

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**WEB KAMERA KULLANIMI İLE PARMAK İZİ TANIMA
VE KİMLİK TESPİTİ DOĞRULAMA**

Elektronik ve Haberleşme Müh. Kadir HIDİMOĞLU

**FBE Elektronik ve Haberleşme Müh. Anabilim Dalı
Elektronik Programında Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Lale ÖZYILMAZ (Yıldız Teknik Üniversitesi)

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ.....	xiii
ÖZET	xivii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. BİYOMETRİNİN TANIMI.....	5
2.1 Biyometrik Yöntemlerin Çalışma Prensipleri	6
2.2 Biyometrik Özellikler	7
2.2.1 İris Tanıma.....	7
2.2.2 Retina Tanıma.....	9
2.2.3 Parmak İzi Tanıma.....	9
2.2.4 Yüz Tanıma	10
2.2.5 Damar Tanıma	12
2.2.6 El Geometrisi	12
2.3 Davranışsal Biyometrikler	13
2.3.1 El Yazısı Tanıma	13
2.3.2 Ses Doğrulama.....	13
2.3.3 Yürüyüş (Ayak İzi)	14
2.4 Kimyasal Biyometrikler.....	14
2.5 Biyometrik Özelliklerin Karşılaştırması.....	14
2.6 Biyometrinin Uygulamanın Alanları	15
3. PARMAK İZİ TANIMA	17
3.1 Parmak İzi Yapısı	17
3.2 Sınıflandırma ve Desen Tipleri	20

3.2.1	Döngüler	21
3.2.2	Radyal Döngüler	21
3.2.3	Halkalar	22
3.2.4	Düz Halkalar	22
3.2.5	Merkezi Cep Halkalar	23
3.2.6	Çift Döngü Halkalar	24
3.2.7	Yaylar	24
3.2.8	Bileşikler	25
3.2.9	Tesadüfîler	26
4.	PARMAK İZİ TANIMA TEORİSİ	27
4.1	Parmak İzi Okuma Teknolojileri	27
4.1.1	Optik Sensörler	28
4.1.1.1	Levha Prizma ile TİY	29
4.1.1.2	Optik Fiberler	30
4.1.1.3	Elektro-optik	30
4.1.2	Doğrudan Okuma	31
4.1.3	Katı-Hal Sensörler	31
4.1.4	Kapasitif Sensörler	31
4.1.5	Termal Sensörler	33
4.1.6	Elektrik Alan Sensörler	33
4.1.7	Piezoelektrik (Basınç) Sensörler	33
4.1.8	Ultrasonik Sensörler	33
5.	PARMAK İZİ KARŞILAŞTIRMA TEKNİKLERİ	35
5.1	Ayrıntı Tabanlı Karşılaştırma	35
5.2	Görüntü Tabanlı Karşılaştırma	35
6.	PARMAK İZİ TARAMA YÖNTEMİ	37
6.1	Görüntü Artırımı	38
6.1.1	Histogram Eşitleme	38
6.1.2	Fourier Dönüşümü ile Parmak İzi Artırımı	40
6.2	Parmak İzi Görüntü İkilemesi	42
6.3	Parmak İzi Görüntü Bölütlemesi	45
6.3.1	Blok Yön Kestirimi	45
6.3.2	Morfolojik İşlemler ile Alan Çıkartımı	47
6.4	Parmak İzi Çizgi İnceltimi	48
6.5	Özellik Noktalarını Belirtmek	51
6.6	Son İşlemler	53
6.6.1	Yanlış Özellik Noktalarının Kaldırımı	54
6.6.2	Bitimlerin ve Çatalların Birleşimi	54
6.7	Özellik Karşılaştırması	56

6.7.1	Benzerlik Kısmı	56
6.7.2	Karşılaştırma Basamağı	58
7.	UYGULAMA SONUÇLARI	60
7.1	Parmak İzi Tanıma için Doğruluk Kriterleri	60
7.2	Uygulama Sonuçları	61
8.	ARAYÜZ KULLANIMI	63
	KAYNAKLAR	81
	ÖZGEÇMİŞ	83

SİMGE LİSTESİ

c	Nicelik indeksi
C	Yön haritası tutarlılığı
CN	Çaprazlama sayısı
d	Doğrultu derecesi
E	Eşik seviyesi
$f(x, y)$	Giriş fonksiyonu
F	Fourier Dönüşümü
F^{-1}	Ters Fourier Dönüşümü
I	Giriş parmak izi takımı
I_{enh}	Arttırılmış işaret
i	Özellik noktasına bağlı denklem eleman sayısı
j	Özellik noktasına bağlı denklem eleman sayısı
K	Nicelik indeksi
m_i	Şablon parmak izi özellik noktası
m'_j	Giriş parmak izi özellik noktası
m''_j	Yeni konumlu parmak izi özellik noktası
M	Bitim yön belirlemesi
M_{TI}	Karşılaştırma oranı
$map_{\Delta x, \Delta y, \theta}$	Yön haritası
$mod360$	360 derece modüler işlem
N	Piksel komşuluk sayısı
O	İki-boyutlu piksel bloğu
P	Piksel
P_i	Merkez piksel etrafındaki piksel değeri
S	İki çizginin ilintisinin benzerliği
T	0 ve 1 geçiş sayısı
T	Şablon parmak izi takımı
x	Piksel gösterimleri
x'_j	Özellik noktası x parametresi
y'_j	Özellik noktası y parametresi

x_j''	Yeni konumlu özellik noktası x parametresi
y_j''	Yeni konumlu özellik noktası y parametresi
\vee	Lojik birleşim işlemi
\wedge	Lojik kesişim işlemi
∂	Gradyen değeri
Δ	Yerel yön
θ	Yön açısı
θ_j'	Özellik noktası yön açısı
θ_j''	Yeni konumlu özellik noktası yön açısı
δ	Sınırlayan kutu yönteminde yarıçap
ε	Sınırlayan kutu yönteminde radyal açı
Δr	Giriş ile şablon parmak izi yarıçapı arasındaki fark
Δe	Giriş ile şablon parmak izi radyal açıları arasındaki fark
\ominus	Lojik çıkarma işlemi
\oplus	Lojik toplama işlemi
\odot	Lojik açma işlemi
\odot	Lojik kapama işlemi
\otimes	Lojik çarpma işlemi

KISALTMA LİSTESİ

ATM	Automatic Teller Machine (Otomatik Banka Veznesi)
CCD	Charge Coupled Device (Yüklenme İliştirilmiş Araç)
CMOS Yarıiletken)	Complementary Metal Oxide Semiconductor (Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken)
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
DPI	Dot Per Inch (İnç Başına Nokta Sayısı)
ERR	Equal Error Rate (Eşit Hata Oranı)
FAR	False Acceptance Rate (Yanlış Kabul Oranı)
FFT	Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
FRR	False Reject Rate (Yanlış Ret Oranı)
LED	Light Emission Diode (Işık Saçan Diyot)
TIY	Toplam İç Yansıma

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Sistem düzeneği.....	2
Şekil 1.2 Parmak izi alma cihazı dış görünümü	3
Şekil 1.3 Kullanıcı arayüzü	4
Şekil 2.1 Biyometrik veri kaydı örneği	5
Şekil 2.2 İris deseni (Daugman, 2004).....	8
Şekil 2.3 Parmak izi deseni	9
Şekil 2.4 Birtakım yüz ifadesi örneği (Shah ve Uddin, 2009).....	11
Şekil 2.5 Eigenface yüz ifadeleri (Kakıcı, 2008)	11
Şekil 2.6 Parmak damarı biyometrik uygulama örneği (Sony, 2009)	12
Şekil 2.7 Bir el geometrisi örneği (Greenemeier, 2008).....	12
Şekil 2.8 Birtakım ayak izi örnekleri (Shah ve Uddin, 2009).....	14
Şekil 3.1 Okuyucudan alınmış parmak izi deseni örneği (FVC, 2004).....	17
Şekil 3.2 Çekirdek ve delta noktaları (Ratha ve Bolle, 2004)	18
Şekil 3.3 Parmak izi çizgi tipleri (Shah ve Uddin, 2009).....	19
Şekil 3.4 Çizgi özellikleri a) Bitim noktası, b) Çatal noktası (Maltoni vd., 2009).....	19
Şekil 3.5 Desen tipleri a) Yay (Arch), b) Döngü (Loop), c) Halka (Whorl) (Henry, 1900)	20
Şekil 3.6 Döngü deseni (Henry, 1900).....	21
Şekil 3.7 Radyal döngü deseni (Henry, 1900).....	21
Şekil 3.8 Halka tipleri a) Düz, b) Merkezi cep, c) Çift döngü d) Tesadüfi (Henry, 1900).....	22
Şekil 3.9 Halka deseni (Henry, 1900).....	23
Şekil 3.10 Halka tipleri a) Merkezi cep halka b) Çift döngü halka (Henry, 1900).....	23
Şekil 3.11 Çift döngü halka deseni (Henry, 1900).....	24
Şekil 3.12 Yay tipleri, a) Düz yay, b) Sivrilmiş yay (Henry, 1900).....	24
Şekil 3.13 Bileşik desen (Henry, 1900).....	25
Şekil 3.14 Döngü desen çeşitleri a) Yanal cep desen, b) Çift döngü desen (Henry, 1900).....	26
Şekil 3.15 Tesadüfi desen örneği (Henry, 1900).....	26
Şekil 4.1 TİY tabanlı parmak izi sensörü (Maltoni vd., 2009).....	29
Şekil 4.2 Levha prizma ile TİY tabanlı parmak izi sensörü (Maltoni vd., 2009).....	29
Şekil 4.3 Fiber optik parmak izi sensörü (Maltoni vd., 2009).....	30
Şekil 4.4 Elektro-optik parmak izi sensörü (Maltoni vd., 2009).....	31
Şekil 4.5 Kapasitif parmak izi sensörü (Maltoni vd., 2009).....	32
Şekil 4.6 Ultrasonik parmak izi sensörü (Maltoni vd., 2009).....	34
Şekil 6.1 Özellik çıkartım şeması	37
Şekil 6.2 Özellik karşılaştırma adımları	38
Şekil 6.3 Parmak izi görüntüsü histogramı.....	39
Şekil 6.4 Histogram eşitlemesi sonrası parmak izi görüntüsü.....	39
Şekil 6.5 Histogram eşitlemesi etkisi a) Histogram eşitlemesi öncesi, b) Histogram eşitlemesi	

sonrası.....	40
Şekil 6.6 FFT dönüşümü ve histogram eşitleme etkisi a) Histogram eşitlemesi ve FFT dönüşümü öncesi, b) Histogram eşitlemesi ve FFT dönüşümü sonrası	41
Şekil 6.7 Median filtreleme ve histogram eşitleme etkisi a) Histogram eşitlemesi ve Median filtreleme öncesi, b) Histogram eşitlemesi ve Median filtreleme sonrası	43
Şekil 6.8 FFT sonrası parmak izi görüntü ikilendirmesi a) İkileendirme öncesi, b) İkileendirme sonrası.....	43
Şekil 6.9 Median filtre ardından yapılan kenar belirleme sonrası parmak izi görüntü ikilendirmesi a) Kenar belirleme yön akış haritası, b) İkileendirme sonrası.....	49
Şekil 6.10 FFT ve Median filtreleme etkisi ile ikileendirme karşılaştırması a) FFT kullanımı ile ikileendirme, b)Median filtreleme kullanımı ile ikileendirme	52
Şekil 6.11 Yön kestirim haritası ve kenar belirleme a) FFT kullanımı ile kestirim, b)Median filtre kullanımı ile kestirim	52
Şekil 6.12 Alan çıkartımı a) FFT kullanımı ile çıkartım, b) Median filtre kullanımı ile çıkartım	52
Şekil 6.13 P pikselinin komşuluk gösterimi	49
Şekil 6.14 Parmak izi çizgi inceltimi a) FFT kullanımı ile inceltim, b) Median filtre kullanımı ile inceltim	57
Şekil 6.15 Çatal tipi örneği a) Lojik komşuluk gösterimi, b) Desen biçiminde gösterim	58
Şekil 6.16 Çatal tipi örneği a) Lojik komşuluk gösterimi, b) Desen biçiminde gösterim	61
Şekil 6.17 Çizgi bitim örneği a) Lojik komşuluk gösterimi, b) Desen biçiminde gsterim.....	57
Şekil 6.18 Özellik noktalarının çıkartımı a) FFT kullanımı ile çıkartım, b) Median filtre kullanımı ile çıkartım	58
Şekil 6.19 Komşu piksel gösterimi a) Desen biçiminde gösterim, b) Özellik noktası gösterimi	58
Şekil 6.20 Geçerli özellikler a) FFT kullanımı sonucu geçerli özellikler, b) Median filtre kullanımı sonucu geçerli özellikler	58
Şekil 6.21 Koordinat ve açı gösterimi (Jain vd., 1997)	57
Şekil 6.22 Sınırlayan kutu yerleşimi gösterimi (Jain vd., 1997).....	58
Şekil 7.1 FAR-FRR grafiği.....	61
Şekil 8.1 Kullanıcı arayüzü başlangıcı	63
Şekil 8.2 Web kamerayı çalıştırma.....	64
Şekil 8.3 Web kameradan görüntü alımı	65
Şekil 8.4 Dosya kaydı.....	66
Şekil 8.5 Dosya çağırımı	67
Şekil 8.6 Histogram eşitleme.....	68
Şekil 8.7 FFT dönüşümü	69
Şekil 8.8 İkileendirme işlemi	70
Şekil 8.9 Yön akış haritası oluşumu	71
Şekil 8.10 Alan çıkartımı.....	72

Şekil 8.11 İnceltme işlemi	73
Şekil 8.12 Kırıkların kaldırımı.....	74
Şekil 8.13 Çıkıntılarının kaldırımı.....	75
Şekil 8.14 Özellik çıkartımı.....	76
Şekil 8.15 Geçerli özelliklerin gösterimi	77
Şekil 8.16 Özellik çıkartım kaydı	78
Şekil 8.17 Karşılaştırma işlemi.....	79
Şekil 8.18 Sonuç penceresi gösterimi.....	80

ÇİZELGE LİSTESİ

Tablo 2.1 Biyometrik karakteristiklerin karşılaştırması	15
---	----

ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen web kamera kullanımı ile parmak izi tanıma ve kimlik tespiti doğrulama çalışmalarının, ileride bu konuda çalışmak isteyen kişilere faydalı olmasını ümit ederim.

Tez çalışmasının meydana gelmesinde bilgilerinden yararlanarak önerilerini dinlediğim danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Lale Özyılmaz' a, çalışmalarımda yardımcı olarak kısa sürede gerçekleşmesini sağlayan kadim dostlarım Elektronik ve Haberleşme Yük. Müh. Yılmaz Ürgün ve Davut Çeşmeci' ye, yüksek lisans eğitimim boyunca sürekli desteklerini esirgemeyen ve sabır gösteren aileme, hep yardımcı olan ve anlayışla karşılayan Sayın Kudret Karacasulu' ya ve yardımlarını eksik etmeyerek her an yanımda olan çalışma arkadaşlarım Metin Karabatan, Erkan Yüksel ve Bayram Bayram' a ömür boyunca teşekkürü bir borç bilir, ayrıca Karfo Karacasulu çalışanlarına bu güzel ortamda beraber olduğumuz her an için teşekkür ederim.

ÖZET

Biyometrik sistemler, kullanım alanının yaygınlaşmaması ve maliyetinin yüksek oluşu sebebiyle halen pahalı bir teknoloji olarak görülmektedir. Bu nedenle çalışmada, biyometrik sistemler incelenmiş ve kullanım alanları göz önüne alındığında düşük maliyetli bir biyometrik sistem tasarımının yapılmasının yararlı olacağı düşünülmüştür. Bu tez çalışmasında, web kamerası kullanımı ile parmak izi tanıma ve kimlik tespiti doğrulama sistemi gerçekleştirilmiştir. Parmak izi doğrulama, parmak yapısında bulunan deri özelliklerinin meydana getirdiği çizgi ve aralıkların farklılaşmasını kullanan karşılaştırma metodudur. Burada yapılan çalışmada bu çizgilerin web kamera kullanımı ile USB arayüzünden Matlab dijital ortamına aktarımı yapılmıştır. Adaptif eşikleme metodu ve Matlab fonksiyonu kullanımıyla görüntü ön işlemleri olan gri ölçeklendirme ve ikilendirme işlemi, Median ve FFT filtreleme karşılaştırması, sonrasında çizgi inceltimi için Matlab algoritması, “Küçük Kareler Yaklaşımı” ve “Sobel” operatörü ile yön haritası çıkartımı gerçekleştirilmiştir. Özellik noktası bulunması işlemleri için Matlab fonksiyonu kullanılmış olup, çıkartılan parmak izi özellik noktalarından yanlış özelliklerin kaldırımı ve hataların düzeltimi yapılarak özellik tabanlı parmak izi karşılaştırması için bireye ait desen çıkartılmıştır.

Son olarak, otuz kişiye ait altmış adet çeşitli parmak izi deseninden oluşan bir veri tabanı ve MATLAB ortamında gerçekleştirilen kullanıcı arayüzü ile parmak izi desenleri işleme tutularak başarı sonuçları elde edilmiştir. Uygun koşullarda alınmış olan bir örneğin karşılaştırmasında başarı oranının %95.9184, yanlış kabul oranının %3.33 ve yanlış geri çevirme oranının %1.66 olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Web kamerası kullanımı ile parmak izi tanıma ve kimlik tespiti doğrulama, gri ölçeklendirme, ikilendirme, inceltme, yön haritası çıkartımı, özellik noktası bulunması ve özellik tabanlı parmak izi karşılaştırması.

ABSTRACT

While the use areas of biometric systems has not widen enough and the high costs as a result of this illustrate this technology as an expensive one. Because of this fact, in this research biometrical systems are examined and it's found meaningful to design a low-cost biometric system with keeping the use areas in mind. In this thesis, fingerprint recognition and ID verification using webcam concept is realized. Fingerprint verification is the method for recognition of the differences of lines and gaps over the human skin and comprasion of those. In this research this lines are transferred to Matlab digital environment by using USB interface. By using adaptive treshnolding method and Matlab's function image pre-processing as grey scaling and binarization, Median and FFT filtrering comparing, then for thinning Matlab's algorithm, "Least Square Method" and "Sobel" processes are used in order to extract direction mapping. For minutiae marking, Matlabs's function was used and for individual fingerprint comparison false characterstics were removed from the taken fingerprint and mistakes were corrected.

At last, successful results were obtained by using database, which was built by sixty fingerprint patterns of thirty different people, and user interface that was generated in MATLAB environment. It is observed that the success ratio of a sample which was gathered under suitable conditions, is %95.9184, false acception ratio is %3.33 and false rejection ratio is %1.66.

Keywords: Fingerprint recognition and ID verification using webcam, grey-scaling, binarization, thinning, deploying direction map, minutiae marking and fingerprint minutiae matching.

1. GİRİŞ

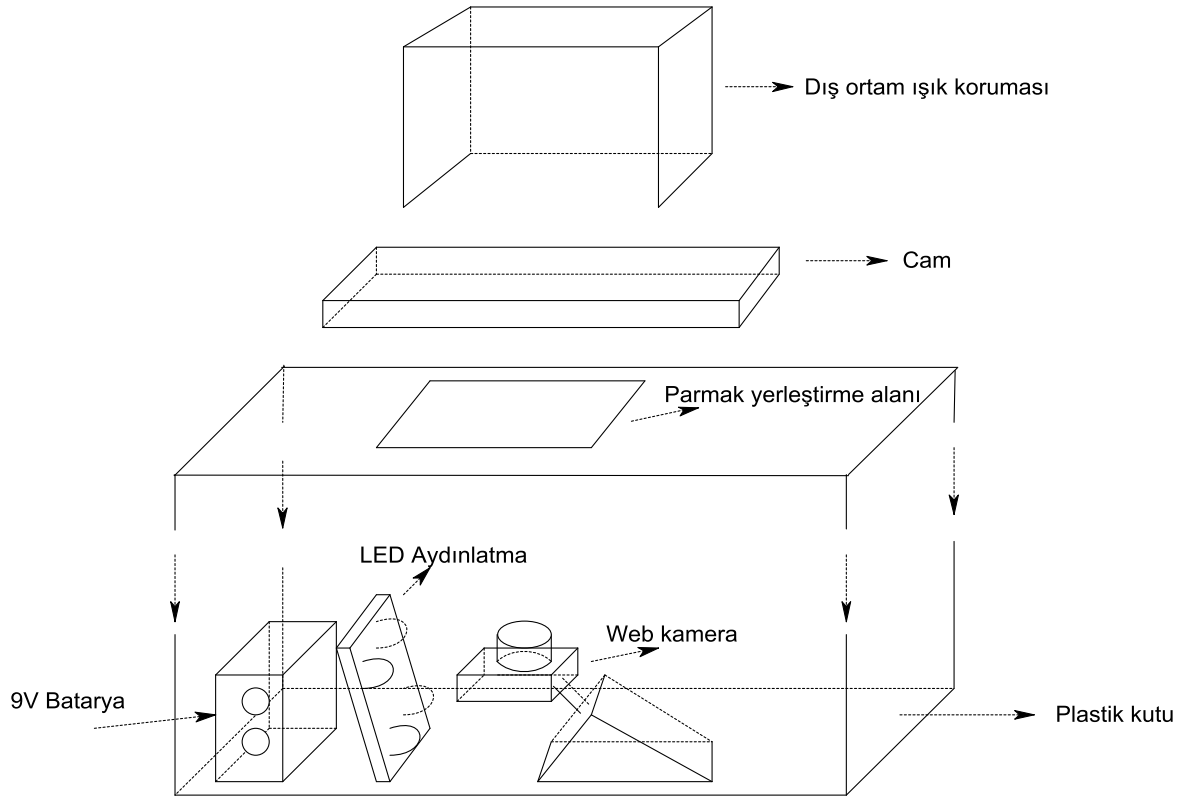
Teknolojinin gelişimiyle günümüzde güvenlik; çeşitli kurumsal ve kamu işlemleri uygulamalarında, kişisel bilgilerin saklanması ve korunumu gibi alanlar için üzerinde durulması gereken önemli bir konudur. Sanal kimlik olarak uygulamalarda karşılaşılan kişisel verilerin kayıt altında tutulması, çalışma ortamlarında personel takibi, güvenlik kuvvetlerinde kişi takibi ve bilgilerine ulaşabilmek yakın bir zamanda en önemli güvenlik unsuru olacaktır. Bu bilgilerin saklanması birtakım yöntemler uygulanmaktadır. Biyometrik özellikler olarak adlandırılan; mimik ve yüz özellikleri, gözün özellikleri (retina ve iris gibi), parmak izi, el geometrisi, vücut kokusu farklılığı, bilek ve el damarları, yürüyüş biçimi, imza tanıma ve konuşma doğrulama gibi alanlar bu yöntemlerden birkaçıdır. Bu biyometrik özellikler, fiziksel ve davranışsal karakteristiklere bağlı bireyleri birbirinden farklı kılan özelliklerin sisteme kayıt edilmesini ve kimlik doğrulama sürecinde kayıtlı verilere ulaşılmasını sağlar. Oluşturulan herhangi bir biyometrik sistemde dikkat edilmesi gereken nokta, dış ortamdan alınan özelliğin doğru bir şekilde tam olarak alınması ve kayıt için dışarı etkilere karşı güvenilir bir veri tabanı oluşturulmasıdır. Son olarak doğrulama işlemi yapmak için sisteme giriş yapılarak sözü edilen biyometrik araçlardan bir veya birkaçı ile kimlik tanıma işlemi gerçekleştirilir. Bu çalışmada günümüzde geçerli olan ve gelişen teknikler incelenmiş olup bunların birleşimiyle yeni bir sistem oluşturulmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın ikinci konu başlığı altında biyometrinin tanımı ve biyometrik yöntemlerden bahsedilmiş olup takip eden üçüncü konu başlığında parmak izi tanıma ve desen yapıları hakkında sınıflandırma bilgileri verilmiştir. Dördüncü kısımda parmak izi tanıma teknolojileri üzerinde durulmuş ve bir sonraki kısım beşinci konu başlığında parmak izi karşılaştırma tekniklerinden bahsedilmiştir. Çalışmanın algoritma kısımlarını ve gerçekleştirmesini oluşturan detaylı bilgi ve formülüne yapıları altıncı kısımda sunulmuştur. Bu kısım ayrıca burada gerçekleştirilen uygulamanın temel yapısını detaylı bir şekilde inceleme bölümüdür. Son bölümde yer alan yedinci konu başlığı altında uygulama sonuçları ve başarı değerleri verilerek değerler hakkında yorumlarda bulunulmuştur.

Çalışmada aynı zamanda iki ayrı filtreleme türü ile başarı sonuçları karşılaştırılmıştır. Bunlardan ilki olan FFT ile ayırık frekans alanına aktarımı yapılarak işlem gerçekleştirme diğeri ise Median filtrelemedir. Burada uygulanan yöntemlerin işlem sırası kullanılan filtrelemenin türüne göre değişiklik göstermiştir. FFT filtrelemesinden sonra görüntü üzerinde

ikilendirme işlemi yapılarak kenar belirleme yöntemi uygulanmış ve ardından inceltilmiş çizgi haritası çıkarılmıştır. Diğer filtreleme yöntemi olan Median filtrelemede ise filtreleme sonucu çıkan görüntüye, ikilendirme işlemi yapılmadan önce kenar belirleme yöntemi uygulanarak ardından ikilendirme işlemi yapılmış ve inceltilmiş çizgi haritası çıkartılmıştır.

