

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİJİTAL FOTOGRAMETRİ TEKNİKLERİ İLE
KİŞİ TANIMA

ABDULLAH VARLIK

DOKTORA TEZİ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ

ANABİLİM DALI

KONYA, 2008

T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİJİTAL FOTOGRAMETRİ TEKNİKLERİ İLE
KİŞİ TANIMA**

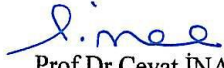
ABDULLAH VARLIK

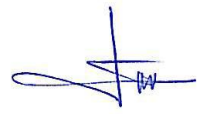
DOKTORA TEZİ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ
ANABİLİM DALI


Bu tez 13.11.2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy çokluğu/birliği ile kabul edilmiştir.


Y.Doç.Dr. Özgen ÇORUMLUOĞLU
(Danışman)


Prof.Dr. Cevat İNAL
(Üye)


Prof.Dr. Ahmet ASLAN
(Üye)


Doç.Dr. Mustafa TÜRKER
(Üye)


Y.Doç.Dr. İbrahim KALAYCI
(Üye)

ÖZET

Doktora Tezi

DİJİTAL FOTOGRAMETRİ TEKNİKLERİ İLE KİŞİ TANIMA

Abdullah VARLIK

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı

Danışman:

Yrd.Doç.Dr. Özşen ÇORUMLUOĞLU

2008 140 Sayfa

Jüri:

Prof.Dr. Cevat İNAL

Prof.Dr. Ahmet ARSLAN

Doç.Dr. Mustafa TÜRKER

Yrd.Doç.Dr. İbrahim KALAYCI

Teknolojinin gelişmesiyle beraber güvenlik vazgeçilmez unsurlar arasında yer almaya başlamıştır. Her türlü sistemin güvenliğini artırıcı değişik yöntemler kullanılmakta ve alternatif çözümler araştırılmaktadır.

Kişinin fiziksel özelliklerinin kimlik tespitinde kullanılması esasına dayanan biyometri teknolojileri, son yıllarda oldukça sık karşılaşılan güvenlik yaklaşımlarındandır.

Bu çalışmada, en doğal ve kullanıcı açısından kabul edilebilir biyometrik özelliklerin tümleştirilmesine dayalı bir çoğul biyometrik kimlik doğrulama sistemi önerilmiştir. Çalışmada kişiye ait parmak izi ve yüz bilgilerinden yararlanılmıştır.

Mevcut parmak izi tanıma sistemleri, parmak izi görüntülerinden çıkartılan hat sonu ve çatal noktaları kullanır. Bu özellikleri kullanan ve öznitelik tabanlı olarak adlandırılan otomatik parmak izi tanıma sistemlerinde, parmak izlerinin karşılaştırılabilmesi için, giriş ve veritabanında kayıtlı nokta kümeleri arasında döndürme, ölçekleme ve öteleme gibi dönüşümler hesaplanır, dönüşüm sonucu benzeşen özellik nokta sayısına bağlı olarak eşlemeye karar verilir.

Çalışmada Fotogrametride sıkça kullanılan iki boyutlu doğrusal bir dönüşüm olan Affin dönüşümü kullanılarak, özellik noktalarının eşlemesi yapılmıştır. Affin dönüşümü kullanılarak, referans noktadan bağımsız, özellik noktalarının açılarının hesaplanmasına ve ölçeklemeye ihtiyaç duymayan bir eşleme metodu gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmayla, parmak izi eşlemede kullanılan nokta tabanlı eşleme tekniklerinde hatalara sebep olan durum ve işlemler geliştirilen algoritmanın kullanılmasıyla ortadan kaldırılmıştır. Affin dönüşümüyle verilerin karşılaştırılmasının daha hızlı ve kolay yapılabildiği, veritabanına kaydedilen verilerde azalma sağladığı görülmüş ve eşleme işleminde tam başarı sağlanmıştır.

Yüz tanıma için geometrik nokta tabanlı eşleme yöntemi kullanılarak karşılıklı ilişki yöntemiyle eşleme yapılmıştır. Yüz tanıma işlemi, parmak izi ile kişinin tanınmasından sonra kişiyi doğrulama için kullanılmıştır.

Sistem FVC2000 parmak izi veri tabanı ile Frontal Face Yüz veri tabanı verileri kullanılarak test edilmiştir. Test sonucu, parmak izi tanıma için FRR (Yanlış Kabul Oranı) %1'in altında kalırken, FRR (Yanlış Red Oranı) % 4 olmuş, yüz tanıma için FRR (Yanlış Kabul Oranı) % 5, FRR (Yanlış Red Oranı) % 7 olmuştur. Uygulama sonucu parmak izi için geliştirilen eşleme algoritması eşleme işleminde tam başarı sağlamıştır. Yüz tanımada ise sistemin yüz bulma, yüze ait özellik noktalarının çıkartılması işlemlerindeki olumsuz etkiler nedeniyle başarı oranı düşük çıkmıştır. Parmak izi ve yüz eşlemenin birlikte değerlendirildiği test sonucunda, sistemin FRR(yanlış red oranı) 0,1, FAR(yanlış kabul oranı) 0 olmuştur.

Parmak izi ve yüz eşlemenin birlikte değerlendirildiği bir sistemde sistemin hatalı eşleme yapma olasılığının yok denecek kadar az olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Dijital Fotogrametri, Kişi tanıma, biyometri, parmak izi tanıma, yüz tanıma, nokta eşleme, Affin Dönüşümü

ABSTRACT

Ph D Thesis

PERSONAL IDENTIFICATION WITH DIGITAL PHOTOGRAMMETRICAL TECHNIQUES

Abdullah VARLIK

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geodesy and Photogrammetry Engineering

Supervisor:

Yrd.Doç.Dr. Özşen ÇORUMLUOĞLU

2008 140 Page

Jury:

Prof.Dr. Cevat İNAL

Prof.Dr. Ahmet ARSLAN

Doç.Dr. Mustafa TÜRKER

Yrd.Doç.Dr. İbrahim KALAYCI

Accompanying improvement of the technology, security started to take place amongst the indispensable factors. Different methods which increase the security of every kind of systems has been using and alternate solutions have been searching.

The biometry technologies, which hold on usage of principal in individual's identification of physical features, are the approaches that have quite often met recently.

In this study, it has been offered a plural biometric identification confirmation system that has held on materiality of biometric features acceptable and the most natural according to user. In the study, it has been imposed from the fingerprint and face knowledge belonged the individual.

Existing fingerprint recognizance systems use the ridge ending points and the bifurcation points from extraction of fingerprint images. In the automatic fingerprint recognizance systems called as with attribute basement and used such features, in order to be checked against the fingerprint, it is computed transformations such as transition and scaling and turning amongst the recorded pinpoint piles in entrance and database, and it is decided the pairing according as the number of special feature which resembled each other aftermath transformation.

In the study, by using the Affine transformation which was two dimensions linear and was often used in the Photogrammetry, it had been realized the coupling of the specialty points. By using the Affine transformation, it had been realized a coupling method, which did not need scaling, and being computed of the angles of the specialty points. With the Affine transformation, it had been seen that the comparing of the data could be done faster and easier and provided reduction in the datum, which were recorded to the database and it, had provided a full success in the pairing process.

By using the geometric point based method to recognize face, it had been done pairing process with the cross correlation method. The process of recognize face used for confirming the individual after the fingerprint and individual had been recognized.

The system had been tested by using the FVC2000 fingerprint database and Frontal Face database. After testing, while FRR (False Reject Rate) for the fingerprint reorganization was less than 1 percent, FRR (False Reject Rate) had become 4 percent and while FRR (False Reject Rate) for the face reorganization was 5 percent, FRR (False Refusal Rate) had become 7 percent. After practicing, the pairing algorithm, which was improved for the fingerprint, had provided a full success in the pairing process. Nevertheless, due to negative efficiency in removing processes of specialty points, the rate of success was low. After testing which was evaluated the fingerprint and face pairing together, FRR (False Reject Rate) of system had become 0,1 and FAR (False Acceptance Rate) of system had become 0.

In a system which was evaluated the fingerprint and the face pairing together, it had been found that the system had hardly ever made mistake pairing.

Key Words: Digital Photogrammetry, Personal Identification, Biometry, fingerprint recognition, face recognition, point matching, Affine transformation.

TEŐEKKÜR

Çalıőmalarım süresince değerli katkılarını esirgemeyen başta danışman hocam, Sayın Yrd.Doç.Dr. Özşen ÇORUMLUOğLU olmak üzere, Sayın Prof.Dr. Cevat İNAL' a, Sayın Prof.Dr. Ahmet ARSLAN'a, Yrd.Doç.Dr. İbrahim KALAYCI 'ya teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalıőmalarım süresince bana destek olan aileme teőekkür ederim.

Konya,2008

Abdullah VARLIK

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER	xi
TABLolar	xv

	Sayfa No
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı	1
1.2. Amaç.....	3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	9
3.1. Giriş.....	9
3.2. Materyal.....	9
3.3. Yöntem.....	10
3.3.1. Biyometri.....	10
3.3.1.1. Biyometri Çeşitleri.....	13
3.3.1.1.1 Parmak İzi Tanıma.....	13
3.3.1.1.2 El Geometrisi Tanıma.....	14
3.3.1.1.3 Yüz Tanıma.....	14
3.3.1.1.4 İris / Retina Analizi.....	15
3.3.1.1.5 Ses Tanıma.....	15
3.3.1.1.6 İmza Tanıma.....	16

3.3.2. Biyometrik Standartlar.....	17
3.3.2.1. Performans Ölçütleri.....	19
3.3.2.1.1. Yanlış kabul oranı ve yanlış red oranı.....	19
3.3.3. Parmak İzi Ve Yüz Tanıma.....	21
3.3.3.1. Parmak İzi.....	21
3.3.3.2. Yüz Tanıma.....	29
3.3.3.2.1. Öz yüz yöntemi.....	30
3.3.3.2.2. Otomatik Yüz İşleme.....	32
3.3.4. Görüntü İşleme.....	35
3.3.4.1. Sayısal Resmin Matematiksel İfadesi.....	35
3.3.4.2. Renk Modelleri.....	36
3.3.4.2.1. RGB Renk Modeli.....	37
3.3.4.2.2. CIE Lab Renk Uzayı.....	38
3.3.4.2.3. HSI ya da HSV Renk Uzayları.....	38
3.3.4.2.4. CMY ve CMYK.....	39
3.3.4.2.5. YCbCr Renk Uzayı.....	39
3.3.4.2.6. YIQ ya da YUV Renk Uzayları.....	40
3.3.4.2.7. TSL Renk Uzayı.....	40
3.3.4.3. Görüntü İşlemenin Temel Basamakları.....	41
3.3.4.3.1. Histogramın Çıkarılması.....	43
3.3.4.3.1.1. Gri Seviye Resimde Histogram.....	43
3.3.4.3.1.2. Renkli Resimde Histogram.....	44
3.3.4.3.1.3. Histogram Yumuşatma (Histogram Smoothing)	45
3.3.4.3.1.4. Histogram Eşitleme.....	45

3.3.4.3.2. Görüntü Eşikleme (Image Thresholding)	46
3.3.4.3.2.1. Global Eşikleme.....	46
3.3.4.3.2.2. Değişken Eşikleme.....	47
3.3.4.3.3. Morfolojik İşlemler.....	47
3.3.4.3.3.1. Yayma (Dilation)	48
3.3.4.3.3.2. Aşındırma (Erosion)	49
3.3.4.3.3.3. Açma (Opening) İşlemi.....	50
3.3.4.3.3.3.Kapama (Closing) İşlemi.....	51
3.3.4.3.4. Görüntü Filtreleme	51
3.3.4.3.5. Canny Kenar Tespiti Algoritması.....	53
3.3.4.3.6. Normalleştirme.....	55
3.3.4.3.7. Yatay ve Düşey İz düşüm.....	55
3.3.4.3.7.1. Yatay İz düşüm.....	56
3.3.4.3.7.1.1. İkili Resimde Yatay İz Düşüm.....	56
3.3.4.3.7.1.2. Gri Seviye Resimde Yatay İz düşüm.....	57
3.3.4.3.7.1.3. Renkli Resimde Yatay İz Düşüm.....	57
3.3.4.3.7.2. Düşey İz Düşüm.....	58
3.3.4.3.8. Pikseller Arasındaki Bazı Temel İlişkiler.....	58
3.3.4.3.8.1.Piksel Komşuluğu.....	58
3.3.4.3.9 İnceltme.....	59

4. PARMAK İZİ EŞLEMEDE KULLANILAN YÖNTEM VE ARAÇLAR....61

4.1. Ön İşlemler.....	62
4.1.1. Kontrast Genişletme.....	63
4.2. Gürültü Azaltımı İçin Filtreleme.....	64

4.3. Parmak izi Görüntüsünün Yönel Histogram İle İyileştirilmesi.....	65
4.4. İz İnceltme (ridge thinning)	69
4.5. Özellik Noktası Çıkartma (Minutiae Extraction)	70
4.6. Özelliikli Nokta Eşleme (Minutiae Matching)	71
4.6.1 Nokta Tabanlı Eşleme.....	72
4.6.1.1 Hizalama Aşaması.....	72
4.6.1.2 Eşleme Aşaması.....	72
4.6.1.3. Sıralanan Nokta Setini Eşleme.....	74
4.6.2. Parmak İzi Eşleme İçin Çalışma Kapsamında Geliştirilen Yöntemler...77	
4.6.2.1. Affin Dönüşümü.....	79
4.6.2.2. Geliştirilen Eşleme Algoritmaları.....	81
4.6.2.2.1. Alt Küme Yaklaşımı.....	81
4.6.2.2.2. En Yakın Komşuluk Yaklaşımı.....	85
5. YÜZ EŞLEME İÇİN KULLANILAN YÖNTEM VE ARAÇLAR.....	89
5.1.Görüntüde İnsan Yüzün Bulunması.....	91
5.1.1 Ten Rengi Bulma Algoritmaları.....	91
5.1.1.1. HSI Renk Uzayı ile Ten Renginin Belirlenmesi.....	91
5.1.1.2.YCbCr Renk Uzayı ile Ten Renginin Belirlenmesi.....	92
5.1.1.3.Normalize Edilmiş RGB Renk Uzayı ile Ten Renginin Belirlenmesi.....	93
5.2.Çalışma Kapsamında Gerçekleştirilen Yüz Bulma İşlemi.....	94
5.3. Yüzdeki Özellik Noktalarının Çıkartılması.....	97
5.4. Yüz Eşleme.....	103
6.UYGULAMA.....	107
6.1. Uygulama Alanının Tanımı.....	107

6.2.Uygulamada Kullanılan Donanım ve Yazılımlar.....	107
6.3.Uygulamada Yapılan İşlem ve Hesaplamalar.....	108
6.3.1.Parmak İzi Tanıma.....	108
6.3.2.Yüz Tanıma.....	114
6.4 Uygulama Sonuçları.....	116
6.4.1.Parmak İzi Uygulama Sonuçları.....	117
6.4.1.1.FVC2000 DB1 Verileri kullanılarak yapılan uygulama sonuçları.....	118
6.4.1.2. FVC2000 DB3 Verileri kullanılarak yapılan uygulama sonuçları.....	118
6.5.Yüz Tanıma Uygulama Sonuçları.....	119
6.5.1.Yüz Tespiti için yapılan uygulama sonuçları.....	121
6.5.2.Yüz elemanlarının çıkartımı sonuçları.....	121
6.5.3 Yüz Eşleme.....	122
6.6.Parmak İzi Tanıma ve Yüz Tanıma Uygulama Sonuçları.....	122
6.7.Sonuçların Analizi.....	123
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	127
8. KAYNAKLAR.....	131
ÖZGEÇMİŞ.....	140
EK-I Uygulamada Kullanılan Programın Matlab Kodları.....	141

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Biyometrik Yöntemler	12
Şekil 3.1 Biyometrik gruplandırma.....	12
Şekil 3.2. Bir biyometrik sistemde sınır(threshold) değerlerinin hata oranlarıyla ilişkisi, her iki hata oranının kesiştiği nokta, optimum sınır değeri.....	20
Şekil 3.3. Galton-Henry Parmak izi sınıflandırması (Galton 1892 ve Henry 1900) ..	22
Şekil 3.4 Parmak izi karakteristikleri (Lokal ve Global yapı)	23
Şekil 3.5 Özellik noktaları (minutiae)	23
Şekil 3.6. Parmak izi özellikleri.....	24
Şekil 3.7. Parmak izi özelliklerine örnekler (Daireler bir göbek nokta bölgesini, üçgenler bir delta nokta bölgesini göstermektedir)	24
Şekil 3.8. Filtreleme Tabanlı Parmak İzi Eşleme.....	26
Şekil 3.9. Nokta Tabanlı Parmak İzi Eşleme İşlem Şeması.....	27
Şekil 3.10. Filtreleme Tabanlı Yüz Tanıma İşlem Şeması	31
Şekil 3.11. Yüz tanıma için alınabilecek 22 geometrik nokta.....	33
Şekil 3.12. Yüz eşleme için işlem şeması.....	34
Şekil 3.13.Sayısal bir resmin temel yapısı.....	35
Şekil 3.14 .Temel ve ikincil renkler ve RGB renk küpü	36
Şekil 3.15. RGB Renk küpü.....	38
Şekil 3.16. Örnek histogram grafiği.....	43
Şekil 3.17. Gri seviye resimde histogram.....	44
Şekil 3.18. R, G ve B bileşenlerine ait histogram grafikleri.....	44
Şekil 3.19. Global eşikleme (Orijinal resim, eşik değerin 80 alınması ile elde edilen ikili görüntü)	47
Şekil 3.20 Yapısal elemanlar	48
Şekil 3.21. Yayıma işlemi.....	49
Şekil 3.22. Aşındırma işlemi.....	50
Şekil 3.23. Açma İşlemi.....	51
Şekil 3.24. Kapama İşlemi.....	51

Şekil 3.25 Görüntüdeki i,j pikselin komşuluk ilişkisi	52
Şekil 3.26. Görüntü işlemede kullanılan çeşitli filtreler.....	52
Şekil 3.27. 5x5 Gauss filtresi.....	53
Şekil 3.28 Sobel operatörü.....	54
Şekil 3.29. Kenarların yönlerine göre renkleri.....	54
Şekil 3.30 Canny kenar bulma yöntemiyle kenar tespiti.....	55
Şekil 3.31. İkili görüntüde yatay iz düşüm.....	56
Şekil 3.32. Gri seviye görüntüde yatay iz düşüm.....	57
Şekil 3.33. Gri seviye görüntüde düşey iz düşüm.....	58
Şekil 3.34. Piksel ve 8 komşuluğu.....	59
Şekil 3.35. İnceltme işleminde kullanılan 8 adet yapısal eleman.....	60
Şekil 4.1. (a) Orijinal parmak izi görüntüsü (b) histogramı (c) histogram eşitleme sonucu elde edilen görüntü (d) yeni histogram grafiği	64
Şekil 4.2. Filtreler uygulanmış parmak izi görüntüleri.....	65
Şekil 4.3. 3x3 boyutundaki Sobel filtresi.	66
Şekil 4.4. 3x3 boyutundaki görüntü matrisi.....	66
Şekil 4.5. Yönelim alanları bulunmuş parmak izi görüntüsü.....	67
Şekil 4.6.Parmak izi görüntüsünün enerji haritası çıkartılarak ilgilenilen alanın bulunması.....	67
Şekil 4.7. Giriş görüntüsü ve çıkartılmış iz görüntüsü.....	69
Şekil 4.8. İnceltme işlemi ve alan görüntü maskesi kullanılarak inceltilmiş görüntünün temizlenmesi.....	70
Şekil 4.9. Özellik noktalarının taslak gösterimi (iz, hat sonu, çatal)	70
Şekil 4.10. Hatalı Özellik noktalarının görüntüleri (Sol baştan sırasıyla, Ada, nokta, göl, burun, köprü, kesik hat)	71
Şekil4.11.Noktaların referans noktaya göre kutupsal koordinat sistemine dönüştürülmesi.....	74
Şekil 4.12. Sınırlama kutusu ve hizalanması.....	76
Şekil 4.13. Nokta tabanlı eşleme.....	77
Şekil 4.14. Ave B nokta kümelerinin dörtlü alt kümelerinin oluşturulması.....	82
Şekil 4.15. Ave B nokta kümelerinin dörtlü alt kümelerinin karşılaştırılması.....	83
Şekil 4.16. Oluşturulan alt kümelerdeki noktalar arasında ilişki oluşturulması.....	83

Şekil 4.17. Girdi noktaları ile taslak noktaların karşılaştırılması.....	84
Şekil 4.18: En yakın komşu özellik noktalarından beş tanesinin bulunması.....	86
Şekil 4.19. İki lokal yapıdaki ortak noktaların bulunması.....	88
Şekil 4.20. Eşlenen noktaların gösterimi.....	88
Şekil 5.1. Yüz tanıma işlem şeması.....	90
Şekil 5.2 Resimde ten alanlarının bulunması.....	94
Şekil 5.3 İkili görüntüde bölütleme işlemi.....	95
Şekil 5.4.Görüntüde yüz bulma için akış diyagramı.....	96
Şekil 5.5. Resimde yüzün bulunması.....	97
Şekil 5.6 Yüzdeki özellik noktalarının yatay ve düşey izdüşümü yardımıyla bulunması.....	97
Şekil 5.7 Yüzdeki özellik noktalarının bulunması işlem basamakları.....	98
Şekil 5.8 Yatay izdüşüm grafiğinden faydalanarak burnun bulunması, yüz görüntüsünün bu noktadan iki bölgeye bölünmesi.....	98
Şekil 5.9 Sağ ve Sol Göz Alanını Bulma.....	99
Şekil 5.10 Ağzın X ve Y koordinatlarının bulunması.....	99
Şekil5.11.Yüz alanının güçlendirilerek özellik bölgelerinin belirgin hale getirilmesi.....	100
Şekil 5.12. Sağ ve sol göz alanlarının yatay izdüşümü ile kaş ve gözün yerinin bulunması.....	101
Şekil 5.13. Sağ ve sol göz alanlarının düşey izdüşümü ile göz merceğinin yerinin bulunması.....	101
Şekil 5.14. Göz bölgesi görüntüsüne canny kenar bulma algoritmasını uygulanarak göz sınırlarının çıkartılması ve göz çukurlarının bulunması.....	102
Şekil 5.15 Yüze ait özellik noktaları ve noktaların numaralandırılması.....	102
Şekil 5.16.Yüze ait özellik noktalarının numaralandırılması, aralarındaki Öklid mesafeleri ve oranların oluşturduğu özellik vektörü.....	105
Şekil.5.17 Yüzdeki özellik noktalarının çıkartılması.....	106
Şekil 6.1. Yazılımın genel görünümü.....	108
Şekil 6.2. Veritabanı Oluşturma.....	109
Şekil 6.3. Parmak izinin maske kullanılarak iyileştirilmesi.....	110
Şekil 6.4. Parmak izinin yönelim alanlarının bulunarak iyileştirilmesi.....	110

Şekil 6.5. Parmak izinin inceltilmesi.....	111
Şekil 6.6. Özellik Noktalarının çıkartılması.....	111
Şekil 6.7. Hatalı Noktaların temizlenmesi.....	112
Şekil 6.8 İlgilenilen alanın bulunması.....	112
Şekil 6.9. Özellik noktalarının onaylanması.....	112
Şekil 6.10 Özellik Noktalarının kaydedilmesi.....	113
Şekil 6.11. Özellik noktalarının eşlenmesi.....	113
Şekil 6.12. Yüz tanıma.....	114
Şekil 6.13. Yüz bulma.....	114
Şekil 6.14. Yüze ait özellik noktalarının bulunması.....	115
Şekil 6.15 FVC2000 veri tabanındaki parmak izi görüntüleri.....	118
Şekil 6.16 Feret database.....	120
Şekil 6.17 BioID Face database.....	120
Şekil 6.18 FTKT Face database.....	120

TABLULAR

Tablo 3.1.Biyometrik yöntemlerin olumlu ve olumsuz yönlerinin karşılaştırılması.	11
Tablo3.2. Parmak izi eşleme için iki temel yaklaşımın karşılaştırılması	28
Tablo 4.1. Girdi Nokta ve Taslak Nokta Kümesine ait noktaların Koordinatları.....	82
Tablo 4.2 İki lokal yapıdaki ortak noktaların bulunması.....	87
Tablo5.1.Şekil 5.17 deki yüzlere ait özellik noktalarının koordinatları, Affin Dönüşümü sonuçları ve karşılıklı ilişki katsayısı sonuçları.....	106
Tablo 6.1Uygulamada kullanılan FVC2000 veri tabanındaki verilerin özellikleri..	117
Tablo 6.2 FVC2000 DB1 Verileri kullanılarak yapılan uygulama sonuçları.....	118
Tablo 6.3 FVC2000 DB3 Verileri kullanılarak yapılan uygulama sonuçları.....	119
Tablo 6. 4 Yüz tanımda kullanılan yüz görüntülerine ait bilgiler.....	119
Tablo 6.5 Yüz Tespiti için yapılan uygulama sonuçları.....	121
Tablo 6.6 Yüz Elemanlarının çıkartımı için yapılan uygulama sonuçları.....	121
Tablo 6.7. Yüz Eşleme için yapılan uygulama sonuçları.....	122
Tablo 6. 8 Çoklu Eşleme için kullanılan verilerin özellikleri.....	122
Tablo 6. 9 Çoklu Eşleme için yapılan uygulama sonuçları.....	123
Tablo 6.10.Çoklu biyometrik sistem performansı.....	123
Tablo 6.11. FVC2000 veritabanı ile test edilmiş çeşitli parmak izi tanıma algoritmalarının performansı	124
Tablo 6.12. Parmak izi eşleme performans değerlendirmesi.....	125

1.GİRİŞ

1.1.Problemin Tanımı

Fotogrametri, haritacılık disiplininin yanında, mimarlık, arkeoloji, endüstri, tıp vb pek çok alanda kullanılmakta ve büyük bir öneme sahip olmaktadır. Son yıllarda dijital fotogrametri ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler, bu kullanım alanlarını ve önemini artırmıştır. Dijital fotogrametri, bilgisayar gösterimleriyle pek çok prensibi paylaşır. Dijital fotogrametri, otomatik fotogrametrik işlemeyle ilgilidir, verinin ölçümü, analizi ve yorumunu kapsar.

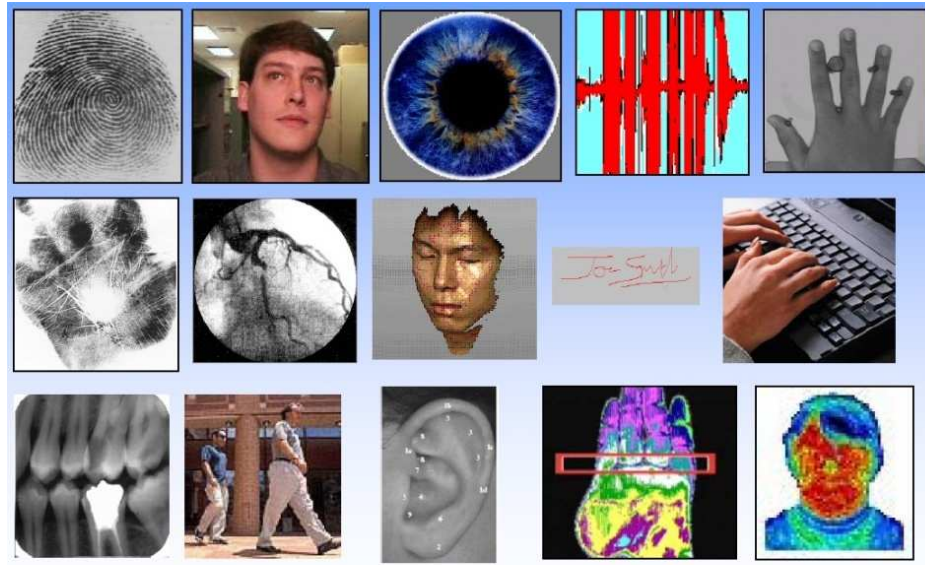
Bir bireyin ölçülebilen fizyolojik ya da davranışsal özelliklerine biyometrik (biometric) özellikler denilmektedir. Biyometrik, kişileri fizyolojik ve davranışsal özelliklerine bağlı olarak tanımlayan bir bilim dalıdır (Jain 1996).

Biyometrik, kişilerin fiziksel ve davranışsal özelliklerini ölçen ve bu özellikleri tanıyarak kimlik saptamak üzere geliştirilmiş bilgisayar kontrollü, otomatik sistemler için kullanılan genel bir terimdir. Biyometrik sistemler, insan beyninin kişiyi tanıma ve diğerlerinden ayırt etme yöntemleri ile benzer bir şekilde çalışmaktadır. Bu sistemler temelde kişinin sadece kendisinin sahip olduğu, kendisi olduğunu kanıtlamaya yarayan, değiştiremediği ve diğerlerinden ayırt edici olan fizyolojik özelliklerin tanınması prensipleri ile çalışır.

Biyometri, biyolojik verilerin ölçümü, analizi ve yorumudur. Dijital fotogrametri ve Biyometri kullandıkları teknikler bakımından birbirleriyle oldukça ilgilidir. Yöntem ve ürünler benzerlik arz eder. Bu nedenle Dijital fotogrametrik tekniklerin kişi ve kimlik tanıma da kullanılması mümkündür.

Bilgisayarların ve internetin, bilgi teknolojisi araçları olarak etkin kullanılmaya başlanması ile birlikte, bazı kişisel bilgilere veya firmalara ait gizli verilere, yetkili olmayan kişi veya kuruluşlarca ulaşmanın engellenmesi zorunluluğu doğmuştur. Bilinen ve yaygın olarak kullanılan sistemler, kullanıcıları tanımlamak yerine

kullanıcının sunduğu tanıtıcılara onay vermektedir. Halbuki biyometrik teknolojiler kişileri doğrudan tanıdıkları için, yetkisi olmayan kişilerin değerli bilgilere erişimini, ATM, cep telefonu, smart kart, masa üstü bilgisayar, iş istasyonu ve bilgisayar ağları gibi sistemlerin uygunsuz kullanımının engellenmesi için en çok başvurulan yöntem olmaktadır. Günümüzde çeşitli biyometrik sistemler, eşzamanlı tanıma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların en bilinenleri; parmak izi eşleştirme, iris tanıma, retina taraması, ses ve konuşma tanıma, yüz tanıma ve el tanıma olarak sıralanabilir (Şekil 1.1).



Şekil 1,1. Biyometrik Yöntemler

Amerika’da saygın bir kuruluş olan Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (Massachusetts Institute of Technology, MIT) tarafından 2001 yılında yapılan teknolojik öngörüde biyometri, “dünyayı değiştirecek en önemli on teknoloji” arasında gösterilmektedir (Woodward 2003).

Dünyada her yıl güvenlik çalışmalarına milyonlarca dolar akıtılmaktadır. İstihbarat ve güvenlik örgütleri başta olmak üzere birçok resmi ve özel kuruluş bu konuda araştırma geliştirme faaliyetlerinde bulunmaktadır. Sadece parmak izi üzerine çalışan şirketler bile mevcuttur. Bunun yanı sıra bazı üniversite ve kurumlar

parmak izi üzerinde ciddi projeler geliştirmektedir. Dış ülkelerde, artık üniversitelerde “biometri” adı altında kürsüler kurulmaktadır. Çalışma konusu üzerinde yurt dışında yoğun araştırmalar yapılmasına karşılık ülkemizde konu üzerine henüz yeterince eğinilmemiştir.

Son yıllarda, kişilerin birden çok biyometrik özelliğine dayalı çoğul-biyometrik sistemler üzerine yapılan çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Çoğul-biyometriğe yönelimin temel nedeni, tek biyometrik nitelik kullanılarak geliştirilen doğrulama sistemlerinde karşılaşılan çeşitli kısıtlamaların, bir ölçüde kaldırılması çabasıdır.

1.2. Amaç

Günümüzde parmak izi ve yüz tanıma için genel olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Filtreleme (dalgacık dönüşümlü) tabanlı ve öznitelik tabanlı tanıma.

Filtreleme tabanlı tanımda kişiye ait parmak izi ve yüz görüntüleri gabor filtreden geçirilerek özellik vektörü oluşturulur. Oluşturulan özellik vektörü veri tabanındaki verilerle karşılaştırılarak tanıma gerçekleştirilir.

Öznitelik tabanlı tanımda, görüntülerdeki özellik noktaları bulunur. Bu özellik noktalarına ait bilgilerin bulunduğu öznitelik nokta kümesi oluşturulur. Bu nokta kümesiyle veri tabanında kayıtlı nokta kümeleri arasında bir dizi nokta tabanlı eşleme algoritmaları kullanılarak tanıma gerçekleştirilir.

Filtreleme tabanlı tanıma yöntemleri, görüntünün büyüklüğünden, ölçek farklılıklarından ve dönüklükten olumsuz etkilenirken, görüntü kalitesi ve aydınlatma farklılıklarından fazla etkilenmezler. Öznitelik tabanlı tanıma yöntemleri, görüntü kalitesi ve aydınlatma farklılıklarından olumsuz etkilenirken, görüntü büyüklüğü, ölçek farklılıkları ve dönüklüklerden fazla etkilenmezler.

Yapılan tez çalışmasında Matlab teknik programlama dilinde, parmak izi ve yüz tanıma yapan bir sistem oluşturulmuştur. Parmak izi ve yüz tanıma için öznitelik tabanlı tanıma yöntemleri kullanılmıştır. Parmak izi ile tanımada, öznitelik tabanlı eşleme için mevcut uygulamalardan farklı olarak Affin dönüşümü kullanılarak, referans noktadan bağımsız, özellik noktalarının açılarının hesaplanmasına ve ölçeklemeye ihtiyaç duymayan bir eşleme metodu gerçekleştirilmiştir. Affin dönüşümüyle verilerin karşılaştırılmasının daha hızlı ve kolay yapılabildiği, veritabanına kaydedilen verilerde azalma sağladığı görülmüş ve eşleme işleminde tam başarı sağlanmıştır.

Yüz tanıma için geometrik nokta tabanlı eşleme yöntemi kullanılarak karşılıklı ilişki yöntemiyle eşleme yapılmıştır. Yüz tanıma işlemi, parmak izi ile kişinin tanınmasından sonra kişiyi doğrulama için kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Öznitelik tabanlı parmak iz tanımada, görüntüdeki özellik noktalarının tespiti ve eşlenmesi için birçok metot uygulanmıştır.

Anil Jain ve arkadaşları parmak izi görüntüsü elde etme, görüntülerin iyileştirilmesi, yönsel histogramlar yardımıyla izlerin çıkartılması, izlerin inceltilmesi, özellik noktalarının çıkartılması ve nokta tabanlı eşleme yöntemiyle eşlenmesi üzerine çalışmışlardır (Jain ve ark 1995).

İnandık parmak izi tanımada öznitelik tabanlı eşleme yönteminin kullanılması, gezgin nokta yaklaşımı ile otomatik parmak izi eşleme üzerine bir çalışma yapmıştır (İnandık 1998).

Hong parmak izi görüntülerinin iyileştirilmesi, özellik noktalarının çıkartılması, nokta tabanlı eşleme, eşleme problemleri ve çoklu biyometrik sistemler üzerine çalışmıştır (Hong 1998).

Geçgil parmak izinin ayırt edici özellikleri ve parmak izi üzerinde yapılan ön işleme yöntemleri üzerine bir çalışma yapmıştır (Geçgil 2000).

Meltem Ballan parmak izi görüntülerinin iyileştirilmesi, iyileştirilmiş görüntüğe ait hücresel ve bloksal görüntülerin oluşturulması, oluşturulan yönsel görüntülerden tekil nokta ve özellik noktalarının çıkarılarak, hafızada daha az yer tutan taslakların oluşturulması, bu taslakların sıkıştırılması, sınıflandırılması ve teşhis edilmesi üzerine çalışma yapmıştır. İyileştirme işlemi iki aşamalı olarak gerçekleşmektedir. İlk aşamada görüntüler normalize edilerek, tüm görüntülerin aynı düzlemde temsil edilmesi ve geri plan görüntülerin çıkarılması gerçekleştirilmektedir. Kırpma adı verilen gri seviyeli görüntünün adaptif bir eşik ile süzülmesi sonucunda daha iyi çözünürlüğe sahip görüntüler elde edilmektedir. Parmak izi görüntüsüne ait yönlerin bulunması aşamasında gradient tabanlı sobel operatörünün kullanılmaktadır. Sıkıştırma işlemi için olasılıksal bir yöntem olan

Temel Bileşen Analizleri kullanılmaktadır. Arkasından eşleştirme modülü yer almaktadır, bu modülde elde edilen taslakların sınıflandırılması ve en yakın komşuluk yaklaşımına göre teşhis yer almaktadır (Ballan 2000).

Salil Prabhakar Parmak izlerinin K-en yakın komşuluk sınıflandırması, yapay sinir ağıyla sınıflandırma, destek vektörlü makine yöntemiyle sınıflandırılmalarını yapmıştır. Yönsel histoğramlar aracılığıyla bulunan bir referans noktasını merkez olarak oluşturulan bir dairenin 80 parçaya bölünmesiyle elde edilen her bir görüntüyü gabor filtreden geçirerek özellik vektörünün çıkartılması ve eşlenmesi üzerine çalışmıştır (Prabhakar 2001).

Taha Saday parmak izinin öznitelik noktalarının çıkartılması için ön işlemlerden geçirilmesi, öznitelik noktalarının tespiti, bu noktalardan geçen grafiğin belirlenmesi üzerine çalışmıştır (Saday 2004).

Chikkerur parmak izi görüntülerinin STFT (kısa zamanlı furier dönüşümü) analizi yöntemiyle iyileştirilmesi, iyileştirilmiş görüntülerden çıkartılan öznitelik noktalarının grafik tabanlı eşleme algoritması kullanarak eşlenmesi üzerine çalışmıştır (Sharat S Chikkerur 2005).

Alpaslan Altun ve Nevruz Allahverdi parmak izi görüntüsünün iyileştirilmesi için iki yöntem uygulamışlardır. Bunlardan birincisinde lokal histogram eşitleme ve gürültü azaltma filtreleri kullanılmıştır. Gürültü azaltma aşamasında doğrusal, medyan ve uyarlamalı filtreleri kullanılmıştır. İkinci yöntemde ise dalgacık dönüşümü ve iki boyutlu dalgacık dönüşümünün yeni bir açılımı olan çevritsel dönüşüm uygulanmıştır. Elde edilen uygulama sonuçları performans açısından karşılaştırılmıştır (Altun ve ark 2007).

Yapılan çalışmalarda genel olarak parmak izi görüntüsünün iyileştirilmesi, yönsel histoğramlar veya furier dönüşümü ile izlerin çıkartılması, özellik noktalarının çıkartılması, özellik noktalarının hizalama tekniğiyle, gezici nokta yaklaşımıyla, en yakın komşuluk tekniğiyle, merkez nokta yöntemiyle vb eşleme teknikleri kullanarak eşleme yapılmıştır.

Öznitelik tabanlı yüz tanıma da, görüntülerdeki yüzlerin bulunması, yüze ait özellik noktalarının çıkartılması ve eşlenmesi için pek çok metot uygulanmıştır.

Yang ve Huang yüz tespiti için sınırlandırılmış görüntü piramitlerini kullanmışlardır. Görüntünün piramitsel olarak temsil edilmesinden dolayı özellikle hesaplama açısından daha verimli hale getirerek çalışma yapmışlardır (Yang ve ark 1994).

Rowley ve Kanade yüzlerin tespiti için yapay sinir ağlarında kullanılan değişik stratejileri karşılaştırmışlardır (Rowley ve ark 1995).

Sung ve Poggio 6 adet yüz (fece) ve yüz olmayan non-face) grubu eliptik k-ortalama gruplamasını kullanarak sentezlemişlerdir (Sung ve ark 1993).

Basit artalanı sahip resimlerdeki insan yüzlerinin tespiti için Yuille tarafından yüz özelliklerini modelleyebilmek için değiştirilebilir şablonlar kullanılmıştır. Bu metodun temelinde yüzün elastik yapısına uyacak, değişken bir şablon kullanma yatmaktadır. Bahsedilen bu elastik modelde en iyi uyum durumunda enerji en alt seviyededir (Yuille ve ark 1992).

Kirby ve Sirovich insan yüzlerini karakterize etmek için temel bileşenler metodunu (Principle Component Methods) kullanmıştır. Bu metotların hata yuvarlamaları açısından, dolayısıyla da resmi ifade yönünden bakıldığında en iyi olduğu iddia edilmiştir (Kirby ve ark 1990).

Pentland bütün yüzleri ve yüzün özelliklerini tanımak için özvektörleri, (eigenvectors) kullanmıştır (Pentland ve ark 1994).

Brunelli ve Poggio yüz tanıma ve algılama için şablonlarla yüzün özelliklerine göre çalışan metotları birbirleriyle kıyaslamışlardır (Brunelli ve ark 1993).

Geometrik tanıma, yüz üzerindeki belirleyici özelliğe sahip alanların boyutlarını birbirleri ile olan uzaklıkları ve geometrisi veya bunların oluşturduğu vektörlerin karşılaştırılması ile yapılan tanımlama yöntemidir. Bugüne kadar kullanılan ilk yüz tanıma metodudur. Goldstein tarafından kullanılan metotta yüz

üzerindeki belirleyici özellikteki noktalar elle belirlenmiş ve geometrisi hesaplanmış ve böylece tanımlama yapılmıştır (Goldstein 1964). Sonrasında bu fikir Kanade tarafından geliştirilmiş ve bilgisayar tabanlı çalışan yüz tanıma sistemi yapılmıştır (Kanade 1973). Kobayashi ve Kaya yüzdeki belirli noktaların arasındaki Euclidean uzaklığını hesaplamış ve bu noktaların belirlenmesinde bazı önemli faktörler belirlemişlerdir (Kobayashi ve ark 1972).

