |                    |
|-----------------|-------------------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| Euclid Uzaklığı | Küme              | Gerçek Eşik Değer          | 1640   | 2410   | 3180   | 3951   | 4721    | 5491   | 6261   | 7032   | 7802   | 8572   | Toplam Karş.Sayısı |
|                 | Gerçek (Genuine)  | Yanlış Eşleme Oranı (FMR)  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0.02167 | 0.1467 | 0.3767 | 0.7261 | 0.9367 | 0.9956 | 1800               |
|                 | Sahit (İmposter)  | Yanlış Eşleme Oranı (FNMR) | 0.9991 | 0.9918 | 0.9505 | 0.7788 | 0.4527  | 0.1428 | 0.0174 | 0.0003 | 0      | 0      | 7800               |

Tablo III.1’de verilen eşik değerlere ve toplam ölçüm sayılarına itibar edilerek FMR ve FNMR hatalarının değişimi hesaplanarak aynı tabloda gösterilmiştir. Bu hataların değişimi ayrıca Şekil III.13’deki hata eğrileri ile de gösterilmiştir. Şekil III.13, Euclid uzaklığının 0-1 aralığındaki bağıl değerine göre bu hataların nasıl değiştiğini göstermektedir.

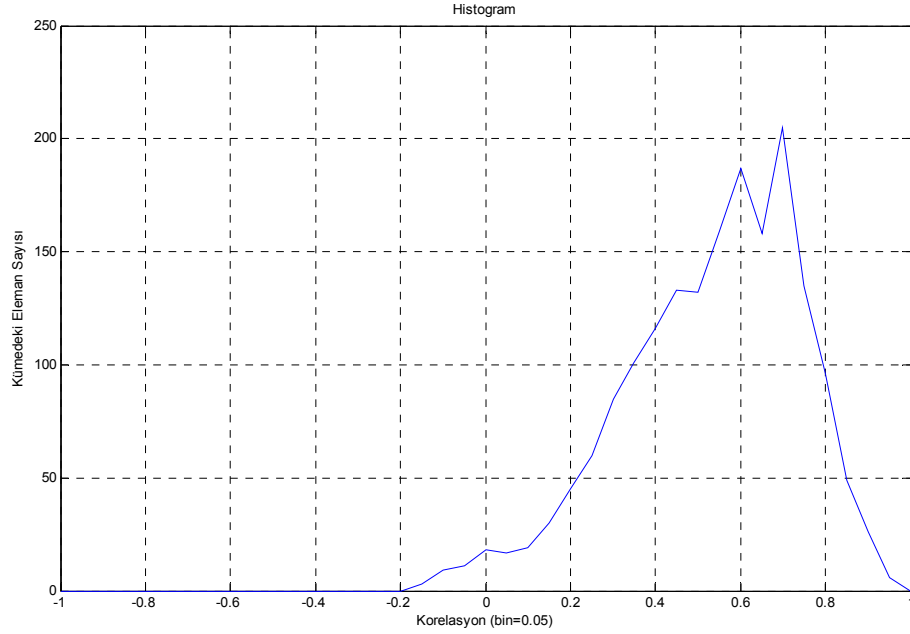


Şekil III.13 Euclid uzaklığının hesaplamasını esas alan ROC eğrisi.

### III.3.2. Korelasyon Yaklaşımı ile Yapılan Analizler

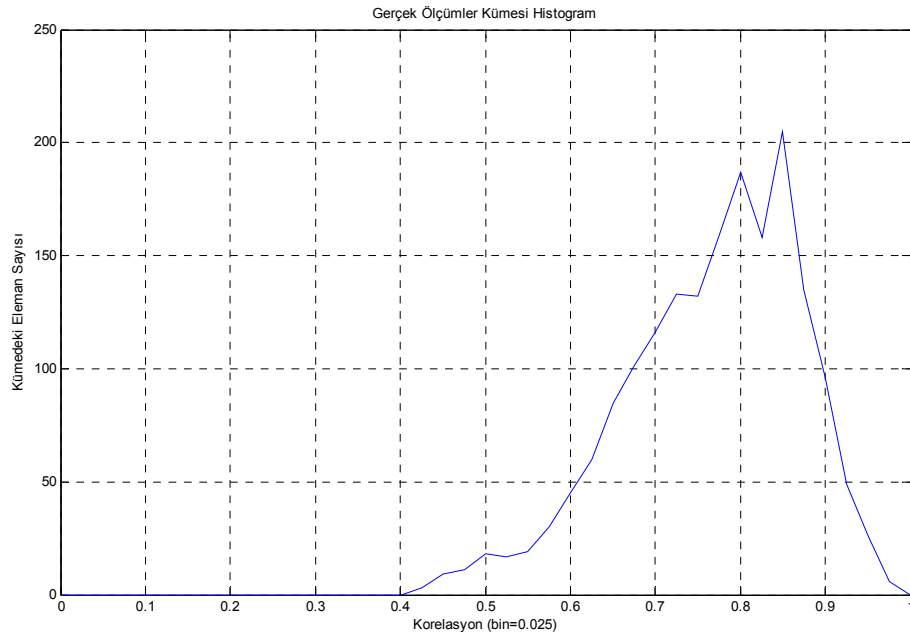
Şekil III.14’te, yapılan ölçümler sonucu gerçek elemanlı küme için, 1800 ölçüm sonucunun hesaplanan korelasyona göre dağılımını gösteren histogram verilmiştir. Gerçek elemanlı küme, bir kişiye ait 10 farklı görüntüden elde edilen ağırlık katsayıları matrisinin, her birinin korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Yani birinci kişiye ait birinci görüntü ile yine birinci kişiye ait ikinci görüntü arasındaki korelasyon katsayısı bulunmuştur. Katsayı bulma işlemi, 40 kişi için tekrarlandığında toplam 1800 tane korelasyon katsayısı elde edilir. Elde edilmiş olan bu katsayılar mutlaka -1 ile 1 arasında olacaktır. Bundan dolayı grafiğin x eksenini korelasyon