Çalışmada gerçekleştirilen parmak izi tanıma ve kimlik tespiti sistemi düzeneği donanım kısmı Şekil 1.1' de verilmiştir.

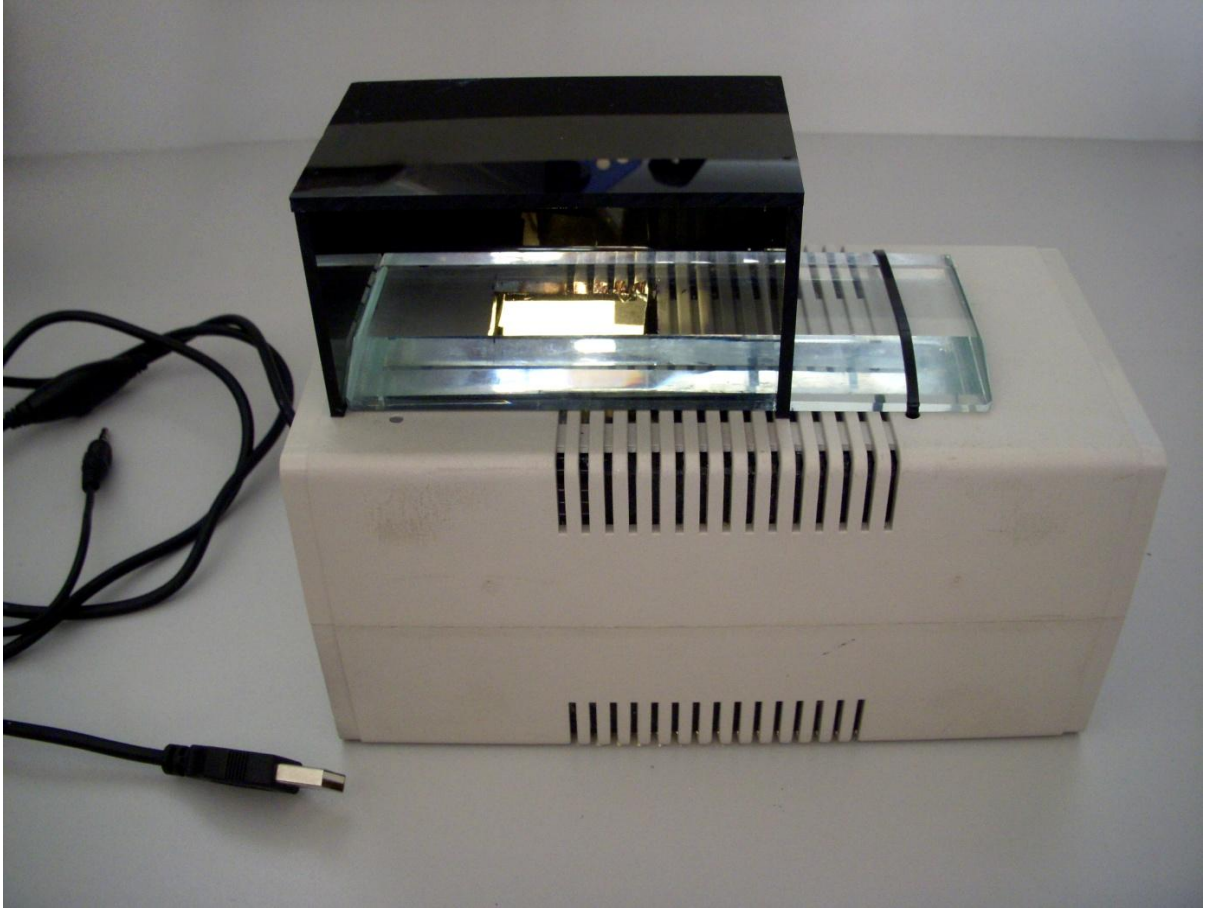


Şekil 1.1 Sistem düzeneği

Şekil 1.1' de görüldüğü üzere sistem, 9 Volt pil ile beslenen dört adet LED tarafından aydınlatılan ışık kaynağı, kamera ve sistemi dışarıdaki etkilerden korumak için plastik bir kutu, parmak izinin dokunulması gereken yer için pürüzsüz bir cam ve kamerayı ortam ışık değişiminden etkilenmemesi için mat renkte bir gölgelik plastik korumadan oluşmaktadır. Kameranın sabit durmasını sağlamak için bir sabitleme bölümünün yanında, diğer tüm parçaların da sistem üzerinde gereğine uygun sabitlenmesi için bağlantılar yapılmıştır.

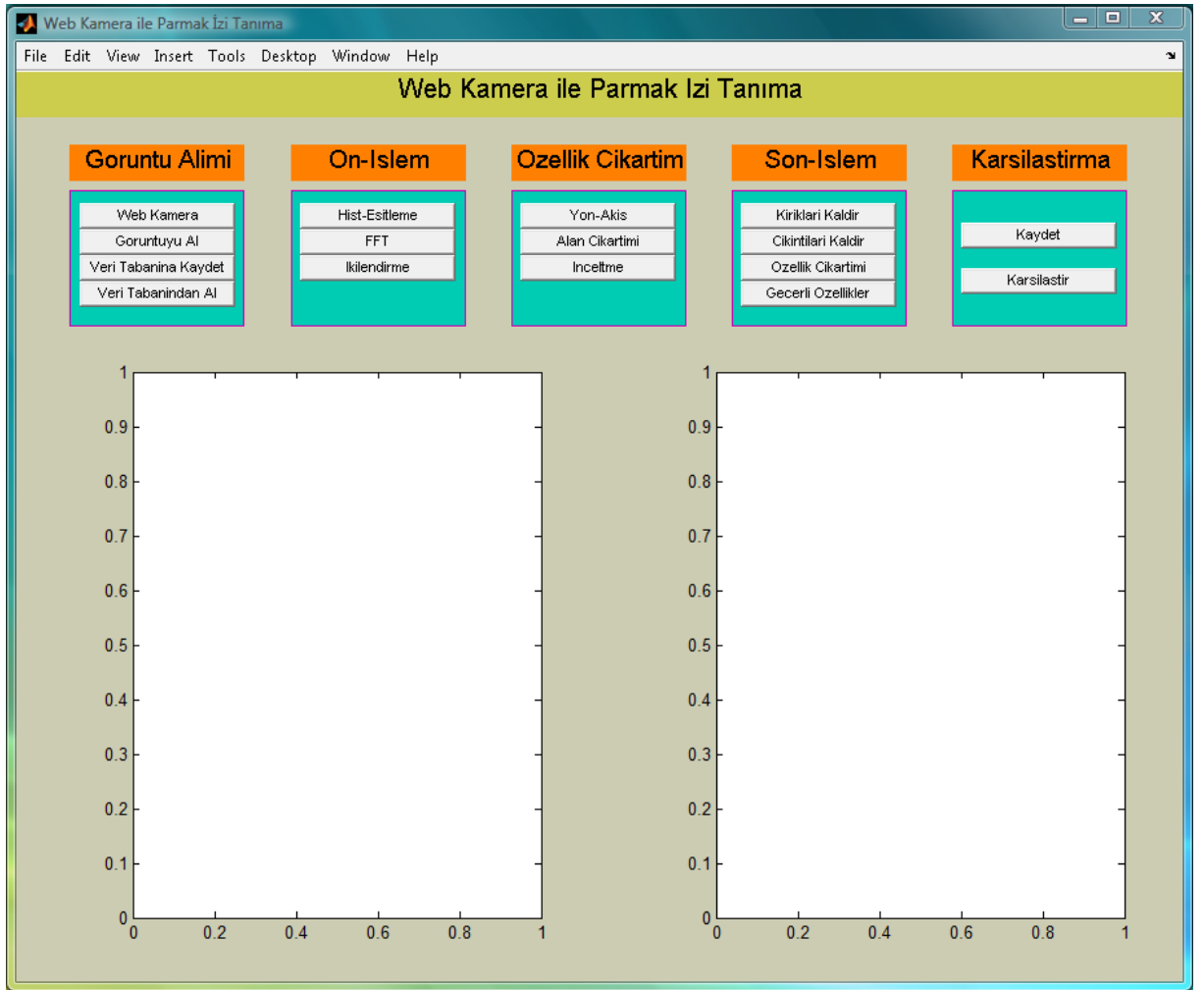
Şekil 1.1' de teknik resmi çizilen parmak izi alma cihazının gerçek görünümü Şekil 1.2' de

gösterilmiştir. Gerçek görünümünden görüldüğü üzere gri renkte koruma kutusu ve kutunun üzerinde kamera başlığının parmak izi alanını görmesi için bir aralık bulunmaktadır. Aralığın üzerinde sırasıyla dokunma alanı için pürüzsüz bir cam ve ortam aydınlatmasını sabit tutmak amacıyla mat renkte bir pleksiglas muhafaza konumlandırılmıştır. İç yapısında teknik resim Şekil 1.1' de çizildiği gibi 9 Volt' luk bir adet pil beraberinde dört adet LED ile oluşturulan aydınlatma düzeneği vardır. Son olarak düşük fiyatlı standart bir 30fps çekim yapabilen bir web kamera kutu içerisindeki taban kısmına sabitlenmiştir. Burada pürüzsüz cam kullanılmasının sebebi, kameranın en yakın mesafeden bulanıksız bir netleme yapmasını sabitlemek için parmağın belirli bir mesafede (3cm) konumlanmasını sağlamaktır. Bu sebeple kameranın lensi ile parmak arasındaki mesafe farkının her uygulamada aynı kalması sağlanmıştır. Cihaz tarafından alınan parmak izi desenlerinin Matlab dijital ortamına aktarımı, kameranın bağlantı kablosu USB 2.0 arayüzü ile sağlanmıştır.



Şekil 1.2. Parmak izi alma cihazı dış görünümü

Otuz kişinin parmak izi görüntüleri alınmış ve bir veri tabanı oluşturulmuştur. Oluşturulan veri tabanı kullanılarak MATLAB programı ile parmak izi tanıma sistemi için gerekli yazılım ve algoritmalar gerçekleştirilmiş ve sistemin bir kullanıcı tarafından rahat kullanılabilmesini sağlamak amacıyla kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur. Gerçeklenen arayüz, parmak izi görüntüsünün dış ortamdan alınıp veri tabanına kaydedilmesi, ön işlemlerden geçirilerek sonuçların ortaya çıkarılması ve karşılaştırma yapılmasına kadar tüm ihtiyaçları karşılayabilecek durumdadır. Son aşamada ise başarımlar yüzdeleri elde edilmiştir. Gerçekleştirilen arayüz Şekil 1.3’ te gösterilmiştir.

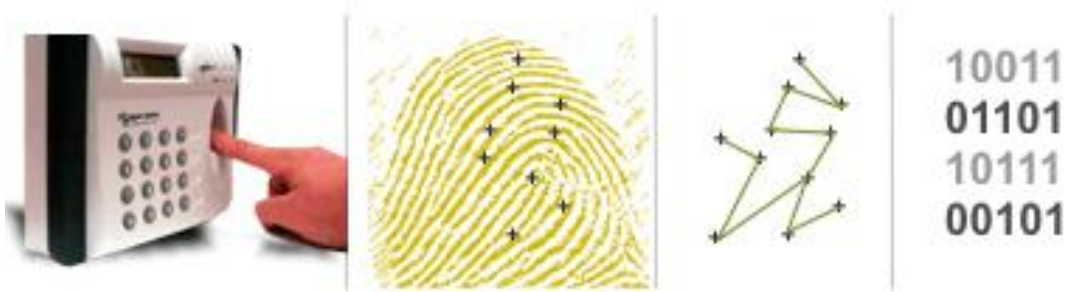


Şekil 1.3 Kullanıcı arayüzü

2. BİYOMETRİ

Biyometri insanları birbirinden ayırt edebilecek fiziksel özelliklerini ve sergiledikleri davranışları inceleyen bilim dalıdır. Biyometrik sistemler ise, bireyleri birbirinden ayıran bahsedilen bu karakteristiklerin kimlik tespitinde kullanıldığı bilgisayar kontrollü sistemlerdir. Bu sistemler bireyin kendine ait olduğu ve diğerlerinden ayırt edilebildiği özelliklerinin tanınması prensibi ile çalışmaktadır. Parmak izi ve el geometrisinin incelenmesi, yüz özellik noktaları ve mimik ifadelerinin karşılaştırılması, ses ve konuşma analizi, iris ve retina tanımlanması gibi ve birtakım diğer karakteristiklere bağlı yöntemler bulunmaktadır. Güvenlik ihtiyaçlarına göre bu yöntemlerden bir veya birkaçı kimlik tanımlama işleminde kullanılabilir.

Biyometrik teknolojilerin çalışma prensibi birbirine benzemektedir. Öncelikle kayıtlar toplanır ve bu kayıtlar ilgili sistem veritabanında saklanır. Biyometrik okuyucu ile alınan veriler analiz edilip daha önceden girilmiş değerlerle karşılaştırılıp eşleştirilir ve sonuca varılır. Diğer sistemlere nazaran biyometrik sistemler bilgisayar yardımı ile kısa sürede etkili olduğundan daha fazla işlem yapılabilme avantajına sahiptir.



Şekil 2.1 Biyometrik veri kaydı örneği (CSS Bilişim ve Güvenlik Sistemleri, 2000)

Yanılma olasılığı çok düşük olan bu sistemlerin diğer tanıma metodlarına oranla daha çok tercih edilmesindeki en önemli etkenlerden birisi, kullanıcının kendini tanıtmak için kimlik taşımak mecburiyetinde olmaması ile beraber şifre veya pin numarası gibi bilgileri ezberlemek zorunda kalmamasıdır. Unutulması veya başkası tarafından kullanılması söz konusu olmayan bir kimlik onaylama yoludur. Kişilerin kendilerine ait fiziksel veya davranışsal özelliklerinden faydalanarak otomatik tanıma yapan bu teknoloji, güvenlik unsurunun hızla arttığı günümüzde geniş kullanım alanına sahip olacak bir güvenlik sistemi olarak görülecektir.

2.1 Biyometrik Yöntemlerin Çalışma Prensipleri

Biyometrik yöntemlerin genel çalışma prensibi iki adımdan oluşmaktadır. Birinci adımda kişiye ait bilgiler sensörler ve okuyucular aracılığıyla sayısal ortama aktarılır. Bu bilgiler kullanılacak biyometrik veriye bağlı gerçekleştirme algoritmaları sayesinde işleme alınır ve kişiyi kimliklendirecek parametreler bu bilgiler içinden seçilerek veritabanına kayıt edilir. İkinci adımda ise kişinin kimlik doğrulaması gerçekleştirilir. Bu adımda sisteme aynı sensör ve okuyucular aracılığıyla girilen bilgiler kayıt sisteminde gerçekleştirilen aynı algoritmalarla işleme sokulup veri tabanındaki bilgilerle karşılaştırılarak eşleştirme sonuçlarına bakılır. Eğer doğru bir eşleşme varsa kişinin kimliği onaylanmıştır aksi halde sistemde bir sorun yoksa kişi istenilen kimliğe sahip değildir.

Yukarıda geçen birinci adımda gerekli olan algoritmalar, kullanılan fiziksel veya davranışsal karakteristiğe bağlı olarak farklılıklar gösterir. Görüntü ve ses işareti işleminde veriyi dijital ortama aktaran sensörlerden veya okuyuculardan, bilginin analizinde kullanılan algoritmaya kadar farklılıklar vardır. Ancak sisteme alınan bilgilerin işlenişi çoğunda ortaktır. Tüm yöntemlerde dış ortamdan dijital çevrilen veri içinden ayrıntı noktası çıkartımı yapılır. Bu özellik çıkartımı sonucunda ortaya çıkan veriler, karşılaştırma ve kayıt fonksiyonlarına verilen parametrelerdir. Parametre sayısının artırılması daima işlemin doğruluğunu artırmayıp bunun yanı sıra sisteme hesaplama yükü getirir ve geçerli doğruluk oranına daima etki etmeyebilir.

Dış ortamdan dijital ortama veri aktarımı sırasında dış ortamdaki biyometrik karakteristiğin aynısını oluşturmak çok güçtür. Bundan dolayı belirlenecek parametrelerin dış ortamdaki değişimlere karşı kararlı olması ve sonucu değiştirmemeye yönelik özellik göstermesi gereklidir.

Kullanılan biyometrik karakteristik ne olursa olsun, sistem cevabı belirlenen bir eşik seviyesine göre verilir. Bir biyometrik sisteme uygulanabilecek girişler, gerçek ve sahte girişlerdir. Bunlar, karşılaştırma işleminde gerçeklerin ve sahte girişlerin kabulü ve reddedilmesi durumlarını sistemin karşısına çıkarır. Sistemden beklenen gerçek girişlerin kabulü veya reddedilmesi durumlarıdır. Bu belirleme kriteri “Parmak izi tanıma için doğruluk kriterleri” bölümünde anlatılan FAR (Yanlış Kabul Oranı) ve FRR (Yanlış Ret Oranı)’ dir (Maltoni vd., 2009). FAR değeri sahte verilerin kabul edilmesi olup FRR değeri ise gerçek verilerin sistem tarafından reddedilme değeridir. FRR değeri küçük olan bir sistemde gerçek verilerin sıklıkla kabul edilmesinin yanı sıra sahte verilerin de kabulü aynı şekilde artacak ve FAR oranı büyüyecektir. FAR değerinin düşük olması ise sahte verinin sistem tarafından

gerçek veri olarak kabul edilmemesini gösterir.

Yapılan bu ölçütlerin işlemi hız ve doğruluk sorununu meydana getirmektedir. Bu süre ve doğruluk, uygulanan algoritmaların performansını ve hesap yükü karmaşıklığını doğurur. Bu çalışmada bire bir karşılaştırma işlemi yapıldığından hız performans açısından bir sorun teşkil etmemektedir. Fakat otomatik tanıma sistemlerinde binlerce bilginin veri tabanından karşılaştırma yapılarak doğrulama yapılması işlem hızı ve performansı açısından önemli ölçüde etkileyen faktördür.

2.2 Biyometrik Özellikler

Günümüzde, kişiyi tanımlama ya da doğrulama için birçok farklı biyometrik teknik bulunmaktadır. Bu teknikler fiziksel karakteristikler, davranışsal karakteristikler ve kimyasal karakteristikler olarak ayrılır. Bu tekniklerden günümüzde en yaygın kullanım alanına sahip olanlara, devam eden konu başlıklarında kısaca değinilecektir.

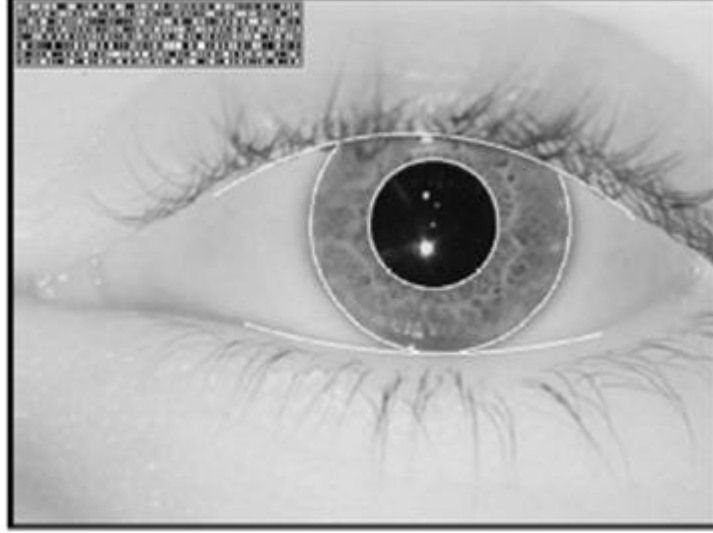
Fiziksel Biyometrikler

- İris ve Retina Deseni
- Parmak İzi
- Yüz Özellikleri
- El Geometrisi
- Avuç İçi İzi
- El ve Bilek Damarları

2.2.1 İris Tanıma

İris tanıma, son yıllarda çok büyük önem taşıyan ve ilgi duyulan bir biyometrik doğrulama yöntemidir. Önceki zamanlara göre teknolojisinin ilerlemesi ve maliyetinin düşmesi ile daha yaygın hale gelmeye başlamıştır. Bu sistemin yüksek doğrulukla çalışmasını sağlayan, iris dokusunun kişiye özel bir yapıda olup benzersiz olmasıdır. Öyle ki tek yumurta ikizlerinde bile iris yapıları farklıdır. Bu sebeple çok geniş bir uygulama alanında yüksek doğrulukla kimlik tanımlamaya olanak sunar. Bunların yanı sıra iris, parmak veya yüz gibi vücut dışında olan bir organ olmadığından dolayı zarar görme olasılığı daha düşüktür. Güvenlik açısından ise, doğumdan sonra oluşan iris dokusu dışardan bir etki gelmediği sürece ölene kadar değişmez ve bununla beraber göz, insanın ölümünden sonra en kısa sürede değişime uğrayan

organlarından biridir. Bu gibi avantajlarının yanı sıra tabii ki her biyometrik sistemde olduğu gibi burada da sistemi aşmanın birkaç yolu vardır. Bunlardan biri yüksek çözünürlüklü iris resimleri ve üzerine iris deseni basılmış lensler ile var olan sistemleri aşma olasılığıdır.



Şekil 2.2 İris deseni (Daugman, 2004)

İris tanıma sistemleri yüz ve parmak tanımda olduğu gibi özel noktaların çıkarılmasından daha çok “pattern recognition” olarak bilinen kalıp çıkartımı yöntemiyle yapılır. İris tanımda ilk adım olarak göz resminden iris bölgesi çıkartımı yapılır. Parmak izi gibi yöntemlerde örnek alımı yapılırken fiziksel olarak temas olduğundan dolayı örnek alma sırasında yanlış veriler alınabilir. İris örneği alınırken ise yaklaşık 10cm mesafeden bir resim çekilmesi yeterli olacaktır. Bununla beraber tanımanın yapılabilmesi için çekilen resmin çözünürlüğünün ve kalitesinin çok iyi olması gerekir. Aksi halde beklenen sonuçlar elde edilmeyebilir. İris şeklinden yararlanılabileceği gibi göz bebeğinin siyah renginden de yararlanılıp histogramdan bu bölge çıkarılabilir. Ayrıca sobel kenar belirleme algoritması ile kenarlar bulunup daire belirleme algoritmalarıyla göz bebeği ve iris bulunabilir. Göz kapağının tamamen açık olmadığı durumlar ile karşılaşılabileceği için önce göz bebeği ardından irisin bulunması daha iyi sonuçlar verecektir.

İris bölgesi seçildikten sonra bu bölge üzerinden dokuya dayalı olarak özellik çıkarma işlemleri yapılır. Bu özellik çıkarma ve karşılaştırma işleminde birden fazla yöntem mevcuttur. Bu yöntemlerden biri göz bebeğinin etrafından alınan parçalar üzerinde işlem yapmaktır. Tüm iris üzerinde işlem yapılamamasının sebebi ise göz kapağının yarı kapalı olması ve kirpiklerin irisi örtmesidir. İris üzerinden göz bebeğine bitişik yerlerden belirli

sayıda parça alınarak bu karşılaştırma yapılabilir (Kakıcı, 2008).

2.2.2 Retina Tanıma

Retina tanıma işlemi bir optik alıcı vasıtası ile retinanın desenlerinin düşük yoğunluklu bir ışık kaynağı ile taranmasına dayalı bir teknoloji olup, insanın göz bebeği arkasında bulunan damar tabakanın tanıma işlemidir. Bu bölgedeki damarlar kişiden kişiye değişmesine rağmen, damar ve göz hastalıklarının damarları etkilemesi söz konusu olduğundan pek yaygınlaşmış bir yöntem değildir (Kakıcı, 2008). Ayrıca kayıt oluşturma aşamasında kişinin belirli bir noktaya bakması da bu işlemi zorlaştırmakta ve yöntemin az tercih edilmesine yol açmaktadır. Bununla beraber gözlük kullanımı veya sensör ile göz temasına girememe gibi dezavantajlar sebebiyle uygulamada çok sık karşılaşılmaz.

2.2.3 Parmak İzi Tanıma

Parmak izleri, uzun yıllar boyunca bilimsel bir çalışma alanı olmuştur. Bu konudaki ilk çalışmalar 1600 yıllarında başlamıştır. Bununla beraber parmak izi yöntemiyle ilk tanımlama işlemi 1800 yılları ortalarında meydana gelmiştir. Sir William Herschel (1859), her desenin birbirinden bağımsız olduğunu ve zamanla değişmediğini keşfetmiştir. Bu bulgularla, 1877’ de bir bireyi tanımlamak için parmak izinin kullanımını ilk gerçekleştiren kişi olmuştur. 1896 yılında, Hindistan polis teşkilatı parmak izi kullanımıyla suçluların tespit edilebileceğini fark ederek, suçluların diğer ölçüleriyle beraber parmak izlerini de toplamaya başlamıştır.