R.Brunelli ve T.Poggio çalışmalarında yüz üzerinde 22 geometrik noktayı yüz için belirleyici kabul etmişlerdir. Bunların 11 tanesi, ağız merkezinden çenenin dış çevre noktalarına olan uzaklıklar, 4 tanesi ağız kısmını çevreleyen dikdörtgenin kenar uzunlukları, 1 tanesi burnun alt kısmında genişliğini veren çizgi, 2 tane nefes alma hareketinin olduğu çizgi ve elmacık kemiklerinin üzerinden yüz boyunca geçen çizgiler, göz merkezleri ve buna karşılık gelen noktalardaki kaşların yüksekliği. Elde edilen 22 adet değer en yakın komşuluk (nearest neighbour) algoritması kullanılarak karşılaştırılır ve en küçük değere sahip olduğu veri tabanı resmi ile eşleştirilmiştir. (Brunelli ve ark 1992)

Yapılan tez çalışmasında parmak izi tanıma için diğer uygulamalardan farklı olarak eşleme için Affin dönüşümü yöntemi kullanılmıştır. Yüz tanımada, eşleme için özellik noktalarının birbirine oranlanmasıyla oluşturulan bir özellik vektörünün karşılıklı ilişki yöntemi kullanılarak eşleme yapılmıştır.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Giriş

Bu kısım tezin kapsamı gereği dört bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde biyometri hakkında, ikinci bölümde biyometrik standartlar ve performans ölçütleri hakkında, üçüncü bölümde parmak izi ve yüz tanıma hakkında ve dördüncü bölümde görüntü işleme yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

3.2. Materyal

Uygulama için yapılan program, mühendislik alanında yaygın olarak kullanılan MATLAB teknik programlama dilinde grafik kullanıcı ara yüzü (GUI) dayanarak hazırlanmıştır. “Matlab” programı (MATrix LABoratory 'nin ilk üç harfleri alınarak isimlendirilmiştir.) mühendislik uygulamalarının, hesaplamalarının ve simülasyonlarının çoğunun gerçekleştirildiği matris ve matematik tabanlı karmaşık bir programdır. Her türlü grafiksel sonuçlar istenilen tarzda alınabildiği için kullanım alanı çok geniştir.

Donanım olarak HP Pavilion (Intel Pentium M processor 1.73 Ghz 795Hz 1.50 GB RAM) diz üstü Bilgisayar kullanılmıştır.

Uygulamada, parmak izi için FVRC2000 veritabanındaki parmak izi görüntüleri, yüz için Frontal Face Dataset(California Institute Technology)ve BioID veritabanındaki yüz görüntüleri kullanılmıştır.

3.3. Yöntem

Yöntem bölümünde biyometri, parmak izi ve yüz tanıma yöntemleri ve kullanılan görüntü işleme yöntemleri anlatılmıştır.

3.3.1. Biyometri

Biyometri, kişinin sadece kendisinin sahip olduğu, kendisi olduğunu kanıtlamaya yarayan, değiştiremediği ve diğerlerinden ayırıcı olan fiziksel ve davranışsal bir özelliktir.

Biyometri, kullanıcının fiziksel ve davranışsal özelliklerini tanıyarak kimlik saptamak üzere geliştirilmiş bilgisayar kontrollü otomatik sistemler için kullanılan genel bir terimdir. Bu sistemler mümkün olduğunca, insan beyninin kişiyi tanıma ve diğerlerinden ayırt etme yöntemleri ile aynı şekilde çalışmaktadır(Saday 2004).

Günümüzde çeşitli biyometrik sistemler, eşzamanlı tanıma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların en bilinenleri; parmak izi eşleştirme, iris tanıma, retina taraması, ses ve konuşma tanıma, yüz tanıma ve el tanıma olarak sıralanabilir.

Biyometrik yöntemlerde kullanılan fiziksel özelliklerin unutulması, kaybedilmesi, çalınması gibi kötü durumların olmaması sistemin güvenliğini arttırıcı bir özelliktir. Bununla beraber biyometrik yöntemlerde kullanılan tanımlama özellikleri kişiye özel ve tektir.

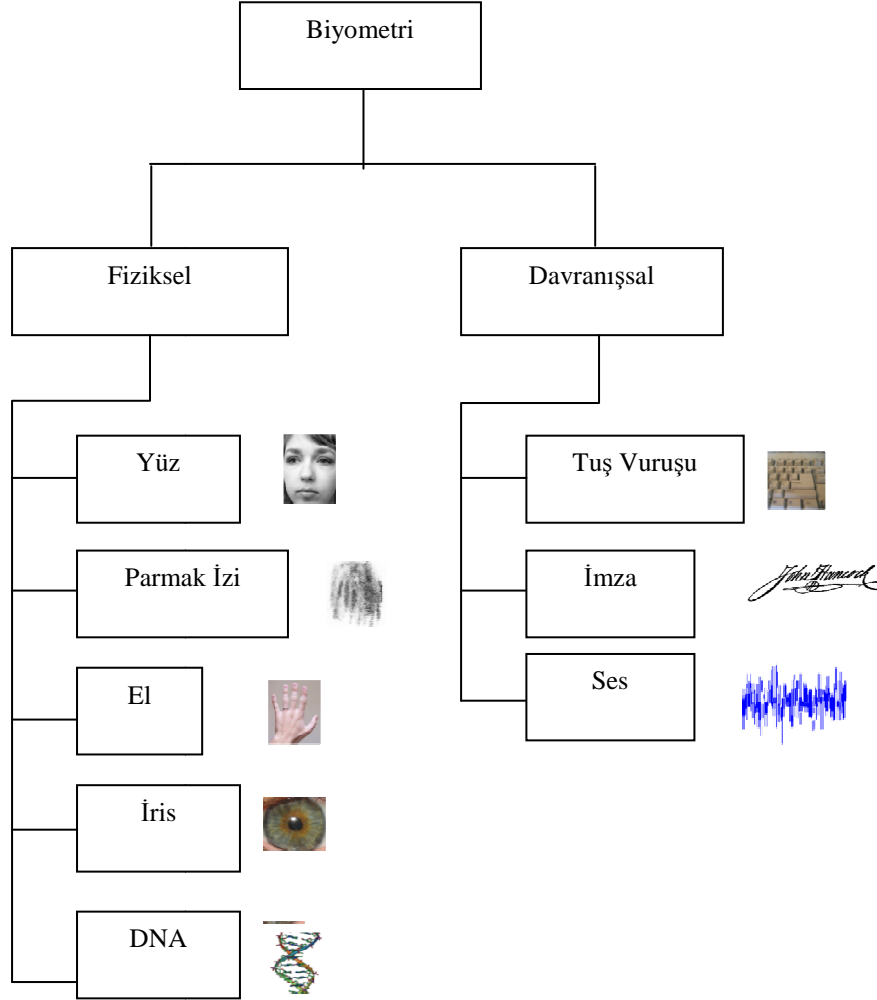
Teklik, her insanda farklı olma özelliğidir. Kalıcılık, insanın fiziksel özelliklerinin değişmesi sonucu değişmeyip sabit kalmasını belirtmektedir. Kabul edilebilirlik ise kullanılan biyometrik yöntemin kimlik tespiti işleminin başarı oranıyla doğru orantılı olarak kabul edilebilme oranını göstermektedir.

Tablo 3.1’de Biyometrik yöntemlerin olumlu ve olumsuz yönlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Biyometrik yöntemler arasından kullanımı en kolay olanı ve en yaygın olarak kullanılanı parmak izi ve yüz tanımadır.

Tablo 3.1. Biyometrik yöntemlerin olumlu ve olumsuz yönlerinin karşılaştırılması

Yöntem	Olumlu Taraflar	Olumsuz Taraflar
Parmak İzi Tanıma	- güvenilir - çok yaygın - ucuz - küçük sensörü var	- insanların %3-7'sinin parmak izi kullanılmıyor
El Geometrisi Analizi	- hızlı - veri boyutu düşük - kullanımı kolay	- güvenilirliği tam değil - algılayıcısı çok büyük
Yüz Tanıma	- ucuz	- güvenilirliği tam değil
Yüz Termografisi	- çok güvenilir	- henüz ticari kullanıma geçmedi - infrared kamera çok pahalı
İris Analizi	- çok güvenilir - resim hiç değişmiyor	- kameralar çok pahalı
Retina Analizi	- en güvenilir yöntem	- tarama yapılırken kafa sabit durmalı
Ses Tanıma	- kullanımı kolay - telefonlarda kullanılabilir	- güvenilirliği oldukça az
İmza Tanıma	- ticari anlaşmalarda çok kullanışlı	- güvenilirliği az - birden fazla örnek gerekiyor

Biyometrik değerler, davranışsal ve fiziksel özellikler olmak üzere iki şekilde gruplanabilir. Şekil 3.1’de de görüldüğü gibi pek çok özellikle kişilerde tanıma işlemi gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.1. Biyometrik gruplandırma

Davranışsal biyometriğin başlangıç ve bitiş zamanı vardır. Örnek olarak ses ve imza verilebilir. Fiziksel biyometrik, zorlama veya fiziksel engel haricinde değişmemektedir. Davranışsal biyometri ise, stres, hastalık, vb. durumlarda değişiklikler gösterir ve daha az güvenlidir.

3.3.1.1. Biyometri Çeşitleri

Teorik olarak birçok biyometrik sistem geliştirmek mümkündür, çünkü insan vücudunda herkeste farklı özellikler taşıyan birçok bölge bulunmaktadır. Ancak bu yöntemlerin bir kısmı daha ön plana çıkmış ve pratikte kullanılma imkânı bulmuştur. Bir kısım yöntemlerin de yakın gelecekte hizmete sunulması beklenmektedir. Bu yöntemlerin başlıcaları, parmak izi tanıma, el geometrisi analizi, yüz tanıma, iris ve retina analizi, ses tanıma ve imza analizidir.

3.3.1.1.1 Parmak İzi Tanıma

Yapılan araştırmalar, iki insanın parmak izinin aynı olma ihtimalinin, ikiz olsalar bile, bir milyarda bir olduğunu göstermiştir. Parmak izi, bir kişinin kimliğini belirlemede çok etkili bir yöntemdir. Ancak insanların % 7 'sinin parmak izi yara, tahriş gibi sebeplerden kullanılamaz durumdadır. Yine de bu olumsuzluk, parmak izi tanımanın en popüler biyometrik yöntem olmasını engellememiştir.

Parmaklarda bulunan çizgiler her insanda farklı özellikler gösterirler. Bu çizgiler, kapalı eğri, açık eğri ya da sarmal şeklinde olabilir. Bu çizgilerin başladıkları, bittikleri ve kesiştikleri noktalar minutia adı verilen referans noktalarıdır.

Elde edilen bu noktalar bir X-Y eksenine yerleştirilerek parmağın ayırt edici özelliği belirlenmiş olur. İki örnek karşılaştırılırken bu noktaların aynı koordinatlarda bulunup bulunmadığına bakılır. Eğer sınır değerinden fazla sayıda referans noktası aynı koordinatlarda çıkarsa bu örnekler aynı kişiye aittir denir.

3.3.1.1.2. El Geometrisi Tanıma

El geometrisi tanıma, geliştirilen ilk biyometrik tanıma sistemidir. Bu yöntem, herkesin el şeklinin farklı olduğu ve zaman içinde değişmediği mantığına dayanır. El tarayıcıya yerleştirildiğinde parmakların uzunluğu ve şekli, elin kalınlığı, kapladığı yüzey alanı gibi bilgiler analiz edilerek sonuca varılır. Bu analizler sonucunda 90 kadar değer elde edilir ve bu sayede farklı kişiler kolayca ayırt edilebilir. Üstelik sadece geometrik özelliklere bakıldığı için sistem yara, kir gibi etkenlerden etkilenmez.

Günümüzdeki el tanıma sistemleri 1 saniye kadar bir zaman içerisinde eli tanıyıp isteğe cevap verebilmektedir. Bu yöntemin bir diğer avantajı da veritabanında saklanan kişisel model bilgisinin 10 bayttan fazla olmamasıdır.

3.3.1.1.3 Yüz Tanıma

Tüm yapılan sabit iki görüntünün karşılaştırılmasıdır. Yüz tanımlama teknolojilerinin temeli mevcut yüz/yüzlerin görüntülerinden o yüzle ilgili karakteristik özelliklerin çıkartılmasına dayanmaktadır.

Yüz karakteristiği tanımlanırken göz çukurlarının saptanması, elmacık kemiğini çevreleyen bölgelerin taranması, ağız kenarlarının belirlenmesi, kulak memesini analizi gibi çeşitli metotlar kullanılır.

Günümüzde yüz tanıma yöntemleri geliştirme aşamasında olmakla birlikte özellikle geometrik eşleştirme yöntemiyle çalışan sistemler bazı ATM makinelerinde deneme amaçlı kullanılmaktadır.

3.3.1.1.4 İris / Retina Analizi

Gözden yararlanılan biyometrik sistemler, bilinen en güvenilir kimlik tespit sistemleridir. Göz tanıma sistemleri iki ayrı yöntem kullanırlar. Birinci yöntem iris tanıma, ikinci yöntem ise retina tanımadır. Bu iki yöntem birbirinden tamamıyla bağımsız iki yöntemdir ve farklı mantıklarla çalışırlar.

İris, gözün ön kısmında bulunan renkli kısımdır. Üzerinde 400'den fazla ayırt edici karakteristik taşır. Bunlar çukurlar, kara noktalar, damarlar gibi fiziksel özelliklerdir ve herkeste farklıdır. Bu özellikler, parmak izinden altı kat daha ayırt edici sayılmaktadır Kamera irisin siyah-beyaz bir resmini çeker. Sonra bu resimdeki aydınlık ve karanlık yerleri belirler ve bunun sonucunda ortaya çıkan ayırt edici şekilleri alarak model dosyasını oluşturur.

Retina tanıma sistemleri, retina tabakasında bulunan kılcal damarların oluşturduğu karakteristik şekilleri tanıma amaçlı kullanılırlar. Retina, göz yuvarlağının içinde arka duvarda bulunan ve kılcal damarlarca zengin tabakadır. Kızılötesi ışık, göz merceği üzerinden retinadaki kılcal kan damarlarına gönderilir ve damarların oluşturduğu karakteristik şekil standart bir video kameraya yansıtılır. Bu şekli alan video kamera, resimden bir model dosyası oluşturur.

3.3.1.1.5 Ses Tanıma

Ses tanıma sistemleri, sesin dijital bir veriye dönüştürülüp saklanması ve daha sonra diğer örneklerle karşılaştırılması mantığı üzerine kuruludur. Bu tür sistemleri kullanacak kişiler önce kullanacakları kelimeyi ya da kelime grubunu birkaç defa sisteme tanıtırlar. Bu sırada sesin dalga boyu, şiddeti, frekansı gibi bilgiler veritabanına model dosyası olarak kaydedilir. Ancak sesin karakteristiği ortamlarla ya da ruh haliyle kolayca değişebildiği için bu yöntemin güvenilirliği nispeten daha

azdır. Hata oranı %1-15 arasında hesaplanmıştır. Bu oranı düşürmek için yapılan çalışmalar halen sürmektedir.

Ses tanıma sistemleri, sabit bir donanım ve yazılım grubu olarak dizayn edilebildikleri gibi telefon üzerinden dial-up bağlantıyla ulaşılan sistemler olarak da dizayn edilebilirler. Güvenlik amacı dışında komut algılayan ses tanıma sistemleri de vardır. Bu sistemler, geniş kelime ve cümle veritabanlarına sahiptirler ve yapay zeka kullanarak söylenişi aynı olan kelimeleri ayırt etme özelliğine sahiptirler. Ancak bu sistemler de henüz tam anlamıyla kullanıma hazır halde değildirler.

3.3.1.1.6 İmza Tanıma

Dinamik imza tanıma olarak da bilinen bu yöntem, imza gerektiren her türlü resmi yazışmalarda kullanılmak amacıyla dizayn edilmiştir. Dinamik olmalarının sebebi, imza şeklinin yanında imzayı atarken zemine yapılan basınç ya da kaç defa zemine dokunulduğu gibi durumları da inceleyen sistemler olmalarıdır.

Bir kişinin imzasını taklit etmek, çok karışık bir imza da olsa, teorik olarak mümkündür. Ancak o imzanın atılışı sırasındaki şartları oluşturmak imkânsızdır. Bu şartlar, imzanın hızı, kalemin yaptığı basınç, kalemin kâğıttan yukarı kalktığı noktalar gibi özelliklerdir. Bu karakteristikler, imzanın şekli ile birleştiğinde hata yapma olasılığı çok azalmaktadır. Öte yandan bu sistemler, kişinin imza atma alışkanlıklarının zamanla değişebileceğini de göz önüne alarak ardı ardına birçok kullanım sonucunda basınç, hız gibi karakteristikler üzerinde istatistiksel analizler yaparak bir sonraki kullanım hakkında fikir sahibi olabilirler.

İmza tanıma sistemleri, yanlış red oranlarının yeteri kadar düşük olmaması sebebiyle henüz yaygın kullanım alanı bulamamışlardır.

3.3.2. Biyometrik Standartlar

Biyometrik standardizasyonda amaç, oldukça geniş bir alana sahip olan biyometrik sahayı birleştirmek ve uzman biyometriden en verimli şekilde faydalanmayı sağlamaktır (Tilton 2006). Standardizasyon iki kategoriye ayrılır. Resmi organizasyonlar, gayri resmi organizasyonlar. Resmi organizasyonları ISO standartları kapsar (ANSI, INCITS,CJIS/FBI..), gayri resmi organizasyonlar (Tanımlı gruplar, şirketler..) (<http://www.standards.gov/biometrics>).

Biyometrik sistem ve araçlar arasında iletişim yöntemleri, şekil çıkartım yöntemleri, veri sıkıştırma yöntemleri, biyometrik modelin uzunluğu ve içeriği, biyometrik verinin depolanması ve geri çağırılması işlemlerinin yapılabilmesi için standardizasyon yapılır. Standardizasyon;

- Bütünleşmiş, ölçeklenebilir ve sağlam çözümlerin gelişmesini sağlarlar.
- Sistemin geliştirme maliyetini azaltır ve sistem çözümlerinin sürekliliğini sağlar.
- Ulusal ve uluslararası çalışmalarda kılavuzluk eder.
- Verinin, iletimi için bir standart tanımlar.
- Farklı sistemler arasında uyumu sağlar.
- Biyometrik testlerin ve biyometrik standartların uyumunu test edilmesini sağlar.

Standartlar, teknolojik tarafsız olmalı ve herhangi bir özel satıcı veya biçimi göstermemelidir.

Biyometrik standartların alanı aşağıdaki gruplandırılır.

- Adli ve tanıma standartları
- Veri standartları
- API(Application Programming Interfaces) program ara yüzleri standartları
- Güvenlik standartları
- Test ve Sertifikasyon standartları ve temel çerçevesi

- Diğer standartlar

Biyometrik güvenlik sistemleri konusunda uluslararası bir standart da söz konusudur.. International Committee for Information Technology Standards (INCITS) (Uluslararası Bilgi Teknolojileri Standartları Komitesi) tarafından, parmak izi, iris retina tabakası, ses tanıma gibi biyometrik tanımlama sistemlerinde kullanılacak işlemlere uluslararası bir standart getirme çabası sonucunda kurulmuştur. Örneğin, Türkiye’de bir banka hesabı ve parmak izi tanıma sistemi bulunan bankamatiklerden, bankamatik veya kredi kartı kullanmadan sadece parmak izini göstererek para çekebilen, bankacılık işlemlerine ulaşabilen bir kullanıcının dünyanın başka bir ülkesindeki bir bankanın da bankamatik cihazından, Türkiye’deki mevduat veya kredi hesabına ulaşarak, işlem yapmasını mümkün kılmak için gerekli olan standartlar belirlenir. Dosya formatları, okuma yöntemleri, bilgilerin depolanması, değerlendirme şekiller, vb.

Aşağıda standart geliştirme ajans ve organizasyonlar gösterilmiştir.

ANSI (Amerikan Ulusal Standart Enstitüsü)

CJIS/FBI IAFIS (FBI için parmak izi sıkıştırma ve açma standartları)

INCITS M1(Bilgi teknoloji standartları için Uluslar arası komite)

NIST(Ulusal standartlar ve Teknoloji Enstitüsü)

JTC1 (Ortak Teknoloji Teknik komite)

OASIS(Yapılandırılmış bilgi standartlarının ilerlemesi için organizasyon)

Tez kapsamında geliştirilen sistemde biyometrik standartlardan tanıma standartlarında yararlanılmıştır.

Standart bir parmak izi analizinde 30–40 kadar özellik noktası tespit edilebilir. Yapılan araştırmalar sonucunda iki farklı kişide aynı koordinatlı özellik nokta sayısının 8’i aşamayacağı kanıtlanmıştır (Maltoni ve ark 2003).

İki parmak izinin aynı kişiye ait olduğunu söyleyebilmek için, her iki iz üzerinde en az 11–12 ortak özellik noktası bulunması gerekir. Bazı ülkelerde iki parmak izi arasında 16 benzerlik noktası, bazı ülkelerde 7 benzerlik noktası aranmaktadır. Türkiye’de 16, İskoçya’da 7 benzerlik noktası aranırken Amerika’da adli uygulamalarda en az 12 ortak nokta aranırken FBI rakamlara bağlı kalmadan inceleme yapmaktadır (Akın 2002). Tez kapsamında geliştirilen sistemde en az 13 özellik noktasının benzer olması şartı aranmıştır.

3.3.2.1. Performans Ölçütleri

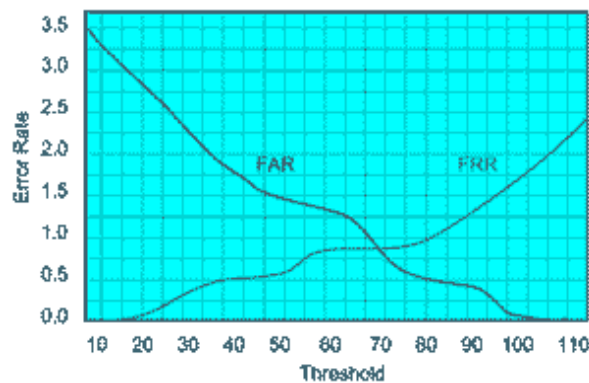
Her bilgisayar sisteminde olduğu gibi biyometrik sistemlerde de performans faktörü büyük önem taşımaktadır. Biyometrik sistemlerde akla ilk gelen performans kriterleri, toplam işlem süresi, yanlış kabul oranı (false accept rate) ve yanlış red oranıdır (false reject rate). Toplam işlem süresi, kişinin kimliğini beyan ettiği andan geçiş izni aldığı ana kadar geçen süredir ve iyi bir sistemde 1–2 saniyeyi aşmaması gerekir. Diğer iki faktör ise sistemin yaptığı karşılaştırmaların ne kadar doğru olduğunu ölçer ve sistemin güvenilirliği açısından büyük önem taşırlar.

3.3.2.1.1. Yanlış kabul oranı ve yanlış red oranı

False Acceptance Rate (FAR) ve False Reject Rate (FRR) olarak bilinen bu istatistiksel ölçümler, bir biyometrik sistemin güvenilirliği hakkındaki en doğru bilgiyi verirler(Grother 2006).

Yanlış kabul oranı, yetkili olmayan kişilerin giriş izni alma olasılığıdır. Yanlış red oranı ise yetkili bir kişiye giriş izni verilmemesi olasılığıdır. Biyometrik sistemlerde, karşılaştırılan örneklerin benzer karakteristiklerinin sayısı önceden

belirlenen bir sınır (threshold) değeriyle kıyaslanır. Bu değerden fazla karakteristik varsa geçiş izni verilir, yoksa reddedilir. Bu sınır değer çoğu sistemde istendiği gibi değiştirilir. Bu sayede sistemin hassasiyeti de değiştirilebilir. FAR ve FRR değerleri ters orantılıdır. Yani örneğin sınır değeri çok yükseltirsek sistem daha hassas olacak, bunun sonucunda yanlış kabul oranı düşecek ama yanlış red oranı artacaktır. Tam tersine sistemi daha az hassas yaparsak bu sefer de yanlış red oranı düşecek ama yanlış kabul oranı artacaktır. Genelde sisteme yetkisiz kişilerin girmemesi birinci öncelik olduğu için, sınır değeri oldukça yüksek tutulur. Bunun sonucunda yanlış kabul oranı sıfıra çok yakın olur ancak yanlış red oranı da o ölçüde yükselmektedir ki günümüzde biyometrik sistem üreticilerinin birinci önceliği her iki oranı %1'lerin altına çekebilmektir. Şekil 3.2 'de verilen grafikte hata oranlarının sınır değeriyle değişimi verilmiştir. Her iki hata oranı eğrisinin kesiştiği nokta ideal sınır değerini göstermektedir. Bu değer %1 'in altında olması sistemin başarılı olduğuna işaret eder. Dikkat edilmesi gereken bir nokta da hata oranlarının yanlış kullanımla da önemli ölçüde arttığıdır. Araştırmalar, sistem kullanıma girdikten 1-2 hafta sonra, kullanıcılar sisteme alışınca yanlış red oranlarının büyük oranda düştüğünü saptamıştır. Bundan dolayı, sistemin performansını artırmak için kullanıcı eğitiminin de önemli bir payı vardır. Günümüzde çok gelişmiş parmak izi sistemlerinde hem yanlış kabul hem de yanlış red oranının % 0,2 gibi küçük bir değere çekilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.2. Bir biyometrik sistemde sınır (threshold) değerlerinin hata oranlarıyla ilişkisi, her iki hata oranının kesiştiği nokta, optimum sınır değeri

3.3.3. Parmak İzi Ve Yüz Tanıma

3.3.3.1. Parmak İzi

Parmak izi, parmak ucu derisindeki göz ile görülebilen çıkıntılar tarafından meydana gelen şekillere verilen addır. Dışderiye ait bu çıkıntılara papilla veya hat adı verilir. Parmaklarımıza dikkatlice bakarsak, parmak izlerinin, birçok hattın farklı biçimlerde bir araya gelmesiyle oluştuğunu görürüz. Derin kesik ve yaralar olmadığı sürece parmak izlerindeki hatlar insan yaşamı boyunca değişmezler. Bir insanın parmak izi yaşamının tüm evrelerinde aynı özellikleri taşır. Parmak izlerinin bu değişmez ve herkes için farklı olan özellikleri, onları kimlik saptama konusunda çok kullanılan bir materyal haline getirmiştir.

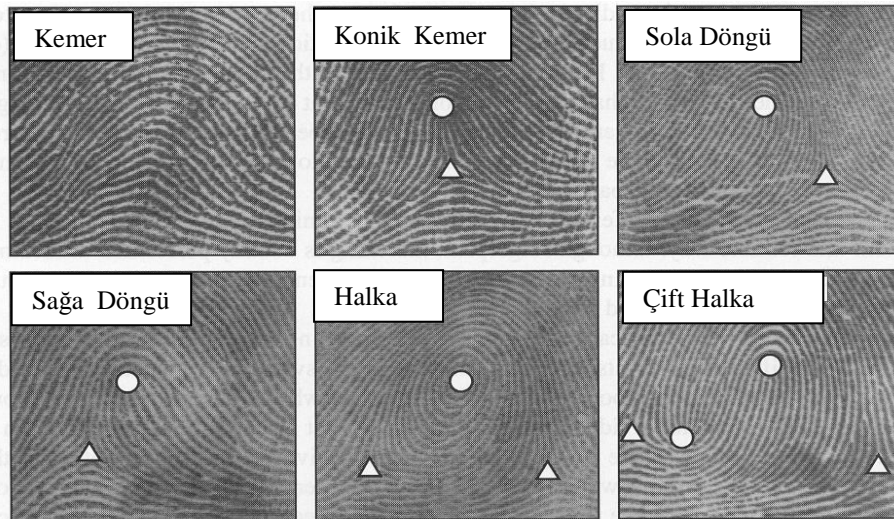
Parmak ucu derisinin diğer bir özelliği de hatlar üzerinde, dokunulan yüzeylerde iz kalmasını sağlayan ter sıvısını salgılayan ter bezlerinin bulunmasıdır. İnsan vücudundaki ter bezleri, vejetatif sinir sistemine bağlı olarak sürekli salgı yaptıklarından parmak uçları ve avuç sürekli nemli halde bulunur. Çeşitli yüzeyler üzerinde kalan parmak izleri, özel mürekkepler veya kimyasal maddeler kullanılarak kolay görünür hale getirilir. Son yıllarda bu yöntemlere x ışını, lazer ve çeşitli filtreler kullanarak fotoğraflama gibi yeni yöntemler de eklenmiştir.

Parmak izleri parmak uçlarının hafif bastırılmasıyla ortaya çıkar. Parmak uçlarındaki yüzey pek çok sırt(hat) ve vadiden oluşur. Bir sırt tek bir kavisli parça ile tanımlanır, bir vadi iki komşu sırtın arasındaki bölgedir. Hatlar üzerinde solunum için (yağ ve teri çıkartmak için) pek çok gözenek vardır.

Parmak izleri, 100 yıldan fazla süredir kimlik belirlemede kullanılmaktadır (Jain 1997). Bu alanda öncü çalışmalar Galton ve Henry tarafından yapılmıştır. Parmak izleri şeklen incelenmiş ve değişik yaşta insanlardan alınan parmak izleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Galton' un çalışmalarının sonunda elde ettiği iki temel sonuç şunlardır.

- Bir parmak izi süreklilik gösterir; yani biçimi ve karakteristiği değişmez.
- Her bireyin parmak izi farklıdır. Yapılan deneylerin ışığında şu söylenebilir ki; iki kişinin, hatta ikizlerin parmak izleri bile birtakım benzerlikler dışında tamamen aynı değildir.

Galton' un elde ettiği bu sonuçlar daha sonraki çalışmalara temel oluşturmuştur. Galton' un yaklaşımından farklı olarak Henry, parmak izlerinin tam olarak eşlenmesi problemi üzerinde çalışmamıştır. Bununla beraber, parmak izleri üzerinde gerçekleştirdiği etkin sınıflandırma metodu yaygın olarak kullanılmıştır. Tanımladığı sınıflar kemer, sağa döngü, sola döngü, halka ve kubbedir (Şekil 3.3).

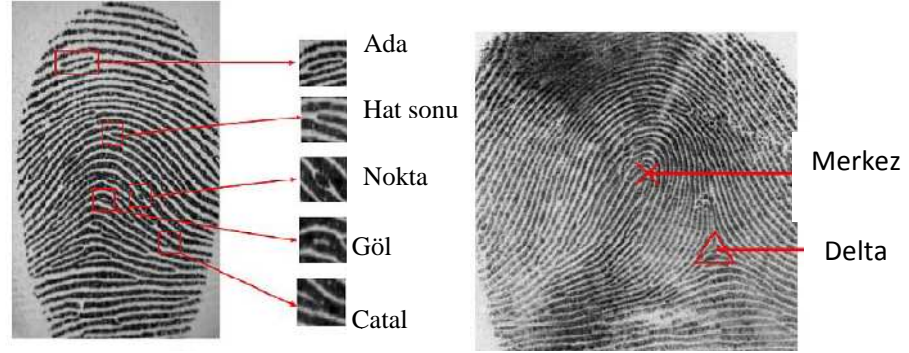


Şekil 3.3. Galton-Henry Parmak izi sınıflandırması (Galton 1892 ve Henry 1900)

Günümüzde çoğu parmak izi tanıma uygulamaları, Galton karakteristiklerinin karşılaştırılması yoluyla yapılan parmak izi tanıma sürecinden önce Henry sınıflandırmasını kullanır.

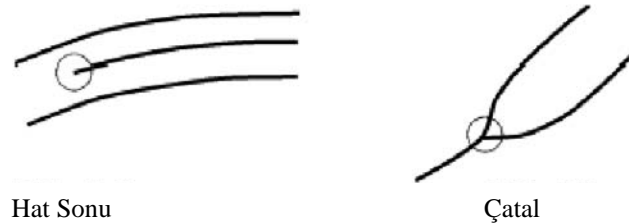
Galton karakteristikleri, parmak izi tepe çizgilerinden çıkarılan detay özelliklerdir (Jain 1996). Bir tepe, tek bir eğri parçasıdır. Birçok tepenin

kombinasyonu ile bir parmak izi örüntüsü oluşur. Tepe çizgilerinin sonlanması ve kesişmesi ile oluşan özellikler öznitelik olarak adlandırılır. Galton' un tanımladığı bazı karakteristikler; tepe uç noktaları, çatallar, adalar ve kapalı çevrimlerdir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Parmak izi karakteristikleri (Lokal ve Global yapı)

Dikkatle incelendiğinde parmak izlerindeki bazı hatların ani olarak sonlandığı veya ortadan ikiye ayrılıp bir çatall oluşturduğu görülecektir. Bu karakteristik noktaları "nitem" olarak tanımlanır. Bu noktalar, sırasıyla hat sonu ve çatall denir (Şekil 3.5). Parmak izleri için esas ayırt edici özellik, nitemlerin parmak izi içerisinde bulunduğu yerler ve yönleridir. Parmak izlerini dikkatlice karşılaştırırsak, ana yapı olarak birbirine benzeseler de, nitemler göz önüne alındığında aslında çok farklı oldukları görülür. Bu farklılıklar öyle ayırt edicidir ki, yapılan çalışmalarda yeryüzündeki iki farklı insanın aynı parmak izine sahip olma olasılığı 64 milyarda bir olarak saptanmıştır.

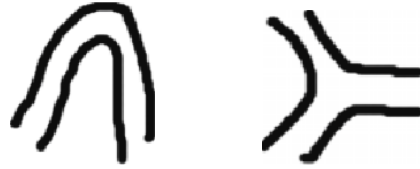


Şekil 3.5 Özellik noktaları (minutiae)

Parmak izi özelliğinin iki çeşidi vardır;

-Core Point(Göbek Nokta); Parmak izlerindeki bazı hatlar kendi etraflarında kıvrılıp kement meydana getirebilirler. Eğer parmak izinde yukarıya doğru bir kement varsa, bu kemere en ortadaki kıvrım noktasına göbek noktası denilir ve bu nokta, o parmak izinin merkez noktası olarak kabul edilir.

- Delta Point (Delta, Üçgen nokta) ; Parmak izlerinde her bir kemere karşılık bir grup hattın meydana getirdiği delta noktası bulunur. Bazı parmak izlerinde hiç bir göbek noktası ve delta noktası bulunmayabilir.



Şekil 3.6. Parmak izi özellikleri



Şekil 3.7. Parmak izi özelliklerine örnekler (Daireler bir göbek nokta bölgesini, üçgenler bir delta nokta bölgesini göstermektedir)

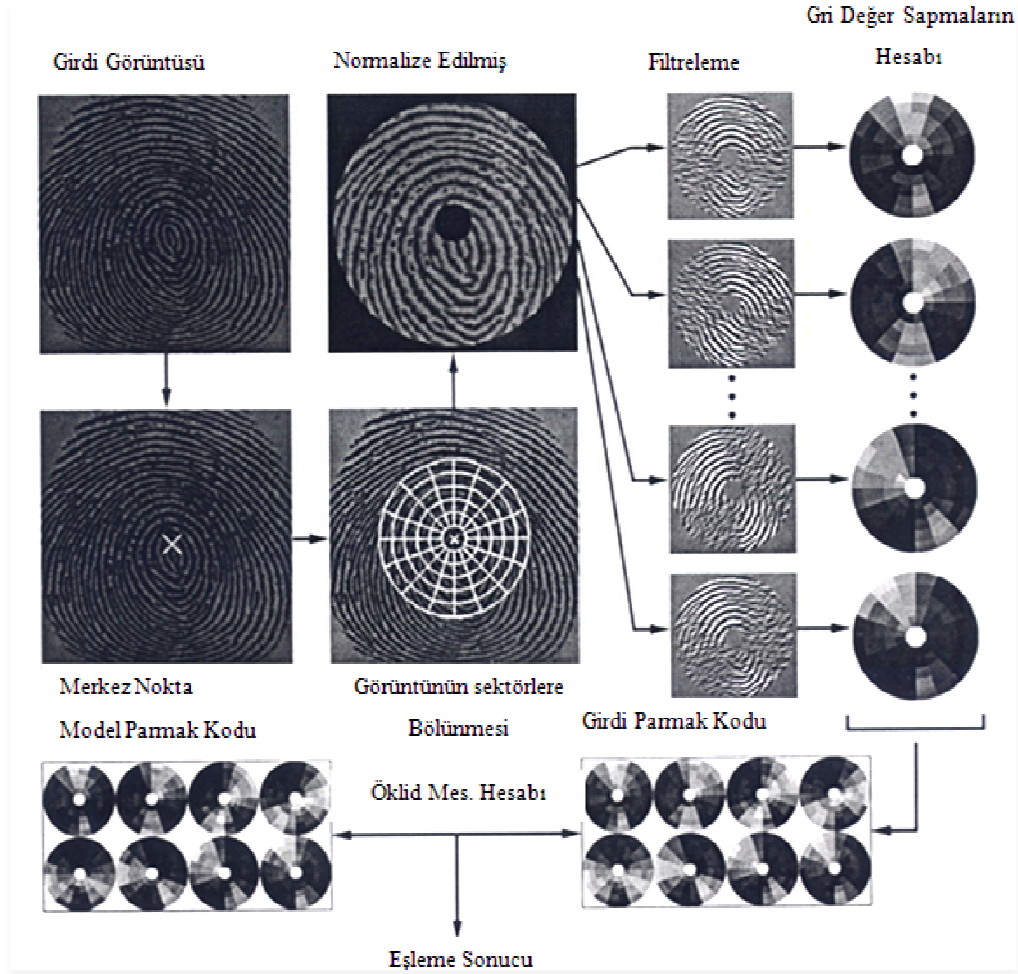
Bir veritabanında yeni bir parmak izi aranırken, tanımının gerçekleşmesi için yeterli sayıda karakteristik özellik benzeşmelidir. Henry ve Galton' un çalışmalarından sonra parmak izi tanıma çalışması geliştirilmiştir.

Günümüzde parmak izi tanıma için genel olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Filtreleme (dalgacık dönüşümlü) tabanlı ve öznitelik tabanlı parmak izi tanıma.

Dalgacık dönüşümleri belirli matematiksel gereksinimleri karşılayan verileri ya da başka fonksiyonları temsil etmekte kullanılan fonksiyonlardır. Dalgacık dönüşümlerini gerçekleştirmek için verimli yol filtre kullanmaktır (Prabhakar 2001).

Yersel histogramlar aracılığıyla bulunan bir referans noktası merkez olarak tespit edildikten sonra Gabor filtrenin uygulanacağı dairesel alan, bant sayısı, sektör sayısı ve bant genişliği parametrelerine bağlı olarak sektörlü edilir. Sektörlü edilmiş her bir bölge normalize edilerek Gabor filtre uygulanır. Açısal değer θ , 0° 'den itibaren aralarında 22.5° fark bulunan açı değerleri ile oluşturulan 8 Gabor filtresi uygulanır. Özellik vektörünü elde etmek için her bir sektörün sektör içi ortalama değerden sapması bulunur.

Her bir parmak izi görüntüsü için band ve sektör sayısına bağlı olarak değişken büyüklüklerdeki diskler halinde 8 'er özellik vektör kümeleri elde edilir. 0° den başlamak üzere Gabor filtre sonucu elde edilen özellik vektör değerleri sırasıyla yan yana yazılarak özellik vektör kümesi oluşturulur. Oluşturulan özellik vektörü veritabanındaki verilerle karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucu en yüksek benzerlik oranının bulunduğu veri tanımlanır (Yıldırım ve ark. 2002). Şekil 3.8 ' de filtreleme tabanlı parmak izi eşleme için oluşturulmuş işlem basamakları gösterilmiştir.

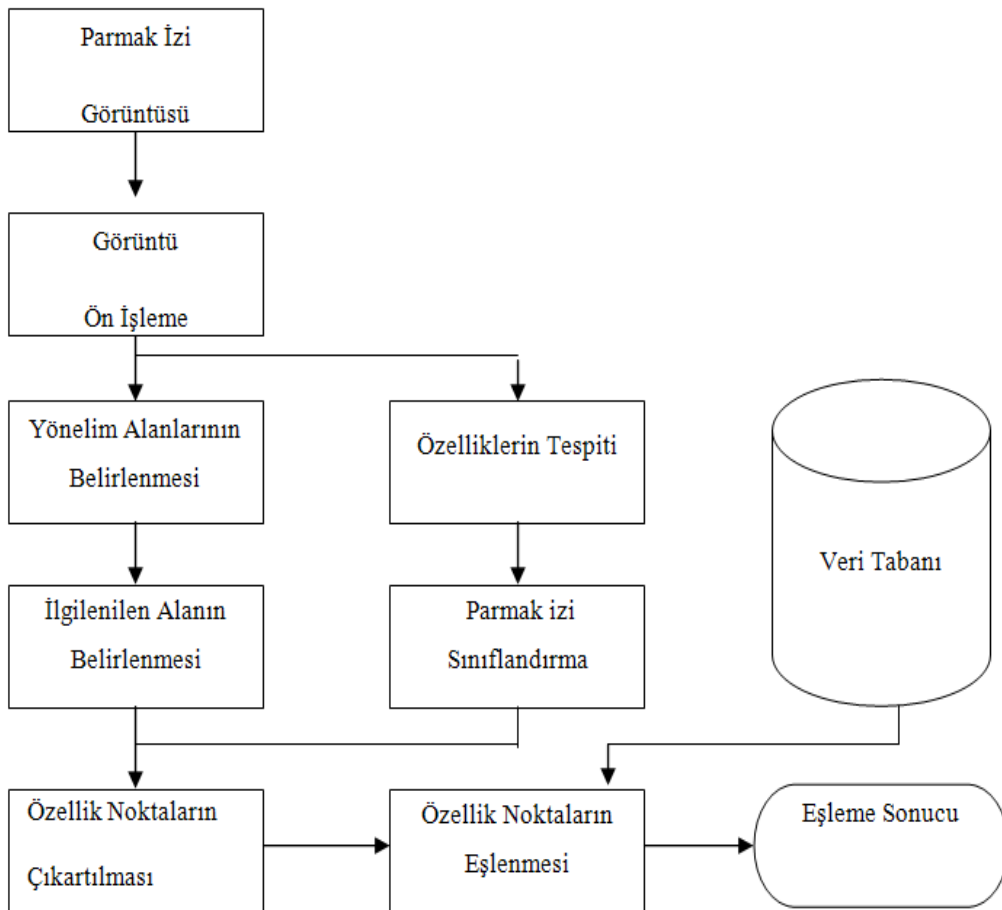


Şekil 3.8. Filtreleme Tabanlı Parmak İzi Eşleme

Otomatik parmak izi tanıma sistemleri ile kimliklendirme işlemlerinde, özellik noktaları olarak bilinen parmak izi resimlerindeki hat çizgisi karakteristikleri ve bunların birbirleriyle olan ilişkileri kullanılır (Özkaya 2003). Bunun için, giriş parmak izi resminden özellik noktalarının sorunsuz ve güvenilir bir şekilde elde edilebilmesi, tanıma için çok önemlidir. Özellik noktalarının bulunmasına yönelik algoritmaların başarısı, büyük ölçüde giriş parmak izi resminin kalitesine bağlıdır. Genellikle, parmak izi resimleri, üzerinde işlem yapılabilecek kalitede değildir ve resim iyileştirme işlemlerine ihtiyaç duyarlar. Resim iyileştirme algoritmaları, giriş parmak izi resmine bir dizi işlem uygulayarak, sonuçta daha iyi kalitede resim elde edilmesini sağlarlar.