işlemi sonucu elde edilen matematiksel veriyi, y eksenini ise bu sonuçlardan kaç tane bulunduğunu gösteriyor. Buna göre, oluşan grafiğe bakıldığında katsayıların 1'e daha yakın bir aralıkta toplandığı görülmektedir. Çünkü korelasyon da, iki matris arasındaki ilişkinin kuvvetli olarak tanımlanabilmesi için katsayılar 0.5 ile 1 arasında olmalıdır.



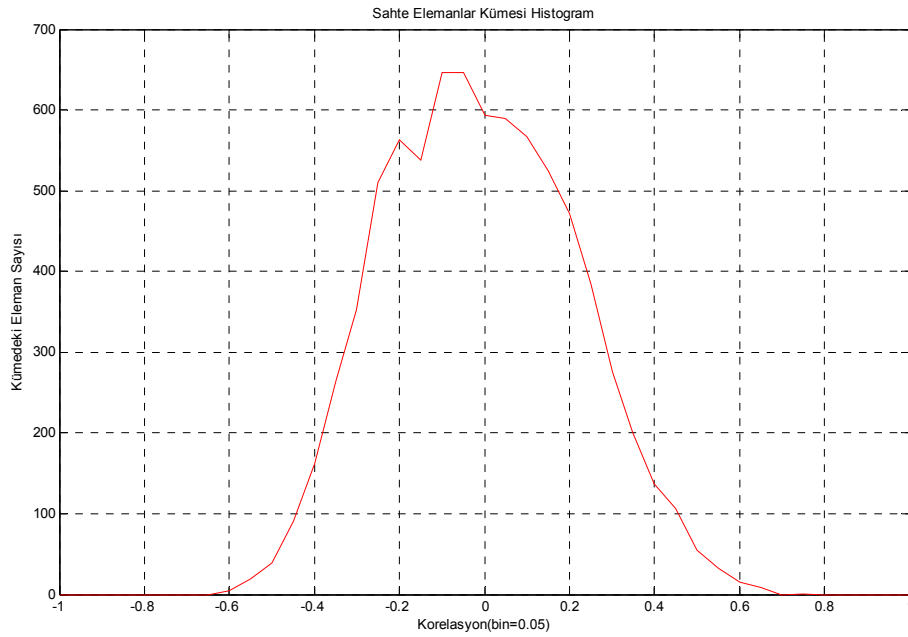
Şekil III.14 Gerçek birey yüzleri arasında korelasyon dağılımı.

Şekil III.15'de korelasyona göre sonuçları bulunan gerçek birey yüzlerinin ölçümlerin normalize edilmiş grafiği verilmiştir.



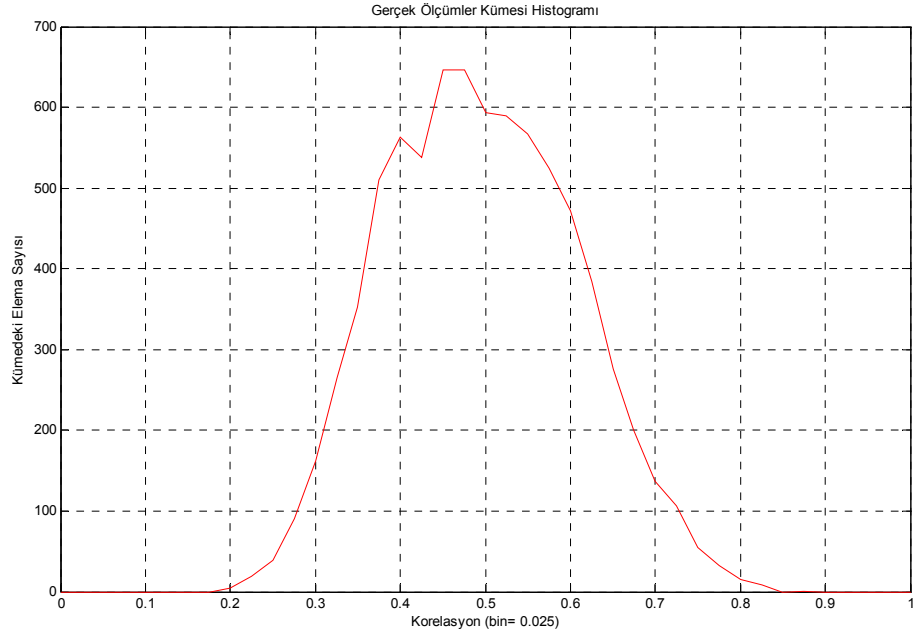
Şekil III.15 Gerçek birey yüzleri arasından korelasyonun normalize edilmiş dağılımı.