Şekil 2.3 Parmak izi deseni

Parmak izi şekillerinin oluşumu ile meydana gelen veri tabanının sürekli büyümesi ve bu şekillerin sınıflandırılmasıyla, araştırmacıların tercih ettiği hızlı ve kolay bir teknik olmuştur. 1896 ve 1897 arasında, Sir Edward Henry, birkaç yıl içinde tüm dünyaca kabul gören “Henry Classification System” sistemini geliştirmiştir. Bu sistem bir kişinin on parmağının izinin mantıksal sınıflamasına izin vermektedir. Parmak izi desenlerinin çeşidine bağlı gruplar oluşturmayı temel alan Henry Sistemi, geniş bir veritabanında arama zahmetini çokça düşürmektedir. 1990’ ların ortalarına doğru, birçok topluluk kendi parmak izi resimlerinin dosyalarını saklamak için Henry Sınıflandırması’ nı kullanmaya devam etmiştir. Aynı zamanda, her geçen gün veritabanlarının kapasitesi artmaya devam etmiştir. Bunun sonucunda, parmak izi uzmanlarının kısa sürede doğru sonuçlara karar verebilmesi güçleşmiştir. 1960’lı yılların başında FBI, “Home Office in the United Kingdom” ve “Paris Police Department” kaynaklarının büyük bir bölümünü otomatik bir parmak izi tanıma sistemi geliştirmek için ayırmaya başlamıştır. Aynı zamanda, otomatikleştirilen sistemler, parmak izi uzmanlarının eğitimini ve yatırımı için gereken harcamanın düşmesini sağlamıştır.

Ülkemizde parmak izlerinin incelenmesi ve biyometrik tanıma olarak kullanılması 1910 yılında Macar asıllı Yusuf Cemil tarafından başlatılmıştır. Daha sonra ise polis teşkilatı tarafından kullanılmıştır (Kakıcı, 2008). Bugün parmak izi tanıma teknolojisi sivil uygulama alanlarının büyük bir çoğunluğunda görülmektedir.

Parmak izi tanımlama sisteminin diğer biyometrik sistemlere göre avantajı vardır. Bunlar arasında parmak izi deseninin diğer karakteristiklere göre daha kolay alınabilmesidir. Parmak izi deseninin değiştirilerek başka bir parmak izine benzetilmesi zordur ancak bu parmak izinden alınan kalıbın kendisi yerine kullanılmasıyla sistem kandırılabilir. Bunun yanı sıra parmağın yıpranması sonucu izler varolan şekillerini kaybedebilir ve hatta düzelmek koşuluyla parmak izi yapısı değişime uğrayabilir. Bu gibi fiziksel değişimlerde eskiye dönmenin imkansız olması sisteme girişi engellemektedir.

2.2.4 Yüz Tanıma

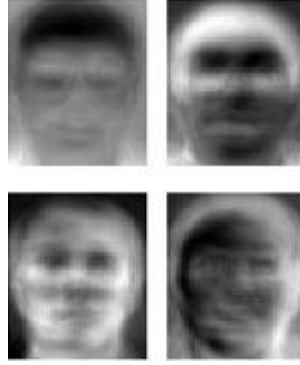
İnsan yüzündeki özelliklerin çıkarımı diğer biyometrik sistemlere göre daha zor olduğundan teknolojisi ve gelişimi daha yakın bir zamanda gerçekleşmeye başlamıştır. Uygulanması diğer yöntemlere göre oldukça zordur. Kişilerin yüzündeki ufak mimiklerden bile tanımanın yanlış sonuçlar verebilme ihtimali vardır. Buna ilaveten yüzsel ifadeler, ortam koşulları, yaşlanma sebebiyle değişimler bu araştırmaya birçok yaklaşım sunmayı gerektirmektedir. Ayrıca

bunların yanında yüzdeki sakal ve tüyler, makyaj ve gözlükler diğer iyileştirmeyi gerektiren sorunlar olarak mevcuttur. Bu sebeple değişimler dikkate alındığında tanıma işlemi için birden çok yaklaşım bulunmaktadır.



Şekil 2.4 Birtakım yüz ifadesi örneği (Shah ve Uddin, 2009)

Değişik özellikleri kullanan değişik yöntemler ortaya çıkmıştır. Bunlardan ilki sayılabilecek yöntem “eigenfaces” Matthew Turk ve Alex Pentland 1987 yılında ortaya atılmıştır.



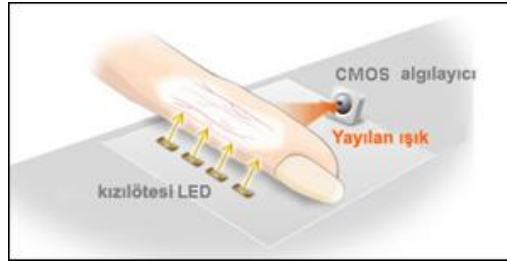
Şekil 2.5 Eigenface yüz ifadeleri (Kakıcı, 2008)

Yüz tanıma yönteminde kişilerden örnek almak diğer yöntemlere göre çok daha zordur. Sıradan bir kamera ile çevreden birçok yüz görüntüsü alınabilir. Ancak burada başka bir sorun ortaya çıkmaktadır. Kamera tarafından alınan görüntüde tamamen yüze ait bölge bulunmalıdır. Bunun için “Face Detection” yani yüz bulma algoritmaları kullanılmaktadır. Yüz bölgesi bulunduktan sonra işlemler burada devam etmektedir (Kakıcı, 2008).

Yüz dokusu, parmak izindeki kadar kolay taklit edilemeyecek özellikleri barındırır. Bundan dolayı taklit edilmesi oldukça zor bir tanıma yöntemidir. Örnek alma işleminin sadece bir kamera ile kolaylıkla yapılabilmesinin yanı sıra yüzde oluşacak bir yara ve hasarın tanımayı olumsuz etkilemesi söz konusudur.

2.2.5 Damar Tanıma

Bu yöntemde el resmi çekildikten sonra damar yapısı ortaya çıkarılır ve tanıma işlemi retina yönteminde olduğu gibi yapılır. Kişiden kişiye hatta aynı kişinin parmakları arasında damarların farklılık göstererek değişmemesinden dolayı biyometrik geçerliliği olan bir yöntemdir. Ayrıca retina yönteminin aksine elden resim örneği alması daha kolay olmaktadır. Buna rağmen fiziksel olarak değişime ve deformasyona açık olan bir bölge olan el üstünde yara v.b. gibi değişimler olduğu zaman tanıma işlemi olumsuz sonuç vermektedir (Kakıcı, 2008). Bu sebeple damar tanıma yönteminde el damarı yerine parmak damarı kullanılmaya başlanmıştır. Parmak damarındaki benzeşme oranının avuç içinden daha düşük olması bu yöntemi damar tanıma yönteminden daha ön plana çıkarmaktadır.



Şekil 2.6 Parmak damarı biyometrik uygulama örneği (Sony, 2009)

2.2.6 El Geometrisi

El Geometrisi, bugün kullanımda olan en temel biyometrik yöntemlerden biridir. Üç boyutlu olarak taranan elin ve parmakların fiziksel karakteristiklerini analiz eden bir yöntemdir. Tarama sırasında parmakların uzunluğu, birleşme noktaları arasındaki uzaklıklar, parmaklardaki eklem yerlerinin geometrisi gibi noktalara dikkat edilir.



Şekil 2.7 Bir el geometrisi örneği (Greenemeier, 2008)

En yaygın metotlardan biri olarak iyi performans sağlamaktadır ve kullanımı göreceli olarak daha kolaydır. Kullanıcı sayısının fazla olmadığı ya da çok fazla kullanıma maruz kalmayacak güvenlik kontrollerinde kullanılır. Bu sebeple yüksek güvenlik isteyen banka kasaları, şirket gizlilerinin tutulduğu kapalı odaların erişiminde ve bir veya birkaç kişinin sisteme erişimi mümkün olan kısımlarda güvenlik sistemi olarak tercih edilir.

2.3 Davranışsal Biyometrikler

Bu sınıflamada bulunan biyometrik özellikler kişinin karakteristik özelliğinin sonucunda varolmuştur. Bireyin yaşam boyunca kazanmış olduğu ve doğuştan gelen bazı yetenekleri kapsar. Bireyin davranışlarını kapsayan biyometrik özelliklerdir. Bunlar:

- İmza
- El Yazısı
- Klavyede tuş basım tarzı
- Ses izi
- Yürüyüş biçimi
- Mimik ve jestler

2.3.1 El Yazısı Tanıma

El yazısı tanıma yönteminde kişilerin el yazısında kullandıkları harflerin biçimleri birbirinden farklılık göstermesinin yanı sıra bu harfleri oluşturma biçimleri de dikkate alınır ve yöntemin başarı oranı artırılır. Harfleri oluşturma sırası, noktaları ve çizgileri çizme sırası da dikkate alınabilecek birtakım özelliklerdendir. Varolan bir yazıdan tanıma yapılırsa birçok özellik kaybolabilir ve taklidi muhtemel bir hale gelir. Bundan dolayı yazı yazılırken yapılan tespit hem daha doğru sonuçlar verir hem de güvenliği artırır (Kakıcı, 2008).

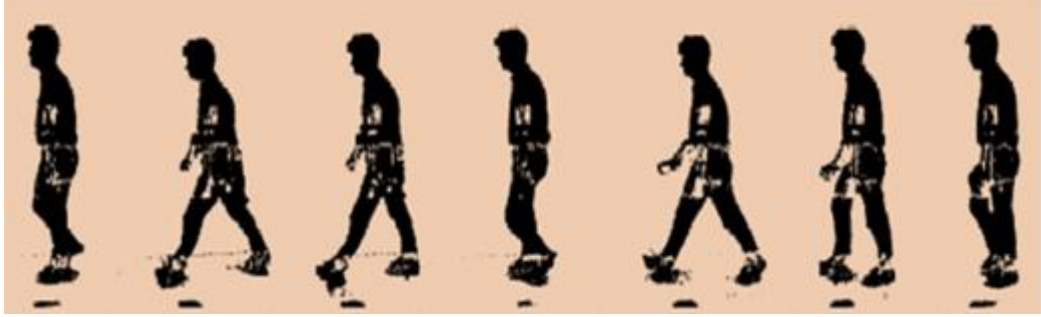
2.3.2 Ses Doğrulama

Günümüzde iletişim ağının genişlemesi ve konuşma işlemi sık kullanılan bir karakteristik olarak düşünüldüğünde oldukça ilginç bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Sistem kişilerin seslerine ait akustik sesleri kaydedip dijital ortama dönüştürür. Kullanıcı ilk olarak sistemin önceden belirlediği birkaç sözcükten oluşan metni okuyarak sesini sisteme tanıtır. Kaydedilen ses spektral analizler kullanılarak dijitalleştirilir. Kullanıcı daha sonra aynı metni kullanarak sisteme girer. Bununla beraber sesin hastalık veya psikolojik durumlardan dolayı

değişmesi, arka plandaki gürültüler ve hem kayıt sırasında hem de sisteme giriş sırasında okunan metinde yanlış sözcük kullanılması gibi dezavantajlar ses tanıma sistemlerini daha kullanışsız ve güvensiz hale getirir. Kullanıcı tanımlama işlemleri diğer biometriklere göre daha karışık olduğu için kullanım açısından çok kabul görmemiştir.

2.3.3 Yürüyüş (Ayak İzi) Biçimi

Yürüyüş temelli tanıma, bir kişinin yürüme tarzını tanımayı belirtir. Bu sistemlerin kullanımı güncel olarak çok sınırlı olmasına rağmen, bu alanda önemli bir araştırma devam etmektedir. Üstelik çalışmalar, yürüyüşün, zamanla değişim gösterdiğini, bununla beraber giysiler, ayakkabı, yürüme zemini ve diğer koşullara bağlı olarak etkilendiğini göstermiştir.



Şekil 2.8 Birtakım ayak izi örnekleri (Shah ve Uddin, 2009)

2.4 Kimyasal Biyometrikler

Kimyasal karakteristikler yeni bir biyometrik doğrulama alanı olarak ortaya çıkmaktadır. Vücudun bağımsız parçalarının kimyasal veya biyolojiksel birleşiminin ölçümünü içerir.

Bunlar:

- DNA
- Kan Şekeri

2.5 Biyometrik Özelliklerin Karşılaştırması

Gereksinim duyulan güvenlik veya doğrulama işlemi için hangi biyometrik karakteristiklerin tercih edilmesi aşağıdaki tablodan öngörülebilmektedir. Tablo çeşitli karakteristiklerin bir takım özelliklere göre birbirlerine olan üstünlükler ve eksiklikler göz önüne alınarak oluşturulmuştur.

Özellik:

E = Evrensellik

B = Benzersizlik

S = Süreklilik

E.E. = Elde Edilebilirlik

B = Başarım

K.E. = Kabul Edilebilirlik

S. A. = Sistemi Atlatabilme

Tablo 2.1 Biyometrik karakteristiklerin karşılaştırması (Maltoni vd., 2009)

<u>Biyometrik Karakteristik</u>	E	B	S	E.E.	B	K.E.	S. A.
İris	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek	Düşük	Düşük
Retina	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük
Parmak izi	Orta	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek	Orta	Orta
Yüz özellikleri	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek
El geometrisi	Orta	Orta	Orta	Yüksek	Orta	Orta	Orta
Avuç içi izi	Orta	Orta	Orta	Yüksek	Orta	Orta	Orta
El ve bilek damarları	Orta	Orta	Orta	Orta	Orta	Orta	Düşük
İmza	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek
Tuşa basım	Düşük	Düşük	Düşük	Orta	Düşük	Orta	Orta
Ses izi	Orta	Düşük	Düşük	Orta	Düşük	Yüksek	Yüksek
Yürüyüş biçimi	Orta	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Orta
DNA	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük

2.6 Biyometrinin Uygulamanın Alanları

21. yüzyılda biyometrik sistemlerin kullanımının yükselerek artmaya başladığı görülmektedir. Günlük işlemlerde kişi kaydı ya da doğrulama yapılan ve veri erişimi için kullanılan biyometrik sistemlerin, günlük yaşamımızdaki bu geniş uygulama alanı ile maliyetleri gün geçtikçe daha da düşmekte ve teknolojisi buna bağlı olarak muazzam bir hızla ilerlemektedir. Yakın gelecekte biyometrik kimlikler bizleri yanımızda taşıdığımız kimliklerden, şifrelerden, kartlardan tamamen kurtaracak ve günlük hayattaki birçok işlem bu yöntemlerle yapılabilecektir.

Biyometriklerin günümüzde en basit kullanım alanlarına ATM, cep telefonları, diz üstü bilgisayarlar, ofis girişleri, arabalar ve birçok diğer güvenlik içeren mekan ve araç gereçlere yetkisiz erişimi engellemek için kullanılması örnek olarak verilebilmektedir. Biyometrikler güvenlik sistemlerini daha önce olmadığı kadar etkili ve ucuz bir hale getirmektedir. Gelecekte ne bir ezberlenmesi gereken parolaya ne beraberinde taşınacak bir anahtara ne de kişiliği doğrulamak için belgeye ihtiyaç duyulacaktır. Sadece kişinin fiziksel ve davranışsal karakteristikleri onun kim olduğunu doğrulayacak ve bilgilerine erişimi gerçekleştirecektir.

Uygulama Alanları:

- Bankacılık kullanıcı tanımlama
- Çalışma ortamlarında personel takibi
- Hastanelerde hasta ve eğitim kurumlarında öğrenci takibi
- Havaalanlarındaki giriş ve çıkış canlı pasaport işlemleri
- Kredi kartı uygulamaları
- Günlük hayattaki ev, araç ve birçok elektronik aletin kontrolü ve güvenliğinde
- İnternet ortamındaki kişi güvenliğinde
- Evlere, ofislere ve binalara erişimde
- İnternet sanal mağazacılık alışveriş işlemleri gerçekleştirmelerinde
- Askeri kaynakların ve güvenlik güçlerinin etkin takibinde
- Kamu hizmetlerine yönelik kayıt takibi (SSK, vergi, trafik)
- Suç dosyalarında zanlı tespitinde
- Suçlu ve terörist kayıtları arşivlemelerinde
- Ulusal kimlik tanımlamaları ve sürücü belgeleri uygulamalarında

3. PARMAK İZİ TANIMA

Daha önceki konu başlıklarında tanımlandığı üzere parmak izinin, birbirinden bağımsız her bireyin kendine ait fiziksel karakteristiği olduğu belirtilmiştir. Böylece her bir desen kendine ait tanımlayıcı parametrelere sahiptir. Bu sebeptendir ki uzun bir süre boyunca parmak izleri araştırma ve gözlem konusu olmuştur. Bir parmağa ait parmak izi deseni aşağıdaki Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



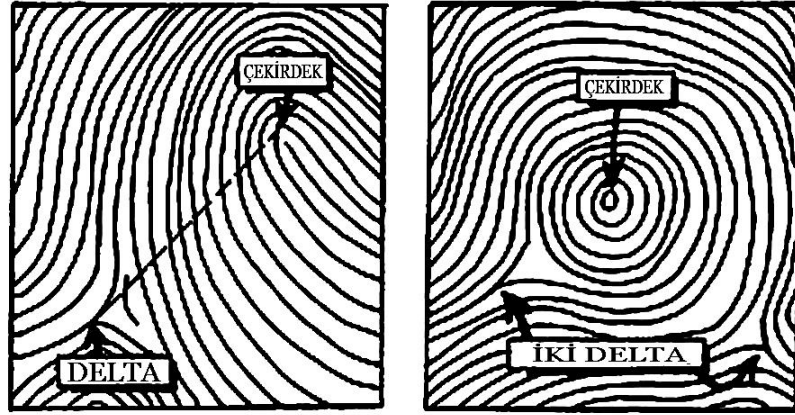
Şekil 3.1 Okuyucudan alınmış parmak izi deseni örneği (FVC, 2004)

3.1 Parmak İzi Yapısı

Bir parmak izi yapısına bakıldığında genelde çizgiler görülmektedir. Bu yapı, sırtlar (çizgiler) ve vadilerin (aralıkların) bir sırasından oluşmaktadır. Parmak izi deseni çizgi ve aralıklardan oluşmuş gibi görünse de aslında yüksek ve alçak parçaları tanımlamaktadır. Çıkıntılar çizgi olarak gözükenken çıkıntılar arasındaki alçak kısımlar vadi yani boşluk olarak gözükmektedir (Maltoni vd., 2009). Bu çizgilerin oluşmasının sebebi, derinin büzülme yeteneğinden ileri gelmektedir. Parmak izi deseninin bu şekilde bir hale gelmesinde kalıtsal özellikler ve çevrenin de etkisi söz konusudur. DNA biçim talimatını verir fakat çevredeki oluşumların etkisiyle esas son şeklini alır. Anne rahminde cenin halindeyken amniyotik sıvının kuşatımı ve yoğunluğu, parmak izi desenindeki her çizginin bağımsız oluşumunu başlatır. Bu sebeptendir ki her bireyin parmak izinin farklı olmasının bir özelliği buna dayanmaktadır. Aynı zamanda tek yumurta ikizlerinde bile neden parmak izlerinin farklı olduğu bunu kanıtlayan bir özelliktir. Kesik veya yanma sonucu oluşan etkiler, çizgilerin temelini oluşturan esas yapıya zarar vermeyerek tekrar yerine oluşan yeni deride aynı desen özelliği taşır. Bu

sebeplerdir ki her bireyin parmak izinin farklı olmasının bir özelliği buna dayanmaktadır. Aynı zamanda tek yumurta ikizlerinde bile neden parmak izlerinin farklı olduğu bunu kanıtlayan bir özelliktir.

Çizgiler ve aralıklar genelde birbirlerine paralel konumda olurlar. Bu desenler genel ve yerel analiz yöntemleri ile çözümlenmektedir. Parmak izi genel anlamda, yerel anlamda gibi farklı düzeylerden incelenebilir. Genel anlamda, çekirdek (core) ve delta (delta) noktaları olarak adlandırılan tekil noktalar şekildeki gibi görülür (Ratha ve Bolle, 2004). Bu tekil noktalar parmak izi sınıflandırmasında çok önemlidir fakat doğru eşleştirme için yeterli değildir.

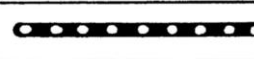








Şekil 3.2 Çekirdek ve delta noktaları (Ratha ve Bolle, 2004)

Şekil 3.2' de döngü ve halka iki parmak izi deseni çizimlerinde çekirdek ve delta noktaları işaretlenmiştir. Döngü bir deltaya, halka iki deltaya sahiptir. Soldaki döngü deseninde deltadan çekirdeğe aralıklanan çizgi sayısı 12' dir. Sağdaki halka deseninde soldan sağa delta çizgi hattı, içerden hat olarak belirtilir. Bunun anlamı sol deltadan çıkan bir çizgiyi izlediğimizde çizgi öteki deltanın içinden geçiyor olmasıdır.

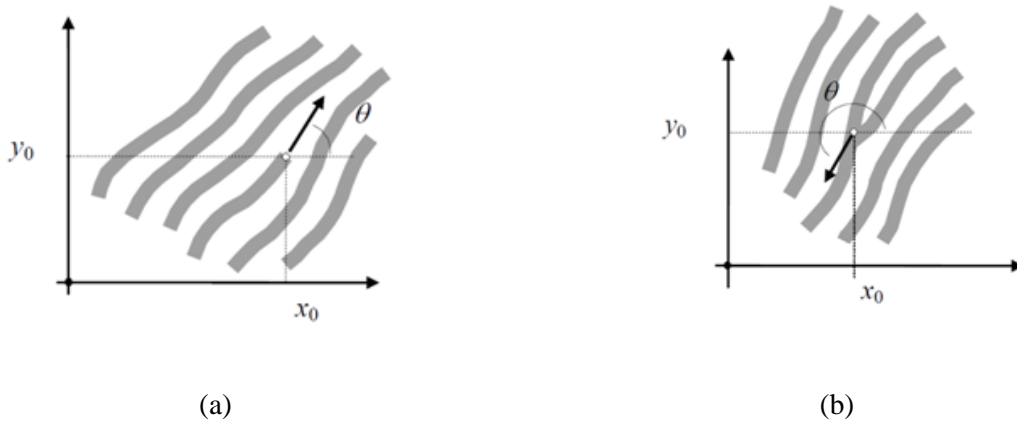
Genel düzeyde, parmak izi şekli çizgi hatlarının belirgin yola sahip olduğu bir veya daha fazla bölgeden oluşur. Bu düzey, parmak izlerinin genel bir sınıflandırması için izin verirken, yerel düzeyde şekli analiz etmek, ayrıntının önemli bir miktarını sağlar. Bu ayrıntılar, ayrıntı noktaları olarak bilinen çizgilerin devamsız olduğu kısımların gözlemiyle elde edilir (Shah ve Uddin, 2009).

En sık karşılaşılan ayrıntı noktaları aşağıdaki Şekil 3.3' te belirtilmiştir.

Çizgi bitimi	
Çatal	
Bağımsız Çizgi	
Nokta veya ada	
Göl	
Çıkıntı	
Köprü	

Şekil 3.3 Parmak izi çizgi tipleri (Shah ve Uddin, 2009)

Normalde bir çizgi, bitiş olarak adlandırılan sona gelebilir ya da çatal olarak adlandırılan iki çizgiye de ayrılabilir. Ayrıntıların diğer tipleri, bitimler ve çatalların daha az karışık türevleridir. Örneğin, bağımsız bir çizgi yakın bir mesafenin içinde iki ayrı sona yer verirken, bir göl ters yöndeki iki çatalın birleşimidir. Eni boyuna neredeyse eşit olan çizgiler nokta olarak adlandırılır. Noktalardan daha uzun olan ve değişken boyutlu çizgiler de var olup bunlar ada olarak adlandırılır. Bir çizginin çatallaşıp kısa bir mesafe sonra tekrar birleşmesi sonucunda oluşan kapalı yapıya göl adı verilir. Paralel giden iki çizgiyi birleştiren kısa çizgilere de köprü adı verilir. Bitiş noktaları ve çatalların, çizgi ve boşluklar olarak ifadeleri aşağıdaki Şekil 3.4' te daha detaylı gösterilmiştir.

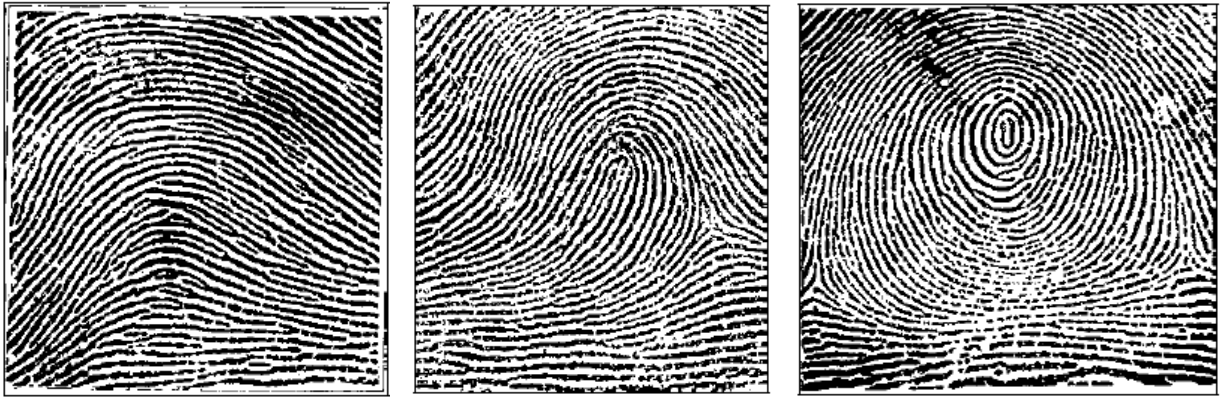


Şekil 3.4 Çizgi özellikleri a) Bitim noktası, b) Çatal noktası (Maltoni vd., 2009)

3.2 Sınıflandırma ve Desen Tipleri

Günümüzde kullanılan parmak izi tanıma yöntemi sistemlerinin temeli Henry Faulds ve Wiliam James Herschel adında iki İngiliz bilim adamının çalışmalarıyla başlamıştır. Sir Francis Galton (1822-1911) istatistik üzerine yaptığı çalışmalar sonucunda iki bağımsız değişken arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve kuvvetini belirten korelasyon yöntemini ileri sürmüştü ve bu sayede iki desen arasında karşılaştırma yapacak bir yöntem elde etmiştir. Galton' un çalışmalarını takiben Dr. Henry Faulds (1843-1930) parmak izinin sınıflandırılmasına tam olarak açıklık getirmiştir. Son zamanlarda Henry Sınıflama Sistemi' nin yerini almaya başlayan çizgi akış sınıflama yaklaşımı kullanılmaya başlanmıştır. Bu yeni sınıflama metodu, çizgi ve delta noktaları, noktalar, ayrıntı konumları ve desen tipleri arasındaki mesafe için kullanılır. Günümüzde farklı sınıflandırmalar olsa bile Galton ve Henry' nin yaptığı çalışmaların ürünü olan sınıflandırma sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Parmak izleri Şekil 3.5' te görüldüğü üzere yay (arch), döngü (loop) ve halka (whorl) olarak üç ana gruba ayrılır. Döngüler en çok karşılaşılan parmak izi tipleridir. Diğer alt sınıf parmak izi tipleri bu sınıfların çeşitlenmesinden oluşmuştur. Bir sonraki konu başlığında çeşitli parmak izi desenleri hakkında bilgiler verilecektir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 3.5 Desen tipleri a) Yay, b) Döngü, c) Halka (Henry, 1900)

3.2.1 Döngüler

Döngüler, karşılaşılan desenlerin büyük aralığını oluşturmaktadır. Bir döngü deseninde, çizgilerin bir veya birçoğu izin her iki yanından girip, tekrar bükülmeye başlamaktadır.