Giriş resminin kalitesinin artırılması kimliklendirme işleminde otomatik parmak izi tanıma sisteminin hızını, başarımını ve güvenilirliğini artırması ve sistemin hatasını azaltması açısından önemlidir.

Nokta tabanlı parmak izi eşlemede genel olarak parmak izi görüntüsünün iyileştirilmesi, yönsel histogramlar veya furier dönüşümü ile izlerin çıkartılması, özellik noktalarının çıkartılması, özellik noktalarının hizalama tekniğiyle, gezici nokta yaklaşımıyla, en yakın komşuluk tekniğiyle, merkez nokta yöntemiyle vb eşleme teknikleri kullanarak eşleme yapılır. Şekil 3.9. Nokta Tabanlı Parmak İzi Eşleme İşlem Şeması verilmiştir.



Şekil 3.9. Nokta Tabanlı Parmak İzi Eşleme İşlem Şeması

Biyometrik sistemlerde güvenlik iki şekilde sağlanmaktadır (Jain 1997). Kişi doğrulama (*authentication* yahut *verification*) kişi sisteme kimliğini söyler ve biyometrik özellik bu kimliği doğrulamakta kullanılır. Kimlik doğrulamada kişinin biyometrik özelliği önceden sistemde saklanır ve doğrulama sırasında alınan özelliklerle karşılaştırılır. Eğer değerler yeterince yakınsa, kişinin kimliği doğrulanır. Kişi algılamada (*identification/recognition*) kişi kimlik belirtmeden tanınmaya çalışılır Veritabanında bir arama yapılır ve biyometrik özellik bütün kişilerle karşılaştırılır. Eğer en yakın kişinin özellikleriyle aradaki fark belli bir eşik değerden küçükse, tanıma gerçekleşir. Her iki yöntemde de kullanılan temel işlem özellik noktalarının belirlenmesidir. Parmak izi doğrulama ve algılama sistemlerinde, piksel veya iz tabanlı eşleştirme yerine genelde nokta tabanlı eşleştirme (özellikli nokta eşleştirme) algoritmaları kullanılır. Tablo3.2 'de Parmak izi eşleme için iki temel yaklaşımın karşılaştırılması gösterilmiştir. Bu nedenle birçok nokta tabanlı eşleştirme algoritması geliştirilmiştir.

Tablo3.2. Parmak izi eşleme için iki temel yaklaşımın karşılaştırılması

Yaklaşım	Özellik Nokta (<i>minutiae</i>) Tabanlı	İlişki Tabanlı
Eşleme Tekniği	Nokta Model Eşleme	Görüntü tabanlı ilişki
Algoritma	Kompleks	Basit
Hassasiyet	Yüksek	Düşük
Hız	Yüksek	Yavaş
Uygunluk	Yüksek kaliteli parmak izi görüntüsü	Düşük kaliteli parmak izi görüntüsü

Çalışma kapsamında, nokta tabanlı eşleme yöntemi kullanıldığı için, ilerleyen bölümlerde bu konuyla ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir.

3.3.3.2. Yüz Tanıma

Tüm yapılan sabit iki görüntünün karşılaştırılmasıdır. Yüz tanımlama teknolojilerinin temeli mevcut yüz/yüzlerin görüntülerinden o yüzle ilgili karakteristik özelliklerin çıkartılmasına dayanmaktadır. Yüz karakteristiği tanımlanırken göz çukurlarının saptanması, elmacık kemiğini çevreleyen bölgelerin taranması, ağız kenarlarının belirlenmesi, kulak memesini analizi gibi çeşitli metotlar kullanılır. Yüz tanıma sistemlerinde temel olarak iki teknik kullanılır.

Bunlar;

- Bütünsel (holistic) belirleyiciler, tüm yüzü kapsar.
- Kısmi belirleyici, göz, dudak ve burun incelenir.

Kısmi belirleyici tekniği kullanılarak yapılan çalışmalar çok fazla zaman gerektirmektedir ve karışık matematiksel işlemler içerir. Bütünsel belirleyici tekniği kullanılarak yapılan işlemler daha kısa sürmektedir.

Yüz tanımlama teknolojilerinde dünyada yaygın olarak 4 temel yöntem kullanılmaktadır:

- **Eigenfaces (öz yüzler):** Bu teknoloji MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından üretilmiştir. Yöntem, bir insan yüzünün 100-125 adet sabit öz yüz ile üretilebileceği prensibine dayanır. Her yeni kişinin yüzü, bu ana yüzlerle uyum oranları derecelendirilerek bir parametre haline getirilir.

- **LFA (Local Feature Analysis) Bölgesel özellik analizi: LFA** yüzün farklı bölgelerinden alınan düzinelerce özelliği kullanır. Bu yüz bloklarının özelliklerinin bütün içindeki konumları arasındaki ilişkileri ölçer. Yatayla 25, düşeyle 15 derece farklı açılardaki resimleri işleyebilmektedir. LFA, öz yüz tekniğinin bir türevidir.

- **AFP (Automatic Face Processing) Otomatik yüz işleme:** AFP göz, burun ve ağız köşeleri arasındaki mesafeleri ve mesafe oranlarını kullanan bir yöntemdir.

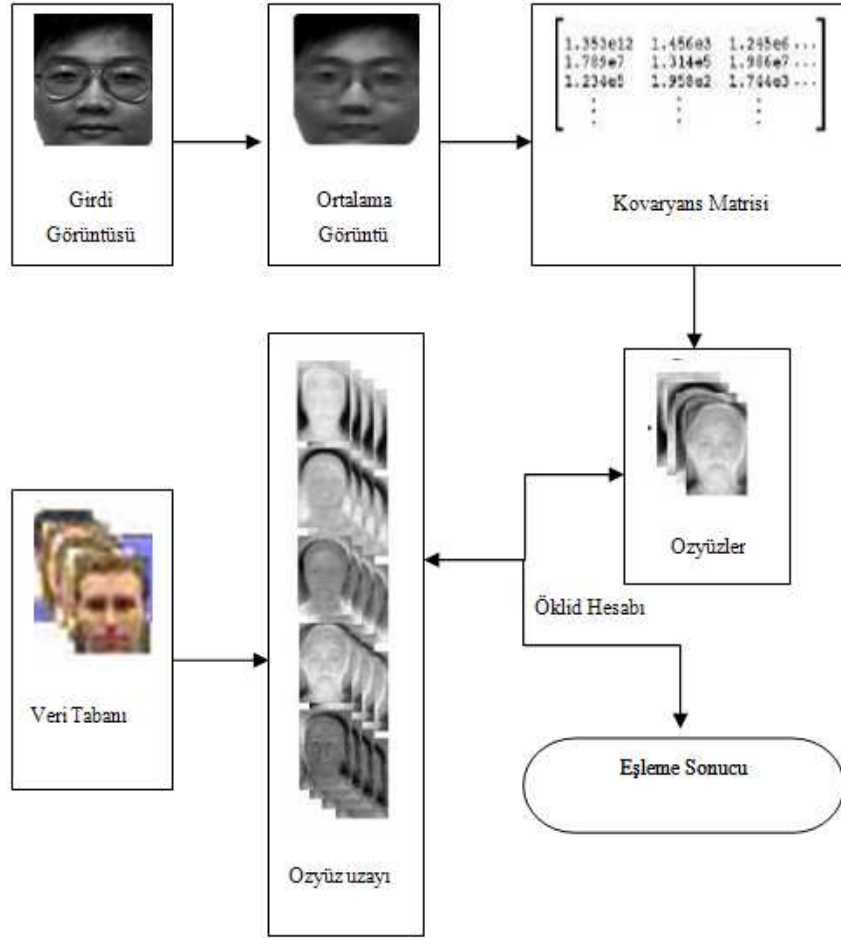
- **Neural networks**: Bir yüz için kullanabileceği algoritmaları kullanır. Bunlar bir insanın yüzünü tanıyabilmek için bir insan beyni gibi kullanılır. Öğrenme yetisine sahiptir.

Bu yöntemlerden öz yüz, bölgesel özellik analizi ve sinir ağları yöntemleri bütünsel belirleyici tekniklerden, otomatik yüz eşleme kısmi belirleyici tekniklerdendir.

3.3.3.2.1. Öz yüz yöntemi

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan yüz tanıma yöntemi özyüz tabanlı yöntemlerdir. Bu yöntemdeki temel amaç, sistemin veri tabanında yer alan görüntülerin ayırt edici karakteristik özelliklerini kullanarak olabildiğince az boyutlu bir uzay oluşturmak ve görüntüleri bu yüz uzayında karşılaştırmaktır. Bu uzayın temel vektörleri, yüzlerin yerel ve global bazı özelliklerini ortaya çıkarırlar ve görüntülerin içeriği hakkında bilgi verirler.

Yüz görüntüleri şeklinde olan bu vektörlere özyüz adı verilir. Özyüzler belirledikleri temel özellikler doğrultusunda gri değerlerden sapmalar gösterirler. Özyüz yönteminde tanıma işlemi, sisteme girdi olarak verilen görüntünün yüz uzayındaki izdüşümünün alınması ve bu vektörün veri tabanındaki izdüşümü alınmış diğer yüzlerle karşılaştırılması ile gerçekleştirilir.



Şekil 3.10. Filtreleme Tabanlı Yüz Tanıma İşlem Şeması

Özyüz tabanlı tanıma yöntemleri ışığa ve yüz ifadelerine karşı az değişken olmasına rağmen, yüzün büyüklüğüne karşı oldukça duyarlıdır. Bunun temel sebebi ışık değişimlerinde komşu piksellerle olan ilişkinin yüksek olması, ancak yüz büyüklüklerinin değişiminde ilişkinin kaybolmasıdır. Bu nedenle, çok ölçekli bir yöntemle farklı görüntü gruplarının özyüzleri bulunarak en yakın eşleme yöntemi ile sistemin performansı artırılabilir. Bununla beraber özyüz tabanlı yöntemlerde öznitelik vektörlerinin hesaplanmasında yüzün tümünün ele alınması, saç, gözlük, sakal gibi özelliklerin yüz tanımadaki kullanılmasına yol açmaktadır. Bu da sistemin performansını azaltmaktadır. Bunu önlemek için görüntülerin maskelenmesi ve normalize edilmesi yoluyla gereksiz bilgilerin atılması uygun görülmektedir.

Yüz uzayının oluşturulmasındaki amaç yüz görüntülerindeki farklılıklardan kaynaklanan bilginin oluşturduğu bir uzayda görüntüleri ifade edebilmektir. Bütün görüntüleri bir boyutlu olarak ifade edersek, uzayda yüz görüntüleri göz, burun ve ağız gibi benzer özelliklere sahip oldukları için diğerlerinden ayrı olan belirli bir bölgede toplanırlar. Bu nedenle az boyutlu bir uzayın elde edilmesi yoluyla, yüz görüntüleri daha kısa vektörler şeklinde ifade edilebilirler. Bu fikir, özyüz metodunda temel olarak alınmıştır. Özyüz metodu yüz uzayının oluşturulması, eğitime verilerinin öğrenilmesi ve girdi olarak verilen görüntülerin sınıflandırılması olmak üzere temel olarak üç adımdan oluşmaktadır.

3.3.3.2.2. Otomatik Yüz İşleme

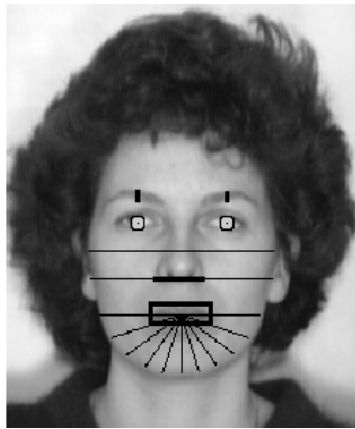
Geometrik tanıma, yüz üzerindeki belirleyici özelliğe sahip alanların boyutlarını birbirleri ile olan uzaklıkları ve geometrisi veya bunların oluşturduğu vektörlerin karşılaştırılması ile yapılan tanımlama yöntemidir. Bugüne kadar kullanılan ilk yüz tanıma metodudur. Goldstein tarafından kullanılan metotta yüz üzerindeki belirleyici özellikteki noktalar elle belirlenmiş ve geometrisi hesaplanmış ve böylece tanımlama yapılmıştır. Sonrasında bu fikir Kanade geliştirilmiş ve bilgisayar tabanlı çalışan yüz tanıma sistemi yapılmıştır. Kaya ve Kobayashi yüzdeki belirli noktaların arasındaki Euclidean uzaklığını hesaplamış ve bu noktaların belirlenmesinde bazı önemli faktörler belirlemiştir. (Brunelli 1992)

- Tahmini kolay olmalı
- Işığa duyarlılık mümkün olduğunca az olmalı
- Yüzde değişiklik (mimik) olan noktalardan mümkün olduğunca bağımsız olmalı
- Ayırt edici özelliğe sahip bilgi mümkün olduğunca fazla olmalı

Yüz üzerinde geometrik tanımayı gerçekleştirmek için seçilen noktaları örneklendirecek olursak; yüz üzerindeki tanımlayıcı özelliğe sahip olan göz, kaş, ağız, burun ve çene örnek olarak sayılabilir.

R.Brunelli ve T.Poggio çalışmalarında Şekil 3.10 da görüldüğü üzere 22 geometrik noktayı yüz için belirleyici kabul ettiler.

Bunların 11 tanesi ağız merkezinde çenenin dış çevre noktalarına olan uzaklıklar, 4 tanesi ağız kısmını çevreleyen dikdörtgenin kenar uzunlukları, 1 tanesi burnun alt kısmında genişliğini veren çizgi, 2 tane nefes alma hareketinin olduğu çizgi ve elmacık kemiklerinin üzerinden yüz boyunca geçen çizgiler, göz merkezleri ve buna karşılık gelen noktadaki kaşların yüksekliği. Elde edilen veriler 22 adet değer en yakın komşuluk (nearest neighbour) algoritması kullanılarak karşılaştırılır ve en küçük değere sahip olduğu veri tabanı resmi ile eşleştirilir. (Brunelli 1992)

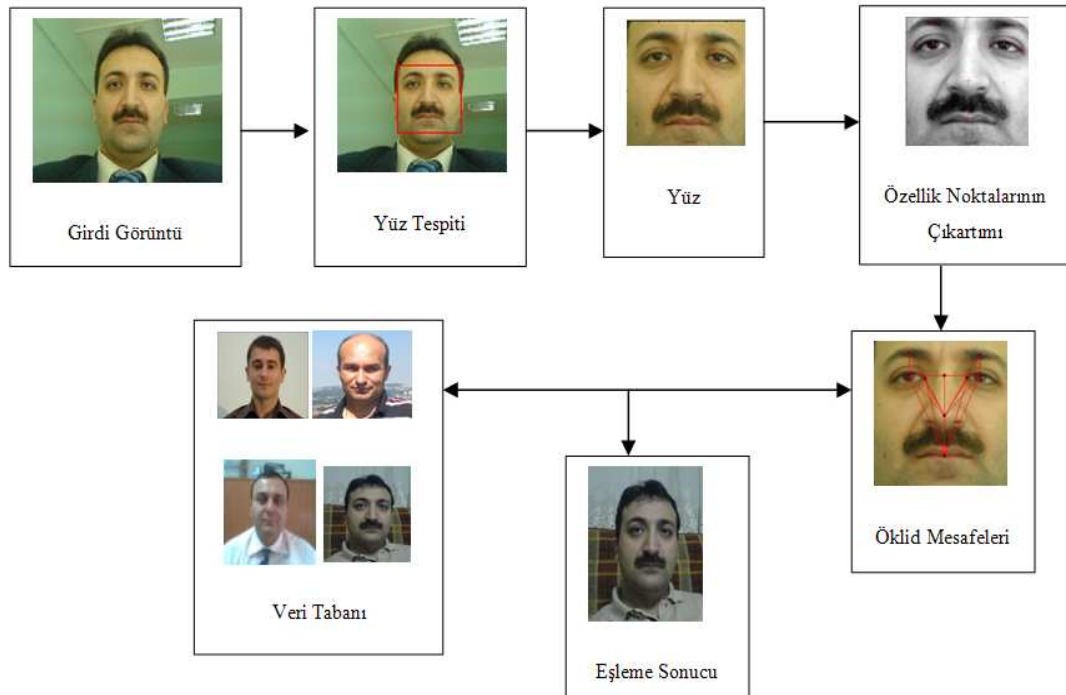


Şekil 3.11. Yüz tanıma için alınabilecek 22 geometrik nokta

Yüz tanıma yöntemlerinin en önemli aşaması görüntüde yer alan yüzlerin bulunmasıdır. Bulunan yüzlerin sayısı ve kalitesi yüz tanıma yönteminin başarısını doğrudan etkilemektedir.

Yüz tanıma adımları olarak; herhangi bir yüz aşağıdaki adımların uygulanması ile bilgisayar tarafından algılanarak gerekli yerlere kaydedilir. Karşılaştırılması istenen verilerle eşleme yapılır.

Bu aşamada; Yüzün dijital/analog olarak görüntülenmesi, elde edilen analog ise dijital hale getirilmesi, Dijital görüntüdeki unsurların, tanımlama algoritması kullanılarak birbirine bağlı olan uzaklıkları ve yüzün genel alanı içindeki koordinatların saptanması, elde edilen değerlerin tanıma algoritması kullanılarak matematiksel bir ifadeye dönüştürülmesi, ifadenin daha sonra elde edilecek diğer ifadeler ile karşılaştırılmak ve diğer uygulamalar için kullanılmak üzere saklanması, işlemleri yapılır (Şekil3.11).



Şekil 3.12. Yüz eşleme için işlem şeması

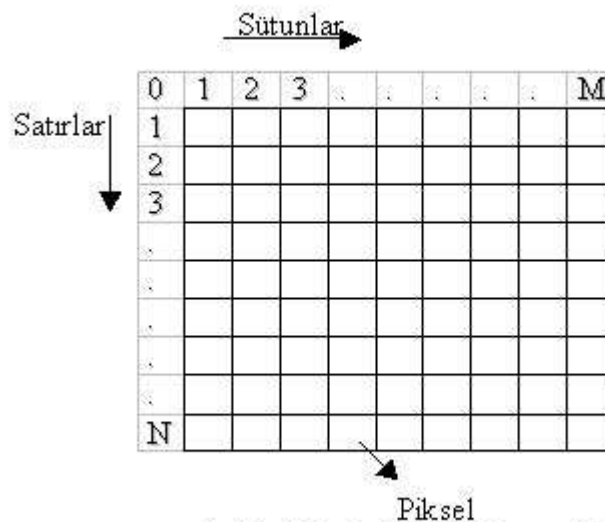
3.3.4. Görüntü İşleme

Görüntü işleme, genel terim olarak resimsel bilgilerin manipülasyonu ve analizi demektir (Costelman 1996). Sayısal görüntü işleme bir görüntünün ve özelliklerinin değiştirilmesi için kullanılan çok çeşitli teknikleri içerir. En basit düzeyde, görüntü işleme görüntüdeki piksellerin fiziksel olarak yerlerinin değiştirilmesi ile gerçekleştirilir (Göçeri 2007).

Görüntü işleme işlemlerinden önce sayısal resim ve renk modelleri hakkında ön bilgiler verilmiştir.

3.3.4.1. Sayısal Resmin Matematiksel İfadesi

Monokrom resim, iki boyutlu ışık yoğunluk fonksiyonu olan $f(x,y)$ ile ifade edilebilir. Burada x ve y uzay koordinatlarını, f fonksiyonunun değeri ise bu koordinatlardaki resim elemanının gri-seviye değerini (diğer bir deyişle parlaklığını) temsil eder.



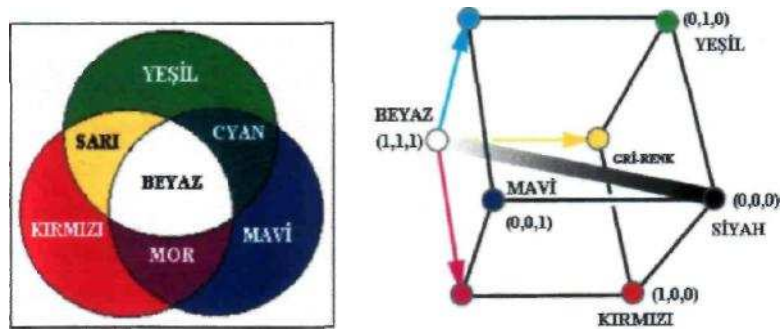
Şekil 3.13.Sayısal bir resmin temel yapısı

Aslında monokrom resim bir matrise benzetilebilir. Şekil 3.12’de görüldüğü gibi $M \times N$ boyutunda matris olarak düşünürsek her bir pikselin değeri bir dizinin i ve j inci terimi olarak ifade edilebilir.

Resmin M satır, N sütun indisi olmak üzere $M \times N$ boyutundaki bir matrisin (i,j) inci elemanı, x - y uzay koordinatlarında $f(x, y)$ fonksiyonunun değerini yani görüntünün o noktadaki parlaklık değerini içerir. Teknik olarak bu matrisin her bir elemanı "piksel" (ingilizce resim elemanları anlamına gelen "picture elements" in kısaltması) diye adlandırılmaktadır (Gonzalez ve Woods, 1993).

3.3.4.2. Renk Modelleri

İnsan gözünün yapısından dolayı bütün renkler ana renk (primary colors) olarak adlandırılan kırmızı, yeşil ve mavinin değişik kombinasyonlarından oluşmuş olarak algılanmaktadır. Temel renklerin bir araya gelmesiyle ikincil (secondary) renkler meydana gelmektedir. Mor (kırmızı+mavi), cyan (yeşil+mavi), sarı (kırmızı+yeşil) renkleri ikincil olarak adlandırılan renklerdir. Doğru oranlarda temel renkler bir araya getirilirse beyaz renk elde edilebilmektedir. Aynı şekilde ikincil renklerden bir tanesi ve bu rengin tersi bir araya gelirse beyaz renk elde edilebilir. Örneğin mor ile yeşil bir araya gelirse beyazı oluşturur (Şekil 3.13).



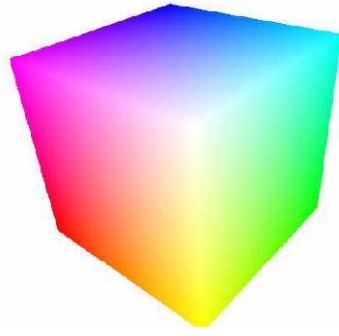
Şekil 3.14. Temel ve ikincil renkler ve RGB renk küpü.

Renk modelinin kullanım amacı renkleri belirli bir standarda göre tanımlamaktır. Bu amaca yönelik olarak renkler 3-boyutlu bir uzayda (RGB küpü) ifade edilmektedir. Bu gösterimde her bir renk 3-boyutlu bir uzayda tek bir nokta olarak gösterilebilmektedir. Renk modelleri günümüzde birçok cihazda kullanılmaktadır, bunlara örnek olarak renkli monitörler ve renkli yazıcıları verebiliriz.

Renkli sayısal resimlerin gösterimi için çeşitli renk modelleri kullanılmaktadır. Bu modeller RGB renk modeli, CMY renk modeli, YIQ renk modeli, HSI renk modelidir (Gonzalez ve Woods, 1993).

3.3.4.2.1. RGB Renk Modeli

RGB, İngilizce kırmızı (RED), yeşil (GREEN), mavi (BLUE) kelimelerinin baş harflerinin bir araya gelmesi ile oluşmuştur. Bu renk modeli insan gözü için en elverişli modeldir. RGB toplamalı bir renk uzayı olduğundan istenen bir rengi elde etmek için R, G ve B değerlerinin belli oranda değerlerinin toplamı bulunur. Her bir renk bileşeni bilgisayarda genellikle 8 bitle temsil edilir. Her renk 0 ile 255 arasında bir parlaklık değeri alır. R, G ve B bileşenlerinin her bir değeri 0 olduğunda siyah, her bir renk bileşeni 255 olduğunda ise beyaz rengini elde edilir. RGB renk modelinde her renk kırmızı, yeşil ve mavi renk bileşenlerinden meydana gelmektedir. Bu model, Kartezyen koordinat sistemi kullanılarak açıklanmaktadır. Şekil3.14'de gösterilen renk küpü RGB modelindeki renklerin uzaydaki birbirlerine göre konumlarını daha anlaşılır bir şekilde göstermek için kullanılmaktadır. Dikkat edilirse ilk üç köşede cyan, mor, sarı ve diğer, iç köşede kırmızı, yeşil, mavi renkleri bulunmaktadır. Küpün Kartezyen koordinatlarda ki (0.0.0) orijin noktası siyah, orijinden en uzakta bulunan (1.1.1) köşesi ise beyaz olarak gösterilmektedir. Bu gösterimden de anlaşılacağı gibi beyaz tüm ana renklerin bir araya gelmesi sonucu oluşmaktadır. Tam tersi durumda ise siyah meydana gelmektedir.



Şekil 3.15. RGB Renk küpü

RGB renk uzayı özellikle bilgisayar grafiklerinde ve görüntü işleme tekniklerinin uygulanmasında kullanılmaktadır.

3.3.4.2.2. CIE Lab Renk Uzayı

CIE Lab renk uzayı 1976 yılında görsel medya için tasarlanıp oluşturulmuştur. CIE Lab renk uzayı bileşenlerinden L değeri parlaklığı a değeri R/G değerini ve b değeri ise Y/B değerini göstermektedir.

Günümüzde CIE Lab renk uzayı çeşitli alanlar için standart renk uzayı olarak seçilmiştir ve bugün pek çok uygulamada kullanılmaktadır.

3.3.4.2.3. HSI ya da HSV Renk Uzayları

HSI renk uzayı ilk olarak renk özelliklerinin sayısal olarak ifade edilmesine ihtiyaç duyulduğunda ortaya atılmıştır. Kırmızı, mavi ve yeşil renkleri doğrusal olmayan bir şekilde yeniden organize edilmiştir. Bu renk uzayı görüntü işleme açısından oldukça kullanışlıdır. Çünkü HSI renk uzayında renklerin renk

bileşenlerinin ayrılış biçimi insanın görme sisteminin algılama şekli ile örtüşmektedir. Özellikle deri rengi ile ilgili çalışmalarda oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. H (hue) renk tonunu yani baskın olan rengi, S(saturation) renk doyumunu yani renk miktarını ve I(intensity ya da value) ise rengin parlaklığını temsil etmektedir.

3.3.4.2.4. CMY ve CMYK

Bu renk uzayı daha çok kâğıt üzerinde renklerin daha canlı görünmesi için kullanılmaktadır. CMYK(Çiyan, Magenta, Sarı, Siyah) renkler kağıt üzerinde daha iyi bir şekilde yansıdığı için bu renk uzayı özellikle yazıcılarda kullanılmaktadır. Ayrıca sayısal sanat yaparken bu renk uzayı renklerin daha canlı gözükmesini sağlayacaktır.

Bu renk uzayı daha çok baskı sistemleri için kullanılmaktadır. Cihaz-bağımlı bir renk uzayıdır. CMY ailesine dahil iki renk uzayı bulunmaktadır.

CMYK renk uzayında Cyan, Magenta ve Sarı üç ana renktir. Kırmızı (R), Yeşil (G) ve Mavi (B) bileşenleri ise bu renk uzayında ikincil renkler olarak adlandırılmaktadır.

3.3.4.2.5.YCbCr Renk Uzayı

YCbCr renk uzayı RGB bileşenlerinden elde edilen ve Avrupa televizyon stüdyolarında görüntü sıkıştırma işlemleri için yaygın olarak kullanılan bir renk uzayıdır. Y değeri RGB değerlerinin ağırlıklı toplamlarından ve Cb ve Cr değerleri ise renk farklarından oluşmaktadır. Aşağıda RGB renk uzayından YCbCr renk uzayına geçiş için kullanılan bağıntılar verilmiştir.

$$Y=0.299R+0.587G+0.114B \quad Cr=R-Y \quad Cb=B-Y \quad (3.1)$$

Bu renk uzayı görüntü işlemede daha çok ten rengi modellemelerinde kullanılmaktadır.

3.3.4.2.6. YIQ ya da YUV Renk Uzayları

RGB uzayında saklanan görüntünün çok yer kaplaması nedeniyle, televizyon yayıncılığında kullanılan bant genişliğini en aza indirmek için donanıma bağlı olarak YIQ ya da YUV uzayları kullanılır. Y, rengin parlaklık bilgisini taşır ve renkli görüntünün gri seviyeli halini ifade eder. IQ ya da UV ise resmin renk bilgisini taşımaktadır.

YUV uzayının yeni teknolojilerde kullanılmasının nedenlerinden bir tanesi insanın görme duyusunun, renkliliğe parlaklıktan daha az duyarlı olmasıdır. Bu nedenle YUV uzayında UV renk bileşenleri parlaklık bileşenine göre daha az örneklenir. Y bileşeni ise görüntünün siyah beyaz televizyonlardaki bileşenini taşımaktadır.

3.3.4.2.7. TSL Renk Uzayı

TSL renk uzayı normalize RGB değerlerinden elde edilmekte ve anlamsal olarak HSI renk uzayına benzemektedir. Teni rengi ile ilgili yapılan çalışmalarda TSL renk uzayının modelleme için en iyi uzay olduğunu görülmüştür. Ancak RGB uzayından TSL uzayına çift taraflı dönüşüm bağıntıları ağır matematiksel ifadeler içerdiğinden, gerçek zamanlı uygulamalar için pek uygun değildir. Bu nedenle TSL renk uzayına anlamsal açıdan en yakın HSI renk uzayını kullanmak daha uygun olmaktadır.

3.3.4.3. Görüntü İşlemenin Temel Basamakları

Farklı görüntü işleme algoritmaları geniş alt sınıflara ayrılarak incelenebilir. Farklı görevler ve problemler için farklı algoritmalar mevcuttur.

Görüntü iyileştirme (Image Enhancement) algoritmaları, özel bir uygulama için daha uygun bir sonuç üretmek amacıyla görüntüde yapılan işlemler olup iyileştirme (enhancement) algoritmaları olarak adlandırılır. Örneğin; görüntüdeki bulanıklığın giderilmesi veya keskinleştirme, kenarların belirginleştirilmesi, görüntüdeki zıtlığın veya parlaklığın artırılması veya gürültünün kaldırılması gibi uygulamalardır.

Bu gruptaki teknikler nokta işlemleri olarak da bilinir. Çünkü görüntüde piksel piksel değişiklik yapmak için nokta işlemleri kullanılır. Her piksel değeri bir önceki piksel'in değerine bağlı olan yeni bir piksel ile yer değiştirilir. En önemli nokta işlemleri thresholding, adaptive thresholding, contrast stretching ve histogram eşitleme olarak belirtilebilir.

Görüntünün tamiri (Restoration) için geliştirilen algoritmalar ise bilinen bir nedenden dolayı zarar görmüş olan görüntüde düzeltme işlemlerinin yapılabilmesine yöneliktir. Örneğin, düzgün hareketten dolayı oluşan bulanıklığın kaldırılması, optik bozulmaların kaldırılması ve periyodik etkilenmelerin kaldırılması için geliştirilen algoritmalar.

Görüntü bölümlenme algoritmaları, bir görüntüdeki elementlerin veya nesnelerin gruplandırılması, sınıflandırılması için kullanılır. Bölümlenme bir görüntüdeki çizgileri, daireleri veya arabalar, yollar, binalar gibi belirli şekillerin ele alınıp incelenmesi için yapılan bir gruplandırma işlemidir.

Görüntü sıkıştırma ise sayısal bir görüntüyü sıkıştırmak için ihtiyaç duyulan bellek miktarını azaltmak amacıyla yapılan görüntü işleme teknikleridir.

Görüntü analizi veya desen tanıma gibi işlemler için geliştirilen algoritmalar ise görüntü manipülasyonu grubu altında incelenir.

Morfolojik ve sayısal filtreleme teknikleri diğerk önemli görüntü işleme teknikleridir. Morfolojik işlemler genellikle gürültüyü azaltmak, sınırları belirginleştirmek veya görüntüdeki iskeleti belirlemek gibi işlemler için kullanılır.

Görüntü işlemede kullanılan filtreleme teknikleri ya yüksek ya da alçak frekansların geçişlerini engellemek amacıyla kullanılan tekniklerdir. Yüksek frekansların geçişini engellemek görüntüdeki bulanıklık veya düzleştirme (smoothing) işlemlerini gerçekleştirmek için yapılır. Alçak frekans geçişlerinin engellenmesi ise genellikle görüntüdeki kenarların belirginleştirilmesi veya iyileştirme (enhancement) için yapılır.

Filtreleme teknikleri ya frekans ya da uzaysal (spatial) ortamda gerçekleştirilir. Uzaysal ortam görüntüdeki pikseller topluluğunu ifade eder ve uzaysal ortam metotları ise doğrudan bu pikseller üzerinde yapılan işlemleri belirtmektedir.

Görüntü işleme için uzaysal maskeler kullanıldığında bu işlem uzaysal filtreleme (spatial filtering) ve maskeler ise uzaysal filtreler (spatial filters) olarak adlandırılmaktadır.

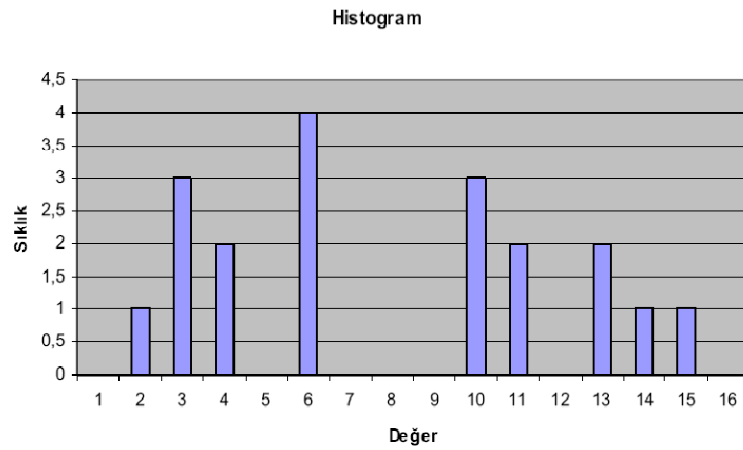
Görüntü işleme için frekans ortamında yapılan filtreleme Fourier Dönüşümü kullanılarak yapılmaktadır. Fourier Dönüşümü bir görüntüyü sinus ve cosinus parçalarına ayırmak için kullanılan önemli bir görüntü işleme aracıdır.

Fourier açılımındaki en büyük dezavantaj sadece frekans verisinin olması fakat zaman bilgisini içermemesidir. Bu nedenle bir görüntüdeki bütün frekanslar gösterilebilir fakat bu frekans değerlerinin ne zaman elde edildiği belirtilemez. Bu problemi çözmek için geçmiş yıllarda zaman ve frekans bilgisini aynı anda gösteren çeşitli çözümler üretilmiştir. Bu probleme bulunan en son çözüm ise dalgacık dönüşüm tekniğinin kullanılmasıdır.

Çok boyutlu görüntüler için ise dalgacık dönüşümü ayrı ayrı her boyutta gerçekleştirilir. Çünkü dalgacık dönüşümü, matris değerlerinin birleşiminden dolayı dalgacık dönüşüm matris değerlerinin çarpımı şeklinde yazılabilmektedir.

3.3.4.3.1.Histogramın Çıkarılması

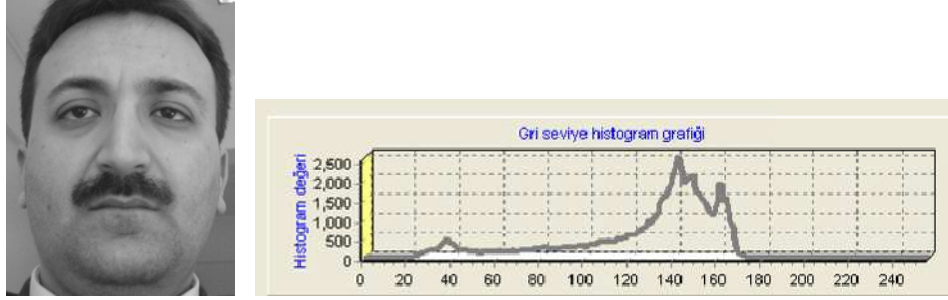
Bir resmi oluşturan piksellerin o resim içinde hangi sıklıkla geçtiğini veren istatistiksel bilgiye histogram denir. Renkli resimlerde ve gri seviye resimlerde olmak üzere iki türlü histogram çeşidi vardır. Çalışmada daha çok gri seviye histogram kullanılmıştır.



Şekil 3.16. Örnek histogram grafiği

3.3.4.3.1.1. Gri Seviye Resimde Histogram

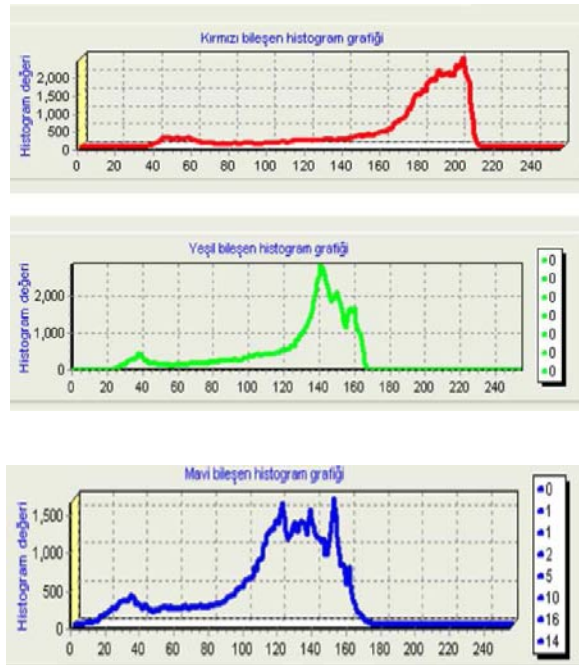
Resim gri seviyeye çevrildikten sonra elde edilir. Tüm resim taranarak 0 değerine sahip piksellerin sayısı tespit edilir ve 0 değerli pikselin frekansı (sıklığı) olarak belirlenir. 1 değerine sahip pikseller sayılır ve 1 değerli pikselin sıklığı olarak belirlenir. Bu şekilde 0–255 arası tüm piksellerin frekansları bulunarak histogram dizisi elde edilir.



Şekil 3.17. Gri seviye resimde histogram

3.3.4.3.1.2. Renkli Resimde Histogram

Renkli resimde histogram elde etmek için her bir renk kanalı ayrı ayrı değerlendirilir. RGB değerlerinin her biri için gri seviye resimde olduğu gibi ayrı bir histogram dizisi elde edilir. Yani R, G ve B değerlerinin ayrı ayrı frekanslarının bulunması gerekmektedir. Şekil 3.18 de renkli histogram grafikleri verilmiştir.



Şekil 3.18. R, G ve B bileşenlerine ait histogram grafikleri

3.3.4.3.1.3. Histogram Yumuşatma (Histogram Smoothing)

Histogram yumuşatma işlemi aslında ortalama alma işlemi ile benzer özellikler taşır. Yumuşatma işlemini uygulamadan önce histogramın çıkarılması gerekir.

Histogram dizisinin çıkarılmasından sonra bu dizinin yumuşatılması işlemine geçilir. Histogram yumuşatma işlemi ilke olarak ortalama alma işlemini uygulamaya benzerdir. Histogram dizisinde yeni oluşacak her bir değer kendisi ve komşu değerlerin ortalamasından oluşur. Bu algoritma aşağıda gösterilmiştir.

$$X_i^+ = \frac{X_{i-k} + \dots + X_{i-1} + X_i + X_{i+1} + \dots + X_{i+k}}{2.k+1} = \frac{\sum_{i=i-k}^{i+k} X_i}{2.k+1} \quad (3.2)$$

Burada X_i değeri, k ise histogram yumuşatma işleminin kalitesini göstermektedir. Histogram yumuşatma işleminde kullanılan kalite katsayısı $k=2$ olarak alınmıştır.

3.3.4.3.1.4. Histogram Eşitleme

Histogram Eşitleme, görüntüdeki piksellerin dağılımlarını daha düzenli hale getirmek için kullanılan bir tekniktir. Koyu renkli görüntüleri daha açık hale getirmek, açık renkli görüntüleri koyulaştırmak ya da normal resimdeki kontrastı artırmak için kullanılır. Bu teknik bir görüntünün tümüne ya da belli bir kısmına uygulanabilir.

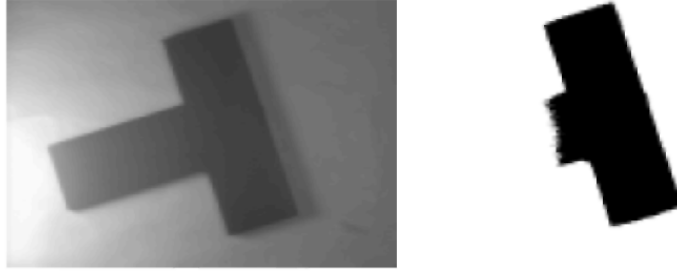
Histogram Eşitleme, parlaklık dağılımlarını yeniden düzenler. Görüntü dağılımında önceden kaç tane tepe noktası ya da vadi bulunursa histogram eşlemeden sonra da o kadar tepe ya da vadi oluşur. Ancak bu dağılımların aralarındaki açıklık değişir. Histogram eşitleme sonucu histogram belli bir aralıktan tüm aralığa yayılır ve böylece dağılım daha düzenli hale gelir

3.3.4.3.2. Görüntü Eşikleme (Image Thresholding)

Görüntü işlemede resimleri daha kolay işleyebilmek ve görüntü tanımada özellikler çıkarabilmek için resimler ikili hale dönüştürülmelidir. Resmin ikili hale dönüştürülmesi, belli bir eşik değerinin seçilerek bu değer altında kalan piksellerin siyah ve eşik değerinin üzerinde kalan piksellerin beyaz olarak seçilmesi ile gerçekleştirilir. Görüntü eşikleme işlemi ise bu eşik değerinin seçilmesine karşılık gelmektedir.