Şekil III.16’da, yapılan ölçümler sonucu sahte elemanlı küme için, 7800 ölçüm sonucunun hesaplanan korelasyona göre dağılımını gösteren histogram verilmiştir. Sahte elemanlı küme, bir kişiye ait 10 farklı görüntüden elde edilen ağırlık katsayıları matrisinin, diğer bir kişiye ait 10 farklı görüntüden elde edilen ağırlık katsayılarından oluşan matris ile olan korelasyon ilişkileri gözlemlenmiştir. Bir kişiye ait 10 farklı görüntüyle, diğer bir kişiye ait 10 farklı görüntünün arasındaki korelasyon katsayıları teker teker hesaplanır. Yani; birinci kişiye ait birinci görüntü ile ikinci kişiye ait birinci görüntü, birinci kişiye ait birinci görüntü ile ikinci kişiye ait ikinci görüntü gibi, aralarındaki korelasyon katsayılarının hesaplanması sonucu elde edilmektedir. Bu işlem, 40 kişi için tekrarlandığında toplam 7800 değer bulunmaktadır. Grafiğin x eksenini korelasyon katsayılarını, y eksenini ise bu katsayıların kaç tane bulunduğunu gösteriyor. Bu grafiğe göre korelasyon katsayılarının -0.5 ile 0.5 aralığında yoğunlaştığı görülmektedir.



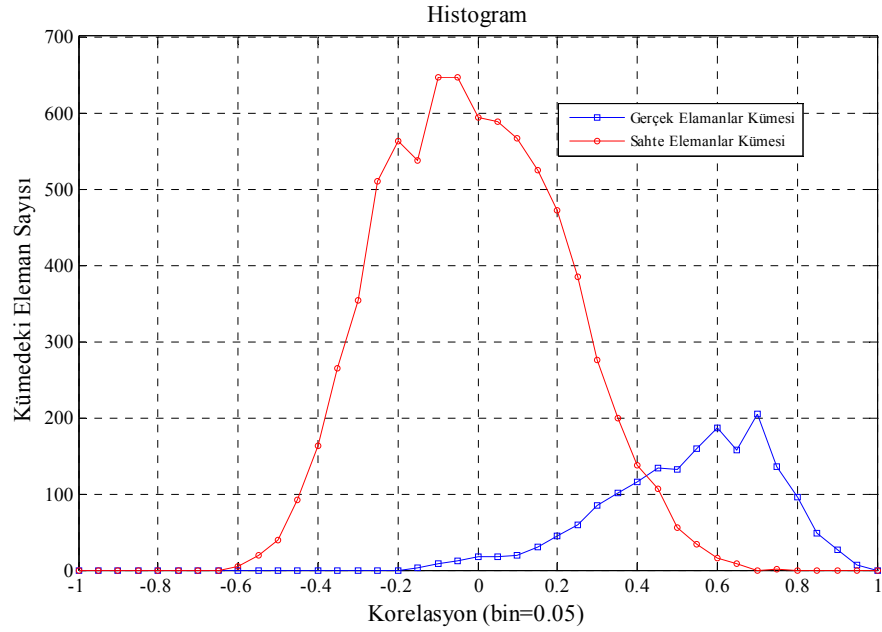
**Şekil III.16** Sahte birey yüzleri arasında korelasyon dağılımı.

Şekil III.17’de, korelasyona göre sonuçları bulunan sahte elemanlı ölçümlerin normalize edilmiş grafiği verilmiştir. Korelasyon katsayılarından oluşan matrisin mutlak değeri alındığında katsayılar normalize edilmiş oluyor. Buna göre grafik incelendiğinde oluşan sonucun 0 ile 0.5 arasında olduğu görülüyor. Bu da korelasyon ilişkisinin zayıf olduğunu açıklıyor. Bu, hesaplanan matrislerin birbirinden farklı olmasından kaynaklanıyor.