Şekil 3.6 Döngü deseni (Henry, 1900)

Döngüler sadece bir adet delta ve çekirdekten oluşmaları ile sınıflandırılmayıp ayrıca çizgi hesabı olarak da değerlendirilir. Kolda bulunan “radius” ve “ulna” olarak iki kemiğe benzemesi ile adlandırılan, “radyal” ve “ulnar” olarak iki döngü çeşiti bulunmaktadır (Henry, 1900). Radyal olan baş parmak ile ulnar olan ise küçük parmakla aynı kısımda bulunarak elde birleşir.

3.2.2 Radyal Döngüler

Ulnar ve radyal döngüler arasındaki ayrım hangi eldeki döngüden bakıldığına bağlıdır. Sol el ekrana küçük parmak sola gelecek şekilde tutulduğunda bu şekilde küçük parmaktan meydana gelen ve ulnar kemiğine benzeyen desen, döngüyü ulnar döngüsü yapar.



Şekil 3.7 Radyal döngü deseni (Henry, 1900)

Eğer bir önceki işlemler sağ el için yapılırsa aynı görüntü baş parmak tarafından oluşturulur. Bundan dolayı radyal kemiğine benzeyecek olan şekil, döngüyü radyal döngü olarak meydana getirir.

Açıkça görülüyor ki, bu iki çeşit döngünün ayrımını yapabilmek için hangi el olduğunu bilmek gerekir. Sağ eldeki ulnar döngüsü, sol elde bulunuyorsa radyal döngü olacaktır. Radyal döngüler çok sık gözükten tip değildirler. Çoğu zaman bir kişide radyal döngü bulunduğu, genellikle işaret parmağında olmaktadır.

3.2.3 Halkalar

Bir halkada, çizgilerin bir kısmı en az bir tam dönüş yapmaktadır. İki veya daha fazla delta içeren herhangi bir parmak izi deseni bir halkayı oluşturacaktır. Sınıflandırma planına uygun olarak varsayımda bulunulduğunda, desen delta içermiyorsa bir yay, sadece bir tane delta içeriyorsa bir döngü ve eğer iki veya daha fazla delta içeriyorsa her zaman bir halka olacaktır. Şayet desen ikiden fazla delta içeriyorsa her zaman tesadüfi bir halka olacaktır (Henry, 1900). Şekil 3.8’ de birtakım halka deseni tipi gösterilmiştir.



(a)

(b)

(c)

(d)

Şekil 3.8 Halka tipleri a) Düz, b) Merkezi cep, c) Çift döngü d) Tesadüfi (Henry, 1900)

3.2.4 Düz Halkalar

Önceden de belirtildiği üzere, bir halka birden fazla delta içermelidir ki aksi takdirde bir döngü olacaktır. Şekil 3.9’ a bakıldığında sağ ve sol kısımlarda belirtilmiş iki deltanın var olduğu görülecektir. Düz halka tanım olarak, desenin iç tarafındaki alanı kesen veya dokunan en az bir tane geriye doğru bükümlü çizgi arasındaki iki delta ile tam bir döngü yapmaya çalışan bir veya daha çok çizgi içeren halka yapısıdır (Henry, 1900).

Şekil 3.9' da iki deltaya sahip bir halka deseni gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Halka deseni (Henry, 1900)

3.2.5 Merkezi Cep Halkalar

Bir merkezi cep halka en az bir tane geriye büküm yapan çizgiden oluşur. Şekil 3.10' daki desen alanlarına bakıldığında, geçerli çizgiler merkeze yakın bir çember oluşturarak Şekil 3.10 (a) ve (b) şekillerinde olduğu gibi iki veya üç tanedir.



(a)



(b)

Şekil 3.10 Halka tipleri a) Merkezi cep halka b) Çift döngü halka (Henry, 1900)

Desen tipini belirlemek için, izde oluşan iki delta arasına bir çizgi çekilmelidir. İki delta arasına çizilen bir çizginin, diğer var olan çizgilere göre durumu şeklin desenini belirlemeye yardımcı olacaktır (Henry, 1900). (a) şekline bakıldığında çizginin alan içerisindeki hiçbir çizgiyi karşılıklı kesmeyeceği görülecektir. Fakat (b) şekline bakıldığında çizgi karşılıklı olarak kesecektir. (b) şeklindeki desen, çizgi çekildiğinde desen alanını kestiğinden düz halka gibi gelebilir fakat dikkat edilirse bu alanda iki çekirdek vardır. Böylece bu iki çekirdek alanı sebebiyle desen, çift döngü halka olacaktır.

3.2.6 Çift Döngü Halkalar

Bir çift döngü halka, ayrıık iki omuz ve iki delta ile iki adet ayrıık döngü biçimini içerir. Bu desenin yapısını incelediğimizde, her bir çekirdekte ayrıık omuzlar bulunmalıdır.



Şekil 3.11 Çift döngü halka deseni (Henry, 1900)

Şekil 3.11' e bakıldığında halkaların içinde iki ayrı döngü bulunmaktadır. Genellikle, bu desen bir çift döngü halka olarak adlandırılır. Her bir “çekirdeğin” omzu ayrı çizgileri içermelidir.

3.2.7 Yaylar

Yaylar sayılan parmak izi desenlerinin çok az bir kısmını oluştururlar. Bir yay deseninde, çizgiler desenin bir kısmından öteki kısmına giderek geriye dönüş yapmazlar. Genellikle delta yoktur fakat bir delta varsa, çekirdek ve delta noktaları arasında bükümlü çizgi olmamalıdır.

Yaylar düz ve sivrilen tip olarak iki çeşittir. Yaylar deltasız olarak tanımlanırlar.



(a)



(b)

Şekil 3.12 Yay tipleri, a) Düz yay, b) Sivrilen yay (Henry, 1900)

Şekil 3.12' deki desenler karşılaştırıldığında, düz yay sıradan akış çizgileri gösterirken, sivrilen yay tam tersine düz yaydaki gibi aynı akış çizgi hattına sahip değildir.

Henry parmak izi sistemi altındaki geçerli sınıflandırmada, yaylar dört alt gruba ayrılır:

- Düz Yay
- Radyal Yay
- Ulnar Yay
- Sivrilen Yay

Sivrilen yay deseninde çizgiler ortanın yakınlarında bir eksenin her iki tarafından yukarı doğru yükselerek bir noktada birleşir. Böylece bir noktada birleşen çizgiler bir çadır görüntüsü verir. Çizgileri, hemen hemen dikey olan sivrilen yaylar ve döngüler arasında ayırım yapmak için, eğer eksenin her iki kenarında düzenli olan çizgi, geriye doğru eğim yaparsa, bir döngü olarak sınıflandırılır. Şayet çizgiler yelpaze olarak açılım yapıyorsa o zaman sivrilen yay olarak adlandırılır. Bir desen, hiçbir ekseni olmadığı halde sivrilen gibi görünüşe sahipse, sivrilen yay olarak sınıflandırılmalıdır (Henry, 1900).

3.2.8 Bileşikler

Bileşikler aynı izde bulunan halka, döngü ve sivrilen yay oluşumlu, ayrıca çizgilerin çoğunluğu döngü olan desenler ve birkaç çizginin merkezde ya da taraflarda olmasıyla olan halka desenleri bileşiminden oluşur.



Şekil 3.13 Bileşik desen (Henry, 1900)

- Merkezi Cep Döngü
- Çift Döngü
- Yanal Cep ve Çift Döngü



(a)



(b)

Şekil 3.14 Döngü desen çeşitleri a) Yanal cep desen, b) Çift döngü desen (Henry, 1900)

3.2.9 Tesadüfler

Bu kısım çok küçük sayıda desenin düzensiz halinden, merkezi cep döngüleri ve çift döngüler ile gruplama yapılması işlemine tabii tutulmasıdır. Bu sınıflama üstelik, herhangi bir geleneksel tipe uymayan herhangi bir olağandışı desen veya tesadüfi biçimi kapsar.



Şekil 3.15 Tesadüfi desen örneği (Henry, 1900)

4. PARMAK İZİ TANIMA TEORİSİ

Parmak izi yapısının çizgi ve boşluklardan oluştuğu yukarıdaki konu başlıklarında anlatılmıştı. Önceki konularda da belirtildiği gibi birtakım özel şekiller bu çizgi ve boşlukların farklılaşması ile oluşmaktadır. Genel olarak bu şekiller özellik noktası (minutiae) olarak adlandırılıp, normalde bir sensör tarafından okunan parmak izi kesiti ortalama otuz ile kırk arasında özellik noktası içermektedir. Kimlik doğrulama işlemlerinde gerekli olan bu özellik noktalarının alanıdır. Avrupa mahkemelerinde bir parmak izinin geçerliliği için en az on iki özellik noktası içermesine karar verilmiştir. Bu özellik noktası sayısı “12 nokta kuralı” na bağlıdır. Bu kural istatistiksel hesaplamaya temel olmayıp, on milyonların olduğu bir popülasyonda herhangi iki kişinin benzer on iki ve daha fazla özellik noktasının olamayacağını varsayımıdır. Çoğu ticari olarak satılan parmak izi tarayıcılarının karşılaştırması sekiz özellik noktasının bulunmasına bağlı karşılaştırma yapar. Üreticiler sekiz noktaya bağlı yanlış kabul oranının milyonda bir olacağını savunmaktadır.

Parmak izi tanıma işlemi korelasyon yöntemiyle yapıldığı gibi daha önce belirtilen özel noktaların yer ve sırasına göre de yapılabilir. Korelasyon işleminin doğru sonuç verebilmesi yön bilgisine de bağlı olduğundan örnek alınırken buna dikkat edilmelidir.

Parmak izinden gerekli özellikleri çıkarmak için belli başlı görüntü işleme teknikleri uygulanmaktadır.

- Resim ön işleme teknikleri uygulanarak, Median, Mean ve Gaussian gibi belirli filtreler kullanılarak resmi gürültüden arındırma
- Sobel, gradient ve prewitt gibi filtreler yardımı ile kenar algılama
- Kenar belirleme sonrası çizgi inceltimi ve özelliklerin çıkarılması
- Görüntüye son işleme tekniklerin uygulanması
- Gürültülerden arındırılması
- Görüntünün karşılaştırılması

4.1 Parmak İzi Okuma Teknolojileri

Parmak izlerini okumak için teknolojiler, günümüze kadar sürekli gelişim halinde bulunmuştur. Yüz yıldan fazla bir süredir, suç mahallinden veya başka bir kesimden alınan parmak izi kopyalarının ayrıntı çıkartımı ile oluşan geleneksel bir yöntem uygulanmaktadır.

Bu çıkartılan ayrıntılar daha sonrasında da kullanılabilir özel bir mürekkep ile veya veritabanı kullanılarak karşılaştırmada kullanılır. Bu metod, parmak izi okuyucusuna kayıt yapmayan birinin bilgilerini almanın ilk adımıdır. Sonrasında ise bu yöntem güvenlik gereksinimi duyan önemli sistemlere erişimi sağlama amacıyla ticari olarak geliştirilmiştir.

İlk ortaya çıkan parmak izi tarayıcılar günümüze yaklaşık on beş yıllık bir süre ile seksenli yılların ortasında belirmiştir. Sonrasında geçen birkaç yılda ticarileştirme adına çok fazla gelişim göstermiştir. İlk nesil tarayıcılar optik teknikleri kullanırken, günümüzdeki sensörler birden çok teknolojiyle uyumlu çalışmaktadır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve geliştirilen teknikler (Maltoni vd., 2009):

- CCD veya CMOS kameralı optik sensörler
- Ultrasonik sensörler
- Katı hal elektrik alan sensörler
- Katı hal kapasitif sensörler
- Katı hal sıcaklık sensörler

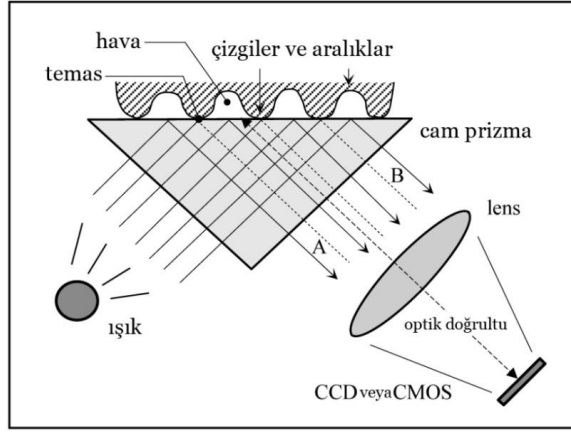
Katı hal sensörler çok küçük olduklarından herhangi bir cihaza kolayca uygulanabilirler. Genel olarak bu sensörler ne uzunluğuna, ne genişliğine ne de kalınlığına bağlı kalmaksızın bir kredi kartı boyutunda plastik kartlara uygulanabilmektedir. Bu sebeple katı hal sensörleri, ölçüleri bakımından dizüstü bilgisayarlar, cep telefonları, akıllı kartlar ve bunun gibi teknolojilere kazanç sağlayarak kullanılmaları geniş bir çevreye yayılacaktır.

4.1.1 Optik Sensörler

Optik sensörler, sıcaklık koşullarından etkilenmemeleri, düşük maliyetli oluşları, 500 nokta çözünürlükte daha iyi resim kalitesi elde edinimi ve daha fazla hassas alan tarayabilmesi gibi birçok özelliğe sahip olan bir sistemdir. Bunların yanı sıra ölçüleri ve parmakların tam belirgin olmaması gibi sorunları da vardır. Kesikler, aşınmalar, nasırlar ve diğer yaralanmalar ile kir, yağ ve diğer pislikler optik tarayıcılar için sorunlar doğurur.

Şekilde gözüken gibi bir Toplam İç Yansımaya (TIY) tabanlı optik sensöre parmak koyulduğunda çizgiler prizma yüzeyi ile temas edip, boşluklar belli bir mesafede kalır. Prizmanın bir kısmı ışık kaynağı (LED veya düzlemsel ışık) ile aydınlatılır. Işık boşluklarda yansır ve çizgilerde gelişigüzel soğurur. Çizgiler sebebiyle oluşan yansımaya eksikliği,

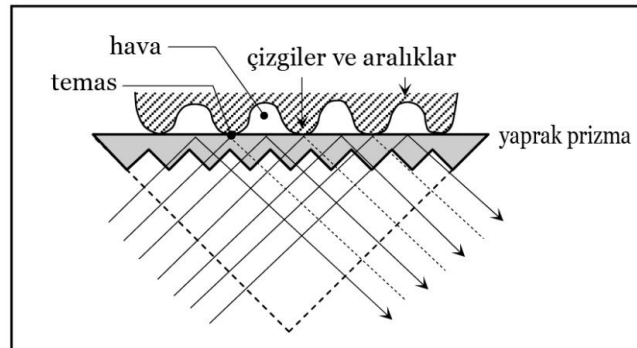
parmak izi görüntüsü oluşumunu mümkün kılar. Daha önceki zamanlarda TİY sensörler, CCD kameralar ile parmak izi alımında kullanılıyordu. Bugün, TİY sensörler kabul edilebilir boyutları ve maliyeti düşük olan CMOS teknolojisi yardımıyla yapılmaktadır. TİY cihazlarını üç-boyutlu yüzey hassasiyetinden dolayı bir resim veya parmak izi görüntüsüyle kandırmak oldukça güçtür. Bu sebeple klavye ve farelerde kullanılmasına rağmen PDA veya cep telefonlarına gömülü yeteri kadar küçük bir TİY cihazı yapmak oldukça zordur.



Şekil 4.1 TİY tabanlı parmak izi sensörü (Maltoni vd., 2009)

4.1.1.1 Levha Prizma ile TİY

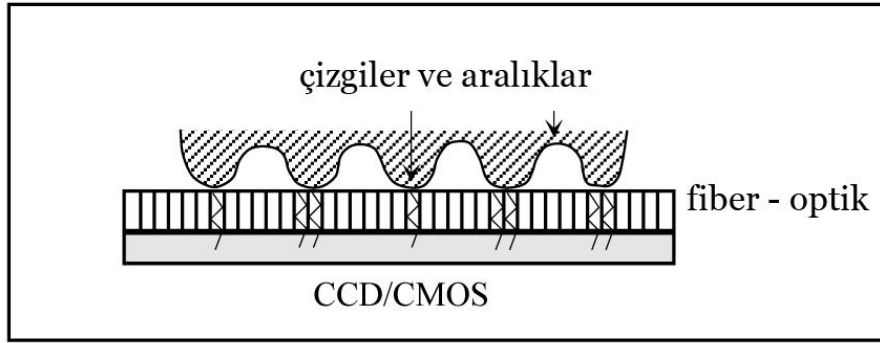
Bu tip optik sensörde, tek parça geniş bir prizma yerine birbirine bitişik komşu açılı çıkıntılıların sayısından yapılan bir levha prizma kullanılır. Boyutun azalmasından faydalanılmasına rağmen görüntü kalitesi geleneksel bir TİY tekniği kullanan cam prizmadan düşüktür. Şekil 4.2' de bir levha prizma ile TİY tabanlı parmak izi sensörü yapısı verilmiştir.



Şekil 4.2 Levha prizma ile TİY tabanlı parmak izi sensörü (Maltoni vd., 2009)

4.1.1.2 Optik Fiberler

Bu teknikte prizma ve lens yerine fiber optik tabaka kullanılmaktadır. Parmak doğrudan bu tabakanın üstüne temas ettirilir ve tabakanın alt kısmı cam fiberlerden ışığı alan CCD veya CMOS kamera ile doğrudan bağlanmıştır. CCD/CMOS doğrudan tabaka ile temasta bulunduğundan boyutları tüm hassas alanı kapsayacak şekilde olmalıdır. Bu teknik ile geniş alan sensör üretim maliyeti oldukça artacaktır.



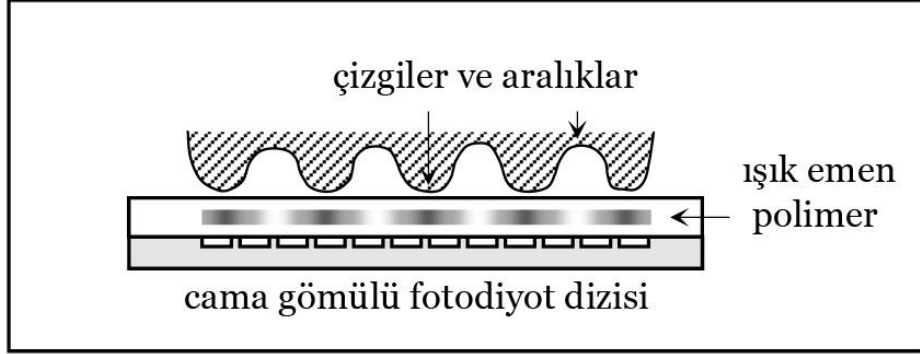
Şekil 4.3 Fiber optik parmak izi sensörü (Maltoni vd., 2009)

4.1.1.3 Elektro-optik

Katı hal sensörleri pul kadar boyutlarda ölçülere sahiptir. Parmak izindeki çizgi ve boşluklardan oluşan bu alandaki elektriksel çeşitlilikleri ölçebilen bir dizi piksel ile elektrik alanı oluşturulur. Üreticiye göre bu çeşitlilikler, deri yüzeyinin altı veya epidermiste, alt tabakadaki iletken tabakada tespit edilmiştir.

Bu tip sensörler, iki katman içerir. Bunlar ışık emen polimer ve bir fotodiyot sırasındadır. Uygun bir voltaj ile polimer kutuplaştığında, tek taraftan uygulanan potansiyele bağlı ışığı emer. Çizgiler yüzeye dokunduğunda, boşluklar ise dokunmadığında, potansiyel ve ışık toplamı farklı olacaktır. Fotodiyot sıra ışığı alıp sayısal parmak izini üretecektir. Bazı ticari sensörler fotodiyot sıra yerine sıradan bir CMOS ve lens ile beraber ışık-emen polimer kullanmaktadır. Elektro-optik kullanılarak oluşturulan görüntüler TİY görüntülerin kalitesiyle henüz karşılaştırılabilecek durumda değildir (Maltoni vd., 2009).

Şekil 4.4 bir elektro-optik parmak izi sensörü yapısındaki bileşenleri ve fotodiyot dizisini göstermektedir.



Şekil 4.4 Elektro-optik parmak izi sensörü (Maltoni vd., 2009)

4.1.2 Doğrudan Okuma

Bu çeşit optik sensörler dokunmatik olmayan sensör tipinde olduklarından pek yaygın değildir. Parmak bir tabakaya basılmak yerine, optik algılamanın 5 – 8 cm uzağında delik bir alana tutulur. Bu teknik daha hijyeniktir ve sensör yüzeyini temizlemek için zamandan kazanım sağlar. Fakat tam bir odaklama yapmak ve yüksek kontrast görüntü oluşturmak oldukça zordur.

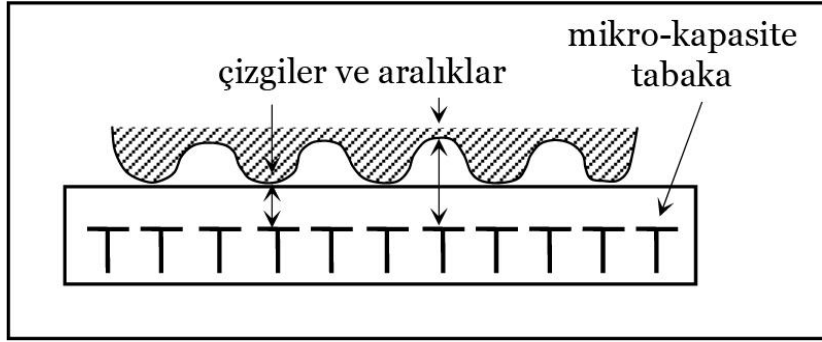
4.1.3 Katı-Hal Sensörler

Katı-hal sensörler (silikon sensörler olarak bilinir), boyut ve maliyet gibi sorunların üstesinden gelebilmek için meydana getirilmiştir. Buna rağmen yüksek doğruluklu cihaz oluşturmak, geniş bir etki yüzeyine gereksinim duymak ve maliyetin yükselmesi bu sensörleri optik sensörlerden farklı kılmayacaktır. Tüm silikon sensörler her bir pikselin ufak bir sensör olduğu bir piksel sırası içerir. Bu fiziksel bilgiyi elektriksel işaretlere çeviren dört çeşit silikon algılama tekniği vardır: kapasitif, termal, elektrik alanlı ve piezoelektrik.

4.1.4 Kapasitif Sensörler

Kapasitif sensörler elektrik alan sensörlerindeki gibi pul kadar büyüklüğe sahiptir. Parmak sensöre dokunduğunda bir dizi piksel parmak izindeki çizgi ve boşluklar arasındaki kapasite çeşitlenmesini ölçer. Bu metod hava-sensör ve deri-sensöre temas eden kapasitif değerlerin arasında fark olmasıyla mümkündür.

Bir kapasitif sensör, bir çipe gömülü iki-boyutlu mikro kapasitör dizisi içerir. Parmak derisi her bir mikro kapasitör tabakanın diğer tarafında çalışır. Bu yolla, çizgiden sensöre ve boşluktan sensöre değişen uzaklıklara bağlı olarak elektriksel yükteki çeşitlilikler meydana gelir. Bu küçük kapasite farklılıklar parmak izi görüntüsünün oluşumu için kullanılır.