3.3.4.3.2.1. Global Eşikleme

Global eşikleme bir resmi gri seviye görüntüden ikili resme çevirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin global eşikleme olmasının nedeni, uygulanacak eşik değerinin tüm resme uygulanmasıdır. Eşikleme tek ya da çok seviyeli olabilir. Yukarıda da bahsedildiği gibi resmi ikili hale çevirmek için tek seviyeli eşikleme kullanılmalıdır. Tek bir eşik değeri kullanıldığında, resimdeki bir pikselin parlaklık değeri eşik değerinden düşükse o piksel değeri siyah (ya da beyaz) olarak belirlenir ve benzer şekilde piksel değeri eşik değerinden düşükse o piksel değeri siyah (ya da beyaz) olarak belirlenir. Bazı durumlarda eşikleme yapılırken belli bir bant aralığı seçilir. Piksel değeri bu bant aralığında ise o piksel değeri beyaz (ya da siyah) seçilirken piksel değeri aralığın dışında ise o piksel değeri siyah (ya da beyaz) olarak belirlenir. Eşik değerinin belirlenmesi işlemi karmaşık bir işlemdir. Çoğu görüntü işleme uygulamalarında önceden belirlenen bir eşik değeri kullanılmaktadır. Şekil 3.19'da eşik değeri 80 olarak seçilmiş ve elde edilen sonuç verilmiştir.



Şekil 3.19. Global eşikleme (Orijinal resim, eşik değerin 80 alınması ile elde edilen ikili görüntü)

3.3.4.3.2.2. Değişken Eşikleme

Global eşikleme, tüm resim üzerinde önceden belirlenen bir eşik değerinin uygulanmasına dayanır. Ancak çoğu durumda global eşikleme, farklı parlaklık ve durumlarda alınan resimler için uygun sonuçları vermez. Bu yüzden dinamik olarak eşik değerinin belirlenmesi gerekir.

3.3.4.3.3. Morfolojik İşlemler

Morfolojik işlemler, diğer önemli görüntü işleme teknikleridir. Morfolojik işlemler genellikle gürültüyü azaltmak, sınırları belirginleştirmek veya görüntüdeki iskeleti belirlemek gibi işlemler için kullanılır. Görüntü işleme uygulamalarında kullanılan 2 temel morfolojik işlem vardır. Bunlardan biri aşındırma (erosion) diğeri ise yayma (dilation) işlemleridir.

Yapısal eleman, birçok morfoloji(yapı bilimi) işleminin gerçekleştirilmesinde en önemli öğedir. Sayısal resimler matematiksel ifade oldukları için matematiksel morfoloji özellikleri kullanılır.

Aslında yapısal eleman olarak adlandırılan ifade istenilen boyutlarda ve

istenilen şekilde hazırlanmış küçük ikili bir resimdir. Yapısal eleman çeşitli geometrik şekillerden biri olabilir; en sık kullanılanları kare, dikdörtgen ve dairedir.

Yapısal elemanın merkez pikselinin ikili bir resim içerisindeki objelere temas etmesiyle ortaya çıkan obje ile yapısal elemanın kesişim kümesi "objeden çıkartılarak" veya "objeye eklenerek" birçok morfolojik işlem gerçekleştirilir. Buradaki en önemli nokta objeye eklenen ya da objeden çıkarılan kısmın yapısal eleman tarafından belirlenmesidir. Eğer morfolojik işlemin sonucunda resimdeki nesnelerin keskin hatları silinip yerlerine kavisli veya daha yumuşak hatlar getirilmek isteniyorsa dairesel yapısal eleman kullanılmalıdır. Örneğin erozyon işleminde resim içerisindeki nesnelerin en ve boyları aynı oranda azaltılmak (erozyona uğratılmak) isteniyorsa yapısal eleman kare seçilmelidir. Yapısal eleman örnekleri şekil 3.20 de görülmektedir.

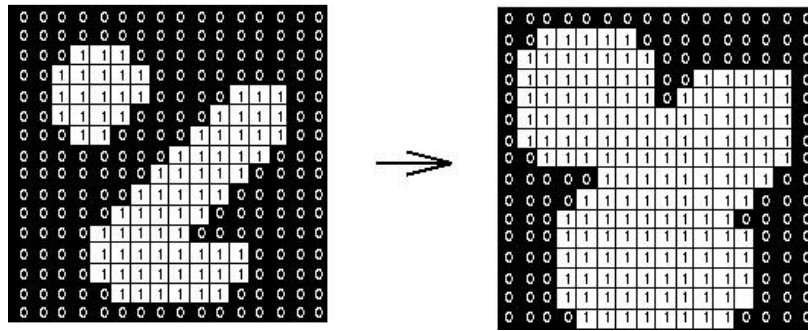
1	1	1	0	1	0	0	1	0
1	1	1	1	1	1	0	1	1
1	1	1	0	1	0	0	0	0

Şekil 3.20. Yapısal elemanlar

3.3.4.3.3.1. Yayma (Dilation)

Genellikle bu işlemler ikili resimlere uygulanmaktadırlar. Yayma işleminin temel etkisi ikili bir resimdeki şekilleri genişletmektir. İkili resimde şekilleri oluşturan piksellerin beyaz ve arka planı oluşturan piksellerin siyah olduğu düşünülürse yayma işlemi sonucu beyaz piksellerin sayısı artarken siyah piksellerin sayısı azalmaktadır. Yayma işlemi temelde iki giriş bilgisi alır. Birinci giriş, yayma işleminin uygulanacağı ikili resim ve ikinci giriş ise yayma işlemi için kullanılacak yapısal elemandır. Basit olarak yayma işlemi şu şekilde uygulanır.

Yapısal eleman ikili resim üzerinde gezdirilir. Yapısal element ikili resim üzerine iz düşürüldüğünde ikili resim üzerinde oluşan 3x3 lük bölgedeki piksellerin herhangi biri beyaz ise (şekle ait ise) o zaman merkezdeki eleman da beyaz olarak ayarlanır. İkili resim üzerinde oluşan 3x3 lük bölgedeki piksellerin tamamı siyah ise (arka plana ait ise) o zaman merkeze karşılık gelen piksel de siyah olur. Yayma işleminde yapısal eleman olarak farklı türler kullanılabilir ve değişik sonuçlar elde edilebilir. Şekil 3.21. de yayma işlemi sonucu gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Yayma İşlemi

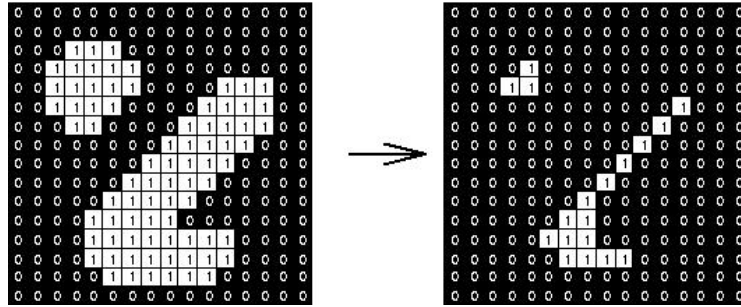
3.3.4.3.2. Aşındırma (Erosion)

Görüntü işlemede kullanılan ikinci temel morfolojik işlem aşındırma işlemidir. Aşındırma işleminin temel etkisi şekli oluşturan piksellerin aşındırılmasıdır. Bu işlem sonucu ikili resimde beyaz piksellerin (şekli oluşturan piksellerin) sayısı azalırken, arka plandaki piksellerin (şekli oluşturan piksellerin) sayısı artmaktadır. Aşındırma işlemi de yayma işlemine benzer şekilde iki giriş bilgisi alır. Bunlardan birincisi ikili resim ve diğer giriş ise yapısal elementtir. Yapısal element, yayma işleminde kullanılan yapısal elementle aynıdır.

Aşındırma işlemi aşağıdaki şekilde uygulanır:

Yapısal element ikili resim üzerinde gezdirilir. Yapısal element ikili resim üzerine iz düşürüldüğünde ikili resim üzerinde oluşan 3x3 lük bölgedeki piksellerin

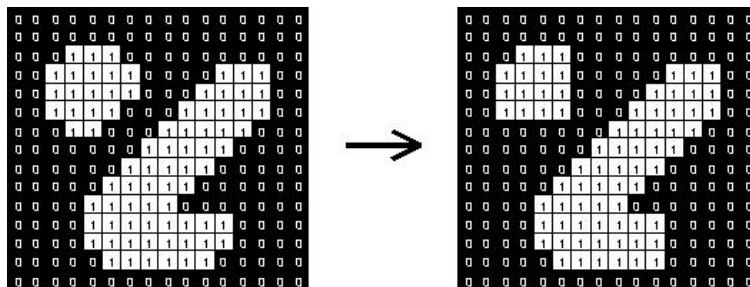
herhangi biri siyah ise (arka plana ait ise) merkeze karşılık gelen piksel de siyah olarak ayarlanır. Eğer yapısal element ikili resim üzerine iz düşürüldüğünde ikili resim üzerinde oluşan 3x3 lük bölgedeki piksellerin tamamı beyaz ise (şekle ait ise) merkeze karşılık gelen eleman beyaz olarak kalır. Şekil 3.22 de aşındırma işlemi sonucu gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Aşındırma İşlemi

3.3.4.3.3. Açma (Opening) İşlemi

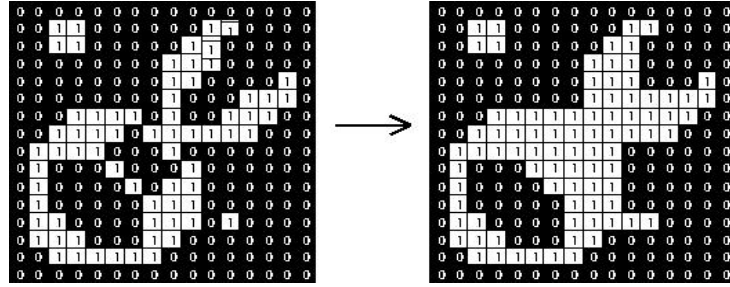
Görüntü işleme tekniklerinde yaygın olarak kullanılan bir diğer morfolojik teknik ise açma (opening) tekniğidir. Bu teknik temelde aşındırma ve yayma işlemlerine dayanır. Açma işlemi, yayma işleminin ardından aşındırma işleminin uygulamasına karşılık gelmektedir. Şekil 3.23. de açma işlemi sonucu gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Açma İşlemi

3.3.4.3.4. Kapama (Closing)

Kapama işleminin uygulanışı açma işleminin uygulanışının tam tersi olarak düşünülebilir. Yani önce aşındırma işlemi daha sonra da yayma işlemi uygulandığında bu işlem kapama işlemi olarak isimlendirilir. Şekil 3.24. de kapama işlemi sonucu gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Kapama İşlemi

3.3.4.3.4. Görüntü Filtreleme

Bir görüntü içerisindeki farklı alanlardaki farklı bilgilerin ön plana çıkartılması veya kaybedilmesi yöntemidir. Filtreleme için 3 genel yöntem vardır.

- Düşük geçiş filtresi: Aykırı noktaların yumuşatılmasını
- Yüksek geçiş filtresi: Aykırı noktaların vurgulanması
- Yönel geçiş filtresi: Çizgisel yapıların vurgulanması içindir.

Filtreler çekirdek matris formundadır ve boyutları 3x3, 5x5,7x7,9x9,11x11 şeklinde olabilir. Filtre matrisi tanımladığı amaca yönelik olarak görüntüde işleme sokulur.

$$\begin{array}{ccc}
 i-1,j-1 & i,j-1 & i+1,j+1 \\
 i-1,j & i,j & i+1,j
 \end{array}$$

$$i-1,j+1 \quad i,j+1 \quad i+1,j+1$$

Şekil 3.25 Görüntüdeki i,j pikselin komşuluk ilişkisi

1	1	1	1	2	1	0	-1	0	-1	-1	-1
1	1	1	2	4	2	-1	5	-1	-1	9	-1
1	1	1	1	2	1	0	1	0	-1	-1	-1
Lowpass			Gaussian			Highpass 1			Highpass 2		
			Lowpass								
0	-1	0	-1	-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	-1
-1	4	-1	-1	8	-1	-1	2	-1	2	2	2
0	-1	0	-1	-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	-1
Laplace			sinc			Dikey Çizgi			Yatay çizgi		
-1	-1	2	2	-1	-1	-1	0	1	1	1	1
-1	2	-1	-1	2	-1	-2	0	2	1	-8	1
2	-1	-1	-1	-1	2	-1	0	1	1	1	1
+45 derece			-45 derece			Sobel X			well		

Şekil 3.26. Görüntü işlemede kullanılan çeşitli filtreler

Filtre matrisi ile görüntüyü filtrelediğimizde bu matrisi tüm görüntü üzerinde 3x3 lük pikseller şeklinde uygulanır. Filtre matris görüntü üzerinde gezdirilir ve nesnenin altında kalan piksellerin gri seviye değerleri filtrenin içerisindeki katsayılar ile çarpılır ve çarpım sonuçları toplanarak filtre içerisindeki katsayıların toplamına bölünür. Şekil 3.26 da görüntü işlemede kullanılan filtreler gösterilmiştir.

3.3.4.3.5. Canny Kenar Tespiti Algoritması

Kenar bulma operatörleri temelde görüntünün basit bir filtreden geçirilmesine dayanırken, canny prosedürel hesaplamalar gerektiren bir yöntemdir. Canny kenar tespit algoritması şu adımlardan oluşur.

- Gauss filtresi kullanılarak görüntü yumuşatılır.
- Görüntünün yoğunluk gradyenti hesaplanır.
- Maksimum olmayan değer baskılanır
- Çift eşik değer kullanılarak kenar bulunur.

Görüntüdeki gürültüleri temizlemek için Gauss filtresi kullanılır. Görüntüdeki gürültülerin temizlenmeden işlem yapılması, gürültü içeren piksellerin kenar olarak algılanmasına yol açacaktır. Şekil 3. 'de 5x5 gauss filtresi örneği gösterilmiştir.

$$A = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$

Şekil 3.27. 5x5 Gauss filtresi

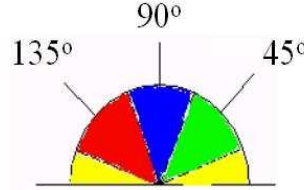
Görüntüdeki şekillerin kenarları farklı yönlerde olabilir. Bu nedenle canny algoritması, yumuşatılmış görüntüde yatay, dikey ve çapraz kenarları bulmak için dört filtre kullanır. Kenar tespit operatörleri (Roberts, Prewitt, Sobel vb) yatay ve dikey yöndeki gradyenti değerleri kullanılarak, kenar yönü bulunur. Şekil 3. 28'de Sobel operatörü gösterilmiştir.

$$\begin{array}{ccc} -1 & 0 & 1 & & 1 & 2 & 1 \\ -2 & 0 & 2 & & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & & -1 & -2 & -1 \\ & & & & G_x & & G_y \end{array}$$

Şekil 3.28 Sobel operatörü

$$G = \sqrt{Gx^2 + Gy^2} \quad \theta = \arctan\left(\frac{Gy}{Gx}\right) \quad (3.3)$$

İkili kenar haritası Sobel operatörü kullanılarak üretilir(eşik değeri 80). Kenarlar yönlerine göre renklendirilir. 0° için sarı, 45° için yeşil, 90° için mavi, 135° için kırmızı (Şekil 3.29).

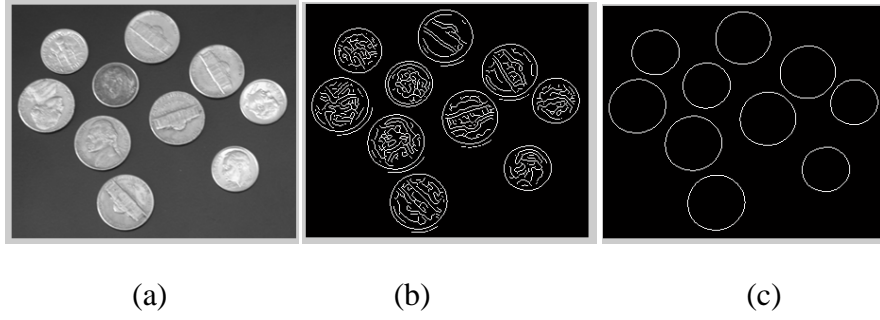


Şekil 3.29. Kenarların yönlerine göre renkleri

Çift eşik değeri $T1$ ve $T2$ kullanılır. Eşiğin yukarısındaki her şey ve yerel bir maksimum bir kenar olarak düşünülmez. Eğer değeri $T1$ den küçükse kenar değildir, $T1$ ve $T2$ arasındaysa diğer kenarlarla bağlantılı bir kenar vardır, $T2$ den büyükse bu bir kenardır.

İki eşik değeri kullanımı tek eşik değeri yaklaşımından daha esneklerdir. Fazla yüksek bir eşik takımı önemli bilgiyi kaydırabilir, diğer taraftan fazla düşük bir eşik takımı yanlış olarak ilgisiz bilgiyi önemli hale getirebilir. Eşik değeri test edilerek seçilip uygulanmalıdır.

Sobel ve roberts cross operatörleri kadar hızlı değildir. Buna karşılık çok yüksek miktarda gürültü barındıran resimlerde bile kenar bulma işlemini başarıyla yerine getirir. Sistemin gürültüden etkilenmemesindeki en büyük etken gauss maskesini kullanarak önce gürültüyü temizlemesidir. Bu yüzden de diğer kenar bulma operatörlerinden daha yavaştır. Şekil 3.30 'da farklı σ değeri kullanılarak canny operatör uygulanmış görüntüler gösterilmiştir.



Şekil 3.30 Canny kenar bulma yöntemiyle kenar tespiti

(a) Orijinal görüntü (b) Canny operatör($\sigma=0.5$) (c) Canny operatör($\sigma=1$)

3.3.4.3.6. Normalleştirme

Normalleştirme işlemi RGB renk biçimindeki piksellerin R, G, ve B değerleri arasındaki farkı normale çekme işlemi olarak ele alınır. RGB renklerinin parlaklıklarındaki gürültülerden kaynaklanan değişimleri süzmek için kullanılır. R, G ve B değerleri aşağıdaki bağıntılara göre yeniden düzenlenir.

$$r = \frac{R}{R+G+B} \quad g = \frac{G}{R+G+B} \quad b = \frac{B}{R+G+B} \quad (3.4)$$

3.3.4.3.7. Yatay ve Düşey İz düşüm

Görüntü işleme uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir başka yöntem yatay ya da düşey iz düşüm yöntemleridir. Yatay ve dikey iz düşüm yöntemleri herhangi bir görüntüde (imge) yoğunlaşmanın nerde olduğunu tespit etmede oldukça yararlı bilgiler vermektedir.

3.3.4.3.7.1. Yatay İz düşüm

Yatay iz düşümde görüntüye soldan sağa doğru yatay olarak bakılır ve her bir satırın iz düşümü elde edilir. Her bir satırın iz düşümü bulunurken o satır boyunca tüm değerler toplanarak bir değer elde edilir. Bulunan bu değer o satırın yatay iz düşüm değeri olarak kabul edilir. Bazı durumlarda iz düşüm elde edilirken değerlerin toplanması oldukça büyük değerler üreteceğinden bu durumda değerlerin ortalamasının alınması yoluna da gidilebilir. Yatay iz düşüm yöntemi farklı seviyedeki görüntülere farklı şekilde uygulanmaktadır.

3.3.4.3.7.1.1. İkili Resimde Yatay İz Düşüm

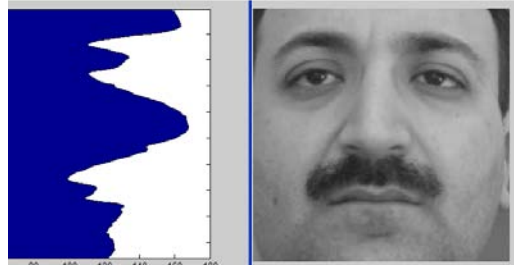
İkili resimde yatay iz düşüm alınırken o satır boyunca karşılaşılan siyah piksellerin sayısı o satırın iz düşüm değeri olarak alınır. Bu şekilde tüm satırların iz düşümleri alınarak yatay iz düşüm vektörü elde edilir. Şekil 3.31’de ikili resimde alınan yatay iz düşümün grafiği verilmiştir.



Şekil 3.31. İkili görüntüde yatay iz düşüm

3.3.4.3.7.1.2. Gri Seviye Resimde Yatay İz düşüm

Gri seviye resimde yatay iz düşüm alınırken o satır boyunca olan tüm piksellerin parlaklık değerleri (gri seviye değerleri) toplanır ve o satırın yatay iz düşüm değeri olarak alınır. Bu şekilde tüm satırlar için aynı işlem tekrar edilerek yatay iz düşüm vektörü elde edilir.



Şekil 3.32. Gri seviye görüntüde yatay iz düşüm

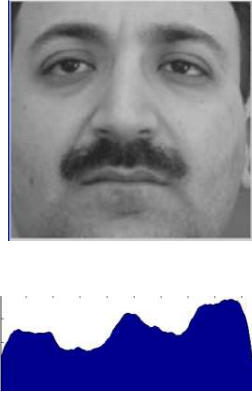
3.3.4.3.7.1.3. Renkli Resimde Yatay İz Düşüm

Renkli resimde yatay iz düşüm alınması ikili resim ya da gri seviye resme göre biraz farklılık göstermektedir. Renkli resimde R, G ve B gibi farklı renk kanalları olduğu için her bir renk kanalı için farklı bir yatay iz düşüm grafiği elde edilmelidir.

Örneğin R renk kanalı için yatay iz düşüm elde edilirken o satır boyunca olan her bir pikselin R bileşenleri toplanarak o satırın R yatay iz düşüm değeri elde edilir. Bu şekilde tüm satırlar için aynı işleme devam edilerek tüm satır boyunca yatay iz düşüm değerleri elde edilir ve kırmızı renk için yatay iz düşüm grafiği elde edilir. Aynı işlemler yeşil ve mavi bileşenler için de devam ettirilerek yatay iz düşüm vektörleri elde edilir.

3.3.4.3.7.2. Düşey İz Düşüm

Düşey iz düşüm de yatay iz düşüm gibi aynı işlemlerden oluşmaktadır. Arasındaki tek fark yatay iz düşüm de her bir satır için yatay iz düşüm değeri hesaplanırken düşey iz düşümde her bir sütun için bir iz düşüm değeri hesaplanır. Bunun dışındaki tüm işlemler yatay iz düşüm ile aynıdır.



Şekil 3.33. Gri seviye görüntüde düşey iz düşüm

3.3.4.3.8. Pikseller Arasındaki Bazı Temel İlişkiler

3.3.4.3.8.1 Piksel Komşuluğu

Sayısal resimlerle pikseller arasında oldukça temel ve önemli bir ilişki vardır. Bir sayısal resim içerisinde (x,y) koordinatlarında bulunan bir p pikselinin yatay ve dikeydeki komşuları şu şekilde gösterilebilir;

$$(x+1,y), (x-1,y), (x,y+1), (x,y-1)$$

Bu koordinatlarda bulunan ve p'nin komşuları olan bu piksel kümesine 4p'nin 4 komşuluğu (4-neighbors) adı verilir ve $N_4(p)$ şeklinde gösterilir. Bu komşuluktaki her piksel p den 1 birim uzaktadır. Dikkat edilmesi gereken nokta ise, eğer p nesnenin sınırları üzerindeyse, p'nin komşuları nesnenin dışında olabilir. P pikselinin köşelerinde bulunan pikseller ise şu şekilde gösterilir;

$$(x+1,y+1), (x+1,y-1), (x-1,y+1), (x-1,y-1)$$

ve $N_D(p)$ şeklinde gösterilir. Buradaki D İngilizce diyagonal kelimesinden gelmektedir.

$$\begin{array}{ccc} X4 & X3 & X2 \\ X5 & P & X1 \\ X6 & X7 & X8 \end{array}$$

Şekil 3.34. Piksel ve 8 komşuluğu

Köşe komşu pikseller ve 4-komşuluğundaki piksellerin tamamına p pikselinin 8 komşuluğu adı verilir ve $N_g(p)$ şeklinde ifade edilir (Gonzalez ve Woods 1993).

3.3.4.3.9 İnceltme

İnceltme bir vektörizasyon yöntemidir. Siyah beyaz görüntülerde çizgileri bir piksel kalınlığa indirgeyerek vektörizasyon yapılması düşüncesine dayanır. İnceltme algoritmalarında silinecek piksel P, bir siyah pikseldir ve P'nin silinmesi, P'yi içeren yerel komşu piksellerin konfigürasyonuna bağlıdır. İnceltme işleminin uygulanacağı bölgeleri ortaya çıkarmak amacıyla öncelikle görüntü tersine çevrilir. Böylece inceltme algoritması uygulanacak pikseller siyah (1), diğer bölgeler ise beyaz (0) olarak tanımlanmış olur

İnceltme işlemi binary (siyah-beyaz) bir resme aşağıdaki 8 yapısal elemanın sırayla uygulanmasıyla elde edilir. İnceltme işlemi $A \otimes B$ şeklinde gösterilir. $\{ B \} = \{ B^1, B^2, \dots, B^n \}$ yapısal elemanları sırayla kullanılır. Buradaki B^n yapısal elemanı kendinden bir önceki B^{i-1} yapısal elemanın 45° 'lik bir açıyla döndürülmüş halidir (Oral 1996).

0	0	0	x	0	0	1	x	0	x	1	x
x	1	x	1	1	0	1	1	0	1	1	0
1	1	1	x	1	x	1	x	0	x	0	0
B¹			B²			B³			B⁴		
1	1	1	x	1	x	0	x	1	0	0	x
x	1	x	0	1	1	0	1	1	0	1	1
0	0	0	0	0	x	0	x	1	x	1	x
B⁵			B⁶			B⁷			B⁸		

Şekil 3.35 İnceltme işleminde kullanılan 8 adet yapısal eleman

İnceltme işleminin gerçekleştirilmesi şu şekilde yapılır.

İnceltme işlemi A kümesine önce B^1 yapısal elemanı uygulanır daha sonra da çıkan sonuca B^2 uygulanır. Benzer işlem B^n 'e kadar devam eder ve inceltme (thinning) işlemi; B yapısal elemanları A kümesine uygulandığı halde A kümesinde bir değişime sebebiyet vermediği ana kadar devam eder (Gonzalez ve Woods 1993).

4. PARMAK İZİ EŞLEMEDE KULLANILAN YÖNTEM VE ARAÇLAR

Otomatik parmak izi tanıma sistemleri ile eşleme işlemlerinde, özellik noktaları (minutiae) olarak bilinen parmak izi görüntülerindeki hat çizgisi karakteristikleri ve bunların birbirleriyle olan ilişkileri kullanılır. Bunun için, parmak izi görüntüsünden özellik noktalarının sorunsuz ve güvenilir bir şekilde elde edilebilmesi, eşleme için çok önemlidir. Özellik noktalarının bulunmasına yönelik algoritmaların başarısı, büyük ölçüde giriş parmak izi görüntüsünün kalitesine bağlıdır.

Görüntü iyileştirme algoritmaları, parmak izi görüntüsüne bir dizi işlem uygulayarak, sonuçta daha iyi kalitede görüntü elde edilmesini sağlarlar. Giriş görüntüsünün kalitesinin artırılması eşleme işleminde otomatik parmak izi tanıma sisteminin hızını, başarımını ve güvenilirliğini artırması ve sistemin hatasını azaltması açısından önemlidir.

Bu çalışmada, otomatik parmak izi tanıma sistemlerinde ön işlemler olarak bilinen gri seviye parmak izi görüntülerinin temizlenip iyileştirilmesi, ikili hale dönüştürülmesi ve inceltmesi işlemlerini başarıyla gerçekleştirebilecek yaklaşımlar uygulanmıştır.

Görüntü iyileştirmek için kullanılan birçok yöntemin yanı sıra, çeşitli filtreler de bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, Kontrast Genişletme, Ortalama değer, Fazla Resim Ortalaması, Median Filtre, Laplacian Filtre, En Yakın Min-Maks Operatörü şeklinde sıralanabilir. Basit filtreler kullanılarak bir takım gürültüleri yok etmek mümkün olmakla birlikte tam anlamıyla bir resim temizleme sağlanamadığından ve resmin ardarda filtrelerden geçirilmesinin sistem hızını yavaşlatacağından, daha karmaşık ve hızlı algoritmalar tercih edilmektedir. Parmak izi temizleme ve iyileştirme için, piksel işleme, görüntünün dönüşümlerini hesaplama veya görüntüye maske uygulama tekniklerine dayalı algoritmalar kullanılabilir. Ön işlemler olarak tanımlanan parmak izi resmi temizleme ve iyileştirme işlemleri, genellikle nokta

uygulamaları, bölgesel işlemler, resmin siyah beyaz renk değerlerinden oluşan ikili resme çevrilmesi ve resmin inceltilmesi gibi işlemlerden oluşmaktadır. Temizlenip iyileştirilmiş bile olsa, gri seviye bir parmak izi resmi üzerinde işlem yapılması, özellik noktalarının bulunması oldukça zor bir iştir. Resim analizinin daha kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için, resmin siyah beyaz renk değerlerinden oluşan ikili hale dönüştürülmesi gereklidir.

Resmin, parmak izi okuyucudan alınırken siyah beyaz formatta alınabilmesi de mümkündür ancak bu durumda veri kaybı olabileceğinden, gri seviyede taranıp, sonra iyileştirilip daha sonra ikili hale dönüştürülmesi, sistem başarımı açısından tercih edilen bir yöntemdir. Bir parmak izi resmine ikili dönüşüm uygulanırken, resmin renk değerlerinin ortalaması göz önünde bulundurularak bir eşik değeri belirlenir. Bu eşik değerinden küçük değerlerin yerine siyah, büyük değerlerin yerine ise beyaz konularak resim ikili hale çevrilir. İyileştirilip ikili hale dönüştürülen resim, inceltme işlemi için hazır hale gelmiştir. İnceltme işlemi her bir hat çizgisi genişliğinin, bir piksel ile ifade edilmesi şeklinde tanımlanabilir. Temel olarak bir inceltme algoritması, uç noktaları silmemeli, bağlılığı bozmamalı ve görüntüyü indirgememelidir.

Bu çalışmada, parmak izi tanıma üç kısımdan oluşmuştur. Birinci aşama ön işlemler olarak bilinen, parmak izi görüntüsünün iyileştirmesinin yapıldığı uygulamalardır, ikinci aşamada özellik noktalarının çıkartılması, üçüncü aşamada ise geliştirilen nokta tabanlı eşleme algoritmasıyla ilgili bilgiler verilmiştir.

4.1 Ön İşlemler

Parmak izi görüntüsünün iyileştirilip, işlenmeye hazır hale getirilmesi için yapılan işlemleri içermektedir. Bu işlemler aşağıda sırasıyla anlatılmıştır.

4.1.1. Kontrast Genişletme

Kontrast genişletmenin amacı işlenen görüntüdeki gri ton değerlerinin dinamik sahasını artırmaktır. Lokal histogram eşitleme, kontrast genişlemesi için kullanılır. Histogram eşitlemesi ile görüntüde parlaklığın en çok toplandığı alana en büyük kontrast zenginleştirilmesi uygulanmaktadır. Histogram eşitleme, q gri seviye içerisine düzenli dağılımlı p gri seviye eşlemesini tanımlar. Bu eşleme, maksimum histogramın yanında gri seviye aralığını genişleterek kontrastı yayar. Bir r_k piksel yoğunluğu seviyesi için muhtemel yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad (4.1)$$

Burada;

$$0 < r_k < 1 \quad k=0,1,2,\dots,255$$

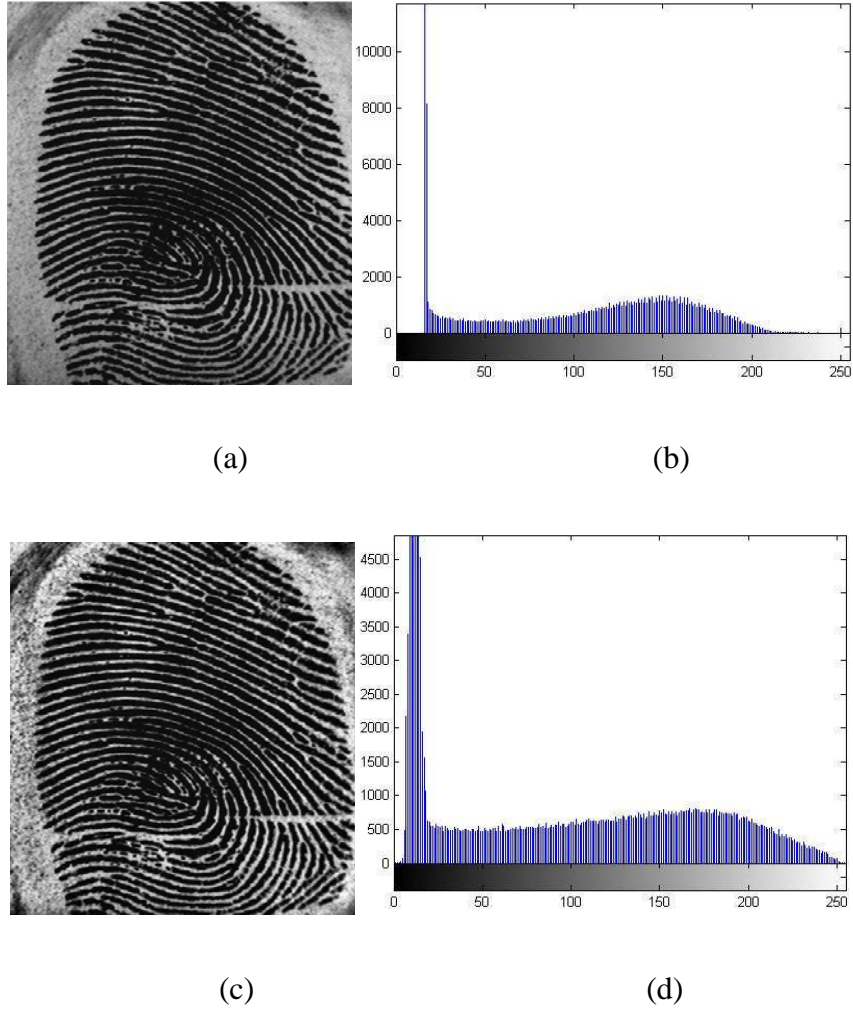
n_k, r_k :yoğunluk seviyesindeki piksellerin sayısı

n :toplam piksel sayısını göstermektedir.

Histogram, r_k ya karşı $p_r(r_k)$ nın çizilmesiyle elde edilir, k seviyesinin yeni yoğunluk değeri s_k aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$s_k = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \quad (4.2)$$

Parmak izi görüntüsündeki hatların genişliği genel olarak 11 piksel boyutunda olduğu için 11x11 piksellik lokal bir pencere kullanılarak histogram eşitleme uygulanır. Sonuçta lokal olarak kontrast genişler ve her bir pikselin komşu piksellere göre yoğunluğu değişir. Şekil 4.1 de histogram eşitleme ile elde edilen görüntü kontrastı gösterilmiştir.

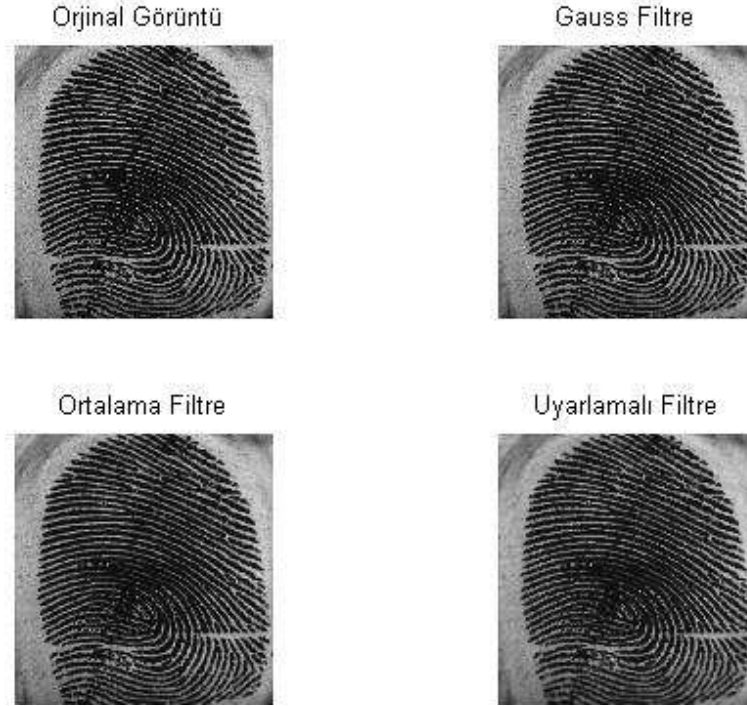


Şekil 4.1. (a) Orijinal parmak izi görüntüsü (b) histogramı (c) histogram eşitleme sonucu elde edilen görüntü (d) yeni histogram grafiği

4.2. Gürültü Azaltımı İçin Filtreleme

Görüntü üzerinde dış etkenlerden kaynaklanan gürültüyü azaltmak için kullanılan filtreler lineer filtre, medyan filtre ve wiener (uyarlamalı) filtre olarak sayılabilir. Lineer filtreler belirli tip gürültüleri azaltmak için kullanılır. Gaussian filtreler lineer filtre sınıfındandır. Medyan filtrelerde ise lineer filtrelemedeki işlemlerin yanı sıra sonuç pikselin değeri, komşu piksellerin ortalama değeri ile

belirlenir. Uyarlamalı filtreler, lokal görüntü varyansının uygun hale getirilmesinde kullanılır. Uyarlamalı filtre, görüntüdeki kenar veya diğer bölgeleri bulmada lineer filtrelerden daha seçicidir. Şekil 4.2 de Matlab programı kullanılarak gauss filtre, ortalama filtre ve uyarlamalı (wiener) filtre uygulanmış görüntüler gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Filtreler uygulanmış parmak izi görüntüleri

4.3. Parmak izi Görüntüsünün Yönel Histogram İle İyileştirilmesi

Parmak izi temizleme ve iyileştirme için resme ait yön bilgilerinden de faydalanılmaktadır. Yönelim alanlarının (orientation field) belirlenmesi aşamasında parmak izi görüntüsü üzerindeki özellik noktalarının çıkarılması için parmak izinin yönleri tespit edilmeye çalışılır.

Yönelim alanını belirlemek için birçok değişik yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi de Rao algoritması olarak bilinen yön belirleme algoritmasıdır. Rao algoritması aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır (Karahan 2003).

1. Giriş görüntüsü $W \times W$ boyutunda bloklara bölünür (16 x 16 olabilir).
2. Görüntünün her noktası için G_x ve G_y gradyant değerleri Sobel filtresi uygulanarak hesaplanabilir.

$$\begin{array}{ccc}
 -1 & 0 & 1 \\
 -2 & 0 & 2 \\
 -1 & 0 & 1
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{ccc}
 1 & 2 & 1 \\
 0 & 0 & 0 \\
 -1 & -2 & -1
 \end{array}$$

G_x G_y

Şekil 4.3. 3x3 boyutundaki Sobel filtresi.

3. Her bir bloğun yerel yönü, denklem (4.3) ile belirlenir.

$$\theta_o = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^W 2G_x(i,j)G_y(i,j)}{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^W (G_x^2(i,j)G_y^2(i,j))} \right) \quad (4.3)$$

4. Üzerinde işlem yapılacak 3x3 boyutunda görüntü matrisi Şekil 4.4deki gibi olsun:

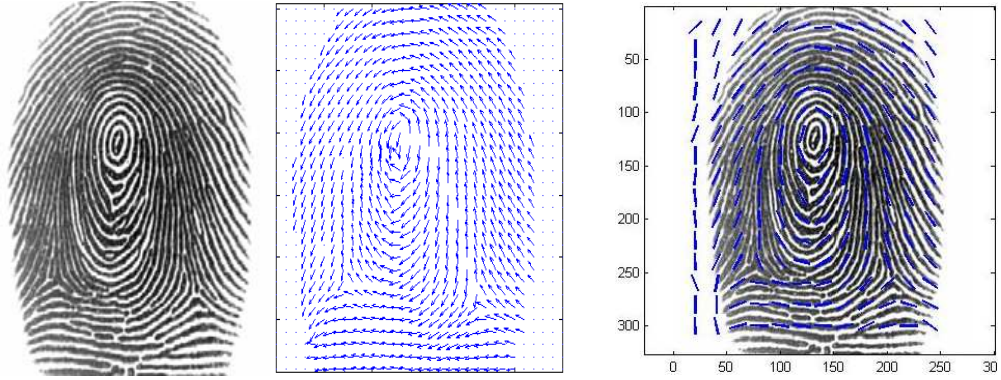
$$\begin{bmatrix}
 a_1 & a_2 & a_3 \\
 a_4 & a_5 & a_6 \\
 a_7 & a_8 & a_9
 \end{bmatrix}$$

Şekil 4.4. 3x3 boyutundaki görüntü matrisi

Görüntü matrisine Sobel filtresi uygulanırsa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$G_x = -1.a_1 + 1.a_3 - 2.a_4 + 2.a_6 - 1.a_7 + 1.a_9$$

$$G_y = 1.a_1 + 2.a_2 + 1.a_3 - 1.a_7 - 2.a_8 - 1.a_9 \quad (4.4)$$



Şekil 4.5. Yönelim alanları bulunmuş parmak izi görüntüsü

5. Parmak izi görüntüsünün yönelim alanı bulunduktan sonra ilgilenilen alanın belirlenmesi gerekir. İlgilenilen alan görüntünün lokal entropisi (enerji miktarı) ile bulunması aşağıdaki denklem (4.5) ile gerçekleştirilir.

$$E(i,j) = f(i,j) - \sum_i \sum_j f(i,j) * \log_2(f(i,j)) \quad (4.5)$$



Şekil 4.6. Parmak izi görüntüsünün enerji haritası çıkartılarak ilgilenilen alanın bulunması

Bulunan enerji haritası parmak izi görüntüsünde izlerin bulunduğu alanı gösterir. İzlerin bulunduğu alan beyaz, iz alanlarının dışındaki alanlar ise siyah olarak belirlenir ve bir sonraki aşamada bu görüntü maske olarak kullanılır.