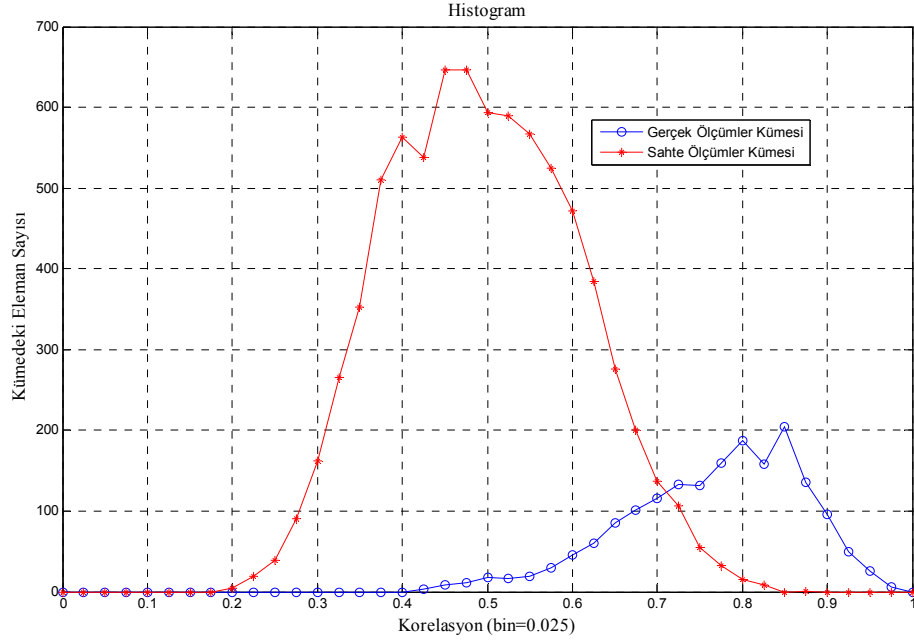
Şekil III.17 Sahte birey yüzleri arasındaki korelasyonun normalize edilmiş dağılımı.

ROC analizine esas olmak üzere, yukarıdaki şekillerde verilen dağılımlar, Şekil III.18’de birlikte değerlendirilerek gerçek eşik değerlere göre gösterilmiştir.



Şekil III.18 Gerçek ve sahte birey yüzleri arasında korelasyonların dağılımları.

Şekil III.19’da korelasyona göre normalize edilen gerçek ve sahte birey yüzleri ölçümleri gösterilmektedir.



Şekil III.19 Gerçek ve sahte birey yüzleri arasında korelasyon'larının normalize edilmiş dağılımları.

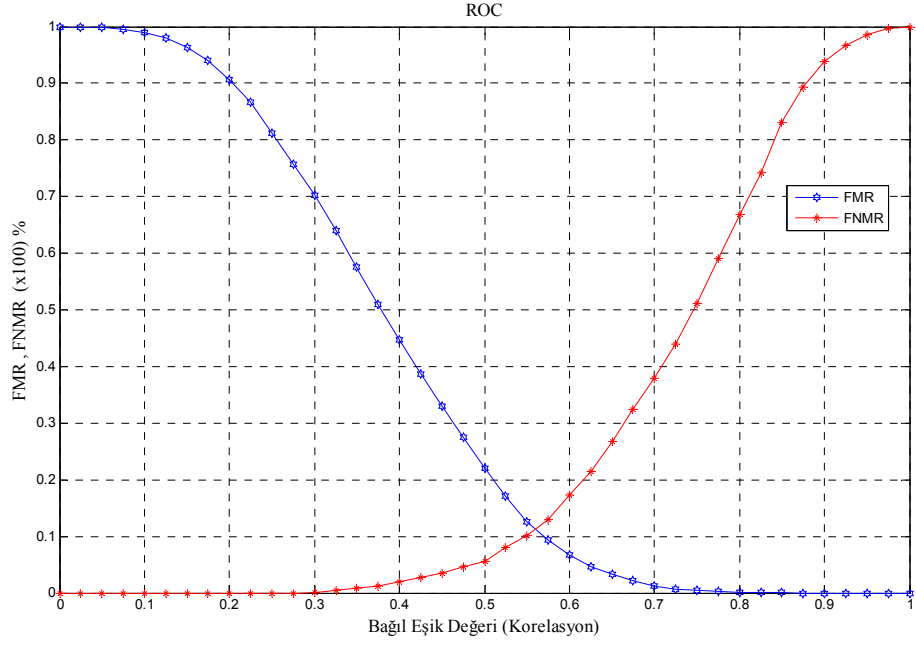
Buna göre, gerçek ölçümler kümesi için ölçülen korelasyon katsayıları yaklaşık olarak  $[-0.1449 ; 0.9648]$  arasında değişmektedir.

Sahte ölçümler kümesi için ölçülen korelasyon katsayıları yaklaşık olarak  $[-0.6195 ; 0.7352]$  arasında değişmektedir. Korelasyon için gerçek eşik değerlerin yukarıda verilen sınırlar arasındaki dağılımı 10 basamak halinde Tablo III.1'de gösterilmiştir. Aynı tabloda, korelasyon için ölçülen bu eşik değerlere karşılık gelen bağıl eşik değerler de gösterilmiştir.