Şekil 4.5 Kapasitif parmak izi sensörü (Maltoni vd., 2009)

Günümüzde geniş bir alanda kullanılmasına rağmen, kapasitif sensörler birtakım dezavantajlara sahiptir (Maltoni vd., 2009). Bunlar:

- **Küçük sensör alanı:** Küçük bir şekil tarama alanının, bir bireyi yeteri kadar doğru olarak tanımayaya yeterli olup olmadığı tartışılabilir. Sensör boyutunda azalma üstelik daha dikkatli şekilde kayıt almayı gerektirir. Zayıf bir kaydetme, parmak izinin merkezini yakalayamaz, bu sebeple aynı yolda yanlış yerleştirilecek parmakların doğrulamasını güçleştireceği açıktır. Etki alanı artırılabilir, lakin büyüme oranında maliyet artımı da olacaktır.
- **Elektrostatik boşalma:** Parmaktan elektrostatik boşalma elektrik alanı oluşumuna etki ederek cihaza birçok hasar verecektir.
- **Kimyasal aşınım:** Silikon çip sodyum gibi parmak izi terinde bulunan kimyasal maddelerden korunmalıdır. Fazla kalın bir kaplamayla yüzeyi korumak, pikseller ve parmak arasında mesafeyi çok fazla artıracak ve çizgi ile boşluğun ayrımını daha zor yapacaktır. Bu yüzden, kaplama olabildiğince ince veya mekanik aşınmaya dirençli olmalıdır.

4.1.5 Termal Sensörler

Termal sensörler geçerli sıcaklık farklılıklarına dayanan piro-elektrik maddeden yapılmıştır. Deri (çizgiler) ve hava (boşluklar) arasındaki sıcaklık farkı parmak izi görüntüsü oluşumu için kullanılır. Termal sensörler ne elektrostatik boşalma yapacak kadar hassastırlar ne de yüzey inceliği sorununa yol açarlar (Maltoni vd., 2009).

Parmak izi sıcaklığını ölçen sensörler bir parmağın boyutundan daha ufak olabilir. Genişliği veya yüksekliği bir parmak boyutunu aşmasının yanı sıra diğer boyut sensör üzerine sürülecek olan parmak kısmından ufaktır. Sensör, derinin (çizgiler) sıcaklığı ve havanın (boşluklar) sıcaklığı arasındaki sıcaklık ayrımını yapabilecek bir dizi sıcaklık ölçüm pikseli içerir.

4.1.6 Elektrik Alan Sensörler

Optik ve kapasitif sensörlerde soruna yol açan derinin kuruluğu, pislikler, kesikler ve diğer durumlar elektrik alan sensörlerinde duruma etki etmez. Bu sensörler deriye girerek hasarlı yüzey katmanının altından parmak izi görüntüsü oluşturur. Zarar gören derinin dış tabakası ile saf derinin arasındaki sınır iletken tabakada elektrik alanın değişimleri ölçülür.

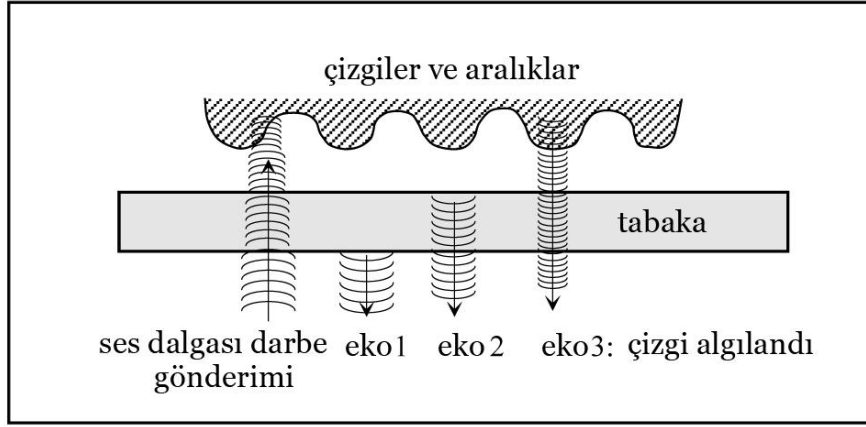
4.1.7 Piezoelektrik (Basınç) Sensörler

Sensör yüzeyi, iletken olmayan dielektrik malzemedendir yapılmıştır. Parmakla basınç uygulandığında, uygulanan basıncın geçerli bir toplamı, işleme tutulur. Bu piezoelektrik etki olarak adlandırılır. Çizgiler ve boşluklardaki basınç farklılıkları geçerli bir basınç toplamını oluşturur. Bu tekniğin dezavantajlarından birisi, kullanılan malzemenin çizgi ve boşlukları ayırt edecek kadar hassas olmamasıdır. Bununla beraber koruyucu katman, çıkan görüntüleri bulanıklaştırmaktadır.

4.1.8 Ultrasonik Sensörler

Ultrasonik teknikler, deri (parmak izindeki çizgiler) ve hava (parmak izindeki boşluklar) arasındaki akustik empedansın keşfedilmesiyle bulunmuştur. Bu sistemde kullanılan sensörler yeni olmamakla beraber medikal alanında “eko” yapımında geliştirilen teknolojidir. Frekans aralığı 20 KHz’ den başlayıp birçok GigaHertz’ e kadar çıkmaktadır. Yüksek frekanslara, her bir inçte 500 nokta (dpi) çözünürlüğü sağlayacak sensör yapımında çıkılır. Üst frekanslara parmak izlerini ayırabilmeye gereken kararlılığı almak için ihtiyaç duyulur (Maltoni vd., 2009).

Şekil 4.6' da bir ultrasonik parmak izi sensörü çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 4.6 Ultrasonik parmak izi sensörü (Maltoni vd., 2009)

Bir ultrasonik sensörde, bir verici parmağa akustik sinyaller gönderip, alıcı ise parmak yüzeyinden gelen eko sinyallerini belirler. Ultrasonik sensörlerden alınan görüntünün günümüzde kullanılan diğer parmak izi algılayıcılarından on kat daha iyi olduğu görülmüştür. Elektrik alanlar hariç, ultrasonik parmaktaki ve sensör yüzeyindeki kir, yağ, pislik ve diğerlerini ayrı tutarak, parmak derisi alt yüzeyindeki görüntülemeyi yapan teknolojidendir. Ultrasonik teknolojisi, henüz büyük boyutları ve yüksek maliyeti sebebiyle yaygın olamamasına rağmen parmak izi teknolojileri içerisinde muhtemelen en iyi doğruluğu verenidir. Üstelik bir görüntünün oluşumu birkaç saniyeyi alır.

5. PARMAK İZİ KARŞILAŞTIRMA TEKNİKLERİ

Parmak izi karşılaştırma tekniğinde birçok algoritmanın geliştirilmesi ile farklı karşılaştırma yöntemleri elde edilmiştir. Bunlardan biri özellik noktalarına dayalı ayrıntı tabanlı (minutiae based) yöntem diğeri görüntü tabanlı (image based) yöntemdir. Görüntü tabanlı yöntemde korelasyon tabanlı karşılaştırma ve çizgi özellik tabanlı karşılaştırma olarak farklı yaklaşımlar mevcuttur.

5.1 Ayrıntı Tabanlı Karşılaştırma

Özellik noktalarına dayalı yaklaşım olan ayrıntı tabanlı teknik, parmak izi alanındaki çatlaklar ve bitişler gibi yerel kısmi özellikleri gösterir. Bu yaklaşım geçerli mevcut parmak izi tanıma ürünlerinin dayanak noktasını oluşturur. Bu tez konusunda da bu özellik yaklaşımı üzerinde işlemler gerçekleştirilmiştir. Geniş bir kullanım alanının ve bilinen bir yapısının olması nedeniyle çoğu parmak izi uğraşçılarının kullandığı bir teknik olmuştur. Bir parmak izi deseni, izi karakterize eden birden çok özellik noktasına sahiptir. Özellik noktalarına dayalı karşılaştırma tekniğinde, bu noktalar izden çıkartılıp, iki-boyutlu düzlemde noktalar seti olarak saklanır ve ardından çıkartım süreci boyunca çıkartılan aynı noktalarla karşılaştırılır. Ne yazık ki doğrulama süresi boyunca parmak izini kaydetme esnasında tamamen aynı açı, yatay çizgi ve dikey koordinat yerleştirmesi olanaksızdır. Bu sebeple çekirdek nokta koordinat sistemi için merkez noktası olarak kullanılıp yine her bir özellik noktası için uzaklık ve açı çekirdeğe göre alınır. Doğulamada kullanıcının başarılı şekilde kaydedilmesi için gereken sayıda özellik noktası karşılaştırılmalıdır.

5.2 Görüntü Tabanlı Karşılaştırma

Görüntü tabanlı metodu kullanan ikinci yaklaşım, tüm parmak izi şeklinin genel özelliklerine dayalı bir karşılaştırma tekniğini kullanır. Bu yöntem parmak izi karşılaştırma tekniğinde yeni bir yoldur. Bu tekniğe ihtiyaç duyulmasının sebebi ilk yaklaşımdaki bazı problemleri çözmeye daha doğru yaklaşımlar elde edecek ön işlemler için kullanılmasıdır. Küçük parçalara ayırma yöntemine kıyasla bu teknik daha iyi bir hesaplama performansına sahiptir. Çünkü küçük parçaların noktalarını doğru bir şekilde çıkarmak zor olmaktadır. Benzer bir teknik olarak iki-boyutlu Fourier Dönüşümü yöntemi ile noktalar arasındaki benzerlikler belirlenir. Eğer tanımlama sonucu, sistemin eşik değerini aşarsa karşılaştırılan iki görüntü aynı kabul edilir. Bu karşılaştırmada kullanılan diğeri bir teknik dalgacık içeren tekniktir. Bu

işlemdeki en önemli avantaj, özellik noktalarının ön işlem basamaklarına ihtiyaç duyulmadan parmak izi deseninden doğrudan çıkartılmasıdır. Çıkarılan özellikleri içeren genel özellikte bir vektör oluşturulur ve özelliklerin çıkarılma işlemi bir kere bitirildikten sonra, kayıtlı veri ile eşleştirme aşamasına geçilir.

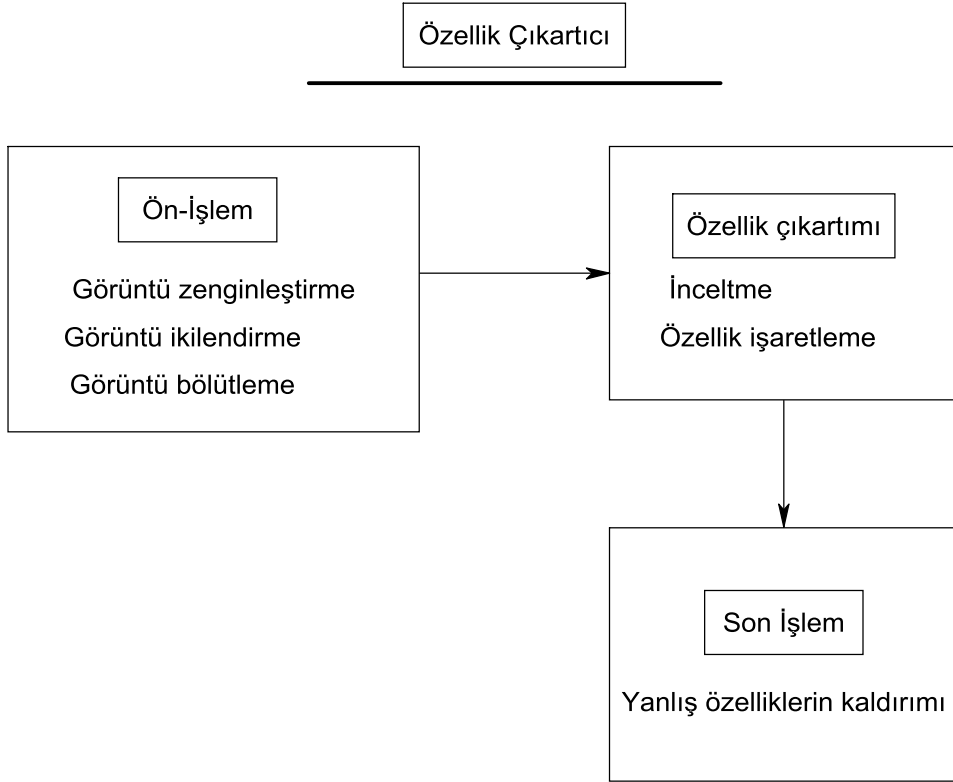
Bu karşılaştırmanın içerisinde tercih edilen iki yaklaşım şu şekildedir:

- **Korelasyon-tabanlı karşılaştırma:** Doğrulanacak parmak izi şekli, kayıt boyunca elde edilen parmak izi görüntüsü ile üst üste koyulur. Eşleşen pikseller arasındaki ilinti (korelasyon) farklı hizalar için hesaplanır.
- **Çizgi özellik-tabanlı karşılaştırma:** Bu karşılaştırma metodu, yerel uyumluluk ve frekans, çizgi biçim ve doku bilgisi gibi çizgi deseni özelliklerini kullanır. Ayrıntı temelli karşılaştırma belirsizliğine rağmen daha güvenilir düşünülse bile, çizgi özellik tabanlı karşılaştırmanın kullanımının daha iyi olduğu durumlar vardır. Çok düşük kaliteli parmak izi görüntülerinde, özellik noktalarını çıkartmak zordur ve karşılaştırma için çizgi deseni tercih edilir. Çizgi özellik tabanlı karşılaştırma korelasyon-tabanlı ve ayrıntı-tabanlı karşılaştırmanın bir üst ailesi olarak düşünülebilir.

6. PARMAK İZİ TARAMA YÖNTEMİ

Bir parmak izi tanıma sistemi için tarayıcı alet (yakalama ve kayıt), özellik çıkartım ve doğrulama için karşılaştırma ünitelerini içerecektir. Görüntü yakalama için yukarıdaki konu başlıklarında belirtilen birçok teknik uygulanmakta olup bu tez çalışmasında ise düşük fiyatlı bir optik okuma grubuna giren CMOS web kamerası kullanılmıştır. Özellik çıkartımı ve karşılaştırması diğer bölümlerde detaylı olarak anlatılacaktır.

Özellik çıkartımının gerçekleşmesi, üç adımlı yaklaşımla gerçekleştirilir. Bunlar ön işlem, özellik çıkartımı ve işlem sonrası basamaklarıdır.

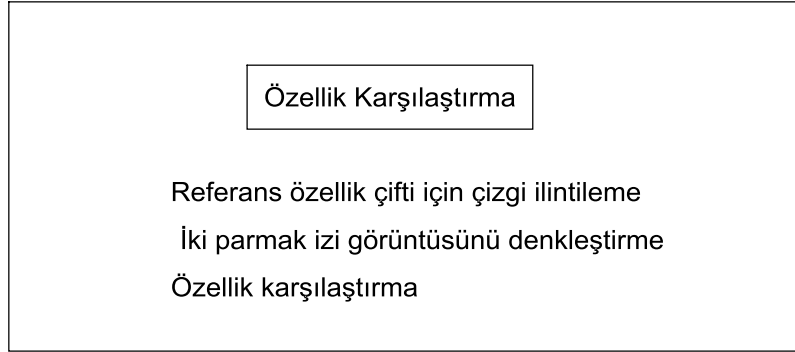


Şekil 6.1 Özellik çıkartım şeması

Parmak izi görüntü ön-işleme basamağında, görüntü artırımı yapmak için histogram eşitlemesi ve Fourier Dönüşümü kullanılır. Sonrasında parmak izi görüntüsüne yerel uyarlanabilir eşikleme metodu kullanılarak ikilendirme yapılır (Ratha vd., 1995). Görüntü parçalama işlemi üç adımlı bir yaklaşımla oluşturulur. Bunlar: blok yön kestirimi, yön yoğunluğu ile parçalanma (Jain vd., 1999) ve morfolojik işlemlerle İlgili Bölgesi çıkartımıdır. Özellik çıkartım basamağı için, etkili ve iyi inceltme kalitesi veren, Matlab morfolojik

inceltme işlemi uygun görülmüştür (Wuzhili, 2002).

İşlem sonrası basamağında, algoritmanın özellik noktası alanındaki yanlışları kaldırması için dikkat gösterilmiştir (Hong, 1998; Jain vd., 1999).



Şekil 6.2 Özellik karşılaştırma adımları

Özellik karşılaştırmada, herhangi bir referans özellik alınarak iki özelliğin önce birleşen çizgileri eşleştirilmiştir. Çizgilerin eşleşmesi uygunsa, iki parmak izi görüntüsü uyumaktadır ve karşılaştırma tüm geri kalan özellik alanı için devam ettirilir.

6.1 Görüntü Artırımı

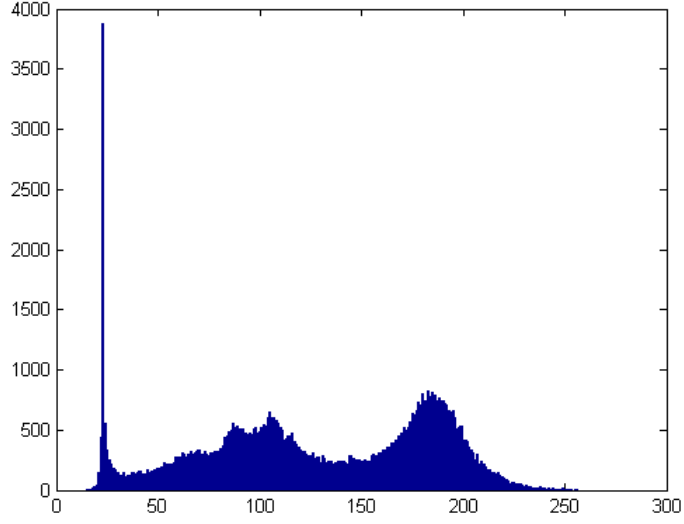
Bir parmak izi sisteminin performansı giriş görüntüsünün kalitesine bağlıdır. Parmak izi görüntü artırımı, görüntüyü daha ayrıntılı işlemler için temizler. Parmak izi görüntüleri sensörlerden veya diğer kayıt ortamlarından alındığında çoğu zaman iyi performans verecek bir görüntü elde edilememektedir. Çizgi ve boşluklar arasında kontrast artırımı yaparak ayırma varmada, yüksek kesinlikte parmak izi tanıma yapmak için bu tür artırım metodu kullanılır.

Parmak izi tanıma sisteminde iki metod uygulanır: birincisi Histogram Eşitleme ve diğeri Fourier Dönüşümü' dür.

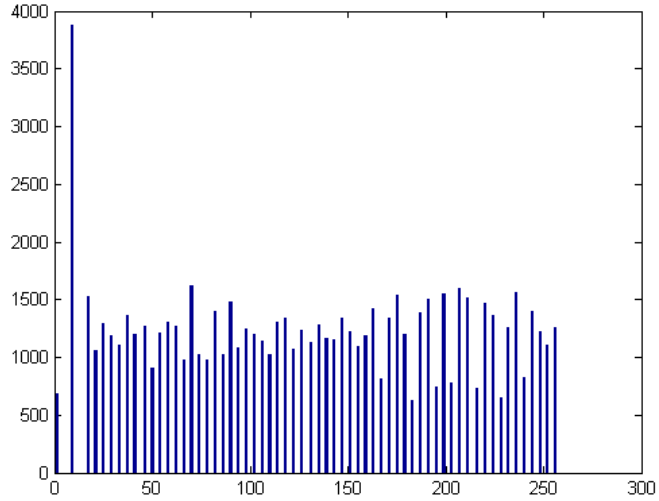
6.1.1 Histogram Eşitleme

Histogram eşitleme, pikselleri 0' dan 255' e tüm yoğunluğa yaymada kullanılır. Bazı görüntüler oldukça karanlık olabilir, bunların histogramları gerçek yoğunluklarına bağlı olarak neredeyse sıfıra yakın bir yoğunluk değerine sahiptir. Öte yandan bazı görüntüler oldukça parlaktır, bunların histogramları da gerçek yoğunluklarına bağlı olarak neredeyse 255' e yakın bir yoğunluk değerine sahiptir. Bunlara bağlı olarak görüntünün kontrastı ne

kadar artarsa Şeklin görsel etkisi o kadar artacaktır. Histogram eşitlemesinden sonra histogram 0' dan 255' e yayılır ve görsel etki artırılır. Histogram eşitlemesi matlab kütüphanesinde bulunan "histeq" fonksiyonunun kullanımıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.3 Parmak izi görüntüsü histogramı



Şekil 6.4 Histogram eşitlemesi sonrası parmak izi görüntüsü

Aşağıdaki Şekil 6.5’ te sol tarafta görülen desen görüntünün histogram eşitleme öncesi gerçek durumunu gösterirken sağ taraftaki şekil histogram eşitlemesi sonrası durumunu göstermektedir.



Şekil 6.5 Histogram eşitlemesi etkisi a) Histogram eşitlemesi öncesi, b) Histogram eşitlemesi sonrası

6.1.2 Fourier Dönüşümü ile Parmak İzi Artırımı

Korelasyon karşılaştırması ayırık frekans alanında gerçekleştirebilir. Bunun için öncelikle görüntüler üzerine aşağıda formülde verilen iki-boyutlu Fourier Dönüşümü (FFT) yapılır. Bu işlem ile görüntüler ayırık frekans alanına aktarılır.

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ux/M + vy/N)} \quad (6.1)$$

$$u = 0, 1, 2, \dots, 31, \quad v = 0, 1, 2, \dots, 31 \quad (6.2)$$

Taşınan iki görüntü piksel piksel çarpılıp toplanarak ayırık alanda korelasyon sonucuna eşit olur. Bu şekilde frekans alanına aktarım yapılarak görüntünün işleme sokulması, taşınan pikselleri birbirinden bağımsız yaparak özellik kaybının önüne geçmesini sağlamaktadır. Bu FFT dönüşümü, Watson, Candela, Grother (1994) ve Willis ve Myers (2001) tarafından sunulan, yerel çizgi doğrultusu ve frekansı açıklık hesaplaması olmaksızın bir takım bağlamsal filtreleme işleminde kullanılmaktadır. Burada baskın frekansına bağlı özel bir blok

artırımı yerine, bloğun büyüklüğü FFT ile birkaç defa çarpılır. Görüntü ayırık olarak küçük bloklara (32x32 piksellik) bölünür ve bloğun Fourier dönüşümü bir K gücüyle artırılarak güç spektrumu çarpılır (Maltoni vd., 2009):

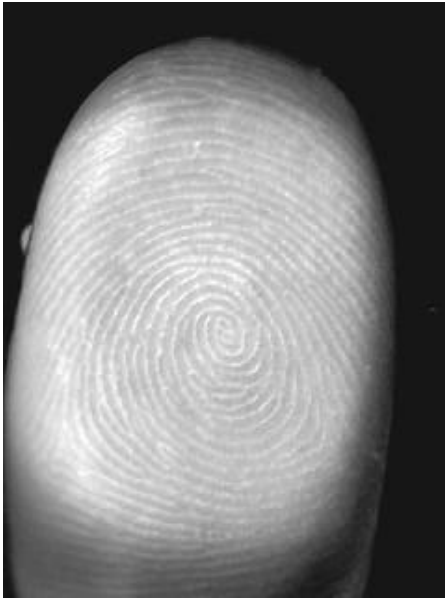
$$I_{enh}[u, v] = F^{-1}\{F(I[u, v]) \times |F(I[u, v])|^K\} \quad (6.3)$$

Eşitlik (6.3)' teki 'K', deneyerek hesapladığımızda bulunan seçilmiş bir sabittir. Büyük 'K' seçimi çizgilerin belirginliğini artırıp, çizgilerde küçük delikleri doldurur. Daha büyük 'K' seçiminde yanlış bağlanmış çizgiler sonucunu verir. Bu sebeple olağandışı bir çatallanma meydana gelir.

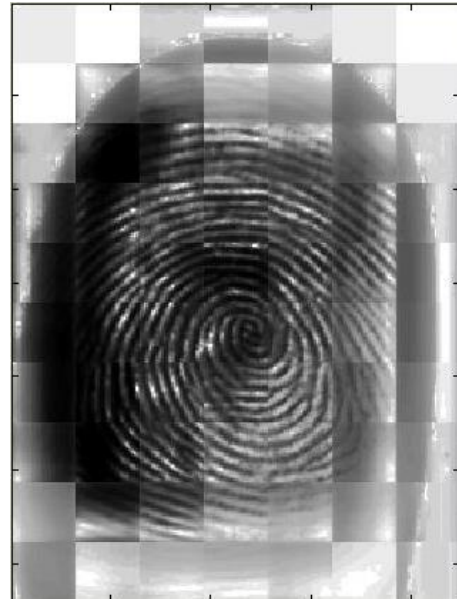
Daha sonrasında işaretin ters Fourier Dönüşümü' nü almak için $F^{-1}(F(u,v))$ olarak çözüm yapılır:

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi(ux/M + vy/N)} \quad (6.4)$$

$$x = 0, 1, 2, \dots, 31, y = 0, 1, 2, \dots, 31$$



(a)

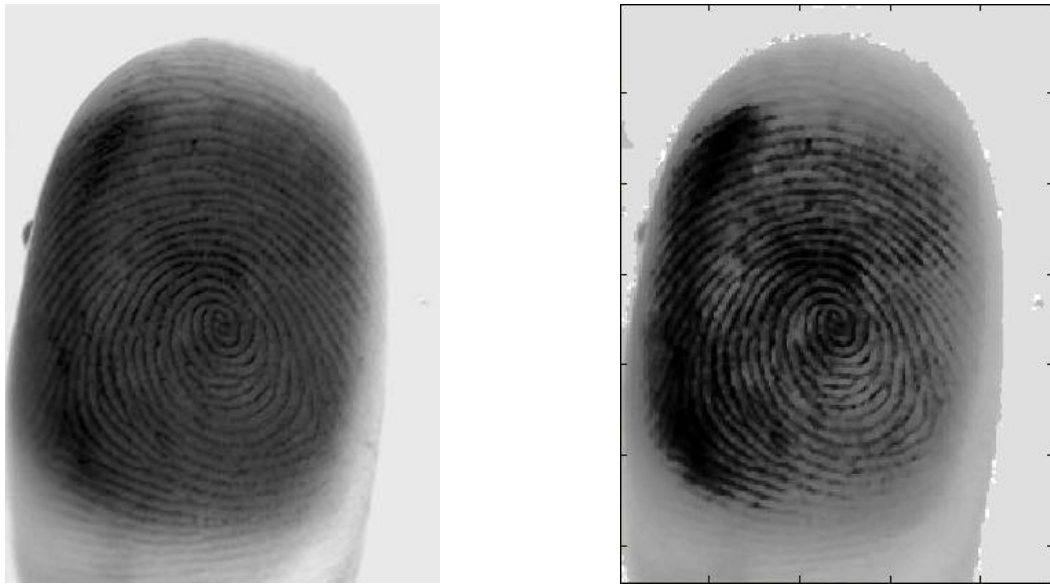


(b)

Şekil 6.6 FFT dönüşümü ve histogram eşitleme etkisi a) Histogram eşitlemesi ve FFT dönüşümü öncesi, b) Histogram eşitlemesi ve FFT dönüşümü sonrası

Sağ tarafta gösterilen şekil, FFT dönüşümü sonrası ve ayrıca histogram eşitlemesi yapılmış

görüntüdür. Her bir bloğun kenar etkisi ortada gözükmekte olup öteki işlemler için sorun teşkil etmemektedir. Çalışmada ayrıca başarı sonucunu karşılaştırma açısından Median filtre yöntemiyle filtreleme işlemi yapılmıştır. Dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta ise web kamerası ile alınan parmak izi görüntüsü arka planının yoğun grilik seviyesinde olmasından dolayı Median filtreden tam olarak verim alınamamasıdır. Bu sebeple görüntüde renklerin tersi alınarak parlaklık değeri artırılmıştır. Renkleri ters alınan görüntüye, histogram eşitlemesinden sonra median filtre gerçekleştirilmesi uygulanmıştır. Şekil 6.7’ de histogram eşitlemesi ve Median filtre sonrası parmak izi deseni görülmektedir.