Giriş görüntüsünün yönelim alanı ve bununla beraber ilgilenilen alan belirlendikten sonra bir sonraki aşama olarak iz belirlenir.

6. İzlerin önemli bir özelliği, iz üzerindeki gri-seviyeli değerlerin (iz yoğunluğu) yerel iz yönüne çapraz yönde yerel maksimuma ve çatalların (izin ikiye bölünmesi) gri-seviyeli değerlerinin aynı yönde yerel minimuma gitmesidir (Jain 1997). Bu özellik kullanılarak görüntü üzerindeki noktanın iz olduğu kararı verilir.

Görüntüye $h_t(x, y; u, v)$ ve $h_b(x, y; u, v)$ maskeleri $L \times H$ (11 x 7) değerleriyle uygulanır. Bu iki maske, yerel iz yönünde maksimum yerel gri-seviyeli değerlerin tespitini sağlar (Jain 1997).

$$h_t(x, y; u, v) = \begin{cases} -\frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}} e^{-\frac{u}{\delta^2}}, & u = \left(v \cdot \tan(\theta(x, y)) - \frac{H}{2 \cdot \cos(\theta(x, y))} \right), v \in \Omega \text{ ise} \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}} e^{-\frac{u}{\delta^2}}, & u = \left(v \cdot \tan(\theta(x, y)) \right), v \in \Omega \text{ ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$h_b(x, y; u, v) = \begin{cases} -\frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}} e^{-\frac{u}{\delta^2}}, & u = \left(v \cdot \tan(\theta(x, y)) + \frac{H}{2 \cdot \cos(\theta(x, y))} \right), v \in \Omega \text{ ise} \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}} e^{-\frac{u}{\delta^2}}, & u = \left(v \cdot \tan(\theta(x, y)) \right), v \in \Omega \text{ ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

(4.6)

Denklemden yer alan Ω değeri aşağıda (4.7) de verilen denklemdeki aralığı kapsamaktadır.

$$\Omega = \left[- \left| \frac{L \cdot \sin(\theta(x, y))}{2} \right|, \left| \frac{L \cdot \sin(\theta(x, y))}{2} \right| \right] \quad (4.7)$$

Burada;

$\Theta(x, y)$: (x, y) noktasındaki yerel iz yönüdür.

Eğer (x, y) noktasındaki gri-seviye değeri belirli bir T_{iz} eşik değerinden yüksek ise (x, y) noktası iz olarak işaretlenir. Bu işlemler sonrasında Şekil 4.7’de yer alan iz görüntüsü elde edilir.

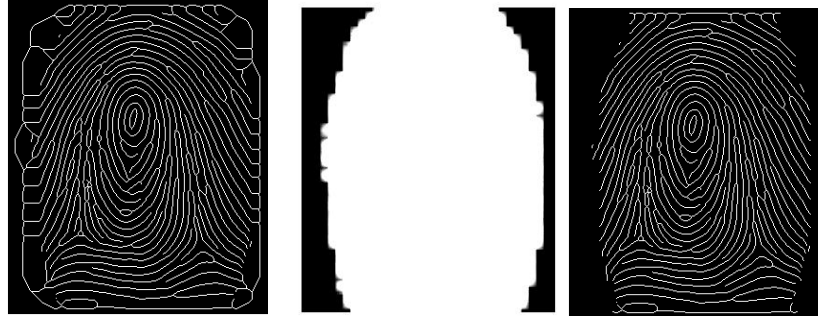


Şekil 4.7. Giriş görüntüsü ve çıkartılmış iz görüntüsü

4.4. İz İnceltme (Ridge Thinning)

İz çıkarıldıktan sonra özellik noktalarının tespit edilebilmesi için bu izlerin inceltmesi gerekir. Bu aşamaya iz inceltme (ridge thinning) aşaması denir. İnceltme işlemi için genellikle kullanılan yöntem taranan resim üzerinden çok küçük boyutlarda parçaların irdelenmesi şeklindedir. Taslak, bitmap içerisinde aranan şekildir. Bitmap içerisinde bu şeklin bulunduğu yerde belli piksellerin rengi beyaza çevrilir. Böylece siyah renklerin gittikçe azalması sağlanır ve inceltme işlemi yapılır.

Bölüm 3.3.4.3.9 İnceltme konu başlığı altında anlatılan yöntemle inceltme işlemi tamamlanır. İnceltmiş iz görüntüsü, ilgilenilen alan görüntüsünün oluşturduğu maske kullanılarak temizlenir.

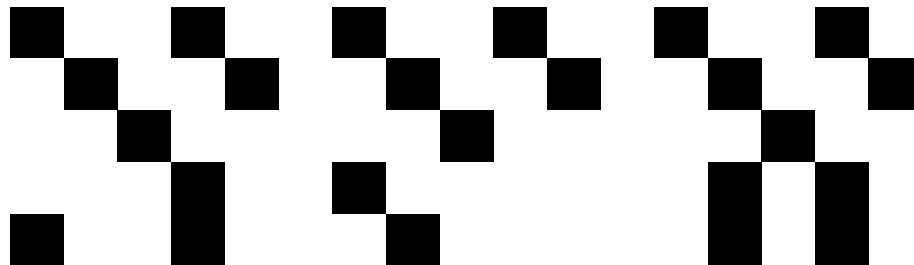


Şekil 4.8. İnceltme işlemi ve alan görüntü maskesi kullanılarak inceltmiş görüntünün temizlenmesi

4.5. Özellik Noktası Çıkartma (Minutiae Extraction)

İnceltmiş iz haritasında her bir nokta 1 veya 0 değerini almaktadır. (x,y) inceltmiş iz haritasında bir noktayı ve N_0, N_1, \dots, N_7 de bu nokta çevresindeki 8 komşusunu gösterdiği kabul edilirse;

$\sum N_i = 1$ ise (x,y) noktası iz sonudur veya $\sum N_i > 2$ ise (x,y) noktası çataldır sonucuna ulaşılır. Bu aşamadan sonra tespit edilen her bir özellik noktasının x,y koordinatları ve özellik noktasının özellikleri (hat sonu veya çatal) kaydedilir. Şekil 4,9 da özellik noktalarının taslak gösterimi gösterilmiştir.

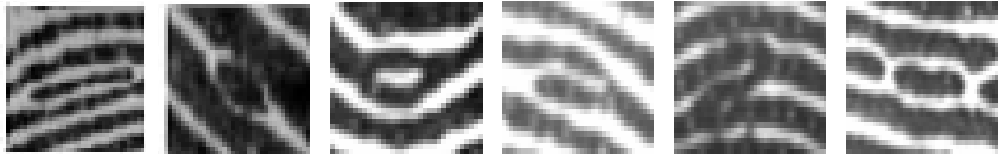


Şekil 4.9. Özellik noktalarının taslak gösterimi (iz, hat sonu, çatal)

İz haritası üzerinde gürültü veya başka sorunlardan kaynaklanan kesikler oluşmuş olabilir. Kesiklerden dolayı tespit edilecek ve gerçekte olmayan özellik noktaları bulunarak silinir. Bu işlemde şu kurallar dikkate alınmıştır.

- Küçük bir bölgede birçok özellik noktası varsa, bölge merkezine en yakın olan haricindeki tüm özellik noktaları silinir.

- Eğer iki tane özellik noktası birbirine oldukça yakınsa ve aralarında herhangi bir iz yoksa her iki özellik noktası da silinir.



Şekil 4.10. Hatalı Özellik noktalarının görüntüleri (Sol baştan sırasıyla, Ada, nokta, göl, burun, köprü, kesik hat)

Temizleme işlemi uygulandıktan sonra kalan özellik noktaları gerçeğe en yakın hale gelmiştir. Bu aşamadan sonra tespit edilen her özellik noktasının x koordinatı, y koordinatı, özellik noktasının üzerinde bulunduğu lokal izin yönü, özellik noktasının özelliği (hat sonu, çatal) kaydedilir. Parmak izi ile güvenliği sağlayan sistemler, bu dört bilgiyi doğrulama ve algılama amacıyla kullanarak işlem yapmaktadır.

4.6. Özellikli Nokta Eşleme (Minutiae Matching)

Parmak izi doğrulama ve algılama sistemlerinde pixel veya iz tabanlı eşleme yerine nokta tabanlı eşleme algoritmaları kullanılır (Jain 1997). Özellikli nokta tabanlı eşlemede iki temel teknik vardır. Geometrik/ nokta tabanlı eşleme ve Grafik tabanlı eşleme.

4.6.1 Nokta Tabanlı Eşleme

Referans/kayıtlı noktaya bağlılık, Nokta seti eşleme, Basit geometri, Trigonometrik hesaplamaları içerir. Nokta tabanlı eşlemede, hizalama aşamasında giriş ve veri tabanında kayıtlı taslak arasında çevirme, döndürme ve boyutlandırma gibi dönüşümler hesaplanır ve hesaplanan parametrelere göre giriş özellikli noktalar taslak özellikli noktalar ile hizalanır. Eşleme aşamasında ise giriş ve taslak özellikli noktalar çokgenlere dönüştürülür ve oluşan bu çokgenleri eşlemek için esnek bir dizi eşleme algoritması kullanılır.

4.6.1.1 Hizalama Aşaması

Teorik olarak iki düzlemsel nokta kümesi, iki karşılıklı nokta çiftiyle tam olarak hizalanabilir. İki nokta örgüsü arasında doğru bir hizalama yapabilmek için noktalar arasında üçgen yapılar oluşturulur ve giriş özellikli noktaların oluşturduğu üçgenler ile taslak özellikli noktaların oluşturduğu mümkün olan tüm karşılıklı üçgen kenarları karşılaştırılır, test edilir ve en uygun olanı seçilir. Eşlenen üçgen yapılar yardımıyla iki nokta örgüsü arasındaki duruş dönüşümünü doğru şekilde hesaplanır. Bu işlem çok fazla miktarda uygunluk testi yapılmasını gerektirir. Dolayısıyla, karşılıklı nokta çiftleriyle hizalama uygun olmasına karşın pratik değildir.

4.6.1.2 Eşleme Aşaması

Eğer iki özdeş nokta örüntüsü birbiriyle tam olarak hizalanmış ise karşılıklı nokta çiftleri tam olarak kesişir. Bu durumda, nokta örgü eşleştirmesi, üst üste gelen çiftlerin sayısını sayarak belirlenir fakat pratikte bu durumla karşılaşılmaz.

Kullanılacak algoritma, doğrusal olmayan biçimsel bozukluklarından ve özellikli nokta yerlerinin doğru şekilde belirlenmemesinden kaynaklanan bozuklukları göz ardı edecek özelliğe sahip olmalıdır.

Genellikle, böyle esnek bir eşleştirme, her taslak özellikli nokta çevresine bir sınırlayan kutu (bounding box) yerleştirilerek yapılır. Bu kutu, taslak özellikli noktaya göre giriş özellikli noktanın olabileceği yerleri belirtir. Giriş özellikli noktadaki karşılık özellikli nokta bu kutu içinde kalacak şekilde sınırlandırılır. Özellikli nokta yer belirleme hataları ve doğrusal olmayan biçim bozukluklarını giderme özelliği olan bir uyarlamalı esnek eşleştirme algoritması uygulanmalıdır.

İki nokta kümesini hizalamak için genelde aşağıdaki algoritma kullanılır.

Girilen ve taslak görüntüdeki hatların kümesi R^d, R^D olsun, her bir hat uzunluğu $d \in R^d$ ile $D \in R^D$ eşlenir.

$$S = \frac{\sum_{i=0}^L d_i D_i}{\sqrt{\sum_{i=0}^L d_i^2 D_i^2}} \quad (4.8)$$

L: iki hat arasındaki minimum uzunluk

D_i, d_i : i ninci noktanın x ekseninden olan uzaklık

Eğer ilişki değeri 0.8 den büyük ise kabul edilir ve bir sonraki eşlemeye geçilir.

Eşlemeden sonra hizalama aşamasına geçilir. Dönüklük açısı ve dönüşüm vektörü hesaplanır.

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x^d \\ y^d \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X^D \\ Y^D \end{pmatrix} \quad (4.9)$$

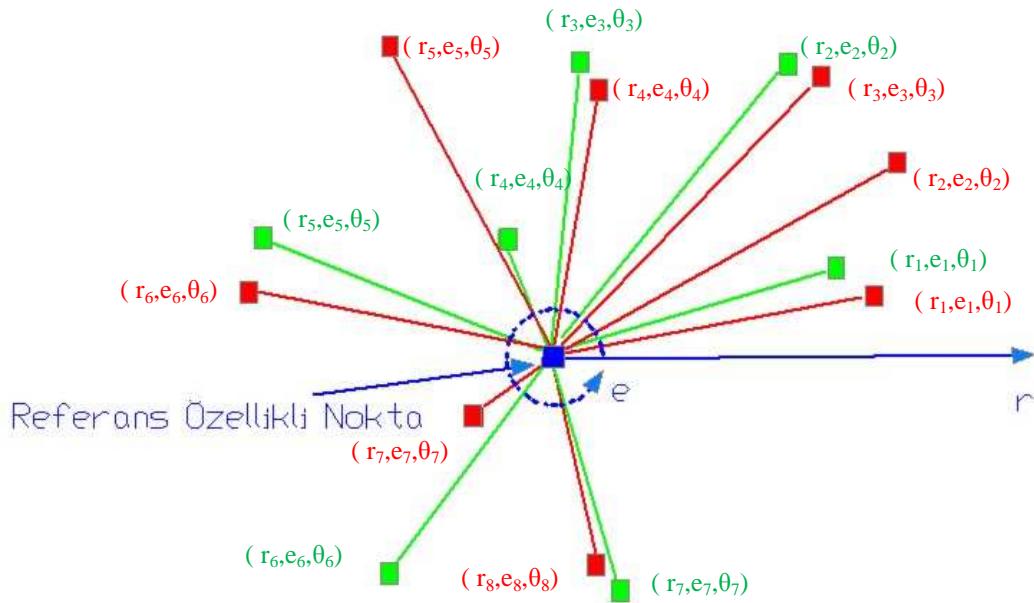
$$\Delta \theta = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^L (\gamma_i - \Gamma_i) \quad (4.10)$$

Γ, γ : referans noktaya göre i. noktanın radyal açılarıdır.

Girilen N sayıdaki özellik noktasının dönüşümü aşağıdaki şekilde yapılır.

$$\begin{pmatrix} x_i^A \\ y_i^A \\ \theta_i^A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta \theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos \Delta \theta & \sin \Delta \theta & 0 \\ \sin \Delta \theta & -\cos \Delta \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_i - x^d \\ y_i - y^d \\ \theta_i - \theta^d \end{pmatrix} \quad (4.11)$$

Dönüşümden sonra noktalar referans noktaya göre kutupsal koordinat sistemine çevrilir.



Şekil 4.11. Noktaların referans noktaya göre kutupsal koordinat sistemine dönüştürülmesi

4.6.1.3. Sıralanan Nokta Setini Eşleme

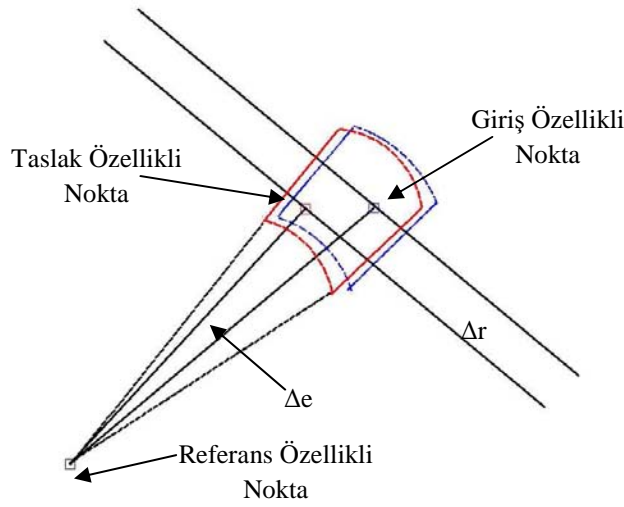
Eğer iki özdeş nokta örüntüsü birbiriyle tam olarak hizalanmış ise karşılıklı nokta çiftleri tam olarak kesişir. Bu durumda, nokta örgü eşleştirmesi, üst üste gelen çiftlerin sayısını sayarak belirlenir fakat pratikte bu durumla karşılaşılmaz. Kullanılacak algoritma, doğrusal olmayan biçimsel bozukluklarından ve özellikli

nokta yerlerinin doğru şekilde belirlenmemesinden kaynaklanan bozuklukları göz ardı edecek özelliğe sahip olmalıdır. Genellikle, böyle esnek bir eşleştirme, her taslak özellikli nokta çevresine bir sınırlayan kutu (bounding box) yerleştirilerek yapılır. Bu kutu, taslak özellikli noktaya göre giriş özellikli noktanın olabileceği yerleri belirtir. Giriş özellikli noktadaki karşılık özellikli nokta bu kutu içinde kalacak şekilde sınırlandırılır.

Bu yöntem, pratikte iyi bir sonuç sağlamaz çünkü birikmiş genel biçimsel bozukluklar oldukça büyük olurken, yerel biçimsel bozukluklar küçük olabilir. Özellikli nokta yer belirleme hataları ve doğrusal olmayan biçim bozukluklarını giderme özelliği olan bir uyarlamalı esnek eşleştirme algoritması uygulanmalıdır. Esnek nokta seti eşleme algoritması aşağıdaki aşamalardan meydana gelir.

- Her özellikli nokta, yapılan hizalamadaki referans özellikli noktaya göre kutupsal koordinat sistemine dönüştürülür.
- Kutupsal koordinat sistemindeki taslak ve giriş özellikli noktaları, her özellikli nokta artan çevresel açı sırasında birleştirilerek sembolik dizi olarak temsil edilir.
- Elde edilen diziler arasındaki düzeltme uzaklığını bulmak için dinamik programlama algoritması ile eşleme yapılır.

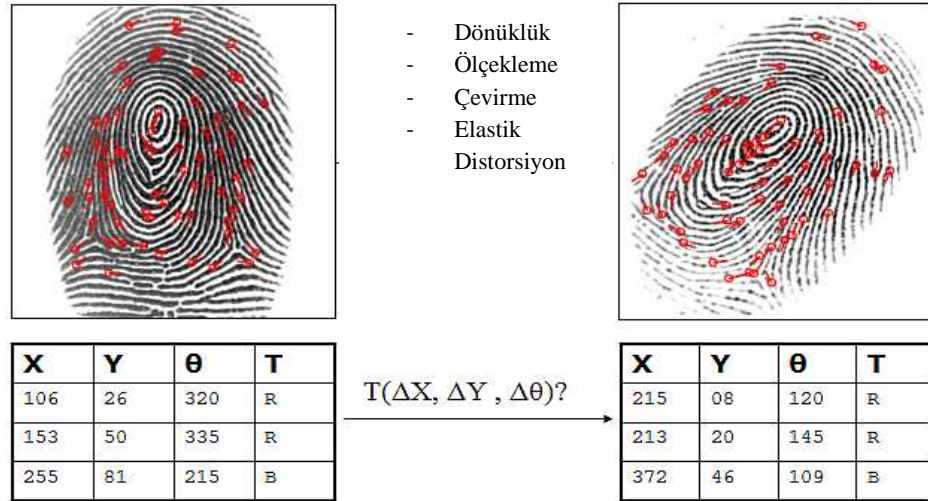
Kutupsal koordinatta özellikli nokta eşleştirmenin birçok avantajı vardır. Parmak izinin biçim bozukluklarının çevresel özelliği vardır. Parmak izindeki bozukluklar, genellikle belirli bir noktada başlar ve dışarıya doğru yayılır. Dolayısıyla, kutupsal düzlemde modellenmesi yararlıdır. Aynı zamanda, giriş görüntüsü ile taslak arasındaki hizalama hatasının ana bölümünü meydana getiren dönüşü formül haline getirmek, kutupsal düzlemde kartezyen düzleme göre daha kolaydır. Kutupsal koordinatta artan çevresel açı sırasında noktaların birleştirilmesiyle oluşturulan sembolik dizi, eşsiz bir nokta örgüsünü temsil eder. Buda nokta örgü eşleştirmesinin, dizi eşleştirme algoritması ile başarıya ulaşabileceğini gösterir.



Şekil 4.12. Sınırlama kutusu ve hizalanması

Literatürde birçok dizi eşleştirme algoritmaları bulunmaktadır. Genellikle, dizi eşleştirme, düzeltme uzaklığı gibi belirli sabit değerli bir fonksiyonun maksimizasyonu veya minimizasyonu olarak düşünülür. Dizi eşleştirme algoritmasının sabit fonksiyonunda esnek terim bulunması büyük miktarda hata tolerans edilmesini sağlar. Bu eşleme algoritmasında, uyarlama, eşleme işlemi Şekil 4.12 de gösterilen sınırlama kutusu ile yapılır.

Yarıçap farkı, teta farkı ve özellikli nokta yönelim farkı için bir sınırlama kutusu oluşturulur. Sınırlama kutusundaki giriş özellikli nokta ile taslak özellikli nokta arasındaki fark, parmak izi görüntüsünün çözünürlüğüne ve iki iz arasındaki mesafeye göre değişiklik gösterir. Genelde 500 dpi çözünürlükte taranmış bir parmak izi görüntüsünde iki iz arasında yaklaşık 11 piksel mesafe bulunur. Bu nedenle sınırlandırma kutusunun boyutları 10x10 olarak seçilmektedir. Giriş özellikli nokta ile taslak özellikli nokta arasındaki fark 10 pikselden büyük değilse ve özellikleride aynı ise iki noktanın aynı olduğuna karar verilir. Eşleşen noktalar sayılır, eşleşen noktaların sayısı 13 den büyük ise iki parmak izi görüntüsünün aynı kişiye ait olduğu sonucuna varılır.



Şekil 4.13. Nokta tabanlı eşleme

4.6.2. Parmak İzi Eşleme İçin Çalışma Kapsamında Geliştirilen Yöntemler

İki parmak izi görüntüsünün karşılaştırılabilmesi için, örtüştürülmesi gerekir. Bu işlem, bir parmak izinin diğerinin konumuna gelebilmesi için döndürülmesi ve ötelenmesi şeklinde gerçekleşebilir.

Döndürme, ölçekleme ve öteleme bilgileri bilinmeyen iki nokta kümesinin karşılaştırılabilmesi için, her iki kümenin birbirine göre ifade edilmesi gerekir. Örtüştürme işleminin girişi, iki parmak izi görüntüsünden çıkarılmış olan öznelik nokta kümeleri olan P ve Q' dur.

Veritabanındaki parmak izlerinin, sorgulanan parmak izine bir dönüşüm uygulanarak elde edilebileceği varsayımı yapılır. Veritabanı parmak izine ait nokta kümesi Q, sorgulanan parmak izine ait nokta kümesi P' nin döndürülmüş, belirli bir ölçekte küçültülmüş veya büyültülmüş ve ötelenmiş bir versiyonudur. Parmak izlerinin örtüştürülmesi sürecinde amaç, iki parmak izi görüntüsü arasında var olan bir dönüşümü bulmaktır. İki görüntünün aynı parmak izine ait olup olmadığı bilinmediğinden, en iyi dönüşümün bulunması amaçlanır; öyle ki, bu dönüşüm P

nokta kümesine uygulandığında, Q nokta kümesinde bulunan mümkün olduğunca çok nokta ile çakışır. Çakışan bu noktaların özellik değerleride aynı ise parmak izlerinin benzerliğinden söz edilebilir. Diğer parmak izine ait nokta kümesindeki hiçbir nokta ile benzeşmeyen noktalarda çıkabilir.

Literatürde birçok eşleme algoritması bulunmaktadır. Öznitelik tabanlı otomatik parmak izi eşleme yöntemi parmak izi tanımda yoğun olarak kullanılmasına karşın bu yöntemle ilgili aşağıda değinilen eksiklik ve problemler tespit edilmiştir.

Algoritma gereği ölçek belirli bir aralıkta, belirli bir artımla değiştirilir. Ölçeklemenin hassasiyeti artırıldığında işlem süresi çok uzar. Ayrıca aynı iki görüntü, ölçeklemenin 0,1' den küçük değerlerinde farklı olarak algılanabilir. Ölçekleme hassasiyetinin yetersizliği nedeniyle, aynı dönüşüm farklı görülüp, dönüşüm ve dolayısıyla eşlemenin skoru düşebilir.

Gerçeklenirken dönüşümlerde referans olarak görüntünün merkezi alınmıştır. Bu nedenle, (öteleme & döndürme) ve (döndürme & öteleme) şeklindeki farklı sıralamalı işlemlere karşılık farklı dönüşümler bulunabilmektedir. Referans olarak görüntülerdeki anlamlı bir nokta (çekirdek) bile alınsa, sonuç değişmemektedir. Çünkü her görüntüde bir çekirdek bulunmayabilir. Ayrıca kayıplı parmak izlerinde referans değişebilir.

Dönme açısı, görüntülerdeki öznitelik noktalarının açılarının farkı alınarak hesaplanır, bu nedenle nokta açılarının doğruluğu oldukça önemlidir. Ancak parmak izlerinin alınması ve sayısallaştırılması sırasında görüntülerde oluşan gürültüler ve ikili görüntü elde etme ve inceltme aşamalarındaki problemler nedeniyle, uç ve çatal noktaların açılarının yeterince hassas bulunması güçtür. Bunun sonucu olarak, dönme açısı doğru tespit edilemez. Nokta açıları tek bir değer olarak değil de, bir açı aralığı ya da bölgesi olarak belirlense de, dönme açısı doğru olarak ve görüntüdeki her nokta için aynı bulunamaz.

Yukarıda belirtilen bu olumsuz durumların ortadan kaldırılması amacıyla, farklı bir yöntem uygulanmıştır.

Parmak izi eşleme için iki yeni yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemler lokal eşleme yaklaşımı olup, her iki yöntemde Affin dönüşümüne dayanmaktadır. Bu nedenle aşağıda Affin dönüşümü ile ilgili bilgiler verilmiştir.

4.6.2.1. Affin Dönüşümü

Fotogrametride resim koordinatlarından model koordinatlarına, model koordinatlarından arazi koordinatlarına geçişte iki boyutlu bir dönüşüm olan Affin dönüşümü kullanılır. Jeodezide genellikle benzerlik dönüşümü kullanılmasına rağmen fotogrametri ve kartoğrafyada durum farklıdır. Çünkü film, kağıt vb. maddeler deformasyona uğradıkları zaman her iki eksen boyunca bozulmalar aynı olmaz. Bu durumda Affin dönüşümü tercih edilir.

Parmak izinin biçim bozukluklarının çevresel özelliği vardır. Parmak izindeki bozukluklar, genellikle belirli bir noktada başlar ve dışarıya doğru yayılır. Bu nedenle Affin dönüşümünün kullanılması düşünülmüştür.

Affin dönüşümünde şekil, dönüşümden sonra geometrik olarak bozulur. Açılar değişir fakat doğrular yine doğrudur ve paralellik değişmez. Affin dönüşümü parametrelerini bulmak için her iki görüntüde en az ortak üç noktaya ihtiyaç duyulur, üçten fazla nokta var ise bu parametreler En Küçük Kareler yöntemine göre dengeleme ile hesaplanır. Affin dönüşümünün benzerlik dönüşümünden temel farkı her iki eksen yönündeki ölçek faktörlerinin farklı olmasıdır.

Affin dönüşümünde;

- Her hangi bir doğrunun dönüştürülmesi yine doğrudur.
- Paralel doğrular dönüşümden sonra yine paraleldir.
- Bir doğru üzerindeki iki doğru parçasının birbirine oranı, dönüşümden sonrada aynıdır.
- Açı koruyan bir dönüşüm değildir. Açılar dönüşümden sonra değişirler.

- Ölçek her bir doğru için aynıdır, yön ile birlikte ölçekte değişir.
- Geometrik şekillerin alanları, dönüşümden sonra sabit bir miktar değişirler, bu sabit miktar dönüşüm matrisinin determinantına eşittir (Yaşayan 1978).

Dönüşüm parametrelerini dengeli olarak hesaplamak için her iki koordinat sistemindeki ortak noktalar ağırlık merkezine indirgenir. Ağırlık merkezine indirgenmiş koordinatlarla işlem yapmanın avantajı daha küçük sayılarla çalışma sağlamasıdır.

$$X_2 = a_0 + a_1 X_1 + a_2 Y_1 = X_2^0 + m \cos \Phi X_1 - n \sin \Psi Y_1$$

$$Y_2 = b_0 + b_1 X_1 + b_2 Y_1 = Y_2^0 + m \sin \Phi X_1 - n \cos \Psi Y_1 \quad (4.12)$$

Bu denklemler X_2^0 , Y_2^0 iki öteleme (sistemler arası başlangıç farkları), Φ ve Ψ iki dönme , m ve n iki ölçek katsayısı olmak üzere altı bilinmeyen içermektedir. Üçten fazla nokta olması durumunda en küçük kareler yöntemine göre dönüşüm katsayılarının hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır;

$$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \mathbf{A} \quad , \quad \mathbf{n} = \mathbf{A}^T \mathbf{l} \quad , \quad \mathbf{x} = \mathbf{N}^{-1} \mathbf{n} \quad , \quad \mathbf{v} = \mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{l} \quad (4.13)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & X_1[1] & Y_1[1] & 0 & 0 & 0 \\ 1 & X_1[2] & Y_1[2] & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & X_1[m] & Y_1[m] & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & X_1[1] & Y_1[1] \\ 0 & 0 & 0 & 1 & X_1[2] & Y_1[2] \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 1 & X_1[m] & Y_1[m] \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

$$\mathbf{x}^T = [a_0 , a_1 , a_2 , b_0 , b_1 , b_2] \quad (4.15)$$

$$\mathbf{l}^T = [X_2 [1] , X_2 [2] , \dots , X_2 [m] , Y_2 [1] , Y_2 [2] , \dots , Y_2 [m]] \quad (4.16)$$

Ve karesel ortalama hata

$$m_0 = \sqrt{\frac{[V^T V]}{(2m-6)}} \quad (4.17)$$

Burada;

$X_1[i], Y_1[i]$: i nolu noktanın giriş koordinatları

$X_2[i], Y_2[i]$: i nolu noktanın taslak koordinatları

m: nokta sayısı ($i = 1 \dots m$ ' e kadar değer alır)

x: bilinmeyenler vektörü (dönüşüm parametreleri)

m_0 : dönüşümün karesel ortalama hatası

4.6.2.2. Geliştirilen Eşleme Algoritmaları

Bilindiği üzere Affin dönüşümü parametrelerini bulmak için her iki sistemde ortak en az üç noktaya ihtiyaç vardır, üçten fazla nokta varsa bu parametreler En Küçük Kareler yöntemine göre dengeleme ile hesaplanır. Yöntemler, her iki sistemde ortak dört nokta bulma esasına göre oluşturulmuştur.

4.6.2.2.1. Alt Küme Yaklaşımı

Eğer her iki parmak izi görüntüsü aynı kişiye aitse bulunan özellik nokta kümeleri arasında yeterli sayıda ortak nokta vardır. Amaç bunlardan en az dört noktayı bularak Affin dönüşümü yapmak ve dönüşüm sonrasında her iki sistemdeki

ortak noktaların sayısının yeterli olup olmadığına karar vermektir. Bu amaçla her iki nokta kümesinin dördlü alt kümeleri bulunur. Nokta sayısının dördlü kombinasyonu sayısınca alt küme oluşturulur.

Tablo 4.1. Girdi Nokta ve Taslak Nokta Kümesine ait noktaların Koordinatları

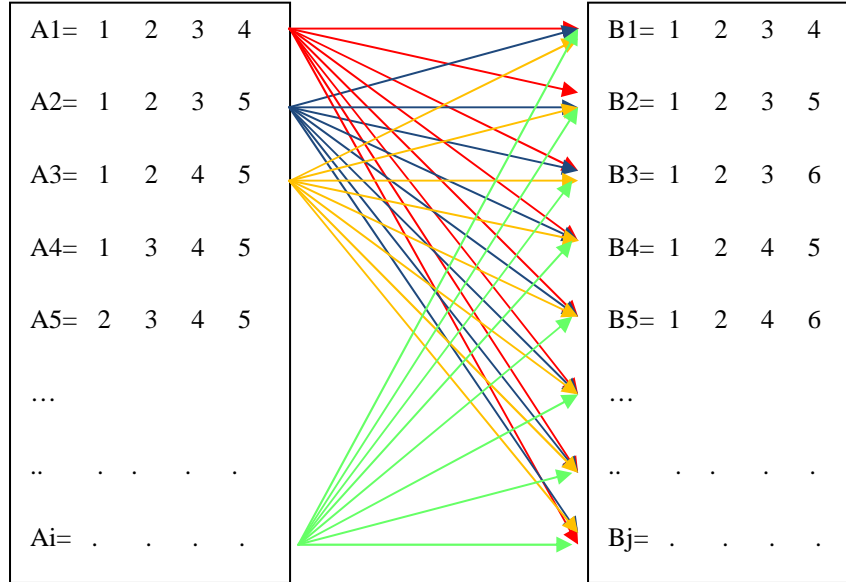
Girdi Nokta Kümesi			Taslak Nokta Kümesi		
NN	X	Y	NN	X	Y
1	60	182	1	48	201
2	139	210	2	128	223
3	148	413	3	155	433
4	176	426	4	185	442
5	198	165	5	182	176
			6	202	30

Örnek olarak, girdi nokta kümesi (A) nokta sayısı 5 olsun, taslak noktaların bulunduğu küme (B) nokta sayısı 6 olsun. Bu iki kümenin oluşturulan dördlü alt kümeleri aşağıdaki gibi olur.

A1= 1 2 3 4	B1= 1 2 3 4	B2= 1 2 3 5
A2= 1 2 3 5	B3= 1 2 3 6	B4= 1 2 4 5
A3= 1 2 4 5	B5= 1 2 4 6	B6= 1 2 5 6
A4= 1 3 4 5	B7= 1 3 4 5	B8= 1 3 4 6
A5= 2 3 4 5	B9= 1 3 5 6	B10= 1 4 5 6
	B11= 2 3 4 5	B12= 2 3 4 6
	B13= 2 3 5 6	B14= 2 4 5 6
	B15= 3 4 5 6	

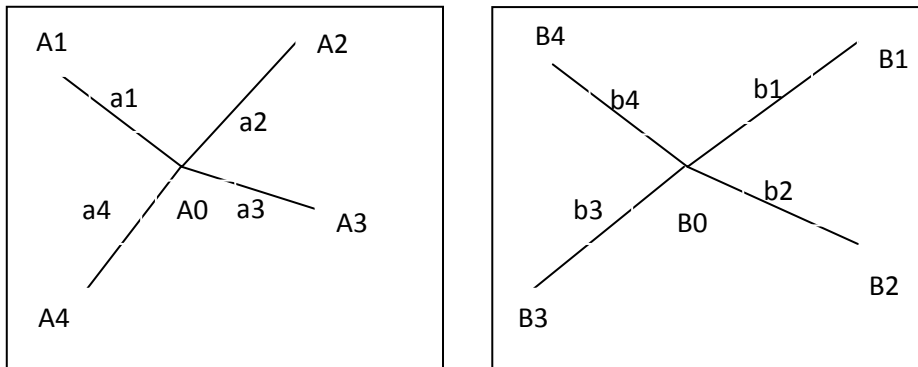
Şekil 4.14. A ve B nokta kümelerinin dördlü alt kümelerinin oluşturulması

A kümesinin beş B kümesinin onbeş alt kümesi oluşur. Amaç oluşturulan bu alt kümelerin her birinin diğeriyle karşılaştırılıp, aralarında Affin dönüşümünü gerçekleştirmektir.



Şekil 4.15. A ve B nokta kümelerinin 4 lü alt kümelerinin karşılaştırılması

Her iki alt küme karşılaştırılırken ortak olduğunu düşündüğümüz noktaların sıralamasının nasıl yapılacağı önemlidir.

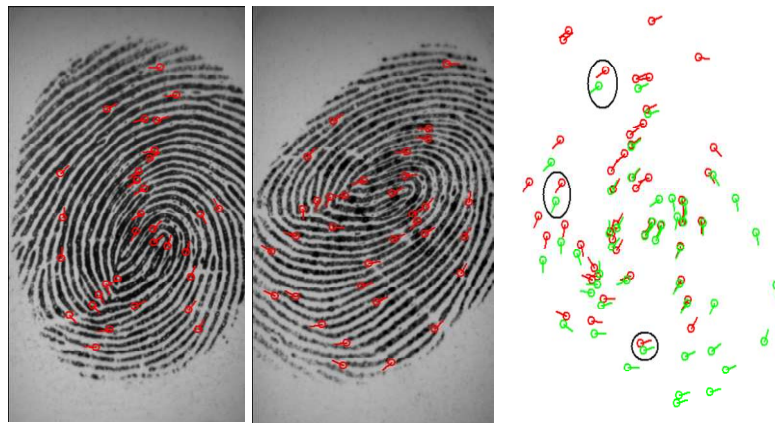


Şekil 4.16. Oluşturulan alt kümelerdeki noktalar arasında ilişki oluşturulması

İlk olarak her iki kümedeki noktaların orta noktaları A_o ve B_o noktaları bulunur.

$$X_o=(x_1+x_2+x_3+x_4)/4 , Y_o=(y_1+y_2+y_3+y_4)/4 \quad (4.18)$$

Bulunan bu orta noktadan diğer noktalara olan mesafeler hesaplanır ($a_1,a_2,\dots,b_1,b_2,\dots$). Noktalar, orta noktaya olan mesafelerine göre küçükten büyüğe sıralanır. Sıralanan noktaların özellik değerleri (hat sonu, çatal nokta) karşılaştırılır, karşılaştırılan noktaların özellik değerleri aynı değilse işlem kesilir ve diğer nokta kümelerine geçilir. Sıralama işlemi tamamlandıktan sonra sıralanan noktalar kullanılarak Affin dönüşümü yapılır. Affin dönüşümünde karesel ortalama hata ($m_o>10$) 10 pikselden büyükse işlem kesilir ve diğer kümelerin karşılaştırma işlemine geçilir, 10 pikselden küçükse işleme devam edilir, bulunan dönüşüm parametreleri yardımıyla girdi noktaları kümesi dönüştürülür. Girdi noktalarının koordinatları taslak nokta koordinatlarına dönüştürüldükten sonra, 10×10 boyutunda bir sınırlandırma penceresi içinde çakışan noktalar bulunur ve çakışan noktaların özellik değerleride aynı ise bu noktalar eşleşmiş kabul edilir. Bu şekilde eşleşen noktalar sayılır. Eşlenen nokta sayısı 13 ten fazla ise iki parmak izi görüntüsünün aynı kişiye ait olduğu kabul edilir. Eşlenen nokta sayısı 13 ten küçük ise eşleme kabul edilmez ve diğer alt kümelerle aynı işlemler tekrar edilir. Yapılan işlemler sonucunda eşleşen nokta sayısı 13 ten büyük çıkmıyorsa, bu iki parmak izi görüntüsünün aynı kişiye ait olmadığı kabul edilir.



Şekil 4.17. Girdi noktaları ile taslak noktaların karşılaştırılması

Bu yöntemde, girdi nokta kümesi ve taslak nokta kümesinde bulunan noktaların sayısı önemlidir. Nokta sayısı artıka 4 lü alt kümelerinin sayısı artacağı için yapılan işlem sayısı artacaktır. Bu nedenle yöntemin parmak izi tanıma için kullanılması sistemin performansını oldukça düşürecektir. Bunun yerine parmak izi doğrulama için kullanımı daha uygun olacaktır.

4.6.2.2.2. En Yakın Komşuluk Yaklaşımı

Bu yöntem, girdi kümesi ile taslak kümesinde lokal yapılar oluşturup bu lokal yapıların eşlenmesi temeline dayanmaktadır. Her kümede içerdiği nokta sayısı kadar lokal yapı oluşturulur. Bu lokal yapılar karşılaştırılarak eşleme yapılır.

Kümedeki nokta sayısı n olsun. Kümedeki her bir i noktası için ($i=1,2,..n$) kendisine en yakın komşu beş nokta bulunur. Lokal yapı, i . nokta referans nokta olmak üzere, en yakın komşu beş noktayla birlikte altı noktadan oluşmaktadır. En yakın komşu beş nokta, referans noktaya mesafesi en yakın beş noktadır.

İki nokta arasındaki Öklid uzaklığı aşağıdaki denklem ile gösterilir.

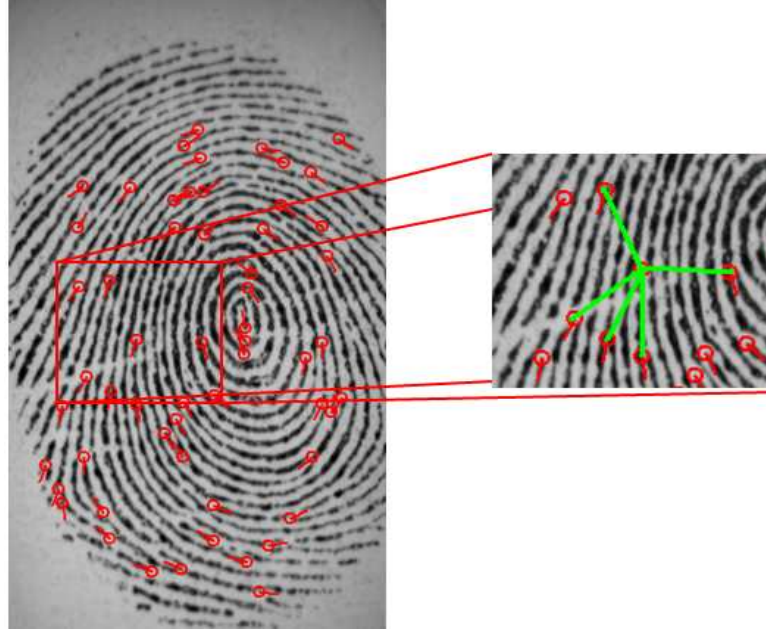
$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (4.19)$$

Referans noktaya uzaklığı en küçük olan beş uzaklık seçilir. Referans nokta ile bu uzaklıklara ait noktalar lokal yapıyı oluştururlar.

$$A_i = \{i, d_{1i}, d_{2i}, d_{3i}, d_{4i}, d_{5i}\} \quad B_j = \{j, d_{1j}, d_{2j}, d_{3j}, d_{4j}, d_{5j}\}$$

$$i = (1, 2, \dots, n) \quad n = A \text{ kümesindeki nokta sayısı}$$

$$j = (1, 2, \dots, m) \quad m = B \text{ kümesindeki nokta sayısı}$$



Şekil 4.18: En yakın komşu özellik noktalarından 5 tanesinin bulunması

Lokal yapıların eşlenmesi için, Affin dönüşümü kullanılmıştır. Affin dönüşümü için iki sistemde ortak dört nokta gereklidir. Bu nedenle girdi nokta kümesine ait lokal yapı ile taslak nokta kümesine ait lokal yapıda bulunan altı noktanın dördü seçilir. Seçim için iki lokal yapı karşılaştırılır.