Tablo III.2 Analiz sonuçları

| Ölçü       | Bağıl Eşik Değeri | 0.05                         | 0.15    | 0.25    | 0.35    | 0.45    | 0.55   | 0.65   | 0.75    | 0.85     | 0.95    |        |                    |      |
|------------|-------------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|----------|---------|--------|--------------------|------|
| Korelasyon | Küme              | Gerçek Eşik Değer            | -0,5403 | -0,3819 | -0,2234 | -0,0650 | 0,0934 | 0,2519 | 0,4103  | 0,5687   | 0,7271  | 0,8856 | Toplam Karş.Sayısı |      |
|            | Gerçek (Genuine)  | Yanlış Eşleme Oranı (FMR)    | 0.9982  | 0.9627  | 0.8123  | 0.5764  | 0.3291 | 0.1264 | 0.03397 | 0.003846 | 0.00013 | 0      |                    | 1800 |
|            | Sahte (Imposter)  | Yanlış Eşlememe Oranı (FNMR) | 0       | 0       | 0       | 0.0083  | 0.035  | 0.102  | 0.2683  | 0.5122   | 0.83    | 0.9867 |                    | 7800 |

Tablo III.2'de verilen eşik değerlere ve toplam ölçüm sayılarına itibar edilerek FMR ve FNMR hatalarının değişimi hesaplanarak aynı tabloda gösterilmiştir. Bu hataların değişimi ayrıca Şekil III.20'deki hata eğrileri ile de gösterilmiştir. Şekil III.20, korelasyon katsayılarının 0-1 aralığındaki bağıl değerine göre bu hataların nasıl değiştiğini göstermektedir.



Şekil III.20 Korelasyon hesaplamasını esas alan ROC eğrisi.

Buna göre hatalı eşleme için kabul edilebilecek en yüksek bağlı eşik değeri Euclid uzaklığı için 0.55, korelasyon için ise 0.56'dır. Bu bağlı eşik değerlerine karşılık gelen eşit hata değeri (FMR=FNMR) ise Euclid uzaklığı için yaklaşık %15, korelasyon için yaklaşık %11'tir.

## BÖLÜM IV

### ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez çalışmasında, ORL\_FACES veritabanının 400 adet yüz görüntüsü, öznitelik çıkarma sürecinden geçirilerek analiz edilmiştir. Bu veritabanlarında farklı yüz görüntüsü ile temsil eden her bir veri, yüz görüntülerinin 400 boyutlu bir öznitelikler uzayına dönüştürülmüş bir vektör ile temsil edilmektedir. Yüz uzayının (face space) özvektörlerinin, yani özyüzlerin elde edilmesiyle karşılaştırmaya esas veritabanı oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu veritabanında, her bir yüz görüntüsü özyüzlerin toplamı şeklinde oluşturulma sürecinde kullanılacak bir katsayılar vektörü ile temsil edilmektedir.

Daha sonra, öznitelik vektörü üretilen herhangi bir yüzün bu veritabanındaki öznitelik vektörleri ile karşılaştırılıp tanıma için, iki öznitelik vektörünü temsil eden ağırlık katsayıları arasındaki Euclid uzaklığının ve korelasyonun hesaplanmasını esas alan iki farklı geleneksel yaklaşımın performanslarını değerlendirmek üzere analizler yapılmıştır. Bu kapsamda veritabanı üzerinde, Euclid uzaklığı hesaplamasını esas olarak yapılan analiz çalışmalarının sonuçları, Şekil III.11, Şekil III.12, Şekil III.13 ve Tablo III.1’de derlenerek verilmiştir. Bunun gibi, korelasyon hesaplamasına esas olarak yapılan analizlerin sonuçları da Şekil III.18, Şekil III.19, Şekil III.20 ve Tablo III.2’de derlenerek verilmiştir.

Şekil III.11 ve Şekil III.12’deki histogramlar, veritabanı üzerinde 1800 adet gerçek ve 7800 adet sahte birey yüzlerinin karşılaştırılması sonucunda hesaplanan Euclid uzaklıklarının sırasıyla 250 ve 0.025 birimlik (bin) artımlarla belirlenen dağılımını göstermektedir. Şekil III.18 ve Şekil III.19’daki histogramlar ise, aynı veritabanı için gerçek ve sahte ölçümler kümelerine giren sırasıyla, 1800 ve 7800 adet ölçümün korelasyon hesaplamasına göre oluşan dağılımını göstermektedir.

Buna göre, gerçek ölçümler kümesini oluşturan Euclid uzaklıkları yaklaşık olarak [1255 ; 6138] değerleri arasında; korelasyonlar ise,  $[-0.1449 ; 0.9648]$  değerleri arasında değişmektedir. Sahte ölçümler kümesini oluşturan Euclid uzaklıkları yaklaşık olarak [2685 ; 8957] değerleri arasında;



korelasyonlar ise,  $[-0.6195 ; 0.7352]$  değerleri arasında değişmektedir. Euclid uzaklığı ve korelasyon için ölçülen eşik değerlerin yukarıda verilen sınırlar arasındaki dağılımı, Tablo III.I ve Tablo III.II'de 10 basamak halinde gösterilmiştir. Aynı tablolarda, Euclid uzaklığı ve korelasyon için ölçülen bu eşik değerlere karşılık gelen bağıl eşik değerleri de gösterilmiştir.