(a)

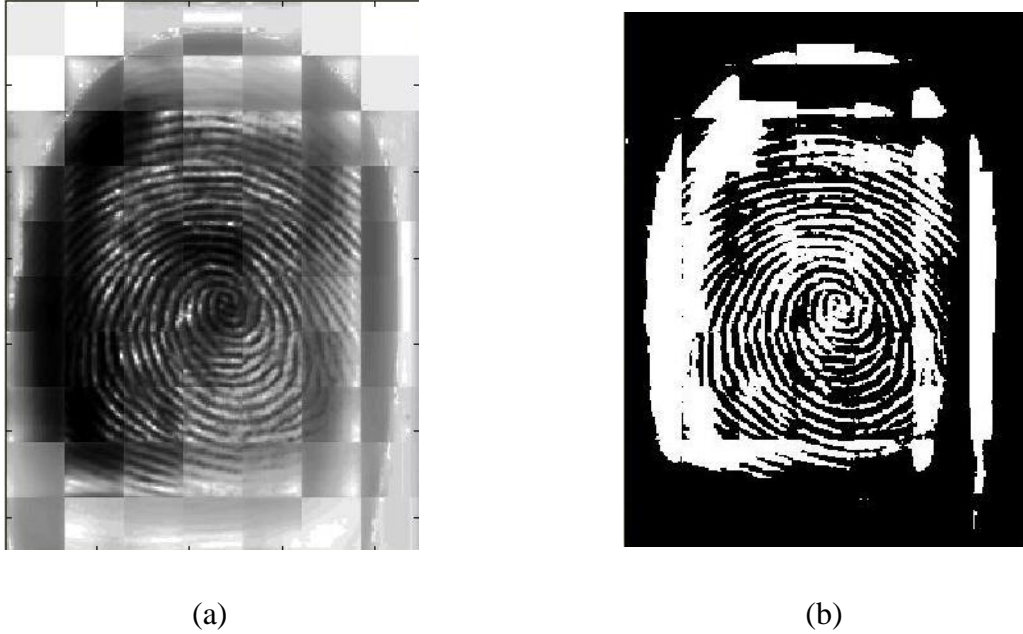
(b)

Şekil 6.7 Median filtreleme ve histogram eşitleme etkisi a) Histogram eşitlemesi ve Median filtreleme öncesi, b) Histogram eşitlemesi ve Median filtreleme sonrası

6.2 Parmak İzi Görüntü İkilemirmesi

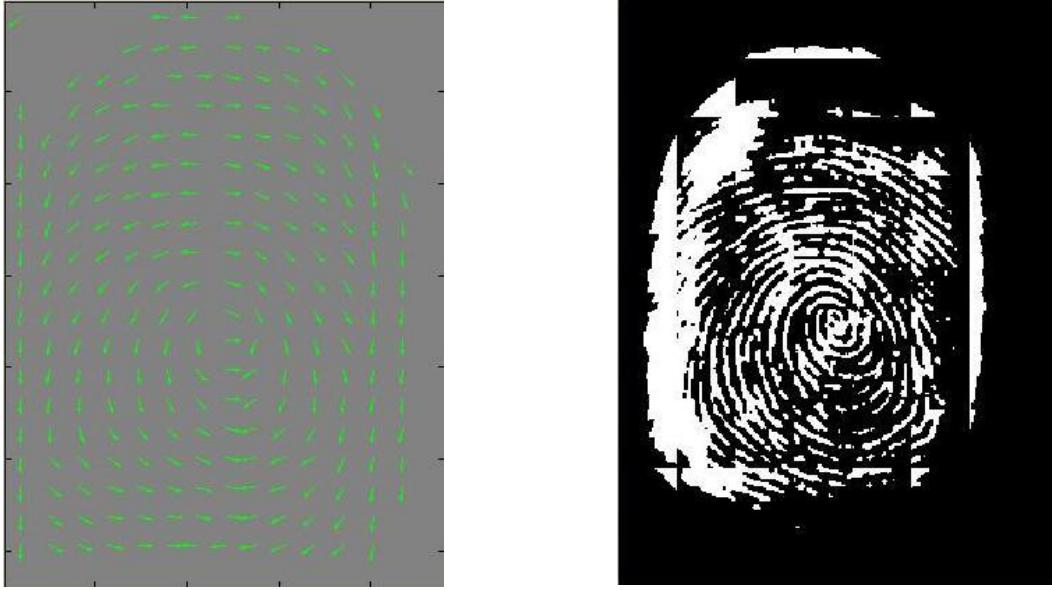
Parmak izi görüntü ikilemirmesi 8-bit gri ölçekli parmak izi görüntüsünü 0-değerli çizgiler ve 1-değerli boşluklar olarak görüntüye dönüştürür. İşlemden sonra izdeki çizgiler siyah renkte gözükürken boşluklar ise beyaz renkte olur. Fakat bu işlemde alınan parmak izi görüntülerinin aynı kontrast oranına sahip olmamasından gelen sorunlar vardır. Bu sebeple ilk olarak bu işlemde parmak izi görüntüsü ikilemirmesini gerçekleştirmek için yerel adaptif ikileme metodu uygulamasına çalışılmıştır. Bu fonksiyonu kullanılarak görüntüden bir eşik değeri seçilir. 0 ve 1 arasındaki eşik yoğunluk değeri, bu fonksiyon kullanımından kararlaştırılır. Bu değer daha sonra gri ölçekli görüntüyü siyah ve beyaz görüntüye dönüştürmede kullanılır. Hesaplanan eşik değerinin aşağısında kalan piksel değeri 0 alınarak çizgiler siyah renkte

gösterilirken, eşik değerinin yukarısında kalan piksel değeri boşlukları göstermek üzere 1' e çevrilir. Bu metod kısacası, geçerli bloğun (16x16) ortalama yoğunluk değerinin üzerinde ise piksel değerini 1' e dönüştürme işlemidir (Shapiro ve Stockman, 2001).



Şekil 6.8 FFT sonrası parmak izi görüntü ikilendirmesi a) İkileendirme öncesi, b) İkileendirme sonrası

Burada önemli bir husus, Median filtreleme sonrası ikileendirme işlemine alınan parmak izi görüntüsünün sonraki adım olan yön akış kestirimi, kenar belirleme ve sonrasında yapılan çizgi inceltimi işleminde özellik çıkartımı için yetersiz olduğu görülmüştür. Bu şekilde işlem sırası inceltirilmiş çizgi haritasında yanlış kırılmalara sebebiyet vermekte ve yanlış özellik çıkartımına neden olmaktadır. FFT uygulamasında işlem basamakları sırayla devam ederken, Median filtre kullanımı yönteminde filtreleme işleminden sonra görüntüye açığa bağlı yön akış kestirimi ve kenar belirleme yöntemi yapılmıştır. Daha sonrasında ortaya çıkan görüntüye ikileendirme işlemi uygulanmıştır. Bu şekildeki bir yaklaşım inceltirilmiş çizgi haritasında daha tutarlı ve sonuçlar verecek ve çizgi izleri daha belirgin olacaktır. Yön akış çıkartım işlemi bir sonraki konu başlığında detaylı bir şekilde anlatılmıştır. İşlem sonrası görüntü Şekil 6.9' da verilmiştir.

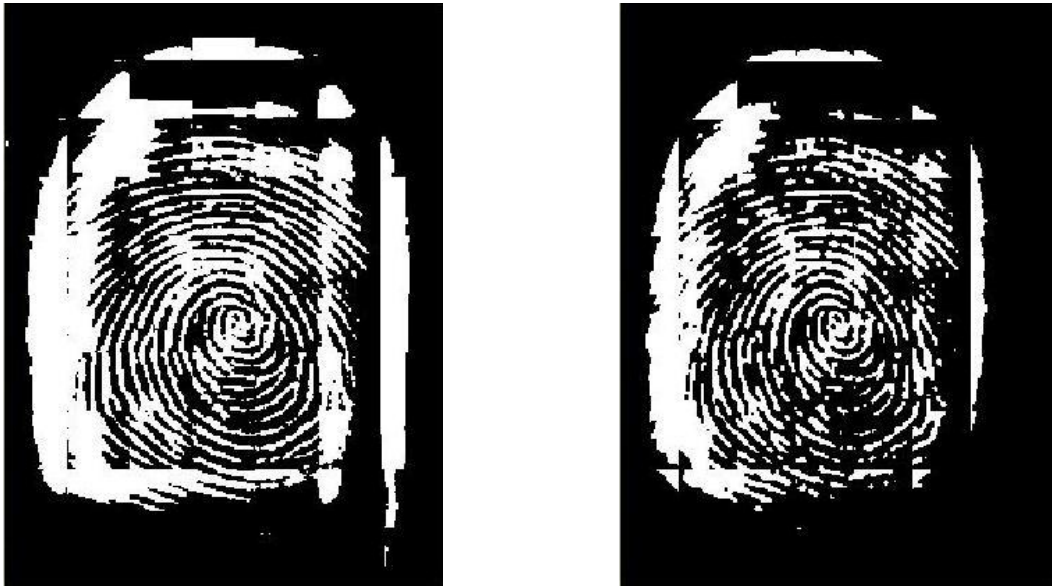


(a)

(b)

Şekil 6.9 Median filtre ardından yapılan kenar belirleme sonrası parmak izi görüntü ikilendirmesi a) Kenar belirleme yön akış haritası, b) İkileendirme sonrası

Her iki ikileendirme işlemi sonucu oluşan görüntüler Şekil 6.10' da karşılaştırılmıştır.



(a)

(b)

Şekil 6.10 FFT ve Median filtreleme etkisi ile ikileendirme karşılaştırması a) FFT kullanımı ile ikileendirme b) Median filtreleme kullanımı ile ikileendirme

6.3 Parmak İzi Görüntü Bölütlemesi

Görüntü bölütleme işleminde öncelikle geçerli çizgi ve boşlukların olmadığı görüntü alanı, arka plandan çıkartılır. Geri kalan geçerli alanın sınırları belirlenerek sensör dışında kalan gereksiz çizgiler haricinde bu sınırlar yeniden çizilir.

Alan çıkartımı işleminde uygulanan ilk adım blok yön kestirimi ve yön doğrultu kontrolü gerçekleştirilmesi (Hong, 1998), sonraki adım ise bazı morfolojik metodlar ile düzenlemeler yapılmasıdır.

6.3.1 Blok Yön Kestirimi

$W \times W$ (16×16 piksel) boyutundaki bloklara bölünmüş parmak izi görüntüsünün yön kestirim işleminde, bloktaki her bir piksel için x-boyutu $\partial_x(i, j)$ ve y-boyutu $\partial_y(i, j)$ boyunca gradyen değerleri hesaplanır. İşlemi gerçekleştirmek için iki adet Sobel operatörü (filtresi) kullanılır (Thai, 2003).

Yatay Sobel operatörü $\partial_x(i, j)$ yi hesaplamak için kullanılır:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (6.5)$$

Dikey Sobel operatörü $\partial_y(i, j)$ yi hesaplamak için kullanılır:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (6.6)$$

Her bir bloğun doğrultusu aşağıdaki “En Küçük Kareler (Least Square)” yaklaşımı formülü ile bulunur.

Aşağıda takip eden eşitlikler ile her bloğun (i, j) pikselinde yerel yönü hesaplanır (Hong vd., 1998).

$$\Delta_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} 2\partial_x(u, v) \partial_y(u, v) \quad (6.7)$$

$$\Delta_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} (\partial_x^2(u, v) - \partial_y^2(u, v)) \quad (6.8)$$

Son olarak (i, j) pikselinde yön doğrultusu $\theta(i, j)$ şu hale gelmektedir:

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{\Delta_y(i, j)}{\Delta_x(i, j)} \quad (6.9)$$

Burada $\theta(i, j)$, (i, j) piksel merkezli bloğun yerel yöneliminin en küçük kare yaklaşımıdır.

Bir (i, j) bloğunun komşuluk yön haritası tutarlılığı şu yaklaşımla ele alınır:

$$C(i, j) = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i', j' \in D} |O(i', j') - O(i, j)|^2} \quad (6.10)$$

$$|O(i', j') - O(i, j)| = f(x) = \begin{cases} d, & d < 180 \\ d - 180, & \text{diğer} \end{cases} \quad (6.11)$$

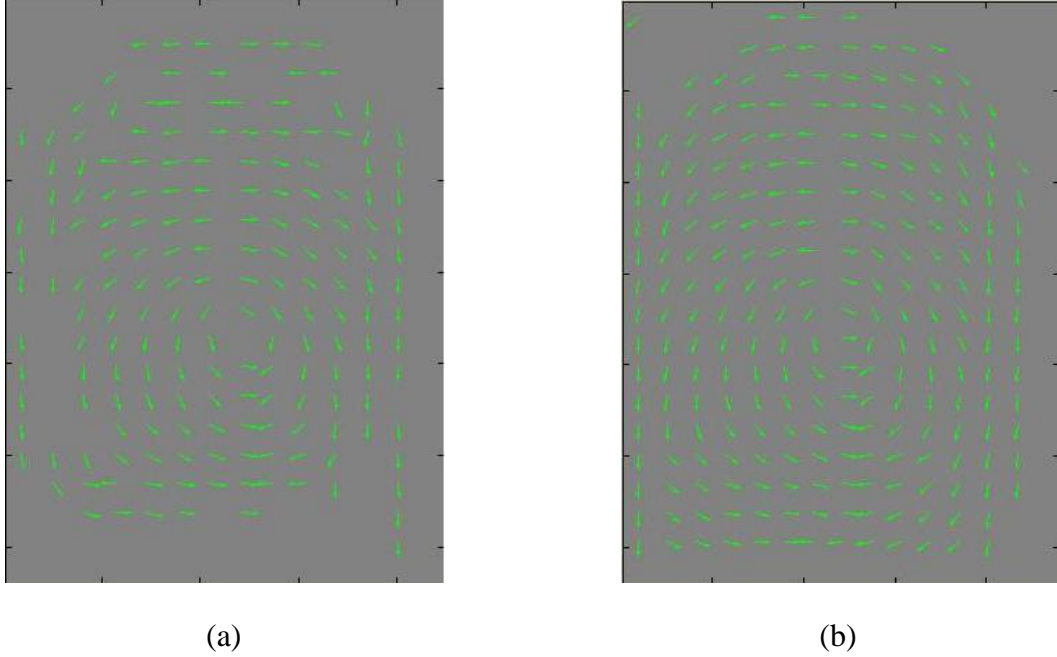
$$d = (O(i', j') - O(i, j) + 360) \bmod 360 \quad (6.12)$$

Eğer $C(i, j)$ belirli bir eşik değerinin altında ise bloktaki yönler daha düşük çözünürlükle yeniden hesaplanır.

Blokların yön doğrultusu kestirildikten sonra, çizgi ve boşluklar üzerinde anlamsız olan bloklar aşağıdaki denklemde gösterilen formülle temizlenir (Ratha vd., 1995).

$$E = \frac{\{2 \sum \sum (\partial_x(u, v) \times \partial_x(u, v)) + \sum \sum \partial_y^2(u, v) - \partial_y^2(u, v)\}}{W \times W \sum \sum \partial_y^2(u, v) - \partial_y^2(u, v)} \quad (6.13)$$

E değeri geçerli eşik seviyesinin altında ise, o blok arka plan resmi olarak kabul edilir. İşlem sonrası her iki filtre kullanımı ile çıkartılan yön akış kestirim haritası Şekil 6.11' de gösterilmiştir.



Şekil 6.11 Yön kestirim haritası ve kenar belirleme a) FFT kullanımı ile kestirim, b) Median filtre kullanımı ile kestirim

6.3.2 Morfolojik İşlemler ile Alan Çıkartımı

Morfolojik işlemler ikilendirilmiş görüntülerde; kenar çıkartımı, görüntü pekiştirme, gürültü kaldırımı ve bölütleme gibi işlemlerin yanı sıra inceltme ve kırpma gibi işlemler de sıkça kullanılır. Bunlar içerisinde en başta aşındırma ve yayma işlemleri gelir. Diğer işlemler bu iki özelliğin açılımlarından yola çıkmaktadır. “OPEN (Açma)” ve “CLOSE (Kapama)” olarak iki morfolojik işlem bulunmaktadır. Yayma, görüntüyü büyütür ya da parmak izi çıkartım gibi işlemlerde çizgileri kalınlaştırmayı sağlar. Basit bir yayma eşitliği aşağıda gösterilmiştir.

$$A \oplus B \quad (6.14)$$

Aşındırma ise, görüntüyü küçültür ya da parmak izi çizgilerini inceltme işlemi yapar. Basit bir aşındırma eşitliği aşağıda gösterilmiştir.

$$A \ominus B \quad (6.15)$$

Bu çalışmadaki alan çıkartım işleminde yukarıda tanımlanan iki morfolojik işlemten türeyen “bwmorph(open)” ve “bwmorph(close)” ile birlikte ikili görüntüde nesnelerin çevresini bulan “bwperim” fonksiyonu kullanılmıştır. Açma işlemi görüntüleri yayarak arka plan gürültüsünden kaynaklanan tepeleri kaldırır. Kapama işlemi ise görüntüleri kırparak küçük çıkıntıları ortadan kaldırır. Daha sonrasında algoritma sol, sağ, üst ve alt blokları sınır dışına

atarak iç alanı ve sınırı kapsayan bölgeyi elde eder.

Açma işlemi aşağıdaki açılımı takiben gerçekleştirilir.

$$A \odot B = (A \ominus B) \oplus B \quad (6.16)$$

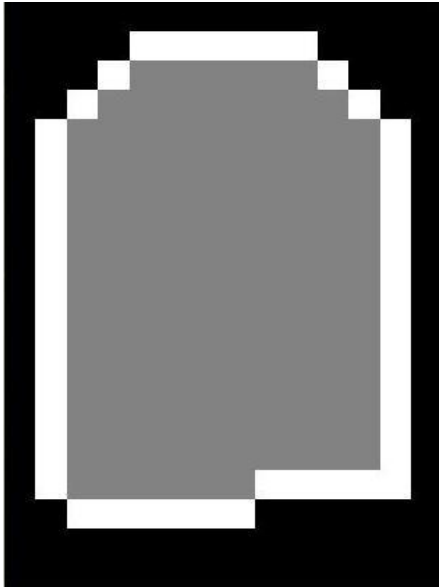
Kapama işlemi aşağıdaki denklemi takiben gerçekleştirilir.

$$A \odot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (6.17)$$

Bu denklemlerin birleşimi ile ortaya çıkan, açma işlemini takiben kapama işlemi eşitliği şu şekilde sonuçlandırılır:

$$[(A \odot B) \oplus B] = (A \odot B) \odot B \quad (6.18)$$

Bu işlemler sonrasında elde edilen her iki filtreleme yöntemi için alan çıkartımı Şekil 6.12' de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6.12 Alan çıkartımı a) FFT kullanımı ile çıkartım, b) Median filtre kullanımı ile çıkartım

6.4 Parmak İzi Çizgi İnceltimi

Çizgi inceltimi, çizgiler bir piksel genişliğinde olana kadar gereksiz pikselleri eleme işlemidir. Bu işlem için genelde paralel inceltme algoritması kullanılmaktadır. Her bir parmak izi görüntüsü taramada algoritma, her küçük görüntü penceresindeki (3x3) gereksiz pikselleri azaltır. Son olarak birçok taramadan sonra çıkartılan bu pikseller kaldırılır. Genel bir parmak

izi çizgi inceltme algoritması şu şekildedir:

$$A \otimes B = A - (A \circledast B) = A \cap (A \circledast B)^c \quad (6.19)$$

$$\{B\} = \{B^1, B^2, B^3, \dots, B^n\} \quad (6.20)$$

$$A \otimes \{B\} = \left(\left(\dots \left((A \otimes B^1) \otimes B^2 \right) \dots \right) \otimes B^n \right) \quad (6.21)$$

Bu çalışmada tekrarlayan paralel inceltme algoritması yerine Matlab' da bulunan morfolojik inceltme işlemini gerçekleştiren "bwmorph" fonksiyonu kullanılarak yapılmıştır (Lam vd., 1992). Bu fonksiyon, çizgiler bir piksel genişliğinde ve özellik çıkartım işlemine uygun olana dek işlemini tekrar ettirir.

Bu işlemlerle ortaya çıkan inceltme işlemi aşağıdaki eşitlikler ile sonuçlandırılır.

$$(x_2 \vee x_3 \vee \bar{x}_8) \wedge x_1 = 0 \quad (6.22)$$

$$(x_6 \vee x_7 \vee \bar{x}_4) \wedge x_5 = 0 \quad (6.23)$$

x_1, x_2, \dots, x_8 , merkezdeki piksel $X_H(p) = 1$ olan p pikselinin sekiz tane komşusunun değerleridir. Sağ yanındaki komşusundan başlayarak saat yönünün tersinde sıralanır.

Şekil 6.9 bir P pikselinin 3x3' lük matris boyutunda 8 adet komşuluğunu göstermektedir.

P9	P2	P3
P8	P1	P4
P7	P6	P5

Şekil 6.13 P pikselinin komşuluk gösterimi

Paralel inceltme algoritmasına göre:

$$2 \leq N(P1) \leq 6 , T(P1) = 1 \quad (6.24)$$

$$P2 * P4 * P6 = 0 , P4 * P6 * P8 = 0 \quad (6.25)$$

$$2 \leq N(P1) \leq 6 , T(P1) = 1 \quad (6.26)$$

$$P2 * P4 * P8 = 0 , P2 * P6 * P8 = 0 \quad (6.27)$$

$N(P)$ yukarıdaki tanımlamalara bağlı olarak komşuluk sayısını, $T(P)$ ise 0' dan 1' e ve 1' den 0' a geçiş sayısını gösterir (Stefanelli ve Rosenfeld, 1971).

İkilendirme işleminde bahsedildiği üzere, FFT sonrası ikilendirme, ikilendirmeyi takiben yön akış kestirimi ile beraber kenar belirleme ve alan çıkartımı sonrasında da inceltme işlemi yapılmıştır. Median filtrelemenin Matlab inceltme algoritması ile daha verimli olması için ikilendirme işlemi yön akış kestirimi ve kenar belirlemeden sonra yapılmıştır. Bu şekilde daha doğru bir yaklaşımla ikilendirme işlemi yapılarak ardından inceltme işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki inceltmiş çizgi haritasının karşılaştırması Şekil 6.14' te verilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 6.14 Parmak izi çizgi inceltimi a) FFT kullanımı ile inceltim, b) Median filtre kullanımı ile inceltim

İnceltmiş çizgi haritasına diğer üç adet morfolojik işlem uygulanarak gürültülerin kaldırılması ve görüntünün temizlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bunlar “bwmorph(clean)”, “bwmorph(hbreak)” ve “bwmorph(spur)” fonksiyonlarıdır (Matlab, 2006).