Karşılaştırma işlemi şu şekilde yapılır.

Her iki lokal yapıda referans alınan noktaların özellik değerlerinin (hat sonu, çatal) aynı olup olmadığı kontrol edilir, aynı ise bir sonraki adıma geçilir, aynı değil ise işlem kesilir ve diğer lokal yapıyla karşılaştırma işlemine geçilir.

İkinci adım, her iki yapıdaki noktaların referans noktaya olan uzaklıkları alınır. A_i ve B_j lokal yapısında A_i lokal yapısının ilk komşu noktasının referans noktaya olan uzaklığı d_{1i} ile B_j lokal yapısının tüm uzaklıkları karşılaştırılır. Uzaklık farklarının karesi alınır.

Tablo 4.2 İki lokal yapıdaki ortak noktaların bulunması

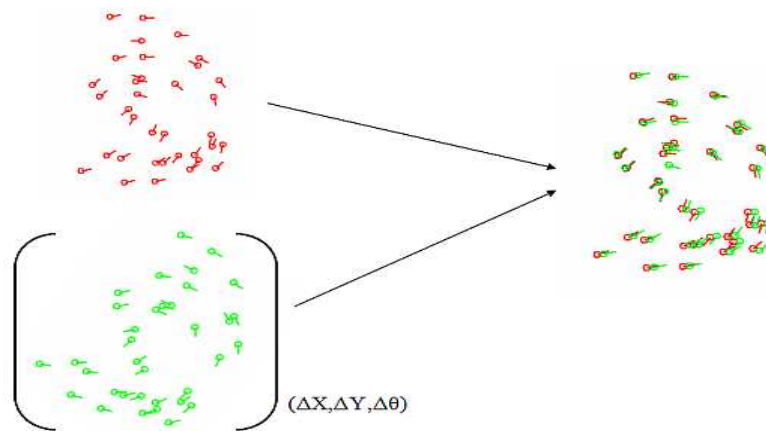
A_i	Komşu Noktalar	Kenarlar d_{1i}	B_j	Komşu Noktalar	Kenarlar d_{1j}	Nokta Sıralama		
						d_i-d_j	Kenar Karşılaştırma	Ortak Nokta
A1	a1	d_{1i}	B1	b1	d_{1j}	$(d_{1i}-b_{1j})^2$	Minimum Olan değer	a1-bj
						$(d_{1i}-d_{5j})^2$		
	a2	d_{2i}		b2	d_{2j}	$(d_{2i}-d_{1j})^2$		a2-bj
						$(d_{2i}-d_{5j})^2$		
	a5	d_{5i}	b5	d_{5j}	$(d_{5i}-d_{1j})^2$		a5-bj	
					$(d_{5i}-d_{5j})^2$			

Bu değerlerden minimum olan değer bulunur, bu değeri karşılayan mesafenin olduğu noktaların özellik değeri aynı ise bu iki nokta ortak nokta kabul edilir. Bu işlem tüm uzaklıklar için tekrarlanır. Bu işlem sonucunda iki lokal yapı arasında en az üç ortak nokta bulunmuşsa Affin dönüşümüne geçilir, bulunmazsa işlem kesilir ve diğer lokal yapıyla karşılaştırma işlemine geçilir.



Şekil 4.19. İki lokal yapıdaki ortak noktaların bulunması

Affin dönüşümünde karesel ortalama hata ($m_0 > 10$) 10 pikselden büyükse işlem kesilir ve diğer kümelerin karşılaştırma işlemine geçilir, küçükse bulunan dönüşüm parametreleri yardımıyla girdi noktaları kümesi dönüştürülür. Girdi noktalarının koordinatları taslak nokta koordinatlarına dönüştürüldükten sonra, 10x10 ebatında bir sınırlandırma penceresi içinde çakışan noktalar bulunur ve çakışan noktaların özellik değerleride aynı ise bu noktalar eşleşmiş kabul edilir. Bu şekilde eşleşen noktalar sayılır. Eşlenen nokta sayısı 13 ten fazla ise iki parmak izi görüntüsünün aynı kişiye ait olduğu kabul edilir. Eşlenen nokta sayısı 13 ten küçük ise eşleme kabul edilmez ve diğer alt kümelerle aynı işlemler tekrar edilir. Yapılan işlemler sonucunda eşleşen nokta sayısı 13 ten büyük çıkmıyorsa, bu iki parmak izi görüntüsünün aynı kişiye ait olmadığı kabul edilir.



Şekil 4.20. Eşlenen noktaların gösterimi

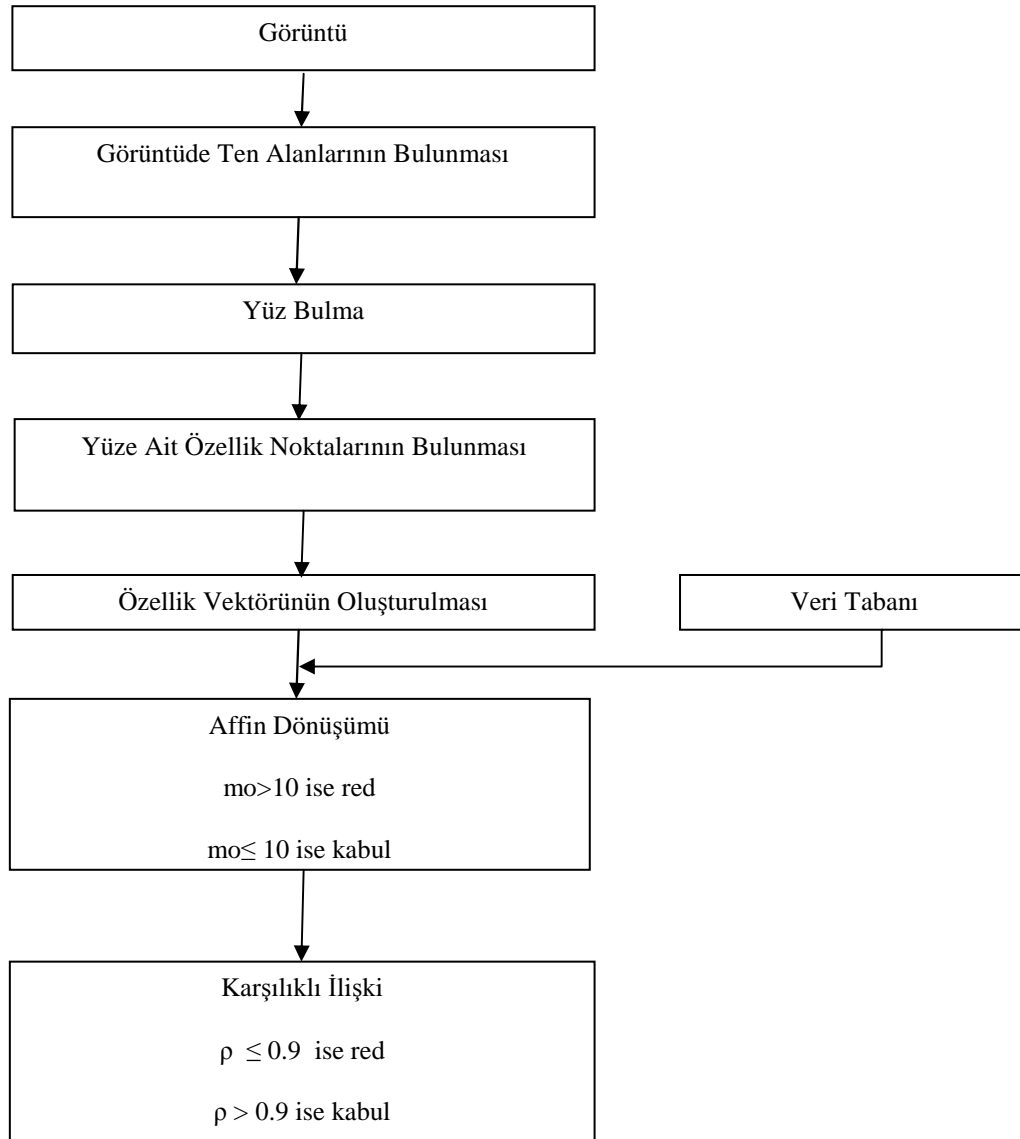
5. YÜZ EŞLEME İÇİN KULLANILAN YÖNTEM VE ARAÇLAR

Görüntülerde insan yüzü tanıma algoritmaları geliştirilirken ilk aşama görüntü içerisinde insan yüzünün bulunmasıdır. İnsan yüzünün bulunması renk bilgisi, görüntü iyileştirme teknikleri ve şekil bilgisi yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Renkli karmaşık görüntülerde insan yüzü bulma, bu alanda çalışılan pek çok konuya ön ayak olacak bir aşamadır. Yüz öğelerinin belirlenmesi, yüz tanıma, yüz ifadelerinin incelenmesi, dudak okuma, göz, burun, kulak veya yüzde herhangi bir noktanın otomatik olarak odaklanması gibi birçok çalışma için ilk aşama yüzün görüntü içerisinde bulunmasıdır.

Bu alanda sürmekte olan birçok araştırma göstermiştir ki, insan yüzü ten rengi, elipse benzer şekli ve yüz nesnelere oranlı dağılımı ile ifade edilebilmektedir. Bu nedenle resimde yüz yerinin belirlenmesi için renk ve şekil bilgisi kullanmak yarar sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında görüntüde insan yüzünün bulunması için renk bilgisinden faydalanılmıştır. Yüz bulunduğundan sonra, yüze ait özellik noktaları görüntü işleme teknikleri kullanılarak çıkarılmış ve bu noktaların görüntü koordinatları bulunmuştur.

Özellik noktalarının birbirlerine olan Öklid oranları kullanılarak, özellik vektörü oluşturulmuş ve veri tabanına kaydedilmiştir. Girdi görüntüsüyle veritabanındaki görüntüler karşılaştırılırken, oluşturulan özellik vektörleri arasındaki Affin dönüşümü ve karşılıklı ilişki (cross correlation) yöntemi kullanılmıştır. Affin dönüşümü sonucu karesel ortalama hata ($m_o < 5$) 5 pikselden küçükse kabul edilip bir sonraki işlem, karşılıklı ilişki katsayısı hesaplanmasına geçilir. Karşılıklı ilişki katsayısı ($\rho > 0.95$) 0.95 den büyükse eşleşme kabul edilir. Şekil 5.1 de yüz tanıma işlem basamakları gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Yüz tanıma işlem şeması

5.1.Görüntüde İnsan Yüzün Bulunması

Bu güne kadar insan yüzünün belirlenmesi ve izlenmesi için birçok çalışma yapılmıştır Bu çalışmalar günümüzde de devam etmektedir. Kesin ve tam bir sonuç üretmek için birçok sezgisel ve özellik tabanlı yaklaşım önerilmektedir. Özellik tabanlı bu çalışmalar arasından ten rengini tanıma aracı olarak kullanan yöntemler diğerlerine göre daha fazla önem kazanmaktadır. Ten renginin insanlar tarafından kolaylıkla ayırt edilebildiği düşünüldüğünde, bu özelliğin yüz tespiti için kullanılmasının daha doğru olduğu görülmektedir (Yavuz 2007).

5.1.1 Ten Rengi Bulma Algoritmaları

İnsan yüzü kendine özgü rengi ile renk uzayında belli bir aralıkta temsil edilebilmektedir. Bu durum imgeler üzerinde de sadece ışıktan kaynaklanan bir yoğunluk değişimi göstermektedir. Ayrıca, insan teni ayırt edilebilir bir dokusal doygunluğa sahiptir. Renkli görüntüde ten rengi bulabilmek için yapılması gereken en önemli adım renk uzaylarından doğru olanı seçebilmektedir

5.1.1.1. HSI Renk Uzayı ile Ten Renginin Belirlenmesi

Ten rengi, HSI renk uzayında belli bir aralıkta temsil edilebilmektedir. Buna ilişkin olarak, seçilen değer aralığında ten alanları tespit edilebilmektedir.

Üzerinde çalışılan görüntü RGB renk uzayından kromatik renk uzayına,

$$r = R / (R + G + B) \quad g = G / (R + G + B) \quad b = B / (R + G + B) \quad (5.1)$$

daha sonrada HSI renk uzayına dönüştürülür.

$$\cos H = \frac{2r - g - b}{2\sqrt{(r - g)^2 + (r - b)(g - b)}}$$

$$S = 1 - \frac{3}{r + g + b} \min(r, g, b)$$

$$I = (R + G + B) / 3 \quad (5.2)$$

Yüz bulma işlemi, öncelikle renk tonu ve doygunluk değerlerinden faydalanılarak ten süzgeci gerçekleştirilmesi ile başlamaktadır. Görüntüden elde edilen değerler bu konuda yetersiz kalmasına karşın görüntünün negatifinden elde edilen renk tonu ve doygunluk değerleri ile daha kararlı bir süzgeç yapısı oluşturulmuştur (Öztekin ve ark 2007).

$$0 \leq H \leq 0.942, \quad 0.1 \leq S \leq 0.69, \quad 0.25 \leq S_n \quad (5.3)$$

S_n : Negatif görüntünün doygunluk değeri

Ten süzgeci sonucunda ten rengi olabilecek pikseller aynı kalırken ten rengi olarak algılanmayan pikseller siyaha dönüştürülür.

5.1.1.2. YCbCr Renk Uzayı ile Ten Renginin Belirlenmesi

Ten rengi tanıma konusunda farklı renk uzaylarında birçok çalışma yapılmış ve en iyi sonuçların TSL uzayında elde edildiği belirlenmiştir. Ancak RGB uzayından TSL uzayına çift taraflı dönüşüm bağıntıları ağır matematiksel ifadeler içerdiğinden, gerçek zamanlı uygulamalar için pek uygun değildir. Bu nedenle rengin renklilik ve parlaklık bileşenlerini ayırma şekli TSL uzayına benzeyen YCbCr uzayı kullanılmaktadır. Yapılan çalışmaların çoğunda ten rengi olan pikseller için renklilik

bileşenlerinin parlaklık bileşeninden bağımsız olduğu varsayımı yapılmıştır. YCbCr renk uzayında belirli sınırlar içinde kalan pikseller ten rengi olarak değerlendirilmiştir (Jain 1997).

RGB renk uzayından YCbCr renk uzayına dönüşüm;

$$Y=0.257.R+0.504.G+0.098.B+16$$

$$C_b=0.148.R-0.291.G+0.439.B+128$$

$$C_r=0.439.R-0.368.G-0.071.B+128 \quad (5.4)$$

Ten rengi olabilecek renk değeri sınırlamaları;

$$140 < Cr < 165 , 105 < Cb < 135 \quad (5.5)$$

Ten süzgeci sonucunda ten rengi olabilecek pikseller aynı kalırken ten rengi olarak algılanmayan pikseller siyaha dönüştürülür.

5.1.1.3. Normalize Edilmiş RGB Renk Uzayı ile Ten Renginin Belirlenmesi

Renkli resimlerde yüz bölgesinin belirlenmesinin bir diğer yolu ise normalize edilmiş RGB renk uzayında bazı sınırlamalar kullanarak yüzün bulunması amaçlanmıştır (Vezhnevets ve ark. 2003.)

$$\text{norm}_r = (r/(r+g+b))*255 \quad (5.6)$$

$$\text{norm}_g = (g/(r+g+b))*255 \quad (5.7)$$

Ten rengi analizi için kullanılan sınırlamalar;

$$90 < \text{norm}_r < 145 , 60 < \text{norm}_g < 100 \quad (5.8)$$

Bu sınırlar çok farklı görüntülerdeki yüzler üzerinde yapılan araştırmalar sonucu seçilmiştir.



şekil 5.2. Resimde ten alanlarının bulunması

5.2.Çalışma Kapsamında Gerçekleştirilen Yüz Bulma İşlemi

Çalışma kapsamında yüz tespiti aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

Ten rengi tanıma konusunda farklı renk uzaylarında birçok çalışma yapılmış, görüntüde ten rengi bulmak için normalize edilmiş RGB renk uzayı kullanılmıştır. Ten rengi olabilecek pikseller aynen kalırken, ten rengi olarak algılanmayan pikseller siyaha dönüştürülür. Böylece sadece ten rengi olabilecek bölgeler, diğer alanlardan ayrılmış olur.

Ten rengi olarak belirlenmiş görüntü gri seviye resme dönüştürülür. Gürültülerin elenmesi için ortalama alma işlemi uygulanır. Gri seviyedeki resim lokal eşikleme (thresholding) algoritması kullanılarak ikili resme dönüştürülür. Elde edilen siyah-beyaz imge üzerinde iyileştirme amaçlı olarak önce morfolojik işlemler (açma, kapama), daha sonra da ten bölgisi içinde kalan boşlukların ten alanına dahil edilerek

düzeltilme işlemleri uygulanır. Görüntü içerisinde olası tüm ten bölgeleri birbirinden ayrıştırılmalıdır.

Önce bölütleme yapılarak gruplar etiketlenir. Birbiri ile bağlantılı olan (komşu) 1 değerli piksellere aynı etiket numarası verilir (Şekil 5.3). Bölütleme sonucunda kaç tane grup olduğu anlaşılacaktır. Bölütlemeden sonra hangi grubun yüz olduğu belirlenmelidir. Bunun için her bir grupta aşağıdaki özellikler bulunmalıdır. Grubun alanı (kaç tane 1 değerli piksel içerdiği), alanın ağırlık merkezi, ortalama yükseklik ve genişlik hesaplanır (Nabiyev ve ark 2005).

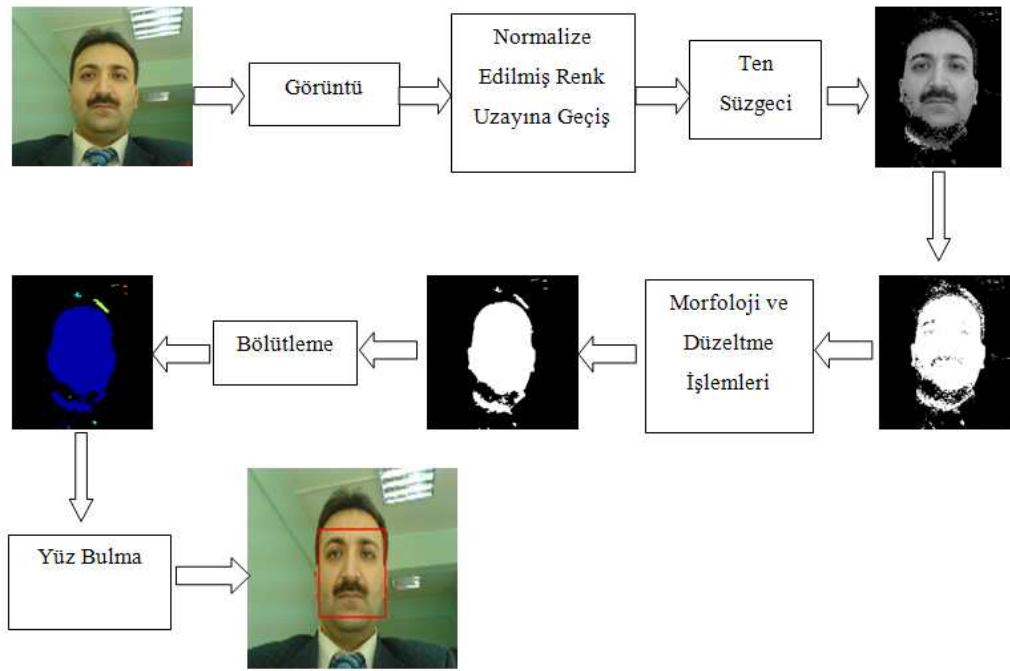
0	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1	1	1	0
1	1	0	0	0	1	1	1	0
0	1	1	0	0	1	1	1	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0

	1	1	1	1				
		1		1				
		1	1	1				
			1	1				
								2
3	3				2	2	2	
3	3				2	2	2	
	3	3			2	2	2	
	3	3						

Şekil 5.3 İkili görüntüde bölütleme işlemi

Ortalama yükseklik hesaplanırken ağırlık merkezin üstünde kalan kısmın ağırlık merkezi C1, ağırlık merkezinin altında kalan kısmın ağırlık merkezi C2 bulunur. $(C1+C2)*2$ değeri de ortalama yüksekliği vermiş olur. Aynı işlem ortalama genişliğin bulunmasında da yapılır.

Hangi alanın yüz olduğu belirlenirken yüzün oranlarından faydalanılır. İnsan yüzünün boyunun enine oranı yaklaşık olarak altın orana eşittir. Ortalama yüksekliğin ortalama genişlik oranı bu değerler arasında çıkan grup yüz olarak belirlenir. Ancak hatalı olarak oluşmuş alanlarda bu değeri verebilir. Bu nedenle bu oranı sağlayan ve alanı en büyük olan bölüm yüzün bulunduğu bölüm olarak belirlenir ve çerçeve içine alınır. Şekil 5.4 de görüntüde yüz bulma işleminin akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 5.4.Görüntüde yüz bulma için akış diyagramı

Ten rengi ile yüz bulma algoritması ile yapılan çalışmada;

- Tek yüz içeren resimlerde
- Görüntüdeki yüz ve yüzlerin belirgin bir büyüklükte olduğu durumlarda
- Yüz ve yüzlerin önden görünüş olması durumunda

elde edilen sonuçlar daha iyi olmaktadır. Bazı zorlayıcı koşullar ise şunlardır;

- Üzerinde çalışılan görüntünün çok küçük olması durumunda ten bölgeleri ayırt edilebilmekte, fakat yüz nesnelere belirgin olmadığından bu bölgeler içerisinde yüzeye ait olan bölgelerin bulunması mümkün olmayabilmektedir.

- Görüntü içerisinde yüz bölgesi üzerinde farklı noktalarda yoğunlaşmış çok parlak ışık ve yansımalar ten süzgeci sonucunun kötü olmasına neden olduğundan ayırık çıkan bölgeleri tek yüz oluşturacak şekilde birleştirmek mümkün olamayabilmekte ve bu nedenle algoritma doğru sonuç veremeyebilmektedir.

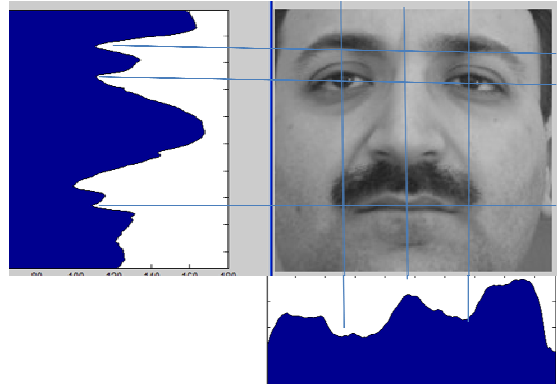
5.3. Yüzdeki Özellik Noktalarının Çıkartılması

Resimdeki yüz alanı bulunduğundan sonra, yüzdeki özellik noktalarının çıkartılmasına geçilir. Bu çalışmada yüzdeki özellik noktaları olarak kaşlar, göz merceği ve göz çukurları, burun ve dudak seçilmiştir.



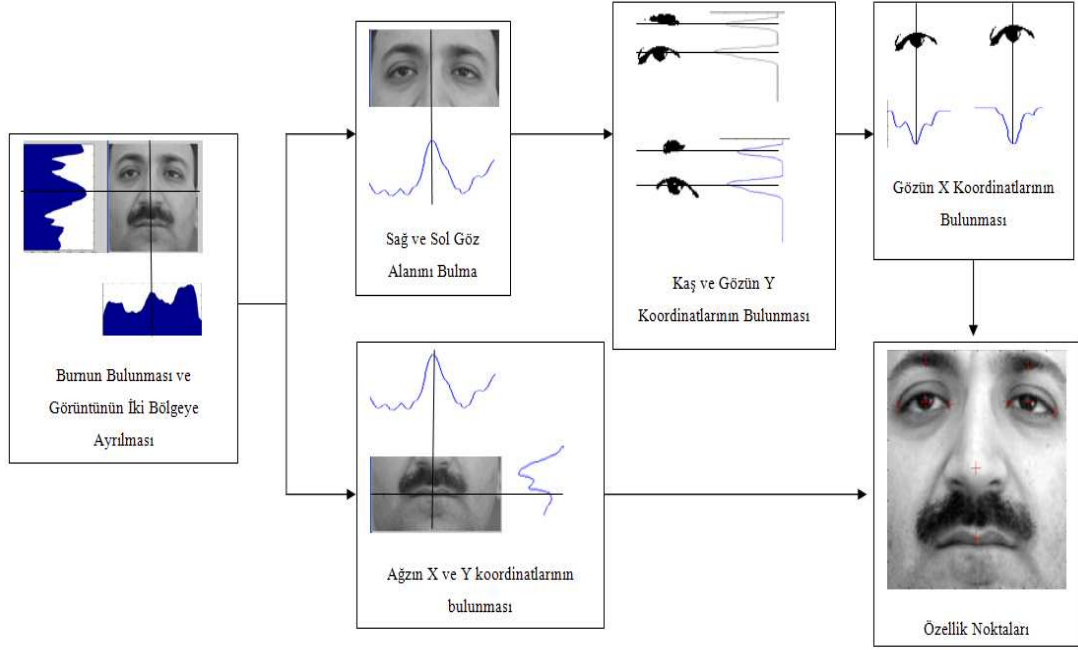
Şekil 5.5. Resimde yüzün bulunması

İlk olarak yüzün yatay ve düşey izdüşümü çıkartılır. Bu izdüşüm grafiğindeki minimum ve maksimum noktalar bulunur. Bu noktalar yüzdeki özellik noktalarının yerlerini gösterirler.



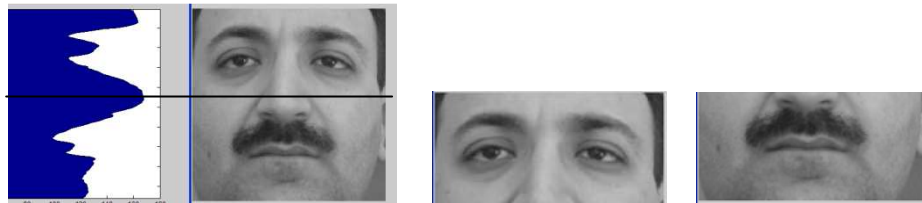
Şekil 5.6. Yüzdeki özellik noktalarının yatay ve düşey izdüşümü yardımıyla bulunması

Özellik noktalarının yerini gösteren bu değerler yaklaşık değer olarak kabul edilerek, bu noktaların yerlerinin daha hassas olarak bulunmasına geçilir.



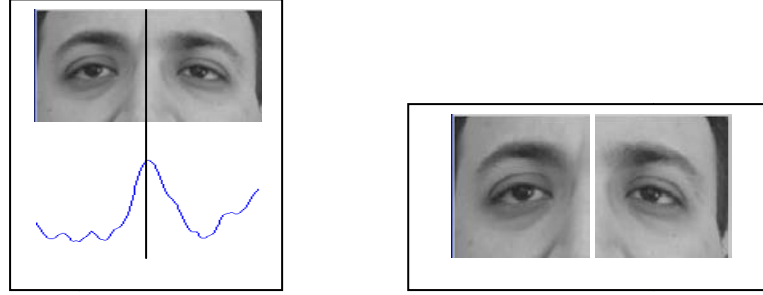
Şekil 5.7. Yüzdeki özellik noktalarının bulunması işlem basamakları

Şekil 5.7. 'de yüzdeki özellik noktalarının bulunması işlem basamakları gösterilmiştir. İlk olarak bulunan yüz alanı görüntüsünün yatay izdüşümü alınır. Bu izdüşüm grafiğindeki en büyük değerin bulunduğu maksimum nokta burnu gösterir. Bu değer aynı zamanda burnun y koordinatıdır. Yüz görüntüsü yatay izdüşümün maksimum olduğu bu burun noktasından alt ve üst olmak üzere ikiye kesilir. Üst bölgede kaşlar ve gözler, alt bölgede ise ağız bulunur. Bu şekilde yüz görüntüsü iki bölgeye ayrılmış olur (Şekil 5.8).



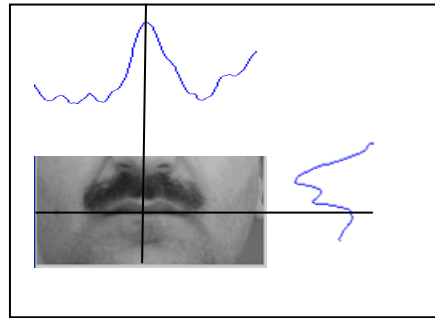
Şekil 5.8. Yatay izdüşüm grafiğinden faydalanarak burnun bulunması, yüz görüntüsünün bu noktadan iki bölgeye bölünmesi

Kaşların ve gözlerin bulunduğu kesilen üst görüntünün düşey izdüşüm grafiği çizdirilir. Bu grafikteki maksimum değer burnun orta noktasıdır. Bu nokta aynı zamanda burnun x koordinat değeridir. Bu noktadan görüntü sağ ve sol olmak üzere iki bölgeye ayrılır. Böylece sağ ve sol göz alanları birbirinden ayrılmış olur (Şekil5.9).



Şekil 5.9. Sağ ve Sol Göz Alanını Bulma

Ağız bölgesinin bulunduğu, kesilen alt görüntünün yatay ve düşey izdüşümü bulunur ve çizdirilir. Yatay ve düşey izdüşümdeki maksimum noktalar çıkartılır, bu noktalar ağızın orta noktası olup, x ve y koordinat değerleridir.



Şekil 5.10. Ağızın X ve Y koordinatlarının bulunması

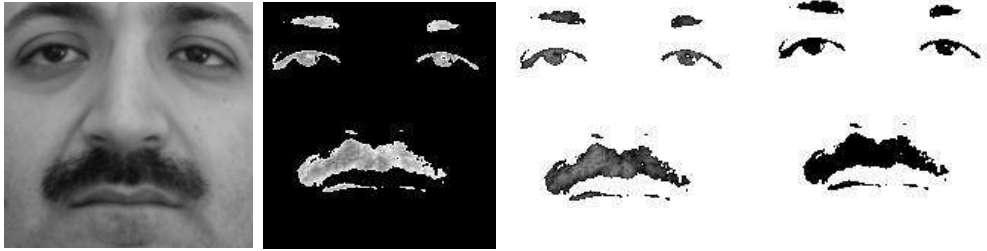
Kaş, göz merceği ve göz çukuru sınırlarının , sağ ve sol göz alanına ait görüntüler üzerinde morfolojik işlemler yapıldıktan sonra çıkartılmasının daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu nedenle yüz görüntüsü üzerinde sırasıyla şu işlemler gerçekleştirilir.

Yüz görüntüsü üzerinde önce gri seviye değerleri belli bir dönüşümden geçirilerek yüz üzerindeki pikseller güçlendirilir. Güçlendirme için yüz görüntüsündeki her bir pikselin gri değeri 3,5 katsayısı ile çarpılır, çıkan sonuç 255 değerine bölünür, bölüm kalanı 255 değerinden çıkartılır, çıkan sonuç pikselin yeni gri değerini oluşturur.

$$g(x,y)=f(x,y)*3,5 \pmod{255} \quad (5.9)$$

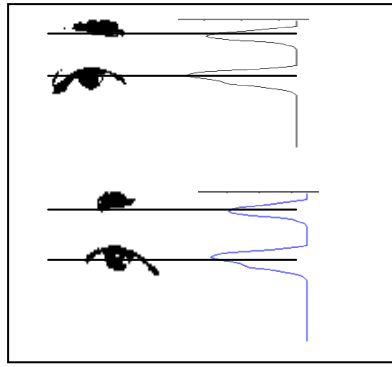
$$h(x,y)=255-g(x,y) \quad (5.10)$$

Daha sonra güçlendirilmiş yüz üzerinde eşikleme uygulanarak ikili yüz elde edilmiş olur.



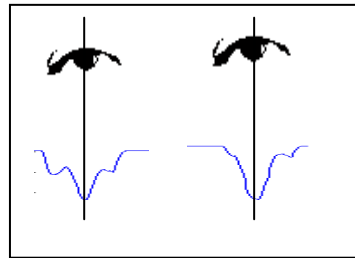
Şekil 5.11. Yüz alanının güçlendirilerek özellik bölgelerinin belirgin hale getirilmesi

Göze ait özellik noktalarının daha hassas bulunması için sağ ve sol göz alanı olarak ikiye bölünen görüntüler yukarıda anlatılan güçlendirme işleminden geçirilir ve ikili forma dönüştürülür. Elde edilen görüntülerin yatay izdüşümleri çıkartılır. Çıkartılan izdüşüm grafiğindeki iki maksimum değer olduğu yerler sırasıyla kaşın ve göz merceğinin bulunduğu yerdir. Böylece kaşların ve göz merceğinin Y koordinatları bulunmuş olunur.



Şekil 5.12. Sağ ve sol göz alanlarının yatay izdüşümü ile kaş ve gözün yerinin bulunması

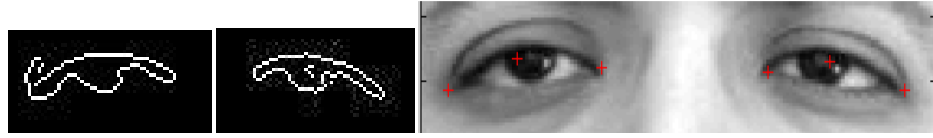
Sağ ve sol göz alanlarının bulunduğu görüntülerde kaşın bulunduğu bölge kesilerek sadece göz merceği ve göz çukurunun bulunduğu görüntüler elde edilir. Eğer kaş bölgesi kesilmeden işleme devam edilirse, düşey izdüşüm değerlerinde hatalı değerlere sebep olabilirler. Elde edilen bu görüntülerin düşey izdüşümleri çıkartılır ve maksimum olan noktalar çıkartılır. Bu noktalar göz merceğinin bulunduğu yerdir. Bulunan bu değerler göz merceğinin x koordinatıdır.



Şekil 5.13. Sağ ve sol göz alanlarının düşey izdüşümü ile göz merceğinin yerinin bulunması

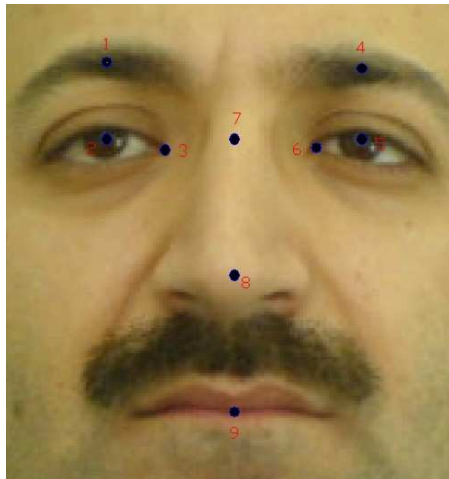
Göz bölgesine ait ikili formdaki görüntüye canny kenar bulma işlemi uygulanır. Kenarları çıkartılmış bu görüntüde kenar olan piksellerin değeri 1, diğer piksellerin değeri ise 0 ' dır. Değeri 1 olan piksellerin satır ve sütun numaraları (x ve y değerleri) alınır. Bu piksellerin orta noktasının x ve y değerleri bulunur. Bulunan bu noktanın sağında ve solunda bu noktaya en uzak 1 değerli piksel bulunur. Bulunan bu noktalar göz çukurunun iç ve dış kenarıdır.

$$X_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad Y_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (n= \text{değeri 1 olan piksellerin sayısı}) \quad (5.11)$$



Şekil 5.14. Göz bölgesi görüntüsüne canny kenar bulma algoritmasını uygulanarak göz sınırlarının çıkartılması ve göz çukurlarının bulunması

Yatay ve düşey izdüşüm yöntemiyle bulunan özellik noktalarına ait x ve y değerleri çıkartılır ve şekil 5.15 'de gösterilen özellik noktalarına ait nokta numarasına göre kaydedilir.



Şekil 5.15. Yüze ait özellik noktaları ve noktaların numaralandırılması

Yüze ait özellik noktalarının çıkartılması oldukça zordur, zorlaştıran sebepler kısaca şunlardır.

- Geometrik bakış noktası: aynı insana ait yüz bilgisi, yüzün hangi noktadan resmedildiğine bağlı olarak oldukça farklı bir hale dönüşebilir. Örneğin insan yüzünün ön ve yan profillerden görünüşü oldukça farklıdır. Resim içerisindeki yüzün herhangi bir açıyla dönmüş halini de içeren, dönmeden bağımsız (rotation invariant) bir yüz tespit sistemi gerçekleştirmek oldukça güç bir iştir.

- Yüzün esnek yapısı: Aynı bakış açısı altında herhangi bir insana ait yüz

bilgisi, yüz mimiklerine bağı olarak çok büyük farklılıklar gösterebilir. Şöyle ki insan güldüğünde veya ağladığında yüzündeki irade, dolayısıyla yüz bilgisi oldukça değişecektir. Buna yüzün esnekliği denilmektedir. İnsan yüzü genel olarak düşünüldüğünde belirli bir standarda sahiptir. Fakat bu standart yüzün genel yapısıyla ilgilidir (iki adet göz, bir adet burun vs. gibi), ama yüz mimiklerinden dolayı yüz içerisinde bulunan bu birimler arasındaki uzaklıkta değişiklikler meydana gelebilmektedir (dudaklarla burun arasındaki mesafesin gülme anında değişmesi), hatta birimlerin kendi ebatlarında dahi değişimler olmaktadır (gülme anında insanın gözlerini kısması).

- Aydınlatma ve çevre koşulları: Aynı yüze ait görüntü bilgisi, aynı bakış açısı altındaki farklı aydınlatma ve diğer çevre koşulları sebebiyle değişime uğrayabilmektedir. Özellikle gerçek zamanda (real-time) elde edilen video görüntüleri üzerindeki insan yüzlerinin tespiti sisteminin gerçekleşmesi aşamasında standart bir aydınlatmanın oluşturulmasına gayret edilmektedir. Eğer aydınlatma olayı bizim kontrolümüz dışında gerçekleşiyorsa, elde edilen sayısal resimdeki hatalı aydınlatmadan kaynaklanan bilgi bozulması bazı görüntü işleme teknikleri kullanılarak en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Bu işlemlere ise genel olarak "ön işlemler" (preprocessing) denilmektedir. Bu işlemlere örnek olarak; histogram equalization (eşitleme) ve kontrast germe (contrast stretching) işlemlerini verebiliriz.

5.4. Yüz Eşleme

Yüz elemanları hassas bir şekilde bulunduktan sonra bu noktalar arasındaki Öklid mesafeleri ve oranları hesaplanarak kaydedilir. Yeni elde edilen yüzsel veri, kayıtlı yüz verileri arasında karşılaştırılır ve en az bir yüzsel temsil ile bağ kurulur. Karşılaştırma bittiğinde, sistem bir karşılaştırma değeri atar. Eğer bu değer önceden belirlenmiş eşik üzerinde ise benzerlik deklare edilir.

Çalışma kapsamında yüz eşleme için aşağıdaki işlemler uygulanmıştır. Yüz tespitinden sonra yüz elemanları hassas bir şekilde bulunur, bulunan noktaların x ve y koordinatları her özellik nokrasına verilen nokta numarası ile veri tabanına kaydedilir. Karşılaştırma işlemi iki aşamalı olarak gerçekleştirilir. Birinci aşamada, yüz elemanlarının giriş ve araştırma görüntüsündeki özellik noktalarının koordinatları arasında Affin dönüşümü gerçekleştirilir ve elde edilen karesel ortalama hata değeri doğruluk ön kriteri olarak kullanılır. Karesel ortalama hata belirlenen sınır değerden büyükse reddedilir, küçükse kabul edilir ve bir sonraki işleme, karşılıklı ilişki işlemine geçilir.

İki ayrı veri grubu arasında bulunan ilişki derecesinin ölçümüne ilişki (korelasyon) denir. Karşılıklı İlişki yöntemi, iki parça arasındaki benzerliği ölçmede kullanılan bir yöntemdir. Bu benzerlik bir katsayı (ρ) ile belirlenmektedir (Gruen 1988).

Genel olarak hesaplamada merkezleştirilmiş veya normalize edilmiş Karşılıklı İlişki katsayısı (ρ) hesaplanır. Hesaplanan ρ ilişki katsayısının maksimum olduğu durum model ve parça arasındaki en iyi eşlemenin konumunu verir (Varlık 1999).

İki parça arasındaki ilişkiyi yüksek bir yaklaşımla bulan, her bir piksel konumunda merkezleştirilmiş veya normalize edilmiş ilişki katsayısının (ρ) hesaplanması şöyledir.

$$\rho(x, y) = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (f(x,y) - \bar{f}) * (g(x,y) - \bar{g})}{\sqrt{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (f(x,y) - \bar{f})^2 * \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (g(x,y) - \bar{g})^2}} \quad (5.12)$$

Burada;

$f(x,y)$, $g(x,y)$: girdi ve taslak matris

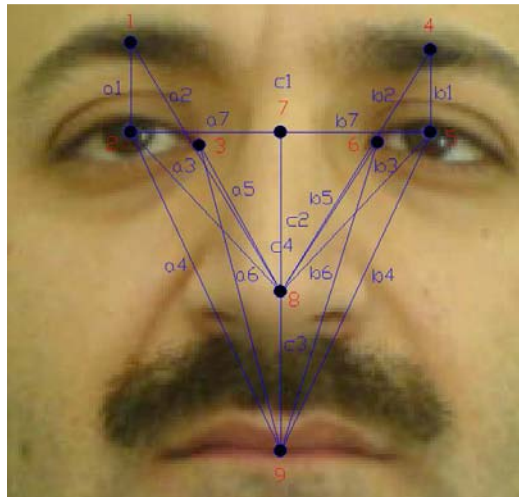
\bar{f} , \bar{g} : girdi ve taslak matrisin ortalama değerleri

m, n : girdi ve taslak matrisin satır ve sütun sayısı

İlişki katsayısı ρ $[-1, 1]$ aralığındadır. Hesaplanan katsayı $\rho = -1$ ise iki ilişki matrisi arasında hiçbir ilişki olmadığı anlaşılır. Eğer $\rho=1$ ise matrisler arasında tam bir ilişki vardır.