Tablo III.I ve Tablo III.II'de verilen eşik değerlere ve toplam ölçüm sayılarına itibar edilerek FMR ve FNMR hatalarının değişimi hesaplanmış ve aynı tabloda gösterilmiştir. Bu hataların değişimi ayrıca Şekil III.13 ve Şekil III.20'deki ROC grafikleri ile de gösterilmiştir. Şekil III.7 ve Şekil III.9, gerçek ve sahte birey yüzleri arasındaki Euclid uzaklıklarının  $[0 ; 10000]$  aralığında ölçülen değerlerine göre dağılımlarını gösteren histogramlar verilmiştir. Bunların  $[0 ; 1]$  aralığındaki normalize edilmiş değişimleri de Şekil III.8 ve Şekil III.10'da verilmiştir. Benzer şekilde korelasyonun gerçek ve sahte bireyler arasındaki karşılaştırmalara göre  $[-1 ; 1]$  aralığında belirlenen değişimleri Şekil III.14 ve Şekil III.16'da; bunların  $[0 ; 1]$  aralığındaki normalize edilmiş değerlere göre dağılımları ise, Şekil III.15 ve Şekil III.17'de verilmiştir. FMR ve FNMR hesaplamaları, bu dağılımların normalize edilmiş şekilleri kullanılarak ve Euclid uzaklığı ve korelasyonun  $[0 ; 1]$  aralığındaki bağıl değeri 0.025 birimlik adımlarla arttırılarak yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre belirlenen FMR ve FNMR değişimleri Şekil III.13 ve Şekil III.20'deki ROC grafiklerinde işaretlenmiştir.

Buna göre hatalı eşleme için kabul edilebilecek en yüksek bağıl eşik değeri Euclid uzaklığı için 0.55, korelasyon için ise 0.56'dır. Bu bağıl eşik değerlere karşılık gelen eşit hata değeri (FMR=FNMR) ise Euclid uzaklığı için yaklaşık %15, korelasyon için yaklaşık %11'dir. Tamamen hatasız bir eşleme için, eşik değer, Euclid uzaklığına itibar edildiğinde 1255'den küçük; korelasyon katsayısına itibar edildiğinde ise, 0.9648'den büyük seçilmelidir.

## BÖLÜM V

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, veritabanından alınan 400 adet yüz ile oluşturulan veri seti üzerinde yüz tanıma amaçlı analiz çalışmaları yapılmıştır. Buna göre, özyüzler yöntemine göre belirlenmiş veri seti üzerinde Euclid uzaklığının ölçümünü esas alan bir yüz tanıma süreci için, bağıl eşik değerinin 0.55'den küçük alınması halinde eşleme için varılan son kararın güvenilirliği en fazla %15 hata içerir. Bu amaçla kullanılan gerçek eşik değeri 4000 civarındadır. Bu değer ne kadar sıfıra yakınsa eşlemedeki güvenilirlik oranı o ölçüde %100 oranına ulaşmaktadır.

Korelasyon ölçümüne dayanan eşleme süreci için, yukarıda anılan bağıl eşik değeri 0.56 civarlarındadır. Buna göre, birinci veri seti üzerinde korelasyon değerini esas alan bir yüz tanıma süreci için, bağıl eşik değerinin 0.56'dan büyük alınması halinde eşleme için varılan son kararın güvenilirliği en fazla %11 hata içerir. Bu amaçla kullanılan gerçek eşik değeri 0.41 civarındadır. Bu değer ne kadar 1'e yakınsa eşlemedeki güvenilirlik oranı o ölçüde %100 oranına ulaşmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmayla elde edilen tecrübeler benzer çalışmaları tasarlamak ve gerçekleştirmek için önemli bir referans olmuştur. Bu kapsamda biyometrik sistemleri tasarlamakta yeni yöntemler geliştirilebilir ve yeni analiz çalışmaları ile tanıma performansları arttırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Jain, A.K.; Ross, A.; Prabhakar, S.: “An Introduction to Biometric Recognition”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology (Special Issue on Image- and Video-Based Biometrics)* , Vol. 14, No. 1, January (2004)
- [2] Kong, J.; Lu, Y.; Wang, S.; Qi, M.;Li, H.: “A two stage neural network-based personal identification system using handprint”, *ScienceDirect, Neurocomputing* 71, (2008), 641–647.
- [3] Gonzalez, R.; Woods, R. E.:“Digital Image Processing”, 2 nd Edition, (2003).
- [4] Jain, A.K.; Prabhakar, S.; Hong, L.; Pankanti, S.: “Filterbank-Based Fingerprint Matching”, *IEEE Transactions On Image Processing*, Vol. 9, No. 5, (2000).
- [5] L. Sirovich, M. Kirby, Low-dimensional Procedure for the Characterization of Human Faces, *Journal of the Optical Society of America A - Optics, Image Science and Vision*, Vol. 4, No. 3, pp. 519-524, March (1987)
- [6] Fidelica Microsystems, “Fingerprint Authentication Technical White Paper” .
- [7] Avcı, E. ve Akpolat, Z. H., “Speech Recognition Using A Wavelet Packet Adaptive Network Based Fuzzy Inference System,” *Expert Systems with Applications*, 31(3), 495-503, (2006).
- [8] Türkoğlu, İ.: “[http://perweb.firat.edu.tr/personel/yayinlar/fua\\_69/69\\_22586.pdf](http://perweb.firat.edu.tr/personel/yayinlar/fua_69/69_22586.pdf)”, Yrd.Doç.Dr. İbrahim TÜRKOĞLU Örüntü Tanıma Sistemleri Ders Notları, Erişim Tarihi:(10.01.2010).
- [9] <http://www.ahmetkakici.com/genel/biyometrik-tanima-sistemleri> (10.09.2009)
- [10] Şamlı, R.; Yüksel, M. E.:”Biyometrik Güvenlik Sistemleri” *Akademik Bilişim '09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, Şanlıurfa, Türkiye, 11-13 Şubat (2009).
- [11] Otomatik Parmakizi Tanıma Sistemlerinde Kullanılan Önişlemler İçin Yeni Yaklaşımlar, Şeref Sağıroğlu ve Necla Özkaya, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No 1, 11- 19, 2006.*