Buradaki “clean” fonksiyonu, merkez pikseli 1 yaparak çevresindeki pikselleri 0 yapma işlemi gerçekleştirir. İşlem sonrası çıktı şu şekildedir:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6.28)$$

Sonrasında gerçekleştirilen “hbreak” fonksiyonu H-bağlı pikselleri kaldırır, yani üst ve alt sıra piksellerin arasındaki pikselleri temizleme işlemidir. Bu tanım aşağıdaki matris işlemini gerçekleştirmektedir:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \gggg \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.29)$$

Son olarak uygulanan “spur” fonksiyonu ile çizgi sonlarındaki bitimleri küçük parçalar tamamen kalkmadan kaldırma işlemidir. Fonksiyonun gerçekleştirdiği işlem şu şekildedir:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \gggg \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6.30)$$

6.5 Özellik Noktalarını Belirlemek

Özellik noktalarını belirtme işlemi diğer işlemlere göre daha kolay bir süreçtir. Çizgi inceltimi yapıldıktan sonra özellik noktalarını çıkartmak için D. Rutowitz tarafından tanımlanan “Crossing Number” (Çaprazlama Sayısı) (CN) kullanılır. Bir P pikseli için çaprazlama sayısı aşağıdaki denkleme göre çıkartılır (Thai, 2003).

$$CN = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^8 |P_i - P_{i+1}| \quad (6.31)$$

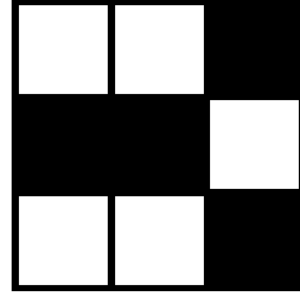
P_i , merkezi P pikseli olan 3x3 pencere için etrafındaki piksel değeridir. $P_i = 0$ veya 1 ve $P_1 = P_9$ dur. Yukarıda verilen denkleme bağlı bir genelleme yaparsak:

$CN(P) == 1$ ise bir çizgi bitimi, $CN(P) == 3$ ise bir çatal noktasıdır.

Genel olarak her 3x3 pencere için, merkez seçilen piksel 1 ve tam olarak üç tane bir-değerli komşuya sahipse, merkez piksel bir çataldır. Şayet merkezdeki piksel 1 ve sadece bir tane bir-değerli komşusu varsa, merkez piksel bir çizgi bitimidir.

0	0	1
1	1	0
0	0	1

(a)

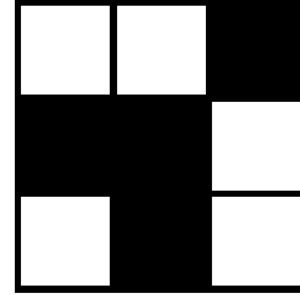


(b)

Şekil 6.15 Çatal tipi örneği a) Lojik komşuluk gösterimi, b) Desen biçiminde gösterim

0	0	1
1	1	0
0	1	0

(a)

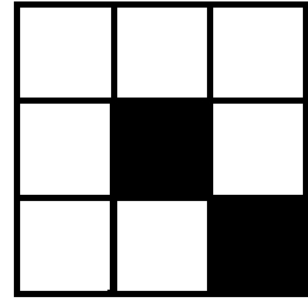


(b)

Şekil 6.16 Çatal tipi örneği a) Lojik komşuluk gösterimi, b) Desen biçiminde gösterim

0	0	0
0	1	0
0	0	1

(a)

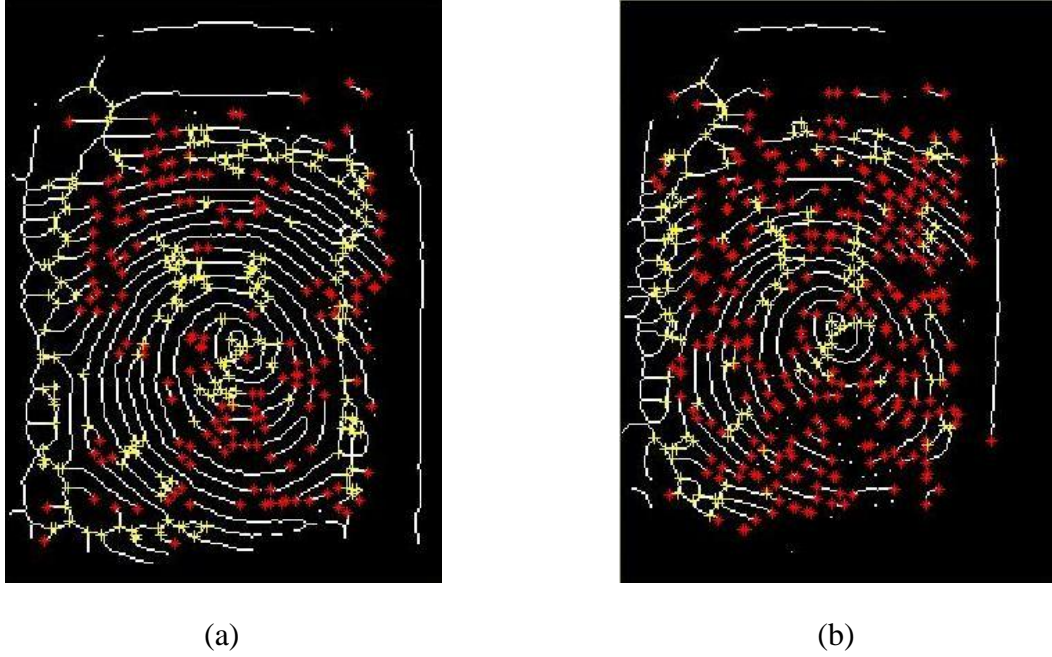


(b)

Şekil 6.17 Çizgi bitim örneği a) Lojik komşuluk gösterimi, b) Desen biçiminde gösterim

Ayrıca bu basamakta ortalama çizgi aralık mesafesi hesaplanmaktadır. Bu ortalama çizgi aralığı, birbirine paralel iki çizginin arasındaki uzaklık olarak kabul edilir. İnceltilmiş bir çizginin satır taraması yapılarak bu taramadaki değeri bir olan tüm pikseller toplanır. Daha sonra bu satır uzunluğu, çizgi aralık genişliğini elde etmek için üstteki toplam ile bölünür. Diğer satır ve sütunlar için de aynı işlemler gerçekleştirilerek ortalama çizgi aralığı elde edilir.

Özellik noktası işaretlemesi ile birlikte, parmak izindeki tüm inceltilmiş çizgiler ileriki işlemler için farklı kimlik ile etiketlenir. Etiketleme işlemi Morfolojik fonksiyon “bwlabel” kullanımı ile gerçekleştirilir (Haralick vd., 1992). Bu fonksiyon öncelikle pikselleri 0 işaretleyip arka plan olarak temel alır. Daha sonra bulunan değişik nesne sayısına göre 1’ den başlayarak sırayla değer ataması yapar. Kullanıcının seçimiyle yaptığı bağlı nesne sayısı (4 veya 8) seçimi yapıldıktan sonra bulunan değişik nesne sayısı kadar çıkış matrisi oluşturur.



Şekil 6.18 Özellik noktalarının çıkartımı a) FFT kullanımı ile çıkartım, b) Median filtre kullanımı ile çıkartım

6.6 Son İşlemler

İşlem sonrası düzenlemeler parmak izi görüntüsünden yanlış özellik noktalarını kaldırma, temizleme işlemidir. Bu işlemde görüntünün sınırları dışındaki çizgi bitimlerinin olduğu yer bitiş olarak sınıflandırılır. Fakat bu konumlar gerçek bitiş özellik alanı değildir. Bunun yerine şeklin boyutları, çizgileri bir sona gelmesi için zorladığından yalnızca bitiş olarak gözükmemektedir. Bu sebeple, bu konumlar parmak izinde özellik bölgesi olarak kayıt edilemez. Bir elips oluşturmaya yol açan bu tür konumları yok etmenin tek yolu parmak izi görüntüsü içerisindeki sadece özellik noktalarını seçimle olmaktadır. Elipsin merkezi çizgi pikseli içeren en az ve en çok satır ve sütunun konumlandırılmasıyla gerçekleştirilip daha sonra bu sınırlar arasında orta noktaya yaklaşan satır ve sütun hesaplanarak olmaktadır.

6.6.1 Yanlış Özellik Noktalarının Kaldırımı

Ön işleme bölümü parmak izi görüntüsünü tamamıyla karşılaştırma yapacak duruma getiremez. Hatta bu karşılaştırma öncesi yapılan işlemler daha sonrasında sahte özellikler olarak adlandırılan yanlış oluşumları meydana getirebilmektedirler. Örneğin, bastırıp yığılmadan dolayı yanlış çizgi oluşumu tam olarak düzeltilemeyebilir. Bu yanlış çizgiler, karşılaştırmadaki başarı oranını değişik boyutlarda etkileyebilmektedir. Bu sebeple bu yanlış oluşumların etkilerini kaldırmak için bazı işlemler uygulanmaktadır.

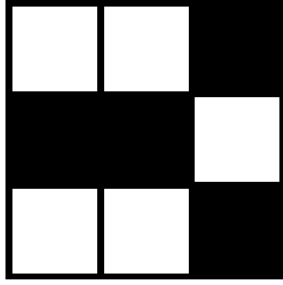
Bu temizleme işlemi bazı detaylara bağlı kalınarak gerçekleştirilmiştir. Örneğin bir çatal ile bir bitiş arasındaki mesafe çizgi aralığından az ve iki özellik noktası aynı çizgide ise kaldırılır. Aynı şekilde iki çatal arasındaki mesafe çizgi aralığından kısa ve aynı çizgide ise bu iki çatal kaldırılır. Şayet iki bitim çizgisi, çizgi aralığı mesafesinde ve yönleri ufak bir açı değişimi ile tesadüfi hatta bu iki bitim arasında diğer bir bitim çizgisi bulunmamış olsun. Bu durumda iki bitim çizgisi, kırık çizgiden türeyen yanlış özellik noktası olarak adlandırılır ve kaldırılır. Bununla beraber iki bitim çizgisi, çizgi aralığından daha kısa bir çizgide konumlandırılırsa, bu iki bitim çizgisi kaldırılır (Wuzhili, 2002).

Bu işlemin uygulanmasındaki avantajlardan birisi çizgi detaylarını ve özellik noktalarını ayırt etmede kullanılır, bir diğeri ise hesaplama karmaşıklığını ve yükünü azaltıp kaldırma işlemini kolaylaştırmaktır.

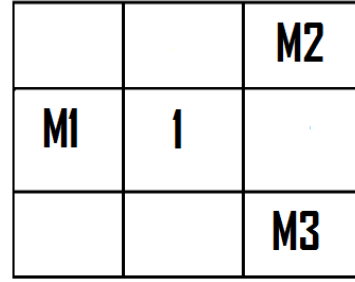
6.6.2 Bitimlerin ve Çatalların Birleşimi

Dokunma sertliği gibi çeşitli olumsuz durumlar var olup, bu gibi durumlar bir özellik noktasını başka bir noktaya kolayca çevirebilmektedir. Bu gibi sorunların önüne geçilebilmesi için her özellik noktası bölgesi en az bir x-y koordinat düzlemi ve yön belirleme parametreleri ile belirtilir.

Bir çatal için yön belirleme hesaplaması doğru uygunlukla belirlenmelidir (Feng ve Jain, 2009). Çatal noktasından türeyen üç çizginin hepsi kendi yön doğrultusuna sahiptir. Burada bir çatal, üç bitim noktasına ayrılarak bağımsız pikseller olarak ele alınmıştır. Yeni üç adet bitim noktası çatalın üç komşu pikselidir ve her bir üç çizgi kendine ait koordinat noktasına ve yön açısına sahiptir.



(a)



(b)

Şekil 6.19 Komşu piksel gösterimi a) Desen biçiminde gösterim, b) Özellik noktası gösterimi

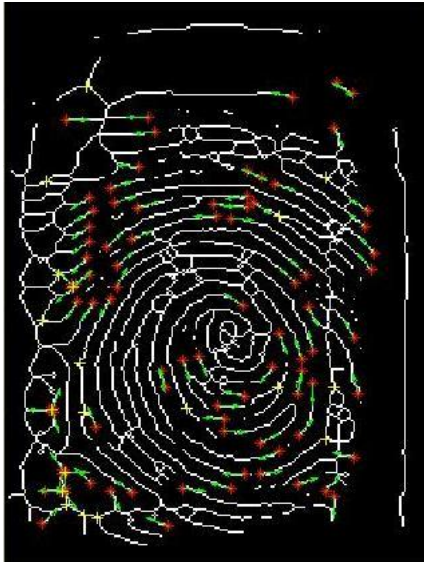
Her bir bitimin (Mx , My) yön belirlemesine şu metod ile yaklaşılmaktadır:

Uzunluğu çizgi aralığı kadar ve başlangıç noktası bitim olan bir çizgi parçası takip edilir. Çizgi parçasındaki tüm noktaların x-koordinatları toplanır, bu toplam ile Sx ' i elde etmek için toplam uzunluğa bölünür. Aynı şekilde Sy de bu yolla elde edilir.

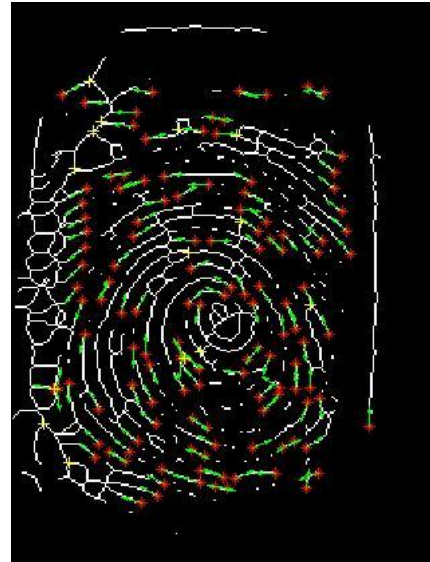
Elde edilen yön açısı:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{Sy - My}{Sx - Mx} \quad (6.32)$$

Her iki filtreleme sonucu geçerli özellikler Şekil 6.20' de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6.20 Geçerli özellikler a) FFT kullanımı sonucu geçerli özellikler, b) Median filtre kullanımı sonucu geçerli özellikler

6.7 Özellik Karşılaştırması

Karşılaştırma işlemi birtakım özellik noktalarının diğer takım özellik noktaları ile karşılaştırılmasıyla olur. Çoğu durumlarda bu işlem kimliği bilinen bir izin hafızada saklanıp referans olarak kullanılmasıyla gerçekleşir. İz, kullanıcının parmağını dokundurup kayıt işlemi süresince sistem tarafından bilgi toplanmaya başlamasıyla oluşturulur. Bu bilgi daha sonra kişi karakteristiğini tanımlamak için saklanır. Bu tez çalışmasında matlab ortamında alt klasörde “veriTabanı” isimli parmak izi desenlerinin saklanacağı bir klasör oluşturulmuştur.

Karşılaştırma işleminde, öncelikle karşılaştırılacak iki parmağın, veritabanında kayıtlı değilse, bu işlem için kaydı yapılır. Daha sonra çizgi bitişleri ve çatallanmaları her iki parmak izinde çıkartılır. Şayet başarılı bir şekilde eşleşme oluyorsa başarı yüzdesi yüksek, aksi takdirde başarı yüzdesi düşük olarak ekranda gözükecektir. Çalışmada uyuşma tabanlı karşılaştırma algoritması kullanılmıştır (Hong, 1998). Bu yaklaşım birbirini ardına iki kısımdan oluşur: benzerlik kısmı ve karşılaştırma kısmı.

6.7.1 Benzerlik Kısmı

Benzerlik kısmında, karşılaştırılacak iki parmak izinden herhangi birisinin özellik noktası seçilerek iki parmak izi bölgesindeki noktalarla ortak olan çizgilerin benzerliği hesap edilir. Şayet benzerlik değeri eşik değerinden büyükse her bir özellik noktası takımı, merkezi referans noktasında olan ve x-ekseni referans noktanın yönü ile aynı yeni bir koordinat sistemine taşınır.

Çizgi, noktaların x-eksenlerinin $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ bir serisi olarak gösterilen her bir özellik noktası ile birleştirilir. Özellik noktasından başlayarak ortalama çizgi aralığı uzunluğu kadar bu uzunlukta nokta örnekleme yapılır. Ayrıca toplam çizgi uzunluğu altı katı olana dek n, altı olarak alınır.

İki çizginin ilintisinin benzerliği eşitlik (6.33) yardımıyla elde edilmektedir (Wuzhili, 2002):

$$S = \frac{\sum_{i=0}^m x_i X_i}{\sqrt{\sum_{i=0}^m x_i^2 X_i^2}} \quad (6.33)$$

$(x_i - x_n)$ ve $(X_i - X_N)$ her bir parmak izine bağlı özellik noktası takımı olup, m ise n ve N değerinin küçük olanıdır. Benzerlik değeri 0.8’ den büyük ise ikinci adıma gidilir, aksi takdirde bir sonraki çizgi çiftini eşleştirmeye devam eder.

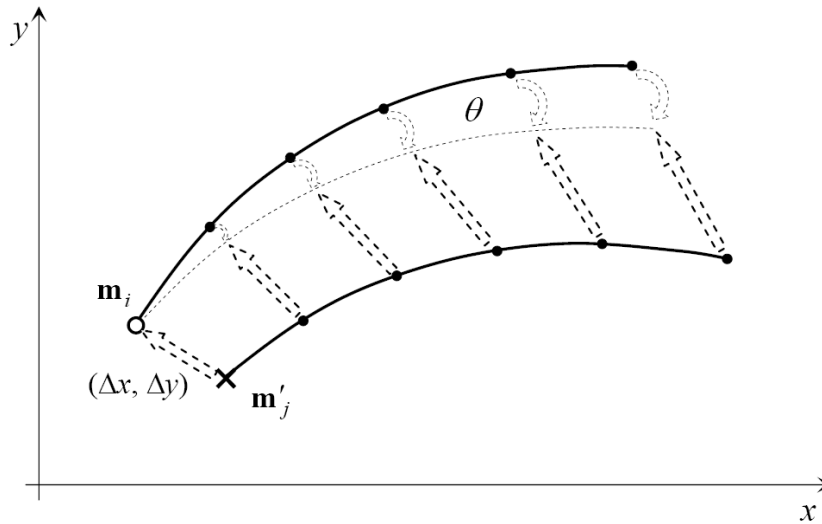
İkinci adımda her bir parmak izi için aşağıdaki formüle göre, referans özellik noktasına dayanarak tüm diğer özellik noktalarına çevrilir ve döndürülür.

Giriş parmak izi I ve şablon T ' nin koordinat sistemine bağlı olarak gösterimi aşağıdaki eşitliklerde yer verilmiştir.

$$T = \{ m_1, m_2, \dots, m_m \}, \quad m_i = \{ x_i, y_i, \theta_i \}, \quad i = 1 \dots m \quad (6.34)$$

$$I = \{ m'_1, m'_2, \dots, m'_n \}, \quad m'_j = \{ x'_j, y'_j, \theta'_j \}, \quad j = 1 \dots n \quad (6.35)$$

Burada x ve y noktaları konumları belirtirken θ saat yönünün tersinde yönelim açısını gösterir.



Şekil 6.21 Koordinat ve açı gösterimi (Jain vd., 1997)

Daha sonrasında özellik noktaları yeni konumlu koordinat sistemine dönüştürülür. Bu işlemler için gerekli denklemler aşağıda gösterildiği gibidir (Maltoni vd., 2009).

$$\text{map}_{\Delta x, \Delta y, \theta} (m'_j = \{ x'_j, y'_j, \theta'_j \}) = m''_j = \{ x''_j, y''_j, \theta''_j + \theta \} \quad (6.36)$$

$$\begin{bmatrix} x''_j \\ y''_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_j \\ y'_j \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (6.37)$$

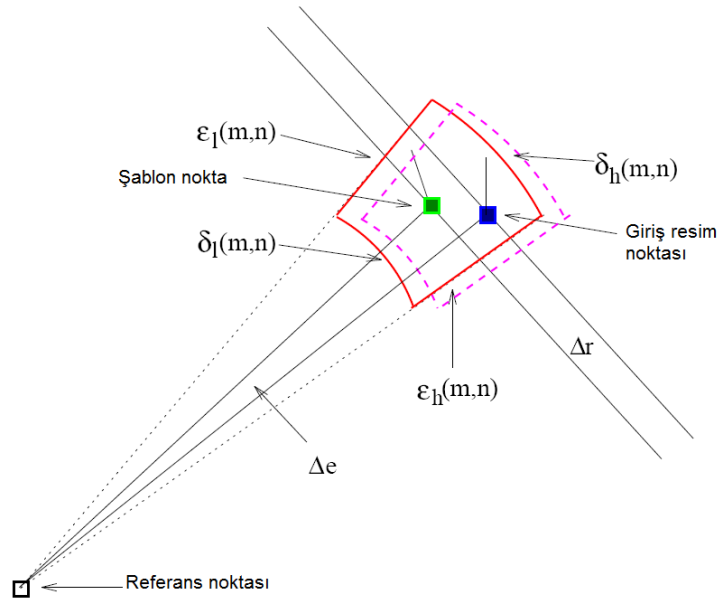
Bu çalışmada (Hong, 1998)'daki yaklaşıma eşdeğer bir işlem yapılmış olup, daha önceden çizgi aralığı uzunluklu özellik noktasından başlayarak kısa çizgi takibi tarafından hesaplanan dönüş açısı kullanılır. Özellik çıkartımı kısmında özellik doğrultusu elde edilip, gösterilen doğruluk korunarak hesaplama işlem yükü azaltılır. Ayrıca (Hong, 1998)'daki yaklaşımda bir parmak

izinden diğerine referans özellik noktası çifti farklılığına bağlı direkt uyuşturarak aktarma işlemi gerçekleştirilmiştir. Fakat halen bir sonraki karşılaştırma basamağındaki her bir görüntü için polar koordinat sistemine geçiş gereklidir. Buradaki yaklaşımda kendi referans özellik noktasına bağlı her noktanın aktarımı yapıлып x-y düzlemine bağlı karşılaştırma yapılır. Bu sebeple işlem yükü daha hafifletilmiş olur.

6.7.2 Karşılaştırma Basamağı

Karşılaştırma kısmında, taşınan iki takım özellik noktasından sonra, iki özellik alanının aynı konuma ve eş yöne yakın olduğunu farz ederek eşleşen özellik alanı çiftlerini hesaplayan bir karşılaştırma algoritması kullanılmaktadır. Karşılaştırma algoritması yan etkileri önleyip uyuşan aynı iki parmak izini (x, y, θ) parametrelerine göre kati karşılaştırma işlemine tutması için çok yönlü ve performanslı olmalıdır.

Burada her özellik şablonun etrafına sınırlayan kutu yerleşimi yapılarak özellik karşılaştırması yapılmıştır. Şayet karşılaştırılacak özellik dikdörtgen kutu içerisinde ve aralarındaki ayrılık doğrultusu çok küçük ise iki özellik noktası eşleşmiş özellik çifti olarak alınmaktadır (Jain vd., 1997). Görüntü şablonundaki her özellik, hiçbir karşılaştırılmış özellik içermez ya da sadece tek içeren özelliği vardır.



6.22 Sınırlayan kutu yerleşimi gösterimi (Jain vd., 1997)

Şekil 6.15' teki $\delta_l(m, n)$, $\delta_h(m, n)$, $\epsilon_l(m, n)$, $\epsilon_h(m, n)$ ifadeler yarıçap ve radyal açıdaki yerel sınırlayan kutuları, Δr ve Δe giriş ile şablonun yarıçapı ve radyal açıları arasındaki farkı

göstermektedir.

Eşleşmeler sonrasında çıkan yeni özellik noktaları tekrar koordinat noktalarına göre gösterilir.

$$Tp = \left((r_1^T, e_1^T, \theta_1^T), \dots, (r_M^T, e_M^T, \theta_M^T) \right) \quad (6.38)$$

$$Ip = \left((r_1^I, e_1^I, \theta_1^I), \dots, (r_N^I, e_N^I, \theta_N^I) \right) \quad (6.39)$$

Denklemlerdeki r , e ve θ referans noktaya bağlı yeniden oluşturulan yarıçap ve açığı göstermektedir.

İki parmak izi için son olarak karşılaştırma oranı, toplam parmak izlerinin karşılaştırma oranıyla hesaplanır. Sonuç yüzde olarak hesaplanır ve sonuç geçerli bir eşik değerinden yukarıda ise iki parmak izi aynı olarak kabul edilir (Jain vd., 1997).

$$M_{TI} = \frac{N_{eşleşen}}{\max\{M,N\}} \times 100 \quad (6.40)$$

7. UYGULAMA SONUÇLARI

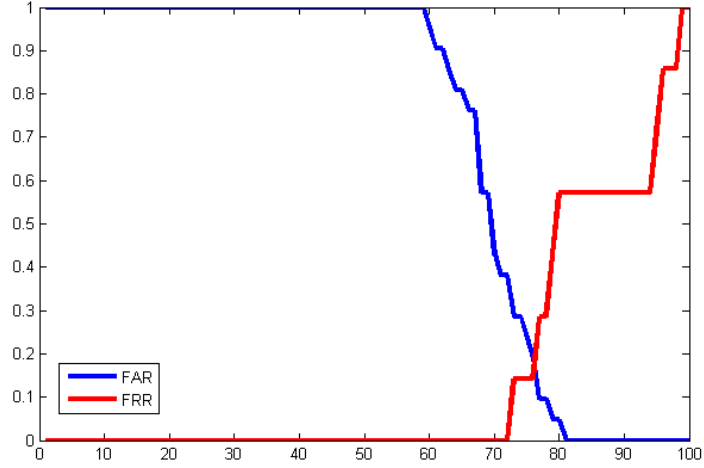
7.1 Parmak İzi Tanıma için Doğruluk Kriterleri

“Biyometrik yöntemlerin çalışma prensibi” bölümünde bahsedildiği üzere parmak izi tanıma sistemi doğruluğu için bazı kriterler kabul edilir. Bunlar, başarı oranı, yanlış ret oranı (FRR), yanlış kabul oranı (FAR) ve diğeri eşit hata oranı (EER) dır. Başarı oranı, karşılaştırılan iki parmak izindeki ortak özellik noktalarının benzerlik oranını verir. Yanlış kabul oranı olarak kabul edilen bu değer, bir karşılaştırma sonucundaki yanlışlıkla kabul edilen farklı parmakların sayısının, parmakların toplam sayısına oranıdır. Yanlış red oranı olarak kabul edilen değer ise, aynı parmak izinin farklı karşılaştırmalardaki geri çevrilme sayısının, parmakların toplam sayısına oranıdır. EER olarak ifade edilen eşit hata oranı, yanlış red oranının yanlış kabul oranı ile eşit olduğu noktayı temsil etmektedir (Maltoni vd., 2009). Bu oran, bir biyometrik sistemin doğruluğunu belirleyen en önemli ölçüttür. Düşük EER değeri sistemin güvenliğinin daha iyi olduğunu gösterir.

$$(\%)FAR = \frac{\text{Yanlışlıkla Kabul Edilen Sayısı}}{\text{Toplam Karşılaştırma Sayısı}} \times 100 \quad (7.1)$$

$$(\%)FRR = \frac{\text{Yanlışlıkla Geri Çevrilen Sayısı}}{\text{Toplam Karşılaştırma Sayısı}} \times 100 \quad (7.2)$$

Veri tabanı otuz kişiye ait aynı parmak izinin çeşitli örneklerinden ve farklı parmaklara ait izlerden oluşturulmuştur. Yanlış red ve kabul oranını hesaplamak için veri tabanındaki bir kişiye ait parmak izi, kendisinin diğeri izleri ile beraber başkalarının izleriyle karşılaştırılmış ve bu durumdaki karşılaştırma sonucuna bakılmıştır. Başka bir izin bu kişiye ait olduğunu bulma sonucu yanlışlıkla kabul oranı, kişinin kendine ait izi tanınamaması ise yanlışlıkla geri çevrilme oranı olarak hesaplanmıştır. Alınan izler hangi eldeki parmağa ait ise diğeri eldeki simetrik olanı işleme dahil edilmemiştir.