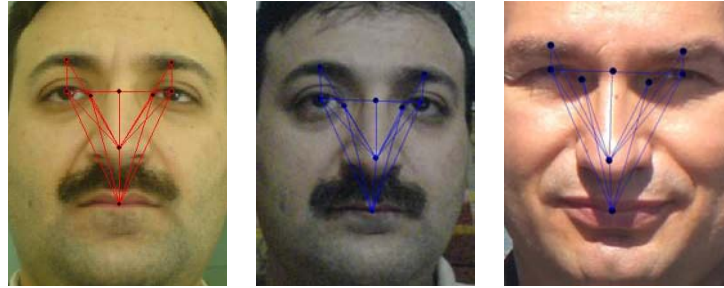
Karşılıklı ilişki yöntemi için girdi ve araştırma görüntüsündeki özellik noktaları arasındaki kenarlar, Öklid mesafeleri hesaplanır ve bu kenarların birbirine oranları kullanılarak özellik vektörü oluşturulur. Bu özellik vektörleri arasında karşılıklı ilişki değeri hesaplanır, bu değer belirlenen sınır değerden büyükse kabul edilir, küçükse red edilir. (Affin dönüşümü için karesel ortalama hata $mo \leq \pm 5$, karşılıklı ilişki değeri $\rho \geq 0.95$ alınmıştır) Aşağıdaki şekilde yüze ait özellik noktaları, kullanılan kenarlar ve özellik vektörü gösterilmiştir.

Özellik vektörü, yüze ait özellik noktalarının birbirlerine olan mesafelerinin oranlarından oluşturulur. Örneğin; kaş ve göz arasındaki mesafenin, göz çizgisi ile burun arasındaki mesafeye, burun ile ağız arasındaki mesafeye, göz çizgisi ile ağız arasındaki mesafeye oranları, göz bazının (sağ ve sol göz arasındaki mesafe), göz çizgisi ile burun ve ağza olan mesafelere oranları. Çalışma kapsamında özellik vektörü 4×4 'lük bir matris şeklinde oluşturulmuştur (Şekil 5.16). İstenilirse farklı Öklid oranları kullanılarak farklı boyutlarda özellik vektörü oluşturmak mümkündür.



$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{a1}{c1} & \frac{a1}{c2} & \frac{a1}{c3} & \frac{a1}{c4} \\ \frac{c1}{b1} & \frac{c2}{b1} & \frac{c3}{b1} & \frac{c4}{b1} \\ \frac{c1}{a3} & \frac{c2}{b3} & \frac{c3}{a4} & \frac{c4}{b4} \\ \frac{c1}{c2} & \frac{c1}{c3} & \frac{c1}{c4} & \frac{c2}{c3} \end{bmatrix}$$

Şekil 5.16. Yüze ait özellik noktalarının numaralandırılması, aralarındaki Öklid mesafeleri ve oranların oluşturduğu özellik vektörü



Şekil.5.17 Yüzdeki özellik noktalarının çıkartılması

Tablo 5.1. Şekil 5.17 'deki yüzlere ait özellik noktalarının koordinatları, Affin Dönüşümü sonuçları ve karşılıklı ilişki katsayısı sonuçları

Res. No	1		2		3	
NN	Y	X	Y	X	Y	X
1	264.194	305.054	176.197	414.757	953.853	889.10
2	264.194	277.841	176.592	383.594	953.853	870.949
3	284.834	274.019	199.865	376.100	979.271	862.234
4	354.401	302.848	279.151	407.656	1057.706	885.474
5	354.401	277.841	275.601	380.044	1057.706	867.318
6	338.347	274.783	257.061	374.522	1030.109	860.782
7	309.297	277.841	231.027	381.622	1005.779	869.134
8	309.297	229.680	231.027	324.425	998.880	793.967
9	309.297	181.518	227.477	272.356	1002.511	759.107
mo	mo ₍₁₋₂₎ = 1.844		mo ₍₂₋₃₎ = 6.1678		mo ₍₁₋₃₎ = 6.4525	
ρ	ρ ₍₁₋₂₎ =0.9945		ρ ₍₂₋₃₎ =0.8334		ρ ₍₁₋₃₎ =0.8747	

6.UYGULAMA

6.1. Uygulama Alanının Tanımı

Bu çalışmayla parmak izi eşleme ve yüz tanıma işlemleri için Affin dönüşümünün kullanılabilirliğini test etmek amacıyla bir yazılım geliştirilmiş ve test için feret veri tabanı, FVC2000 veritabanındaki görüntüler kullanılmıştır.

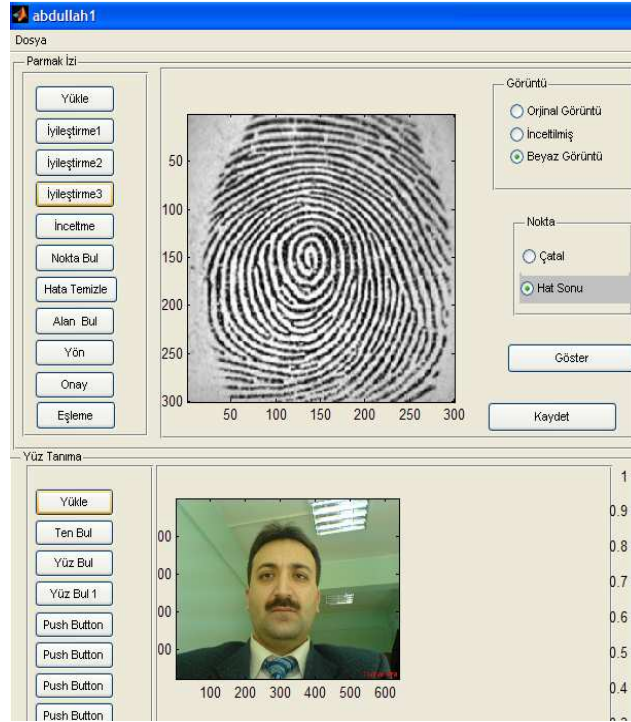
6.2.Uygulamada Kullanılan Donanım ve Yazılımlar

Uygulama için yapılan program mühendislik alanında yaygın olarak kullanılan MATLAB teknik programlama dilinde grafik kullanıcı ara yüzü (GUI) dayanarak hazırlanmıştır. “Matlab” programı (MATrix LABoratory 'nin ilk üç harfleri alınarak isimlendirilmiştir.) mühendislik uygulamalarının, hesaplamalarının ve simülasyonlarının çoğunun gerçekleştirildiği matris ve matematik tabanlı kompleks bir programdır. Her türlü grafiksel sonuçlar istenilen tarzda alınabildiği için kullanım alanı çok geniştir.

Donanım olarak HP Pavilion (Intel Pentium M processor 1.73 Ghz 795Hz 1.50 GB RAM) diz üstü Bilgisayar kullanılmıştır.

6.3.Uygulamada Yapılan İşlem ve Hesaplamalar

Uygulama için geliştirilen yazılım parmak izi ve yüz tanıma olarak iki ayrı bölümü içerir. İki bölüm ayrı ayrı veya birlikte çalıştırılabilir.

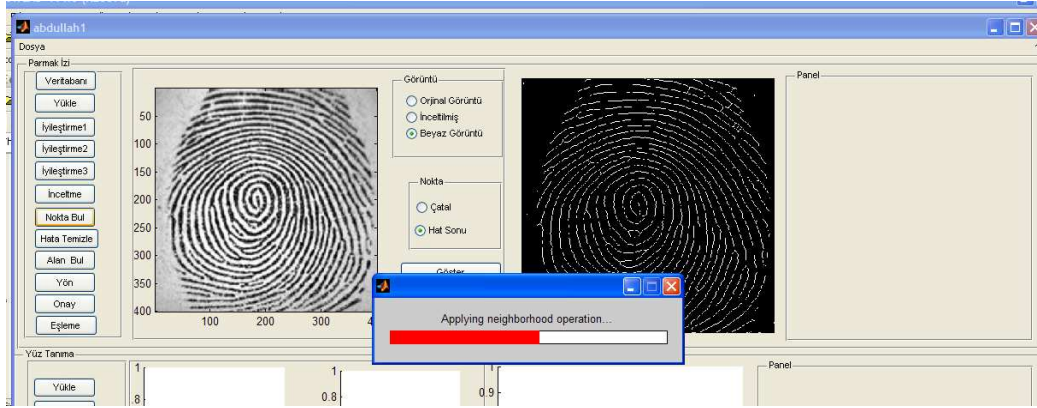


Şekil 6.1. Yazılımın genel görünümü

6.3.1.Parmak İzi Tanıma

Parmak izi tanıma bölümünde, ilk olarak veritabanı oluşturulması yapılır. Veritabanı oluşturulurken test için alınmış parmak izi görüntüleri veritabanının oluşturulduğu dizine kopyalanır. Yazılımda eşleme işleminin daha hızlı yapılabilmesi için, veritabanındaki görüntüler işlemde geçirilerek özellik noktaları bulunmuş ve veritabanına aynı dosya adıyla *.txt dosyası olarak kaydedilmiştir, karşılaştırma için veritabanındaki görüntüler yerine bu text dosyaları kullanılmıştır. Bu sayede

karşılaştırma yapılırken veritabanındaki görüntülerin tek tek yüklenip önışlemlerden geçirilmesi, özellik noktalarının çıkartılması işlemleri için geçecek zaman kazanç sağlanmış olmaktadır. Eşleme tamamlandıktan sonra eşlenen parmak izi görüntüsü veritabanından otomatik olarak ekranda görüntülenmektedir.

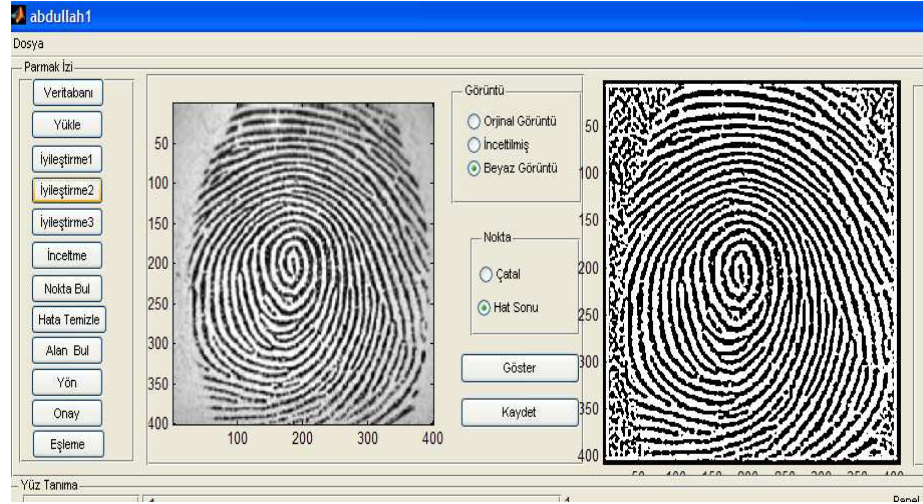


Şekil 6.2. Veritabanı Oluşturma

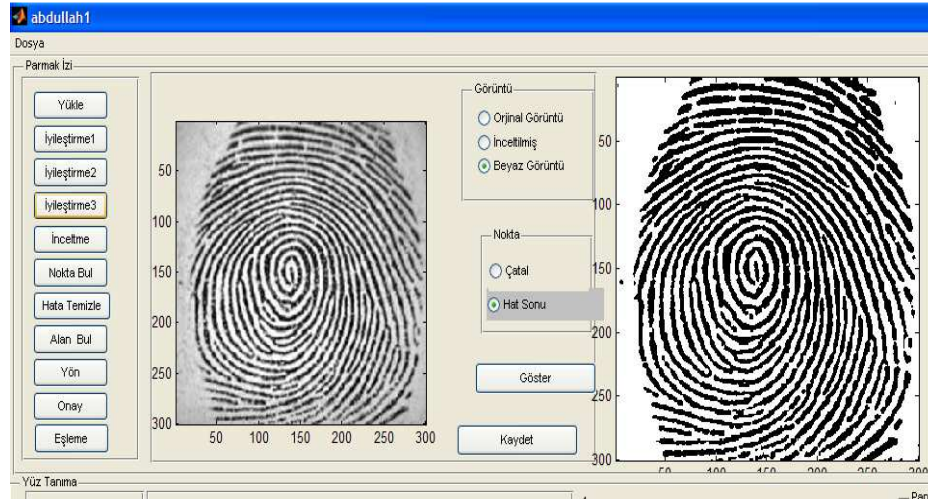
Veritabanı oluşturulurken, girdi görüntü özellik noktalarının çıkartılması için farklı işlemlerden geçirilir. Bu işlemler sırasıyla aşağıda anlatılmıştır.

Parmak izi görüntüsünden özellik noktalarının sorunsuz ve güvenilir bir şekilde elde edilebilmesi, eşleme için çok önemlidir. Özellik noktalarının bulunmasına yönelik algoritmaların başarısı, büyük ölçüde giriş parmak izi görüntüsünün kalitesine bağlıdır.

Sistemde parmak izi görüntüsünün iyileştirmesi için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Parmak izi görüntüsünün Maske Kullanılarak iyileştirilmesi yapılabildiği gibi, parmak izi görüntüsünün yön alanlarının bulunarak İyileştirilmesi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.3. Parmak izinin maske kullanılarak iyileştirilmesi



Şekil 6.4. Parmak izinin yönelim alanlarının bulunarak iyileştirilmesi

Parmak izi görüntüsü iyileştirilip ikili formata dönüştürüldükten sonra, parmak izindeki özellik noktalarının bulunabilmesi için görüntüdeki izlerin tek pikselden oluşan çizgilere dönüştürmek için inceltme işlemi uygulanır. İnceltme için işlemi için genellikle kullanılan yöntem taranan resim üzerinden çok küçük boyutlarda parçaların irdelenmesi şeklindedir. Taslak, bitmap içerisinde aranan şekildir. Bitmap içerisinde bu şeklin bulunduğu yerde belli piksellerin rengi beyaza çevrilir. Böylece siyah renklerin gittikçe azalması sağlanır ve inceltme işlemi yapılır.



Şekil 6.5. Parmak izinin inceltilmesi

İnceltmiş iz görüntüsü üzerinde özellik noktaları bulunur, hatalı noktalar temizlenir. İlgilenilen alan içinde kalan noktaların x ve y koordinatları text dosyası olarak kaydedilir.



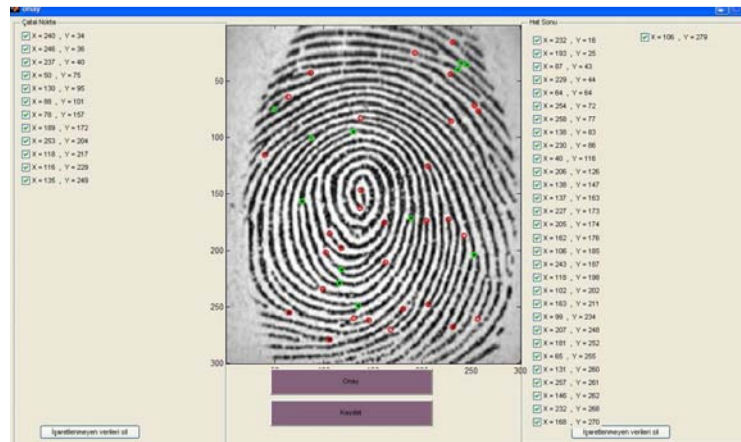
Şekil 6.6. Özellik Noktalarının çıkartılması



Şekil 6.7. Hatalı Noktaların temizlenmesi



Şekil 6.8 İlgilenilen alanın bulunması

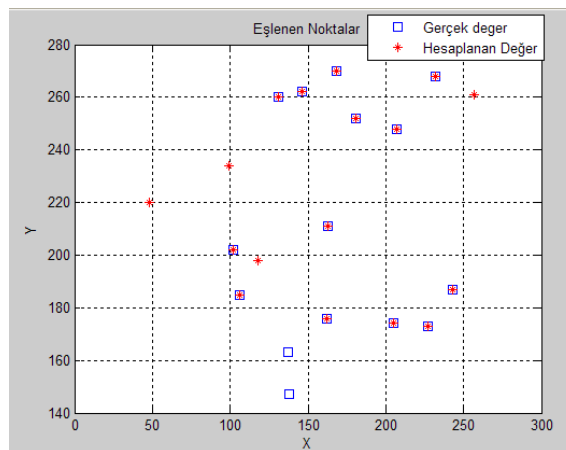


Şekil 6.9. Özellik noktalarının onaylanması



Şekil 6.10 Özellik Noktalarının kaydedilmesi

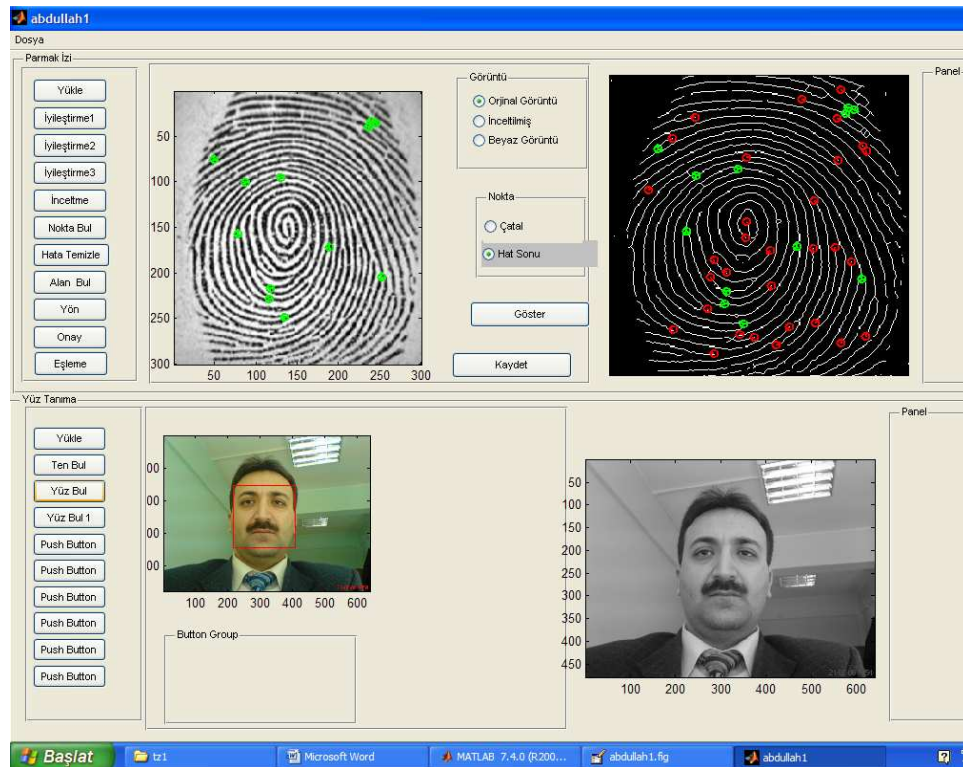
Özellik noktalarının kaydedilmesinden sonra nokta eşleme işlemine geçilir. Eşleme için tez kapsamında oluşturulan ikinci yöntem (en yakın 5 komşu ile Affin dönüşü) kullanılarak eşleme işlemi yapılır. Eşleme için girdi özellik noktaları ile veritabanındaki nokta dosyaları tek tek karşılaştırılır. Karşılaştırma için Affin dönüşüm sonucu karesel ortalama hatanın 10 pikselden küçük olması ($m_o < 10$) ve eşleme oranının yüzde 75 den büyük olması ($Or > \%75$) şartını sağlayan nokta dosya kümesi araştırılır. Bu şartı sağlayan nokta dosyası bulunur ve ekranda çalışan noktalar ve bulunan parmak izi resmi ekranda gösterilir.



Şekil 6.11. Özellik noktalarının eşlenmesi

6.3.2.Yüz Tanıma

Yüz tanıma bölümünde, ilk olarak veritabanı oluşturulması yapılır. Veritabanı oluşturulurken test için alınmış yüz görüntüleri veritabanının oluşturulduğu dizine kopyalanır. Yazılımda eşleme işleminin daha hızlı yapılabilmesi için, parmak izi bölümünde olduğu gibi veritabanındaki görüntüler işlemde geçirilerek özellik noktaları bulunmuş ve veritabanına aynı dosya adıyla *.txt dosyası olarak kaydedilmiştir, karşılaştırma için veritabanındaki görüntüler yerine bu text dosyaları kullanılmıştır. Bu sayede karşılaştırma yapılırken veritabanındaki görüntülerin tek tek yüklenip ön işlemlerden geçirilmesi, özellik noktalarının çıkartılması işlemleri için geçecek zaman kazanç sağlanmış olmaktadır. Eşleme tamamlandıktan sonra eşlenen yüz görüntüsü veritabanından otomatik olarak ekranda görüntülenmektedir



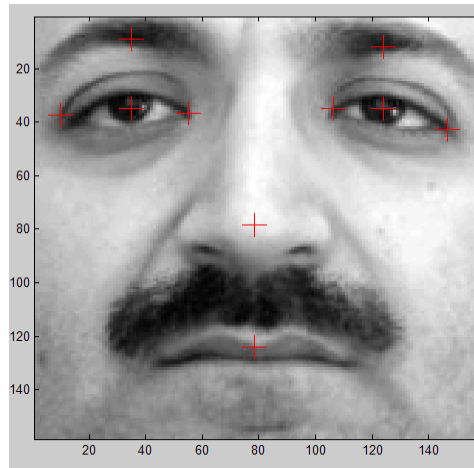
Şekil 6.12. Yüz tanıma

Yüz tanıma bölümünde ilk olarak kişiye ait yüz görüntüsü bulunan resim yüklenir. Yüklenen görüntüdeki yüz bölgesi, ten tanıma algoritmaları kullanılarak bulunur ve yüz alanı çerçeve içine alınır.



Şekil 6.13. Yüz bulma

Bulunan yüz alanındaki özellik noktaları(gözler,burun kaş,ağız..) ,yüze ait kanonlar yardımıyla yaklaşık olarak yerleri bulunur ve bulunan bu yaklaşık bölgede yatay ve dikey izdüşümü yardımıyla kesin yerleri bulunarak, kendisine ait nokta numarası ile numaralandırılarak işaretlenir.



Şekil 6.14. Yüze ait özellik noktalarının bulunması

Bu noktaların x ve y koordinatı bulunur ve özellik vektörü oluşturulur. Oluşturulan bu özellik vektörü text dosyası olarak veri tabanına aynı görüntü dosyası ismiyle kaydedilir. Eşleme için kaydedilen bu özellik vektörleri karşılıklı ilişki yöntemi (Cross Correlation) kullanılarak karşılaştırılır. Karşılıklı ilişki katsayısı ρ 0.95 den büyük olan kabul edilir, küçük olanlar ise elenir.

6.4 Uygulama Sonuçları

Uygulamada, parmak izi için FVC2000 veritabanındaki parmak izi görüntüleri, yüz için Frontal Face Dataset(California Institute Technology)ve BioID veritabanındaki yüz görüntüleri kullanılmıştır.

False Acceptance Rate (FAR) ve False Reject Rate (FRR) olarak bilinen bu istatistiksel ölçümler, bir biyometrik sistemin güvenilirliği hakkındaki en doğru bilgiyi verirler. Yanlış kabul oranı, yetkili olmayan kişilerin giriş izni alma olasılığıdır. Yanlış red oranı ise yetkili bir kişiye giriş izni verilmemesi olasılığıdır. Biyometrik sistemlerde, karşılaştırılan örneklerin benzer karakteristiklerinin sayısı önceden belirlenen bir sınır (threshold) değeriyle kıyaslanır. Bu değerden fazla karakteristik varsa geçiş izni verilir, yoksa reddedilir. Bu sınır değer çoğu sistemde istendiği gibi değiştirilir. Bu sayede sistemin hassasiyeti de değiştirilebilir.

Bir biyometrik sistem, yetkili bireyi reddettiğinde, buna 1. Tip hata (false reject rate - yanlış red oranı), reddetmesi gereken birini onayladığında ise buna 2. Tip hata (false accept rate - yanlış onay oranı) denir. Her tip hatada düşük rakamlar hedeflenir. Ancak en tehlikeli olanı, 2. Tip hatalardır. Bu tip hatalardan kaçınmak çok önemlidir.

Farklı biyometrik sistemleri karşılaştırırken, birçok farklı değişken kullanılır. Bunlardan en önemlisi, aynı zamanda eşit hata oranı (EER – equal error rate) olarak da adlandırılan kesişme noktası hata oranıdır (CER – crossover error rate). Yüzde olarak ifade edilen CER, yanlış red oranının yanlış onay oranı ile eşit olduğu noktayı temsil eder. Bu oran, bir biyometrik sistemin doğruluğunu belirlerken en önemli ölçüdür. (Errors: Hatalar, False accept rate: Yanlış onay oranı, False reject rate: Yanlış red oranı, Crossover error rate: Kesişme noktası hata oranı, Sensitivity: Hassasiyet)

Sistemin performans değerlendirmesi için, hassasiyet, kesinlik, eşleme oranı FAR, FRR oranları kullanılmıştır.

$$Hassasiyet = 1 - \frac{Hatalı Eşleme}{Doğru Eşleme} \quad (6.1)$$

$$Kesinlik = 1 - \frac{Eşleme Yok}{Doğru Eşleme} \quad (6.2)$$

$$Eşleme Oranı = \frac{Doğru Eşleme}{Toplam İşlem} \quad (6.3)$$

$$FAR(Hatalı Eşleme(kabul)oranı) = \frac{Hatalı Eşleme}{Testlerin Sayısı} \quad (6.4)$$

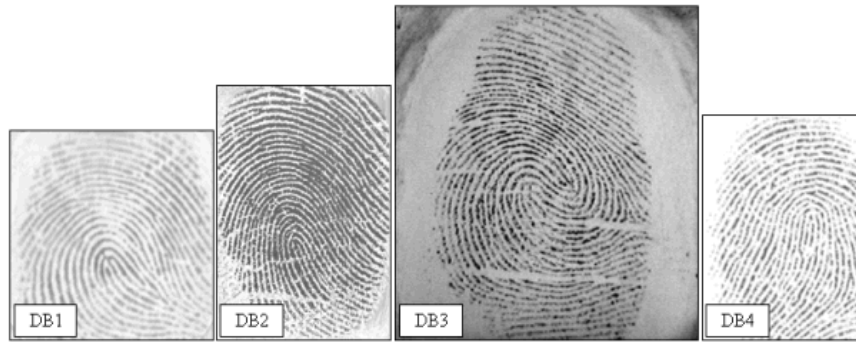
$$FRR(Hatalı Eşleşmeme(red)oranı) = \frac{Eşlememe}{Testlerin Sayısı} \quad (6.5)$$

6.4.1.Parmak İzi Uygulama Sonuçları

FVC2000 veritabanındaki görüntüler 100 kullanıcıya ait her bir kişi için 8 (aynı parmağa ait farklı görüntüler) parmak izi görüntüsü olmak üzere toplam 800 adet parmak izi görüntüsü içermektedirler (<http://bias.csr.unibo.it/fvc2000/>). Test için DB1 ve DB3 verileri kullanılmıştır. 100 kullanıcıya ait ilk 3ü test 5'i kayıt için toplam 800 görüntü kullanılarak test yapılmıştır.

Tablo 6.1 Uygulamada kullanılan FVC2000 veri tabanındaki verilerin özellikleri

	Sensor Type	Image Size	Set A (wxd)	Set B (wxd)	Resolution
DB1	Low-cost Optical Sensor	300x300	100x8	10x8	500 dpi
DB2	Low-cost Capacitive Sensor	256x364	100x8	10x8	500 dpi
DB3	Optical Sensor	448x478	100x8	10x8	500 dpi
DB4	Synthetic Generator	240x320	100x8	10x8	about 500 dpi



Şekil 6.15 FVC2000 veri tabanındaki parmak izi görüntüleri

6.4.1.1. FVC2000 DB1 Verileri kullanılarak yapılan uygulama sonuçları

100 kullanıcıya ait 8 parmak izinden 3'ü test 5'i karşılaştırmada kullanılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 6.2 FVC2000 DB1 Verileri kullanılarak yapılan uygulama sonuçları

Test No	Doğru Eşleme	Hatalı Eşleme	Eşleşmeme	Hassasiyet	Kesinlik	Eşleme Oranı	FAR	FRR
1	94	1	4	0.989	0.957	0.94	0.01	0.04
2	92	2	6	0.978	0.934	0.92	0.02	0.06
3	93	2	5	0.978	0.946	0.93	0.02	0.05
ort				0.982	0.946	0.93	0.016	0.05

6.4.1.2. FVC2000 DB3 Verileri kullanılarak yapılan uygulama sonuçları

100 kullanıcıya ait 8 parmak izinden 3'ü test 5'i karşılaştırmada kullanılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 6.3 FVC2000 DB3 Verileri kullanılarak yapılan uygulama sonuçları

Test No	Doğru Eşleme	Hatalı Eşleme	Eşleşmeme	Hassasiyet	Kesinlik	Eşleme Oranı	FAR	FRR
1	96	0	4	1	0.957	0.958	0	0.04
2	95	1	4	0.989	0.934	0.958	0.01	0.04
3	97	0	3	1	0.946	0.969	0	0.03
ort				0.996	0.946	0.962	0.003	0.04

6.5.Yüz Tanıma Uygulama Sonuçları

Yüz tanıma için 3 farklı veri tabanından alınan resimler kullanılmıştır. Kullanılan veritabanlarına ait bilgiler aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 6. 4 Yüz tanımda kullanılan yüz görüntülerine ait bilgiler

Veri Tabanı	Kişi Sayısı	Resim Sayısı	Toplam Resim	Boyut
BioID Face Db	23	67	1521	384x286
Frontal Face Db	27	15	450	896x592
FTKT database	25	4	100	değişik



Şekil 6.16 Feret database



Şekil 6.17 BioID Face database



Şekil 6.18 FTKT database

6.5.1.Yüz Tespiti için yapılan uygulama sonuçları

Yazılımdaki yüz bulma algoritmasını test etmek için her veri tabanındaki seçilen 100 adet görüntü kullanılmıştır. Sonuçlar Aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 6.5 Yüz Tespiti için yapılan uygulama sonuçları

Veri Tabanı	Resim Sayısı	Doğru Tespit	Hatalı Tespit	Bulamama	Hassasiyet	Kesinlik	Bulma oranı
BioId	100	90	1	9	0.988	0.91	0.9
Feret	100	95	0	5	1	0.95	0.95
FTKT	100	96	0	4	1	0.96	0.96

6.5.2.Yüz elemanlarının çıkartımı sonuçları

Yüz alanları doğru tespit edilen görüntülerde, yüz elemanlarının çıkartılması yapılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 6.6 Yüz Elemanlarının çıkartımı için yapılan uygulama sonuçları

Veri Tabanı	Resim Sayısı	Doğru Tespit	Hatalı Tespit	Bulamama	Hassasiyet	Kesinlik	Bulma oranı
BioId	90	70	20	0	0.71	1	0.78
Feret	95	81	14	0	0.83	1	0.85
FTKT	96	84	12	0	0.86	1	0.88

6.5.3 Yüz Eşleme

Yüze ait özellik noktaları tespit edildikten sonra, bu görüntülerde eşleme işlemi yapılmıştır. Sonuçlar Aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 6.7. Yüz Eşleme için yapılan uygulama sonuçları

Veri Tabanı	Resim Sayısı	Doğru Tespit	Hatalı Tespit	Eşleşme	Hassasiyet	Keskinlik	Eşleme oranı	FAR	FRR
BioId	50	47	1	3	0.98	0.94	0.94	0.02	0.06
Feret	50	45	2	3	0.96	0.93	0.9	0.04	0.07
FTKT	50	48	0	2	1	0.96	0.96	0	0.04

6.6.Parmak İzi Tanıma ve Yüz Tanıma Uygulama Sonuçları

Parmak izi ve yüz görüntülerinin birlikte kullanılarak yapılacak uygulama için, parmak izi ve yüz veritabanından çeşitli görüntüler seçilmiş ve veriler birbiriyle ilişkilendirilerek test yapılmıştır.

Tablo 6. 8 Çoklu Eşleme için kullanılan verilerin özellikleri

	Parmak İzi	Yüz
Veri Tabanı	FVC2000	Feret-FTKT
Boyut	300x300	değişik
Resim Sayısı	100	100

Tablo 6. 9 Çoklu Eşleme için yapılan uygulama sonuçları

Veri Tabanı	Resim Sayısı	Doğru Eşleme	Hatalı Eşleme	Eşleşme	Hassasiyet	Kesinlik	Eşleme oranı	FAR	FRR
Par.İzi	50	49	1	0	0.98	1	0.98	0.02	0
Yüz	50	45	2	3	0.96	0.93	0.9	0.04	0.06
Çoklu	50	45	0	5	1	0.89	0.9	0	0.1

6.7.Sonuçların Analizi

False Acceptance Rate (FAR) ve False Reject Rate (FRR) olarak bilinen bu istatistiksel ölçümler, bir biyometrik sistemin güvenilirliği hakkındaki en doğru bilgiyi verirler. Yanlış kabul oranı, yetkili olmayan kişilerin giriş izni alma olasılığıdır. Yanlış red oranı ise yetkili bir kişiye giriş izni verilmemesi olasılığıdır.

Aşağıdaki tabloda (Jain 2004) tarafından uygulanan çoklu biyometrik bir sistemin performansı verilmiştir.

Tablo 6.10.Çoklu biyometrik sistem performansı

	Test	Test Parameter	False Reject Rate (FRR)	False Accept Rate (FAR)
Fingerprint	FVC 2002*	Users mostly in the age group 20-39	0.2%	0.2%
Face	FRVT 2002**	Enrollment and test images were collected in indoor environment and could be on different days	10%	1%
Voice	NIST 2000***	Text dependent	10-20%	2-5%

*Fingerprint Verification Competition; bias.csr.unibo.it/fvc2002

**Face Recognition Vendor Test; www.frvt.org/FRVT2002

***National Institute of Standards and Technology; www.nist.gov/speech/tests/spk/2000

Parmak izi tanıma için FVC2000 testi kullanılarak test edilmiş çeşitli firmalara ve ülkelere ait algoritmaların performansı Tablo 6.11 de verilmiştir. Yapılan testlerde en iyi sonuç, (FAR) hatalı kabul oranı % 0.19 ve(FRR) hatalı red oranı % 0.15 olurken, bazı uygulamalarda bu oranlar %10 un üzerine çıktığı görülmektedir. Genel olarak kullanılan sistemlerde FAR ve FRR oranlarının %1 civarında olması istenmektedir.

Tablo 6.11. FVC2000 veritabanı ile test edilmiş çeşitli parmak izi tanıma algoritmalarının performansı (<http://bias.csr.unibo.it/fvc2000/>)

SN	Algoritma	FAR	FRR
1	Bioscrypt, USA-Canada <u>PA15</u>	0.19%	0.15%
2	Anonymous 27 [Industrial] <u>PB27</u>	0.41%	0.34%
3	Andrey Nikiforov <u>PA02</u>	1.31%	1.34%
4	Siemens AG Germany <u>PB05</u>	0.92%	1.46%
5	Neuroteknologija Lithuania <u>PA08</u>	0.99%	1.12%
6	SAGEM, France <u>PA35</u>	1.18%	1.32%
7	Suprema Inc. Korea <u>PA26</u>	2.50%	3.08%
8	IDENCOM AG, Switzerland <u>PA45</u>	2.22%	3.05%
9	Aldebaran Systems, USA <u>PA10</u>	6.16%	7.66%
10	Deng Guoqiang,China <u>PA13</u>	2.18%	2.49%
11	Anonymous [Industrial] 34 <u>PA34</u>	3.31%	4.71%
12	ActivCard Canada, Canada <u>PA14</u>	5.21%	7.27%
13	Biometrics Lab, Beijng University,China <u>PA24</u>	3.76%	5.17%
14	Anonymous [Industrial] 19 <u>PA19</u>	4.19%	6.47%
15	HZMS Biometrics Co. Ltd, China <u>PA29</u>	4.24%	7.01%
16	DATAMICRO Co. Ltd., Russia <u>PA32</u>	6.72%	10.46%
17	Digital Fingerpass Corporation China <u>PA42</u>	6.40%	11.29%

Çalışma kapsamında oluşturulan sistemin test edilmesinde, parmak izi tanıma bölümünde iki farklı veritabanında yapılan testler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 6.12. Parmak izi eşleme performans değerlendirilmesi

	Hassasiyet	Kesinlik	Eşleme Oranı	FAR	FRR
DB1	0.98	0.95	0.93	0.016	0.05
DB3	0.996	0.95	0.96	0.003	0.04

Günümüzde biyometrik sistem üreticilerinin birinci önceliği FAR(yanlış kabul oranı)ve FRR(yanlış red oranı) her iki oranı %1 'lerin altına çekebilmektir. Yapılan testler sonucunda sistemin parmak izi tanıma kısmının (FAR)yanlış kabul oranının istenilen düzeyde olduğu, fakat (FRR)yanlış red oranının istenilen düzeyden biraz yüksek olduğu görülmüştür.

Biyometrik sistemlerde, karşılaştırılan örneklerin benzer karakteristiklerinin sayısı önceden belirlenen bir sınır (threshold) değeriyle kıyaslanır. Bu değerden fazla karakteristik varsa geçiş izni verilir, yoksa reddedilir. Bu sınır değer çoğu sistemde istendiği gibi değiştirilir. Bu sayede sistemin hassasiyeti de değiştirilebilir.

Sistemimizde parmak izi eşleme için kullanılan sınır değerler; Affin dönüşümü sonucu karesel ortalama hata $mo \leq \pm 10$, eşleme için en az 13 noktanın eşleşmesi ve eşleşme oranının %75 den büyük olması yani girdi noktalarıyla araştırma noktalarının eşleşen noktalarının sayısının karşılaştırılan tüm noktaların sayısına oranı 0.75 den büyük olması istenmiştir.

Sınır değerlerin oldukça yüksek tutulması, sistemin yanlış kabul oranını düşürürken, yanlış red oranını artırmıştır. Yanlış kabul oranının düşük olması sisteme yetkisiz giriş yapılma olasılığının düşük olduğunu gösterir. Kullanılan sınır değerlerin değiştirilmesiyle sistemin hassasiyetide istenilen şekilde değiştirilebilir.

Yüz tanımayla ilgili yapılan testlerde, sistemde resimdeki yüzün bulunması işleminin %90-%96 oranında başarılı olduğu görülmüştür. Bulunan yüz alanlarındaki özellik noktalarının doğru şekilde bulunması %78–88 oranında başarılı olmuştur. Yüz eşleme kısmında ise eşleşme oranı %90 civarında, yanlış kabul oranı (FAR) 0.03, yanlış red oranı(FRR) 0.06 olduğu görülmüştür.

Yeterli aydınlatma sağlandığında, mevcut en gelişmiş yüz tanıma sisteminin doğru tanıma oranı %90, yanlış kabul oranı ise % 1dir.(15)

Her ne kadar yüz eşleme kısmında sistemimizin eşleme oranı %90, yanlış kabul oranı %5 olsa da, sistemin yüz bulma, özellikle yüze ait özellik noktalarını çıkartmadaki düşük başarı oranı dikkate alındığında, eşleme oranının düşeceği ve yanlış kabul oranı ve yanlış red oranlarının artacağı açıktır.

Çoklu eşleme için yapılan test sonucunda, iki sistemin ayrı ayrı kullanılması neticesinde hatalı eşlemelerin olabileceği görülmüş, fakat sonuçlar birlikte değerlendirilince, sistemin FRR(yanlış red oranı) 0.1, FAR(yanlış kabul oranı) 0 olmuştur. Tablo 6.9 'dan görüleceği gibi sistemin (hem parmak izinde, hem yüz de) aynı yanlış kişiyi eşleme ihtimalinin hiç yok denecek kadar az olduğu, FRR(yanlış red oranı) ise kabul edilebilir bir değerde olduğu görülmüştür.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuçlar incelendiğinde, çalışma kapsamında geliştirilen parmak izi eşleme algoritmasının düzgün çalıştığı, istenilen başarıyı yakaladığı görülmüştür. Algoritmanın başarılı olmasının, kullanılan Affin dönüşümünün özelliklerinden kaynaklandığı açıktır. Affin dönüşümünün nokta tabanlı eşlemelerde kullanılabileceği ve bununda sisteme bazı avantajlar sağladığı görülmüştür. Parmak izi ve yüz eşlemenin birlikte değerlendirildiği bir sistemde sistemin hata yapma olasılığının da yok denecek kadar az olduğu görülmüştür.

Parmak izi eşleme bölümünün avantaj ve dezavantajları şunlardır.

Avantajları;

- Eşleme işlemi için kullanılan yöntemin ve algoritmaların anlaşılması basit ve uygulaması kolaydır.

- Diğer nokta tabanlı eşleme tabanlı sistemlerde, özellik noktalarının x,y,açı ve karakteristik özelliği(çatal nokta, hat sonu nokta) kaydedilirken, sistemde sadece x,y ve karakteristik özelliği kaydedilmektedir. Bu durumda, özellik noktalarının yön değerlerinin (açı) hesaplanması işleminin yapılmayarak, daha az işlem yapılmasını ve veri boyutunun azalmasını sağlamaktadır.

- Eşleme işlemi, daha az veriyle yapılmaktadır.

- Sistem, parmak izindeki göbek nokta bulunmasını gerektirmemekte, herhangi bir referans noktaya bağımlı kalmamaktadır.

- Geometri tabanlı eşlemede, hizalama aşamasında giriş ve veri tabanında kayıtlı taslak arasında çevirme, döndürme ve boyutlandırma gibi dönüşümler hesaplanır ve hesaplanan parametrelere göre giriş özellikli noktalar taslak özellikli noktalar ile hizalanır. Eşleme aşamasında ise giriş ve taslak özellikli noktalar kutupsal koordinat sisteminde çokgenlere dönüştürülür ve oluşan bu çokgenleri eşlemek için esnek bir dizi eşleme algoritması kullanılır. Sistemimizde Affin

dönüşümü yapılarak girdi ve taslak veri arasındaki öteleme, döndürme, ölçek farklılıkları tek işlemde sonuçlandırılır. Kutupsal koordinat sisteminde çokgenlere dönüştürülmesine gerek kalmaz Karesel Ortalama hata değerine bakılarak ön eleme yapılabilir. Bundan sonrada sadece tespit edilen bir sınır değer içinde birbiriyle eşleşen noktaların sayılması yeterlidir.