- [12] E-Dönüşüm Türkiye Projesi 2005 Eylem Planı 6. Eylem Maddesi, “Akıllı Kartların Kamuda Kullanımı“ Konusunda Ön Çalışma Raporu, TÜBİTAK-UEKAE, Ocak / 2006.
- [13] Castelman, R. K.; “Digital Image Processing” Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, **(1996)**
- [14] Baxes, G.A.; “Digital image processing, principles and applications.”, John Wiley & Sons, Inc., USA, **(1994)**.
- [15] Yaman, K., “Görüntü İşleme Yönteminin Ankara Hızlı Raylı Ulaşım Sistemi Güzergahında Sefer Aralıklarının Optimizasyonuna Yönelik Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, **(2000)**.
- [16] Yaman, K., Sarucan A., Atak, M., Aktürk, N.; “Dinamik Çizelgeleme İçin Görüntü İşleme ve Arıma Modelleri Yardımıyla Veri Hazırlama”, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 16, No. 1, 19-40 **(2001)**.
- [17] Akan, H.:” Sayısal Görüntü İşlemeye Dayalı Proses Kontrolü İçin Bir Emülasyon Sisteminin Tasarımı” *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2007).
- [18] Alçın, M.;“Görüntü İşleme Esaslı Parmakizi Doğrulama”, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, **(2009)**.
- [19] Goldstein, Harmon & Lesk “Identification og human faces”, Proceedings IEEE,59,748,(1971)
- [20] Smith, S.W.: “The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing”, 2 nd Edition, California Technical Publishing, San Diego, California, **(1999)**.
- [21] Chikkerur, S. S.: “Online Fingerprint Verification System”, Master of Science, State University of New York, **(2005)**.
- [22] Görgünoğlu, S.; Çavuşoğlu, A.: “Parmakizi Tanıma Sistemlerinde Kullanılan Özellik Çıkartma Algoritmalarının Performans Analizi”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs, **(2009)**.
- [23] Atalay, İ.; ”Face Recognition Using Eigenfaces”, M.Sc.THESIS, İstanbul Technical University Institute Of Science And Technology,**(1996)**

- [24] Güneş, T.; Polat, E.: “Yüz İfade Analizinde Öznitelik Seçimi ve Çoklu Svm Sınıflandırıcılarına Etkisi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 24, No 1, 7-14, 2009.
- [25] Chibelushi, C. C.; Bourel, F.; “Facial Expression Recognition: A Brief Tutorial Overview”, School of Computing, Staffordshire University,(2002).
- [26] Pantic, M. ve Rothkrantz, L.J.M., “Automatic Analysis of Facial Expressions: The State of Art”, IEEE Trans. on PAMI, Cilt 22, No 12, 1424-1445, 2000.
- [27] [http://www.vizyotek.com/urunler/Yuz\\_Tanima\\_faceattend.htm](http://www.vizyotek.com/urunler/Yuz_Tanima_faceattend.htm) Erişim Tarihi: (15.01.2010)
- [28] R. Chellappa, C.L. Wilson, and S. Sirohey, “Human and machine recognition of faces: a survey,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 83, pp. 705-740, May 1995.
- [29] Çevikalp, H.; Neamtu, M.; Wilkes, M.; Barkana, A; “Kişi Yüzlerinin Ayırtedilmesi İçin Yeni Bir Yöntem”
- [30] Turk, M., Pentland, A.; “Eigenfaces for Recognition”, *J. Cognitive Neuroscience*, 3(1), pp. 71-86, (1991).
- [31] Kaymak, S.; “Enhanced Principal Component Analysis Recognition Performance”, Master of Science, Eastern Mediterranean University, Gazimağusa,(2004).
- [32] ÇeviMaltoni, D.; Maio, D.; Jain A. K.; Prabhakar S.; *Handbook of Fingerprint Recognition*, ISBN:0-387- 95431-7, Springer, U.S.A. 2003
- [33] Saatci, E.; Tavsanoglu, V., Fingerprint Image Enhancement Using CNN Gabor-type filters, 7th IEEE International Workshop on Cellular Neural Networks and Their Applications, CNNA-2002, 377-382, 2002.
- [34] Rusyn, B.; Prudyus, I.; Ostap, V. Fingerprint Image Enhancement Algorithm, Proceedings of the 6th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM-2001,193-194, 2001.
- [35] Brunelli,R., Poggio, T.; “Face Recognition Through Geometrical Features”
- [36] Brunelli,R., Poggio, T.; “Face Recognition Features versus templates”, *IEEE Transaction on Pattern Analysis and and Machine Intelligence*, 15, 1042-1052, 1993
- [37] Bledsoe, W.W.; ”Man-machine facial recognition”, Panoramic Research Inc.,Palo Alto,CA,Rep.PRI:15(1966)