- Karesel Ortalama değer için kullanılan sınır değer ($m_0 = \pm 10$) artırılıp azaltılarak sistemin hassasiyeti değiştirilebilir. Buda sisteme esneklik kazandırmaktadır.

- Hesaplama zamanı ve maliyeti düşüktür.

Dezavantajları;

- Affin dönüşümünde, dönüşümde kullanılan noktaların model alan içinde homojen dağılması esastır. Sistemde en yakın komşu noktalar kullanıldığı için noktaların homojen bir şekilde dağılması söz konusu değildir.

- Bozuk, deforme olmuş görüntülerde hatalı veya zayıf eşlemeler söz konusudur.

- Hatalı özellik noktaları fazla ise yanlış eşlemeler olmaktadır.

Yüz tanıma bölümünde, yüz tespit oranının yüksek olması, yüz bulma algoritmasının iyi çalıştığını ve yeterli olduğunu göstermektedir. Fakat yüz elemanlarının bulunması işlemindeki başarı oranı oldukça düşüktür. Buda sistemin başarısına ters etki etmektedir. Yüz eşlemede başarı oranının %90 yanlış kabul oranının 0.02, yanlış red oranının 0.06 olması, eşleme algoritmasının yeterli olduğunu gösterse de bu yeterlilik sınırlıdır. Çünkü sistemde kullanılan yüz görüntüleri yüzün ön profilden alınmış, 15° den daha az dönüklüğü olan görüntülerdir. Eğimin ve dönüklüğün bu değerden fazla olduğu görüntülerde hatalı işlemler artmaktadır. Dönüklük ve eğimin 0° a yakın olduğu yüz görüntülerinde eşleme işlemi daha doğru sonuçlar vermektedir.

Avantajları;

- Eşleme için kullanılan Affin dönüşümü ve karşılıklı eşleme yöntemlerinin anlaşılması basit ve uygulaması kolaydır.

- Hesaplama zamanı ve maliyeti düşüktür.

Dezavantajları;

- Düşük çözünürlüklü görüntülerde özellik noktalarının çıkartılması yapılamamaktadır.
- Eğimin ve dönüklüğün 15° den fazla olduğu görüntülerde hatalı işlemler artmaktadır.

Parmak izi tanıma ve yüz tanımanın birlikte değerlendirilmesi ile sistemin başarısı artmış hata yapma ihtimali düşmüştür. Çoklu sistemlerin kullanımının sistem güvenliği açısından olumlu etki yaptığı görülmüştür.

Yapılan uygulama sonucunda aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir.

- Parmak izi eşlemenin başarısı, özellik noktalarının çıkartımına bağlıdır. Bu nedenle yüksek çözünürlüklü, kaliteli parmak izi görüntüsünün alınması ve kullanılması sistemin başarısını olumlu yönde etkileyecektir.
- Değişik ve bütünleşmiş görüntü iyileştirme yöntemleri kullanılarak Parmak izi görüntüsünün kalitesinin artırılması izlerin çıkartılmasına çalışılmalıdır.
- Eşleme algoritmasının geliştirilerek, algoritmadan kaynaklanan eşleme hataları sıfırlanmalıdır.
- Yüz görüntüsünden, özellik noktalarının çıkartılması için, hızlı ve hassas yöntem geliştirilmeli.
- Sistemin, dönüklüğü 15° ve daha fazla olan yüz görüntülerinde de çalışması sağlanmalı. Yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar kullanarak sistem geliştirilmelidir.
- 2 boyutlu yüz tanımadan 3 boyutlu yüz tanımaya geçilmelidir.
- Sistemin başarısını etkileyen faktörlerden biride veritabanında bulunan verilerin görüntü kalitesidir. Bu nedenle veritabanındaki görüntüler kaliteli verilerden oluşmalıdır.

Yapılan çalışmayla, parmak izi eşlemede kullanılan nokta tabanlı eşleme tekniklerinde hatalara sebep olan durum ve işlemler geliştirilen algoritmanın

kullanılmasıyla ortadan kaldırılmıştır. Ölçekleme, öteleme ve döndürme işlemlerinin ayrı ayrı değil tek bir dönüşümle gerçekleştirilmesi, parmak izinde göbek noktanın bulunmasına gerek kalmaması, öznelik noktalarının açılarının bulunmasına gerek kalmaması ve kullanılan Affin dönüşümü ile parmak izi görüntüsündeki deformasyonların etkisinin azaltılması sisteme büyük avantaj sağlamaktadır.

Dünyada birçok şirket ve kurum güvenliklerini koruma ve süreçlerini daha efektif kılma amacıyla biyometrik tanıma sistemlerini tanımakta ve kullanmaktadır. Biyometrik tanıma sistemleri güvenliğin öneminin hızla arttığı günümüzde geniş kullanım alanı bulacak teknolojilerden biri olacaktır. Çalışma konusu üzerinde yurt dışında yoğun araştırmalar yapılmasına karşılık ülkemizde konu üzerine henüz yeterince eğinilmemiştir.

8. KAYNAKLAR

- ASLAN,S., ALTUN,H., TEZEKİCİ,B.S., 2003,Yoğunluk Değişim Ve Histoğram Düzenleme Yöntemi İle Resim Üzerinde Göz Koordinatlarının Tespit Edilmesi, III. Ulusal Proje Sempozyumu, 78-80, Kayseri.
- ACHERMANN,B., BUNKE.H.,2000, Classifying Range Images of Human Faces with Hausdorff Distance. ICPR, vol. 02, no. 2, p. 2809
- AHUJA,N.,YANG,M.,KRIEGMAN,D., 2002,Detecting faces in images: A survey, In IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 24 (1), pp. 34–58.
- AKIN,H., KARAÇAM,B., GÜRPINAR,K., 16-19 Mayıs 2002,Kimliklendirmede Biyometrik Yöntemlerin Kullanım Alanları, Yıllık Adli Tıp Toplantıları, Antalya, 48-51
- ALKAYA, E.,1998, Enhancement and Preprocessing Techniques For Ridge Extraction in Fingerprint Images, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ALMANSA, A., LİNDEBERG, T., 2000. Fingerprint enhancement by shape adaption of scale-space operators with automatic scale selection. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 9 (12), 2027–2042.
- ALTUN A.A., ALLAHVERDİ N., KOÇER H.E.,2005, 2 Boyutlu Gabor Filtre Kullanarak Yapay Sinir Ağları İle Parmakizi Analiz, 4. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, cilt 1, sf. 10-14.

- ALTUN,A.A., ALLAHVERDİ,N., 2007, Filtreleme Teknikleri İle İyileştirilmiş Parmakizlerini Yapay Sinir Ağları İle Tanımda Yeni Bir Yaklaşım, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 22, No 2, 227-236.
- AYAN,K.,DEMİR,Y,E., Öznitelik Tabanlı Otomatik Parmakizi Tanıma, Eleco'2004-Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Cilt II, 400-404, Bursa.
- BAZEN, A.M., GEREZ, S.H., 2002. Systematic methods for the computation of the directional fields and singular points of fingerprints. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 24 (7), 905–919.
- BOWER, K., CHANG, F,A ,2004, Survey of 3d and Multi-Modal 3D+2D Face Recognition, University of Notre Dame,
- BREGLER, C. VE KONİG, Y., 1994,Eigenlips for Reboost Speech Recognition”, Proceeding of IEEE International Conference on Acoustics
- BRUNELLİ,R., POGGIO,T., 1992,Face Recognition Through Geometrical Features. I Povo Trento in European Conference on Computer Vision (ECCV)
- CAN,Z.C., VARLIK.A.,UYSALM.,KARALAR,F.,1999, The First Turkish Digital Photogrammetry Software, Third Turkish-German Joint Geodetic Days,İstanbul.
- CHARLESS,K,T.,SCHENK,T.,1992,Future Based Matching For Automatic İmage Record,Department of geodetic science and surveying,Ohio State University.
- CHENG, J., TIAN, J., ZHANG, T., 2002. Fingerprint enhancement with dyadic scale-space. In: Proc. 16th Internat. Conf. On Pattern Recognition (ICPR 2002), vol. 1, Quebec, Canada, pp. 200–203.

CHIKKERUR.S.S.,2005, Online Fingerprint Verification System, Master thesis,State University of New York.

COMANICIU, D., RAMESH V., PETER MEER, P., 2003,Kernel-Based Object Tracking, Pattern Analysis and Machine Intelligence, 25(5), 564-577.

FARINA,A., ZSOLT M.,KOVACS,V.,1999, Fingerprint minutiae extraction from skeletonized binary images, Pattern Recognition, Vol.32, No.4, pp877-889

FITZ, A.P., GREEN, R.J., Fingerprint Classification Using Hexagonal Fast Fourier Transform, IEEE Pattern Recognition, Vol. 29, No. 10, pp. 1587-1597, 1996.

FVC2000. <http://bias.csr.unibo.it/fvc2000/>

http://ise0.stanford.edu/class/ee368a_proj01/dropbox/project22/finger/

<http://www.biometrics.gov/standards>

<http://www.standards.gov/biometrics>

GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E.2002, Digital Image Processing, Second Edition, Prentice Hall, ISBN: 0-201-18075-8, USA.

GROTHER.P.,2006, Performance and Interoperability of the INCITS 378 Fingerprint Template, National Institute of Standards and Technology

GRUEN,A.,BALTSAVIAS,E.,1988,Geometrically Constrained Multiphoto Matching, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,Vol:54,No:5 pp:633-641

- GRUEN,A.,1998,DTM Generation and Visualition,Symposium on digital photogrammetry,İstanbul
- HALİCİ U., JAIN L. C., HAYASHİ, I.,LEE, S.B., TSUTSUI T.,1999, Intelligent Biometric Techniques in Fingerprint and Face Recognition, CRC Press, USA,
- HARTMAN. M.,1996,Compact fingerprint scanner techniques, Proceedings of Biometric Consortium 8th Meeting.
- HONG,L.,JAIN,A.,PANKANTİ,S.,BOLLE.R,1996 Fingerprint Enhancement, Pattern Recognition, 202-207
- HONG, L., WAN Y., JAIN, A. K.,1998,Fingerprint Image Enhancement: Algorithms and Performance Evaluation, IEEE Transactions on PAMI, 20, No. 8, 777-789.
- HONG,L.,1998,Automatic Personal Identification Using Fingerprints, Ph.D. Thesis, Michigan State University
- HSU, R., ABDEL-MOTTALEB, M., JAIN, A.K., “Face Detection in Color Images”, Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5), 696-706.
- İNANDIK, Ö.,1998 Öznitelik tabanlı Otomatik Parmak izi Eşleme, Yüksek Lisans Tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- JAIN, A.K., KARU, K., CHEN, S., RATHA,N.K.,1996, A Real Time Matching System For Large Fingerprint Databases, IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, Vol. 18, No. 8.
- JAIN,A.K.,HONG,L.,PANTANKİ,S.,BOLLE,R.,1997, An Identity Authentication System Using Fingerprints, Proc of the IEEE, vol, 85, no.9,1365-1388.

- JAIN, A.K., HONG, L., AND BOLLE, R.1997, On-Line Fingerprint Verification, IEEE Trans. On Pattern Anal and Machine Intell, 19(4), pp. 302-314.
- JAIN A. K., PANKANTI, S.,2001,Automated Fingerprint Identification and Imaging Systems, Advances in Fingerprint Technology, 2nd Ed. (H. C. Lee and R. E. Gaensslen), Elsevier Science, New York.
- JAIN A. K., ROSS,A.,2004,Multi biometric system, Communications Of The Acm Vol. 47, No. 1, West Virginia University
- JIANG, X., YAU, W.-Y., SER, W., 2001. Detecting the fingerprint minutiae by adaptive tracing the gray-level ridge. Pattern Recognition 34 (5), 999–1013.
- JIANG, X., YAU, W.-Y., 2002. Fingerprint Minutiae Matching Based on the Local and Global Structures. 2000, ICPR 2000, pp. 1042–1045.
- KARAHAN.H,AKBAY,E.,2003, Parmak izi Doğrulama, IJCI Proceedings of International Conference on Signal Processing, ISSN 1304-2386, Volume:1, Number:2.
- KARAMAN.F.,2001, Sayısal Görüntü İşleme İçin Bir Yazılım Paketi geliştirilmesi ve sayısal Resimde İnsan Yüzünün yer Tespitinde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi,Mustafa Kemal Üniversitesi,Antakya.
- KAWATO, S. OHYA, J., 2000,Two-step approach for real-time eye tracking with a new filtering, IEEE International Conference On Systems, Man, And Cybernetics, vol.2, pp.1366 – 1371,
- KLETT J.,1997, Thermal Imaging Fingerprint Technology, Proceedings of Biometric Consortium 9th Meeting.

- LEE, C.J., AND WANG, S.D,1999, Fingerprint feature extration using Gabor filters, Electron. Lett., 35, (4), pp.288-290.
- MALTONİ,D., MAİO,D., JAİN,A.K., PRABHAKAR,S., 2003, Handbook of Fingerprint Recognition, New York.
- MAİO,D, MALTONİ,D.,CAPPELLİ,R., WAYMAN J.L., JAİN, A.K.,2002, FVC2002: Second Fingerprint Verification Competition, Fingerprint Verification Competition. IEEE PAMI.
- NABİYEYEV, V., 2005,Yapay Zeka-Problemler-Yöntemler-Algoritmalar, Seçkin Kitabevi, 2. Baskı, Ankara.
- NABİYEYEV, V., YAVUZ, Z., 2005. “Vücut Dilinin Bilgisayarda Yorumlanması ve Bilgisayarlı Dudak Okuma”, 4. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, sayfa 232-238,Konya.
- NANAVATİ, S., THIEME, M., NANAVATİ, R.,2002, Biometrics, p.300, Wiley Computer Publishing Press, USA.
- NANDAKUMAR,K.,205,Integration of multiple Cues in Biometric Systems,Master Thesis,Michigan State University.
- NEWMAN,E.,1995,The Biometric Report,SJB Services, UK
- NUNN, S.,2001,Police Technology in Cities: Changes and Challenges, Technology in Society, 23, 11-27.
- ONGUN, G.,1995, An Automatic Fingerprint Identification System based on Self organizing Feature Maps Classifier, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- ÖZKAYA, N.,2003, Otomatik Parmakizi Tanıma Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- PRABHAKAR, S.,2001, Fingerprint Classification and Matching Using a Filterbank, PhD Thesis, Michigan State University.
- RATHA,N., CHEN,S., JAİN,A.K.,1995,Adaptive Flow Orientation Based Feature Extraction in Fingerprint Image, Pattern Recognition, Vol. 28, pp. 1657-1672.
- RUSYN, B., PRUDYUS, I., OSTAP, V.201, Fingerprint Image Enhancement Algorithm. The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics CADSM Proceedings of the 6th International Conference, 193-194.
- SAATCI, E., TAVSANOGLU, V.,2002, Fingerprint image enhancement using CNN Gabor-type filters 7th IEEE International Workshop on Cellular Neural Networks and Their Applications, 2002. (CNNA 2002), 377-382.
- SANDEEP, K., VE RAJAGOPALAN A.,2002,Human Face Detection in Cluttered Color Images Using Skin Color and Edge Information, Indian Institute of Technology, India
- SAĞIROĞLU, Ş., ÖZKAYA, N.,2006, Otomatik Parmakizi Tanıma Sistemlerinde Kullanılan Önışlemler İçin Yeni Yaklaşımlar,Gazi Üniv. Müh.Mim.Fak. De. Vol 21 No 1 11-19 .
- SONG,Y.,HE,K., ZHOU,J., LIU,Z., Li,K.,2004 Multi-Resolution Feature Extraction in Human Face, Proceedings of 2004 International Conference on Information Acquisition IEEE

- TİCO M., KUOSMANEN P.,2000, An algorithm for fingerprint image postprocessing, Conference Record of the Thirty-Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 1735 -1739.
- TİLTON,C.,2006, Biometric Standards – An Overview, Daon
- TURGUT,B.,İNAL,C.,2003, Nokta Konum Duyarlıklarının İki ve Üç Boyutlu Koordinat Dönüşümüne Etkisi, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı Sunulu Bildiri. Konya.
- TÜRKOĞLU,İ.,2003,Örüntü Tanıma Sistemleri,Fırat Üniversitesi,Elazığ.
- YILDIRIM N., SARAÇ, U., ÖZER, H.,2002,Gabor Filtre. Kullanarak Parmakizi Analizi, 10. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları, SIU 2002.
- VARLIK,A.,1999, Digital Fotogrametride Alana Dayalı Görüntü Eşleme Metodları, Yüksek Lisans Tezi,AKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.Afyon
- VEZHNEVETS, V., SAZONOV, V. ANDREEVA, A., 2003, A Survey on Pixel-Based Skin Color Detection Techniques”. Proc. Graphicon, Moscow, Russia.
- WOODWARD,J.D., ORLANS, N.M., HİGGİNS, P.T.,2003, Biometrics Identity Assurance in the Information Age, McGraw-Hill Yayıncılık, Osborne
- YAŞAYAN, A .,1978, Hava fotogrametrisinde iki boyutlu doğrusal dönüşümler ve uygulamaları, KTÜ yayın no: 102, YBF yayın no:19, Trabzon
- YAVUZ,Z.,2007, Bilgisayarlı DUDAK OKUMA , YÜKSEK Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi FEN Bilimleri Enstitüsü,Trabzon

YILMAZ,A., SHAH,M,A.,2002, Automatic Feature Detection and Pose Recovery for Faces, ACCV2002: The 5th Asian Conference on Computer Vision, Melbourne, Australia.

YI-WAN ,T., TSENG,H., WU ,F.,1995, Image Matching by Cross Correlation, GS 728 Digital Photogrammetry

ZHAO,F., HUANG,O., GAO,W.,**Image Matching by Normalized Cross-Correlation**, Acoustics, Speech and Signal Processing, 2006. ICASSP 2006 Proceedings. 2006 IEEE International Conference, Volume 2, Issue , 14-19 May 2006 Page(s):II – II

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah VARLIK 1974 yılında AfyonKarahisar'ın Sandıklı ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sandıklı'da tamamladı. 1992 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri mühendisliği bölümünde eğitime başladı ve 1996 yılında bölümden bölüm ikincisi olarak mezun oldu. 1997 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Uşak mühendislik Fakültesinde Araştırma görevlisi olarak başladı. Aynı yıl Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı. 1999 yılında "Dijital Fotogrametride Alana Dayalı Görüntü Eşleme Yöntemleri " isimli Yüksek Lisans Tez çalışmasını tamamladı. 2000 yılında Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Ana Bilim Dalında Doktora çalışmasına başladı. 2001-2003 yılları arasında askerliğini Ankara'da Hava Kuvvetleri Komutanlığı İstihbarat Daire Başkanlığında yedek subay olarak tamamladı. Aynı yıl Afyon Kocatepe Üniversitesi Uşak mühendislik Fakültesindeki görevinden ayrılarak İBB İETT Genel Müdürlüğünde göreve başladı. Halen İETT Genel Müdürlüğü Raylı Sistemler Daire Başkanlığı Otogar-Bağcılar Hafif Metro hattı ve Bağcılar –İkitelli-Olimpiyat köyü metro hattında Kontrol Mühendisi olarak çalışmaktadır.


```

    Bk(:,4,j)=B1(:,c2(j,3));

end
Bk
Ak=Ak(1:2,1:4,1:n1);
Bk=Bk(1:2,1:4,1:m1);
sayac=0;
sy=0;
for u=1:n1
    for v=1:m1
        sayac=sayac+1;
        A1=(Ak(:,:,u));
        B1=(Bk(:,:,v));
aa=A ;
[mo,B,xx,fark]=affin(A1,B1);
mo;
xx;
if mo<10
    for u=1:n1
        b1(1,u)=xx(1)+xx(2)*aa(1,u)+xx(3)*aa(2,u);
        b1(2,u)=xx(4)+xx(5)*aa(1,u)+xx(6)*aa(2,u);
    end
    B1=cd1 ;
    b1;
    m=length(B1);
    n=length(b1);
    saysay=0;
for im=1:m
    for jn=1:n
        dx=B1(1,im)-b1(1,jn);
        dy=B1(2,im)-b1(2,jn);
        ss=sqrt(dx^2+dy^2);
        if ss<5
            saysay=saysay+1;
            s=ss;
        end
    end
end
end
oran=100*(saysay^2)/(n*m);
if oran>=70 & saysay>=13
    sy=sy+1;
    sn(sy)=oran;

    snmo(sy)=mo;
    snxx(:,:,sy)=xx;
    figure(sy),plot(B1(1,:),B1(2:,:), 's');
    hold on,plot(b1(1,:),b1(2:,:), 'r*'),grid on;

```

```

    legend('Gerçek deger','Hesaplanan Değer'),xlabel('X'),ylabel('Y'),title('Eşlenen
    Noktalar')

```

```

else
    disp('eşlenen nokta yok')
end
else
    disp('karesel ort.hata büyük noktalar eşlenik değil')
end
end
end
if sy>=1
    sonuc=1
    son=max(sn(:)) ;
    son1=find(sn(:)==son) ;
    snmo(son1);
    snxx(:, :, son1);
    disp('eşleme tamam')
    global son
    global snmo
    global snxx
else
    sonuc=0
    clear A
    clear B
    disp('eşleme yok')
end
end

```

```

function c=minsbul(A)
D1=A;
d11=D1;
n=length(d11);
d=d11;
a=d;
for tk=1:4
[m i]=min(a,[],2);
for k=1:length(i)
d(k,i(k))=nan;
end
a=d;
mm=i;
aa=[1:n];
    ortak(:, :, tk)=[aa;mm'];
    A1=ortak;
end
d;
c=[A1(2,:,1) ; A1(2,:,2); A1(2,:,3) ;A1(2,:,4)];
c=c';

```


1.2.Affin Dönüşümü

function [mo,B,xx,fark]=affin(A,B)

```

A=A;
B=B';
ll=B(:);
[m n]=size (A);
% A matrisinin oluşturulması
for i=1:n
    a(i,1)=1;
    a(n+i,1)=0;
    a(i,2)=A(1,i);
    a(n+i,2)=0;
    a(i,3)=A(2,i);
    a(n+i,3)=0;
    a(i,4)=0;
    a(n+i,4)=1;
    a(i,5)=0;
    a(n+i,5)=A(1,i);
    a(i,6)=0;
    a(n+i,6)=A(2,i);
end
a;
N=a'*a;
nn=a'*ll;
TN=inv(N);
xx=inv(N)*nn;
v=a*xx-ll;
mo=sqrt((v'*v)/(2*n-6));
for u=1:n
    b(1,u)=xx(1)+xx(2)*A(1,u)+xx(3)*A(2,u);
    b(2,u)=xx(4)+xx(5)*A(1,u)+xx(6)*A(2,u);
end

B=B';
fark=b(:)-B(:);

```

1.3.Yüz Bulma

Ten Bulma (RGB)

```

for xc=1:x
    for yc = 1:y
        iR = (int)R(xc,yc);    iG = (int)G(xc,yc);    iB = B(xc,yc);
        mxRGB = max(max(iR, iG), iB);
        mnRGB = min(min(iR, iG), iB);
        if iR>95 && iG>40 && iB>20 && mxRGB-mnRGB>15 && abs(iR-iG) >
15 && iR > iG && iR > iB
            else
                F(xc,yc,1)=0;    F(xc,yc,2)=0;    F(xc,yc,3)=0;
            end
        end
    end
end

```

Ten Bulma (HSV)

```

for xc=1:x
    for yc = 1:y
        iH = double(H(xc,yc))*255;
        iS = double(S(xc,yc))*255;
        iV = double(V(xc,yc))*255;
        if iH>=0 && iS>=15 && iS>=(0.75*iH+0.3*iV-30) || iS<=-iH-
0.1*iV+110 && iH<=-0.4*iV+75 && iS<=0.08 * (100-iV) *iH +0.6* iV
            else
                F(xc,yc,1)=0;    F(xc,yc,2)=0;    F(xc,yc,3)=0;
            end
        end
    end
end

```

end

end

```

I1 = imread('imfilename');
I=double(I1);
I2=rgb2gray(I1);
[w h]=size(I(:, :, 1));
for i=1:w
    for j=1:h
        R=I(i,j,1);
        G=I(i,j,2);
        B=I(i,j,3);
r=R/(R+G+B);
g=G/(R+G+B);
b=B/(R+G+B);
% normr=(r/(r+b+g))*255;
% normg=(g/(r+b+g))*255;
normr=r*255;
normg=g*255;
        if 90<=normr & normr<=145 & 60<=normg & normg<=100
            segment(i,j)=1 ;
        else
            segment(i,j)=0;
        end
        I3(i,j)=I2(i,j).*segment(i,j);
        I4(i,j)=segment(i,j)*255;
    end
end
yr=rgb2gray(I1);
yr1=imcrop(yr,[217,153,193,191]);
im(:, :, 1)=I(:, :, 1).*segment;
im(:, :, 2)=I(:, :, 2).*segment;
im(:, :, 3)=I(:, :, 3).*segment;
BW=imfill(I4, 'holes');
dim = size(BW);
col = round(dim(2)/2)-90;
row = find(BW(:, col), 1);
dim = size(BW);
col = round(dim(2)/2)-90;
row = find(BW(:, col), 1);
connectivity = 8;
num_points = 180;
contour = bwtraceboundary(BW, [row, col], 'N', connectivity, num_points);

```

```

imshow(I1);
hold on;
plot(contour(:,2),contour(:,1),'g','LineWidth',2);
x = contour(:,2);
y = contour(:,1);
abc = [x y ones(length(x),1)] \ -(x.^2+y.^2);
a = abc(1); b = abc(2); c = abc(3);
xc = -a/2;
yc = -b/2;
radius = sqrt((xc^2+yc^2)-c)
plot(xc,yc,'yx','LineWidth',2);
theta = 0:0.01:2*pi;
Xfit = radius*cos(theta) + xc;
Yfit = radius*sin(theta) + yc;
plot(Xfit, Yfit);
[B,L] = bwboundaries(BW,'noholes');
imshow(label2rgb(L, @jet, [.5 .5 .5]))
hold on
for k = 1:length(B)
    boundary = B{k};
    plot(boundary(:,2), boundary(:,1), 'w', 'LineWidth', 2)
end
RGB = label2rgb(L, @jet, 'k');
imshow(RGB,'notruesize')
yr1=I;
[u v]=size(yr1(:, :, 1));
for i=1:u
    for j=1:v
        R=yr1(i,j,1);
        G=yr1(i,j,2);
        B=yr1(i,j,3);
K=R-(B*0.45+G); %dudak bölgesinin belirgin hale getirilmesi
        if K>0
            segment(i,j)=1 ;
        else
            segment(i,j)=0;
        end
    end
end
end
im1(:, :, 1)=yr1(:, :, 1).*segment;
im1(:, :, 2)=yr1(:, :, 2).*segment;
im1(:, :, 3)=yr1(:, :, 3).*segment;

figure;imshow(uint8(im1));

```

```

x = imread(imfilename);
if (size(x,3)>1);
    try
        x=rgb2gray(x);
    catch
        x=sum(double(x),3)/3;
    end
end
threshold = 0;
imagesc(x); hold on; colormap gray;
s = fdmex(x', threshold);
s
for i=1:size(s,1)
    h = rectangle('Position',[s(i,1)-s(i,3)/2,s(i,2)-s(i,3)/2,s(i,3),s(i,3)], ...
        'EdgeColor', [1,0,0], 'linewidth', 2);
    x1=s(i,1)-s(i,3)/2;
    y1=s(i,2)-s(i,3)/2;
    dx=s(i,3);
    dy=s(i,3);
    g1 = rectangle('Position',[x1+dx/32,y1+dy/8,11*dx/32,dx/5], ...
        'EdgeColor', [1,0,0], 'linewidth', 2);
    g2 = rectangle('Position',[x1+5*dx/8,y1+dy/8,11*dx/32,dx/5], ...
        'EdgeColor', [1,0,0], 'linewidth', 2);
    ag= rectangle('Position',[x1+dx/8,y1+6*dy/8,3*dx/4,dx/8], ...
        'EdgeColor', [1,0,0], 'linewidth', 2);
end
yr1=imcrop(x,[x1,y1,dx,dy]);
axis equal;
axis off
figure;imshow(uint8(yr1));
a=yr1;
a=imadjust(a);
figure,imshow(a);
b=histeq(yr1);
figure,imshow(b);
[x,map]=gray2ind(a,2);
figure,imshow(x, map);
a1=sum(a)/length(a);
for i=2:length(a')
    a3(:,i)=a1(:,i-1)-a1(:,i);
end
aa=a';
a2=sum(a')/length(aa);
figure,plot(a1)
figure,plot(a2)
figure,plot(a3)

```

1.4.Yüz Elemanlarının Bulunması

```

x = imread('imfilename');

RGB=x;

if (size(x,3)>1
    try
        x=rgb2gray(x);
    catch
        x=sum(double(x),3)/3;
    end
end
threshold = 0;

imagesc(x); hold on; colormap gray;
s = fdmex(x', threshold);
s
for i=1:size(s,1)
    h = rectangle('Position',[s(i,1)-s(i,3)/2,s(i,2)-s(i,3)/2,s(i,3),s(i,3)], ...
        'EdgeColor', [1,0,0], 'linewidth', 2);
x1=s(i,1)-s(i,3)/2;
y1=s(i,2)-s(i,3)/2;
dx=s(i,3);
dy=s(i,3);
end
% J = histeq(x);
%
% figure, imshow(J)
yy=imadjust(x);
figure,imshow(yy);
yr1=imcrop(yy,[x1,y1,dx,dy]);
axis equal;
axis off
figure,imshow(yr1)
a=yr1;

b=mod(a*3.5,255);
b=(255-b);
figure,imshow(b)
[X, map] = gray2ind(b, 2);
figure,imshow(X, map);

yr11=a;

```

```

figure,imshow(yr11);

aa=yr11';
[m n]=size(aa);%yatay izdüşüm
a2=sum(aa)/n;

%a2y=yogun_degis(a2);yoğunluk değişimi pek kullanılmaz
a2h=hist_yumu(a2);%yumuşatılmış izdüşüm
bur=max(a2h);
burun=find(a2h==bur);
a2yer=yerel_max(a2h);ymax2=find(a2yer==1);
a2hyer=yerel_minu(a2h);hymin2=find(a2hyer==1);
%Grup 1
bt=round(m/2);
bb=length(burun);
fark=sqrt((ymax2-bt).^2);
bt1=min(fark);
br=find(fark==bt1);
if( bt-burun>bt*0.2)
    burun=ymax2(br);
end
if (length(burun)>1)
    burun=ymax2(br);
end
ybur=burun;
b1=find(hymin2<burun);
bb1=length(b1);
gz=hymin2(bb1);
ygz=gz;

ks=hymin2(bb1-1);
ykas=ks;
figure,subplot(2,2,1);plot(a2)
subplot(2,2,2);plot(a2h)
subplot(2,2,3);plot(a2yer)
subplot(2,2,4);plot(a2hyer)

% -----
m=round(length(yr11));
n=round(dy/2);

[w h]=size(b);
for i=1:w
    for j=1:h
        if b(i,j)==255
            c(i,j)=255;

```

```

else
    c(i,j)=0;
end
end
end
figure,imshow(c)
ustyari=a(ks:burun,:);% göz bölgesi----***
%figure,imshow(ustyari)
% a1=(255-(mod(ustyari*2,255)));
a1=ustyari;
figure,imshow(a1)
a1=sum(a1)/m;%Düşey izdüşüm
%figure,plot(a1)
a1y=yogun_degis(a1);
a1h=hist_yumu(a1);
c=length(a1h);
% a1yer=yerel_minu(a1);ymin1=find(a1yer==1)
brn=max(a1h);
burun1=find(a1h==brn);
xbur=burun1;
a1yer=yerel_max(a1h);
ymax1=find(a1yer==1);

yx=length(ymax1);
mi1=min(a1h(ymax1(1):c/2));
ym1=find(a1h(ymax1(1):c/2)==mi1);
xgzsa=ym1;
mi2=min(a1h(c/2:ymax1(yx)));
ym2=find(a1h(c/2:ymax1(yx))==mi2)+c/2;
xgzsl=ym2;

a1hyer=yerel_minu(a1h);hymin1=find(a1hyer==1);

figure,subplot(2,2,1);plot(a1)
subplot(2,2,2);plot(a1h)
subplot(2,2,3);plot(a1yer)
subplot(2,2,4);plot(a1hyer)
xgzsa,xgzsl,ygz
ybur,xbur
ykas

%%%%%%

b=mod(yy*3.5,255);
b=(255-b);
[w h]=size(b);
for i=1:w

```



```

    for j=1:h
    if b(i,j)==255
        c(i,j)=255;
    else
        c(i,j)=0;
    end
    end
end
end
gzalan1=imcrop(c,[x1,y1+ykas+(ygz-ykas)/3,dx,2*(ygz-ykas)]);
gzalan=imcrop(x,[x1,y1+ykas+(ygz-ykas)/3,dx,2*(ygz-ykas)]);
[a b]=size(gzalan)
h=ygz-ykas
sagzalan=gzalan(:,1:xbur-(ygz-ykas)/2);c1=length(sagzalan)
slgzalan=gzalan(:,xbur+(ygz-ykas)/2:b);c2=length(slgzalan)
ga1=sum(sagzalan)/c1;
ga1h=hist_yumu(ga1);ga1mn=min(ga1h);gsax=find(ga1mn==ga1h)
ga1hyer=yerel_minu(ga1h);ghymin1=find(ga1hyer==1)
ga1hyerm=yerel_max(ga1h);ghymax1=find(ga1hyerm==1)

ga2=sum(slgzalan)/c2;
ga2h=hist_yumu(ga2);ga2mn=min(ga2h);gslx=find(ga2mn==ga2h)
ga2hyer=yerel_minu(ga2h);ghymin2=find(ga2hyer==1)
ga2hyerm=yerel_max(ga2h);ghymax2=find(ga2hyerm==1)
figure,subplot(2,4,1);plot(ga1h)
subplot(2,4,2);subimage(sagzalan)
subplot(2,4,3);subimage(slgzalan)
subplot(2,4,4);plot(ga2h)
subplot(2,4,5);plot(ga1hyer)
subplot(2,4,6);plot(ga1hyerm)
subplot(2,4,7);plot(ga2hyer)
subplot(2,4,8);plot(ga2hyerm)
% BW2 = edge(imcrop(c,[x1,y1+ykas+(ygz-ykas)/3,dx,2*(ygz-ykas)]),'canny');
% BW2 = edge(gzalan,'canny');
ekx=round(xbur+(ygz-ykas)/2)
eky=round(ykas+(ygz-ykas)/3)
gzalan1=imcrop(c,[x1,y1+eky,dx,2*(ygz-ykas)]);
sagzalan1=gzalan1(:,1:xbur-(ygz-ykas)/2);BW1 = edge(sagzalan1,'canny');
slgzalan1=gzalan1(:,ekx:b);BW2 = edge(slgzalan1,'canny');
%sağ göz
[ii,jj]=find(BW1==1);

f1(:,:)= [ii jj]'
byt=length(ii)
yort1=round(sum(ii)/byt)
xort1=round(sum(jj)/byt)
dxx1=find(f1(2,:)>=xort1)
dxx2=find(f1(2,:)<xort1)

```

```

ff1=f1(:,dxx1);sy1=length(ff1);ff1(1,sy1+1)=yort1;ff1(2,sy1+1)=xort1;
ff2=f1(:,dxx2);sy2=length(ff2);ff2(1,sy2+1)=yort1;ff2(2,sy2+1)=xort1;
uz1=dist(ff1);uz1=uz1(:,sy1+1);uz1(uz1==0)=[];
kk=max(uz1);k1=find(uz1==kk);k2=ff1(:,k1)
uz2=dist(ff2);uz2=uz2(:,sy2+1);uz2(uz2==0)=[];
kk1=max(uz2);kk1=find(uz2==kk1);kk2=ff2(:,kk1)

% sol göz
[k,1]=find(BW2==1);

f2(:,:)= [k 1]'
byt1=length(k)
yort2=round(sum(k)/byt1)
xort2=round(sum(1)/byt1)
dxxx1=find(f2(2,:)>=xort2);
dxxx2=find(f2(2,:)<xort2);

fff1=f2(:,dxxx1);syy1=length(fff1);fff1(1,syy1+1)=yort2;fff1(2,syy1+1)=xort2;fff1;
fff2=f2(:,dxxx2);syy2=length(fff2);fff2(1,syy2+1)=yort2;fff2(2,syy2+1)=xort2;fff2;
uz2=dist(fff1);uz2=uz2(:,syy1+1);uz2(uz2==0)=[];
kkk=max(uz2);kk1=find(uz2==kkk);k12=fff1(:,kk1)
uz2=dist(fff2);uz2=uz2(:,syy2+1);uz2(uz2==0)=[];
kkk1=max(uz2);kkk1=find(uz2==kkk1);kkk2=fff2(:,kkk1)

%% koordinatlar
gzkoord=[kk2(2) xort1 k2(2) kkk2(2)+ekx xort2+ekx k12(2)+ekx;...
kk2(1)+eky yort1+eky k2(1)+eky kkk2(1)+eky yort2+eky k12(1)+eky]

figure,subplot(2,2,1);subimage(incrop(c,[x1,y1+ykas+(ygz-ykas)/3,dx,2*(ygz-
ykas)]))
subplot(2,2,2);subimage(BW2)
subplot(2,2,3);subimage(BW1)
subplot(2,2,4);subimage(BW2)
figure,imagesc(yr1); hold on; colormap gray;plot(gzkoord(1,:),gzkoord(2,:), 'r+');

%% kaş alanı
kasalan=incrop(x,[x1-(ygz-ykas)/2,y1+ykas-(ygz-ykas)/2,dx+(ygz-ykas),1.1*(ygz-
ykas)]);
figure,subplot(2,2,1);subimage(kasalan)

```

1.5. Karşılıklı İlişki Katsayısının Bulunması

```
{a1=[264.1940 264.1940 284.8340 354.4010 354.4010 338.3470 309.2970 309.2970 309.2970;...
305.0540 277.8410 274.0190 302.8480 277.8410 274.7830 277.8410 229.6800 181.5180];
a2=[176.1970 176.5920 199.8650 279.1510 275.6010 257.0610 231.0270 231.0270 227.4770;...
414.7570 383.5940 376.1000 407.6560 380.0440 374.5220 381.6220 324.4250 272.3560];
a3=[953.853,953.853,979.271,1057.706,1057.706,1030.109,1005.779,998.88,1002.511;...
889.1,870.949,862.234,885.474,867.318,860.782,869.134,793.967,759.107];}örnek veriler
```

```
A1=dist(a1);
```

```
A2=dist(a2);
```

```
A3=dist(a3);
```

```
%resim1
```

```
AA1(1,1)=A1(1,2)/A1(2,5);AA1(1,2)=A1(1,2)/A1(7,8);
```

```
AA1(1,3)=A1(1,2)/A1(8,9);AA1(1,4)=A1(1,2)/A1(7,9);
```

```
AA1(2,1)=A1(4,5)/A1(2,5);AA1(2,2)=A1(4,5)/A1(7,8);
```

```
AA1(2,3)=A1(4,5)/A1(8,9);AA1(2,4)=A1(4,5)/A1(7,9);
```

```
AA1(3,1)=A1(2,5)/A1(2,8);AA1(3,2)=A1(2,5)/A1(5,8);
```

```
AA1(3,3)=A1(2,5)/A1(2,9);AA1(3,4)=A1(2,5)/A1(5,9);
```

```
AA1(4,1)=A1(2,5)/A1(7,8);AA1(4,2)=A1(2,5)/A1(8,9);
```

```
AA1(4,3)=A1(2,5)/A1(7,9);AA1(4,4)=A1(7,8)/A1(8,9);
```

```
AA1
```

```
%resim2
```

```
AA2(1,1)=A2(1,2)/A2(2,5);AA2(1,2)=A2(1,2)/A2(7,8);
```

```
AA2(1,3)=A2(1,2)/A2(8,9);AA2(1,4)=A2(1,2)/A2(7,9);
```

```
AA2(2,1)=A2(4,5)/A2(2,5);AA2(2,2)=A2(4,5)/A2(7,8);
```

```
AA2(2,3)=A2(4,5)/A2(8,9);AA2(2,4)=A2(4,5)/A2(7,9);
```

```
AA2(3,1)=A2(2,5)/A2(2,8);AA2(3,2)=A2(2,5)/A2(5,8);
```

```
AA2(3,3)=A2(2,5)/A2(2,9);AA2(3,4)=A2(2,5)/A2(5,9);
```

```
AA2(4,1)=A2(2,5)/A2(7,8);AA2(4,2)=A2(2,5)/A2(8,9);
```

```
AA2(4,3)=A2(2,5)/A2(7,9);AA2(4,4)=A2(7,8)/A2(8,9);
```

```
AA2
```

```
%resim3
```

```
AA3(1,1)=A3(1,2)/A3(2,5);AA3(1,2)=A3(1,2)/A3(7,8);
```

```
AA3(1,3)=A3(1,2)/A3(8,9);AA3(1,4)=A3(1,2)/A3(7,9);
```

```
AA3(2,1)=A3(4,5)/A3(2,5);AA3(2,2)=A3(4,5)/A3(7,8);
```

```
AA3(2,3)=A3(4,5)/A3(8,9);AA3(2,4)=A3(4,5)/A3(7,9);
```

```
AA3(3,1)=A3(2,5)/A3(2,8);AA3(3,2)=A3(2,5)/A3(5,8);
```

```
AA3(3,3)=A3(2,5)/A3(2,9);AA3(3,4)=A3(2,5)/A3(5,9);
```

```
AA3(4,1)=A3(2,5)/A3(7,8);AA3(4,2)=A3(2,5)/A3(8,9);
```

```
AA3(4,3)=A3(2,5)/A3(7,9);AA3(4,4)=A3(7,8)/A3(8,9);
```

```
AA3
```

```
ro1=corr2(AA1,AA2)
```

```
ro2=corr2(AA1,AA3)
```

```
ro3=corr2(AA2,AA3)
```