- [38] Carey, S., & Diamond, R. (1977). From piecemeal to configurational representation of faces. *Science*, 195, 312-313.
- [39] Fischler, M., Elschlager, R.; "The representation and matching of pictorial structures". *IEEE Transactions on Computers*, C-22:67--92. (1973).
- [40] Yullie, Cohen and Hallinan, "Feature extraction from faces using deformable templates",. Proceedings of CVPR, pp. 101-109, 1989
- [41] [http://books.google.com.tr/books?id=ukvei0wge\\_8C&pg=PA242&lpg=PA242&dq=stonham+1986+WISARD&source=bl&ots=dtKNkSoi3S&sig=cAdys1ekIMqTXIQBP7yzETOralg&hl=tr&ei=RjNWS4GYOYiy4QaLrpGWCQ&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=1&ved=0CAkQ6AEwAA#v=onepage&q=stonham%201986%20WISARD&f=false](http://books.google.com.tr/books?id=ukvei0wge_8C&pg=PA242&lpg=PA242&dq=stonham+1986+WISARD&source=bl&ots=dtKNkSoi3S&sig=cAdys1ekIMqTXIQBP7yzETOralg&hl=tr&ei=RjNWS4GYOYiy4QaLrpGWCQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CAkQ6AEwAA#v=onepage&q=stonham%201986%20WISARD&f=false) Erişim Tarihi: (10.11.2009)
- [42] Kanade, T.; "Picture processing by computer complex and recognition of human faces", Department of information Science, Kyoto University. 1973
- [43] Brunelli, R., Poggio, T.; "Face Recognition Features vs. Templates", IEEE Transaction. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 15, No 10. pp. 1042-1053, (1973)
- [44] Gonzales, R.C., Woods, R.E.; "*Digital image processing*", Prentice-Hall, New Jersey, USA. 2002.
- [45] Samaria, F. S., Harter, A. C.; "Parameterization of a Stochastic Model for Human Face Identification", *Proceedings of the 2nd IEEE workshop on Applications of Computer Vision*, Sarasota, Florida, 1994.
- [46] Sirovich, L., Kirby, M.; "Low Dimensional Procedure for Characterization of Human Faces", *J. Opt. Cos. Amer.*, Vol 4, pp. 519-524.( 1987).
- [47] Pentland, A.,P., Moghaddam, B., Starner, T., Turk, M.; "View based and modular eigenspaces for face recognition", Proc of IEEE Computer Society Conf on Computer Vision and Pattern Recognition, pp 84-91,( 1994).
- [48] O'Toole, A. J., Deffenbacher, K. A., Valentin, D.; "A low dimensional representation of faces in the higher dimensions of space", *J Opt Soc Amer A* 10, pp 405-411, (1994).
- [49] Jacobs, C., Finkelstein, A., Salesin, D.; "Fast Multiresolution Image Querying." Proceedings of SIGGRAPH 95, in Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp. 277-286, Los Angeles, CA,( 1995).

- [50] Cottrell, G., W., Munro, P.; “Principal component analysis of images via backpropagation”, Proc Soc Photo-Optimal Instrum Engng, 1070-1076, **(1998)**.
- [51] Nakamura, O., Mathur, S., Minami, T.; “Identificaiton of human faces based on isodensity maps”, Pattern recognition 24, pp. 263-272, **(1991)**.
- [52] Kaya, Y., Kobayashi, K.; “A basic study on human face recognition”, In S Watanabe (ED), Frontiers of pattern recognition, New York Academic Pres, **(1992)**.

## ÖZGEÇMİŞ

Levent MORGÜL 15.08.1979'da Rize'nin Çayeli ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğretimini İstanbul'da tamamladı. 1998 yılında İstanbul Denizcilik Su Ürünleri ve Meslek Lisesi Elektronik bölümünden mezun oldu. 2004 yılında Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Elektronik-Haberleşme Öğretmenliği'ni bitirdi. Mezun olduktan sonra Muş ilinde, Cumhuriyet İlköğretim Okulunda Bilgisayar Öğretmeni olarak göreve başladı. 2006 yılında İstanbul'a Çavuşbaşı Çok Programlı Lisesi'ne tayin isteyerek geldi. Halen bu okulda Bilişim Teknolojileri Alan şefi olarak görev yapmaktadır.