Şekil 7.1 FAR-FRR grafiği

7.2 Uygulama Sonuçları

Sonuç performansı için otuz kişiden alınan toplam altmış parmak izi görüntüsü ile oluşturulan bir veritabanı kullanılmıştır. Arayüzde web kameradan okunan parmak izinin yanı sıra kayıtlı bulunan “veriTabanı” klasöründen kayıtlı görüntüler seçilerek uygulama performansı için işlem gerçekleştirilmektedir. Yapılan karşılaştırmalarda bu işlemin sahte parmak izlerinin gerçeklerinden güvenli bir şekilde ayırt edilebildiği görülmüştür. Görülüyor ki algoritma farklı parmak izlerini uygun bir eşik değeri seçildiğinde iyi bir doğruluk oranı elde ediniği sağlamaktadır. Karşılaştırmada kimlik tespiti için eşik değeri %85 seçilmiş olup bu değer altındaki oranlar başka bir ize ait kabul edilip, üzerindeki değerler aynı iz olarak kabul edilmiştir. Karşılaştırma işlemi sonrasında bir kişiye ait kendi parmak izini geri çevirmesi bir kez, başka bir parmak izini yanlışlıkla kabul etmesi iki kez gerçekleşmiştir. Bu durumda %85 doğruluk eşik değerine bağlı kalarak FAR ve FRR değerleri şu şekilde bulunmuştur:

$$FAR = \%3.33 \quad (7.3)$$

$$FRR = \%1.66 \quad (7.4)$$

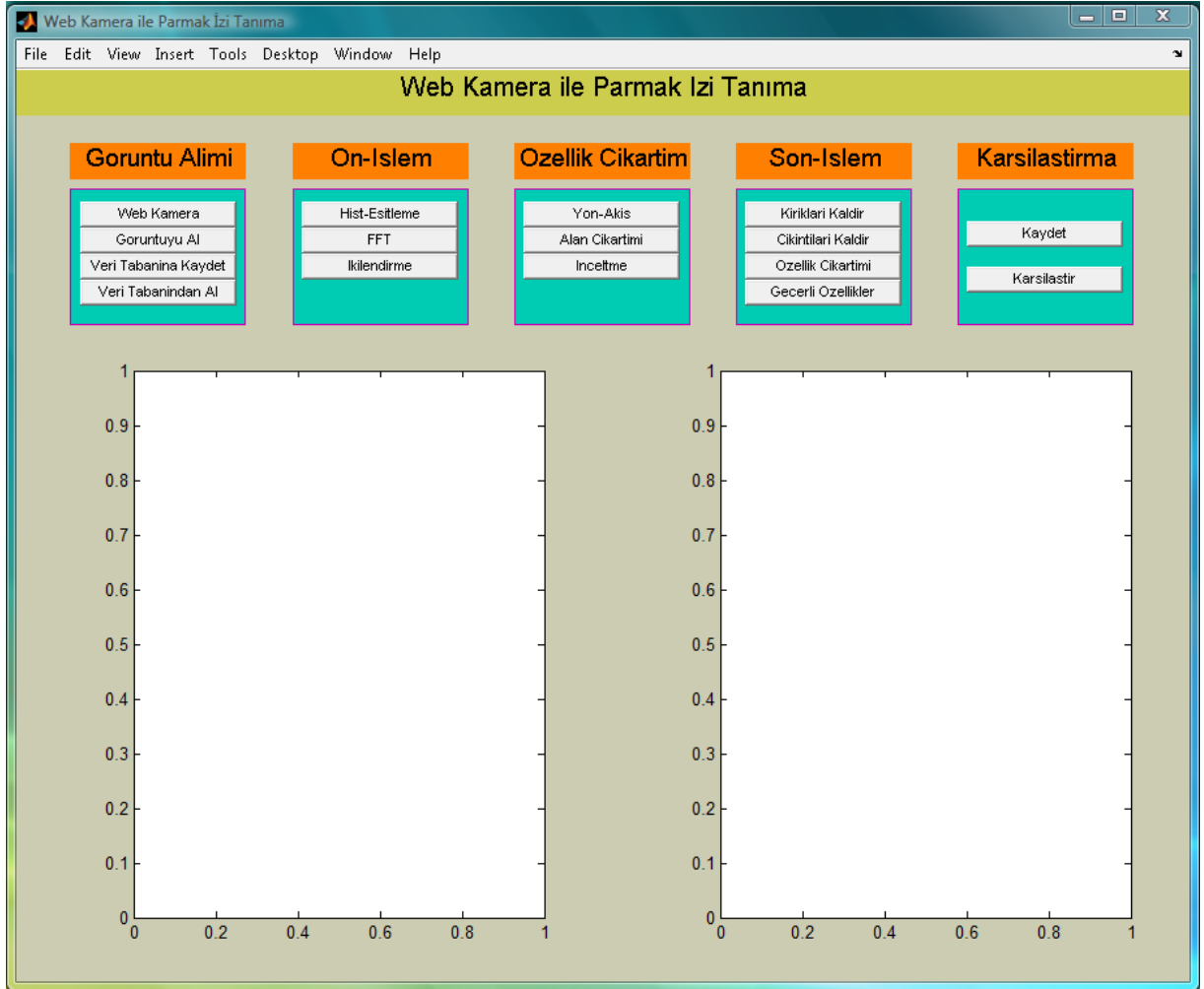
Median filtreleme sonrasında görüntüye doğrudan ikilendirme işlemi uygulandığında inceltilmiş çizgi haritasında kırık çizgi yapılarının daha fazla olduğu görülmüştür. Bu sebeple yöntem basamaklarının farklı sırada uygulanmasını zorunlu kılmıştır. Ayrıca Median filtreleme işleminin ardından kenar belirleme yönteminin uygulanması çizgi yapılarının daha az kayıplı ve daha belirgin olduğunu göstermiştir.

Yüksek derecede yanlış kabullenme ve doğru geri çevirme, bazı parmak izi görüntülerinin kötü kalitede olmasından ve ortam koşullarından ileri gelmektedir. İyi koşullarda alınmış olan bir örneğin karşılaştırma sonrası başarı sonuçlarına bakıldığında Median filtre uygulamasının FFT filtrelemeden daha başarılı olduğu anlaşılmıştır. FFT filtrelemede başarı oranı %95.9184, Median filtrelemede başarı oranı %97.1698 olarak bulunmuştur.

8. ARAYÜZ KULLANIMI

1. Arayüzü Başlatma

Matlab klasöründe bulunan GUI komutunu çalıştırınız.



Şekil 8.1 Kullanıcı arayüzü başlangıcı

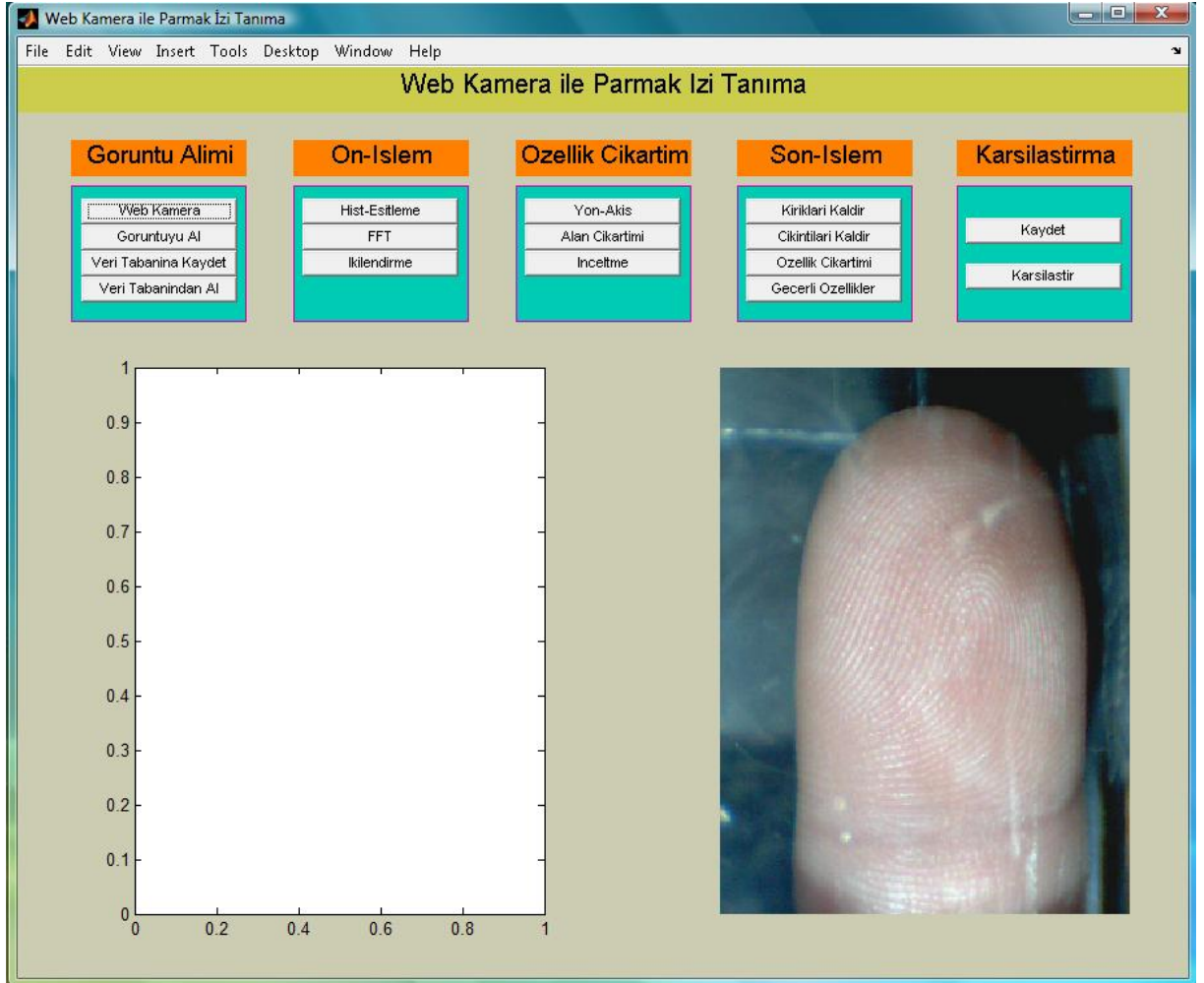
Arayüzden görüldüğü üzere beş menü bulunmakta ve bu menülerde çeşitli işlemleri içeren fonksiyonlar yer almıştır. Bu kısımdaki fonksiyonlar sırasıyla:

Web Kamera, Görüntüyü Al, Veri Tabanına Kaydet, Veri Tabanından Al, Hist-Eşitleme, FFT, İkileendirme, Yön-Akış, Alan Çıkartımı, İnceltme, Kırıkları Kaldır, Çıkıntıları Kaldır, Özellik Çıkartımı, Geçerli Özellikler, Kaydet ve Karşılaştır fonksiyon seçimleridir.

Fonksiyonların alt kısmında bulunup kullanıcının karşısına çıkmış olan iki adet pencere, parmak izi görüntülerini ve işlemler sonrası oluşan durumları görmek içindir.

2. Web Kamera

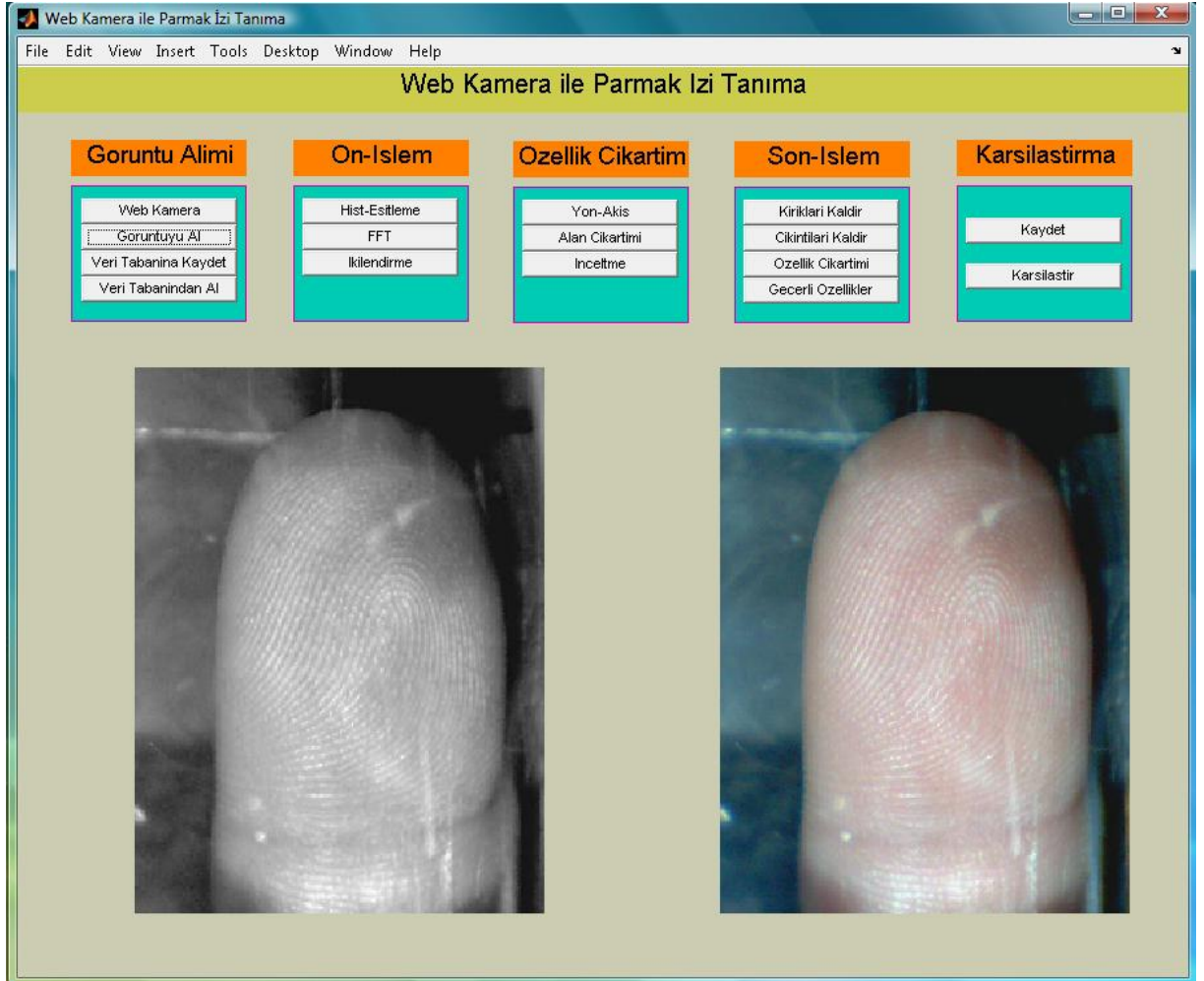
Bu düğmeye basıldığında, sağ taraftaki pencerede gerçek zamanlı web kamerası çalışarak dış ortandan görüntü alınır. Program görüntü alımı için kullanıcının parmağını doğru bir şekilde sabitleyebilmesini beklemektedir.



Şekil 8.2 Web kamerayı çalıştırma

3. Görüntüyü Al

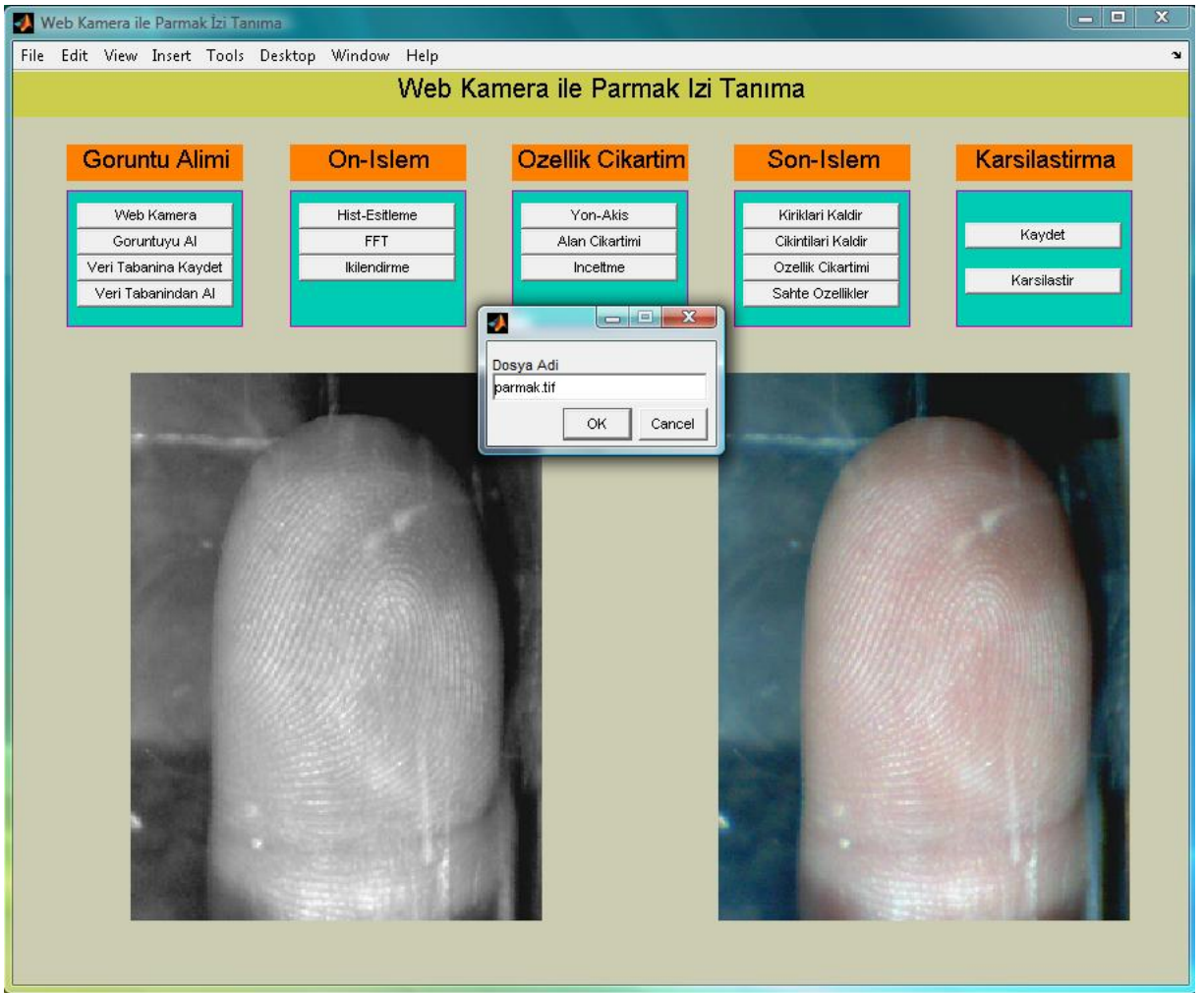
Bu fonksiyon, bir önceki web kamera fonksiyonuna bağlı çalışmaktadır. Kullanıcı şayet alınan parmak izi görüntüsü üzerinde işlem yapmak istiyorsa, sağ tarafta web kamera ile alınan görüntü, bu fonksiyon tuşu ile sol tarafa geçirilerek gri ölçekli hale dönüştürülür.



Şekil 8.3 Web kameradan görüntü alımı

4. Veri Tabanına Kaydet

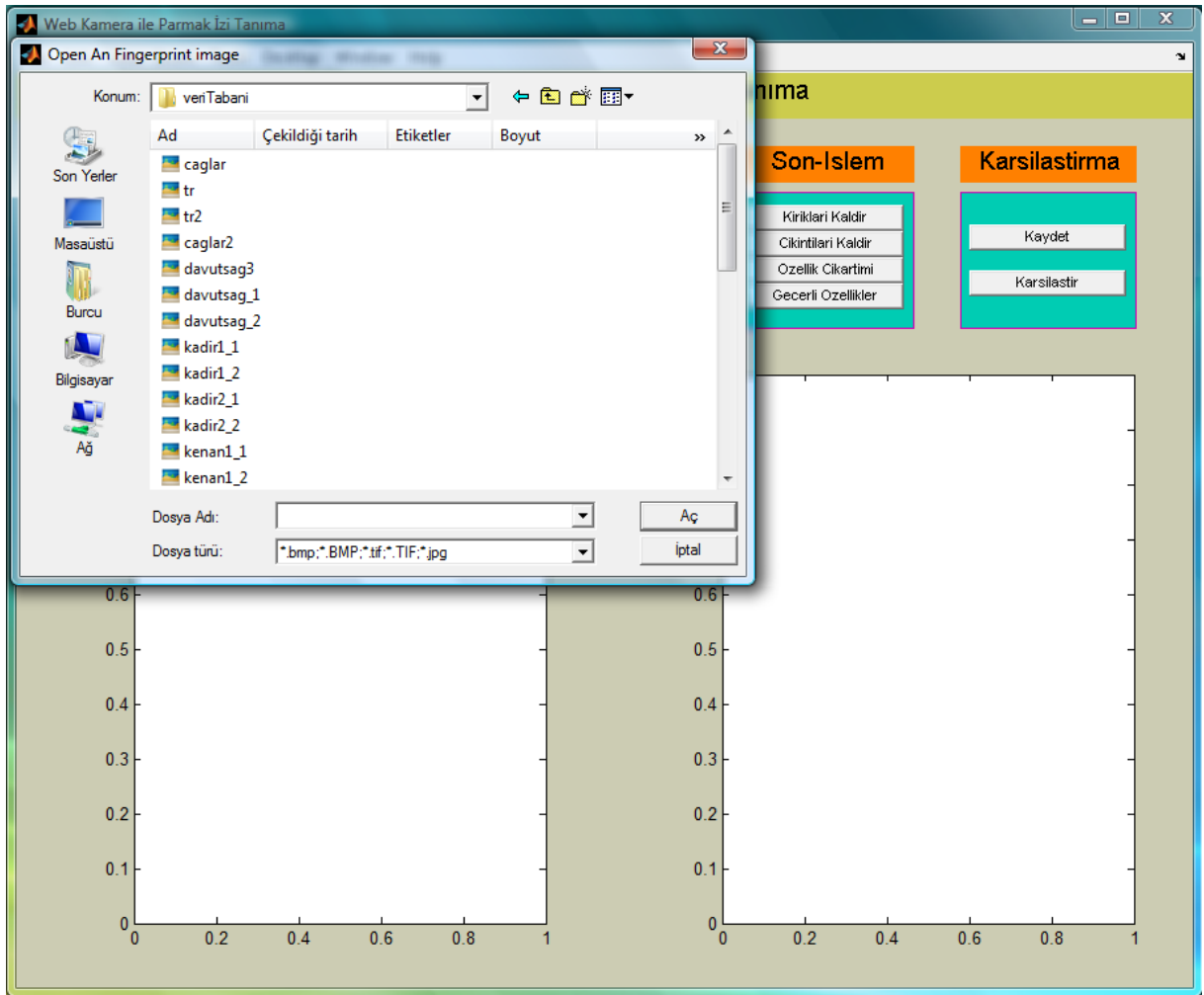
Kullanıcı isterse web kamerası ile alınan görüntüyü bu fonksiyon tuşu ile veri tabanına kayıt eder. Bu kayıt işlemi gri ölçekli olarak yapılmaktadır. Dosya biçimleri, belirlenen bir isimden sonra *.tif, *.bmp, *.jpg formatı ile sisteme kayıt edilmelidir. Aksi takdirde kayıt işlemi yapılacağı zaman sistem bu dosya biçimini tanımayacaktır.



Şekil 8.4 Dosya kaydı

5. Veri Tabanından Al

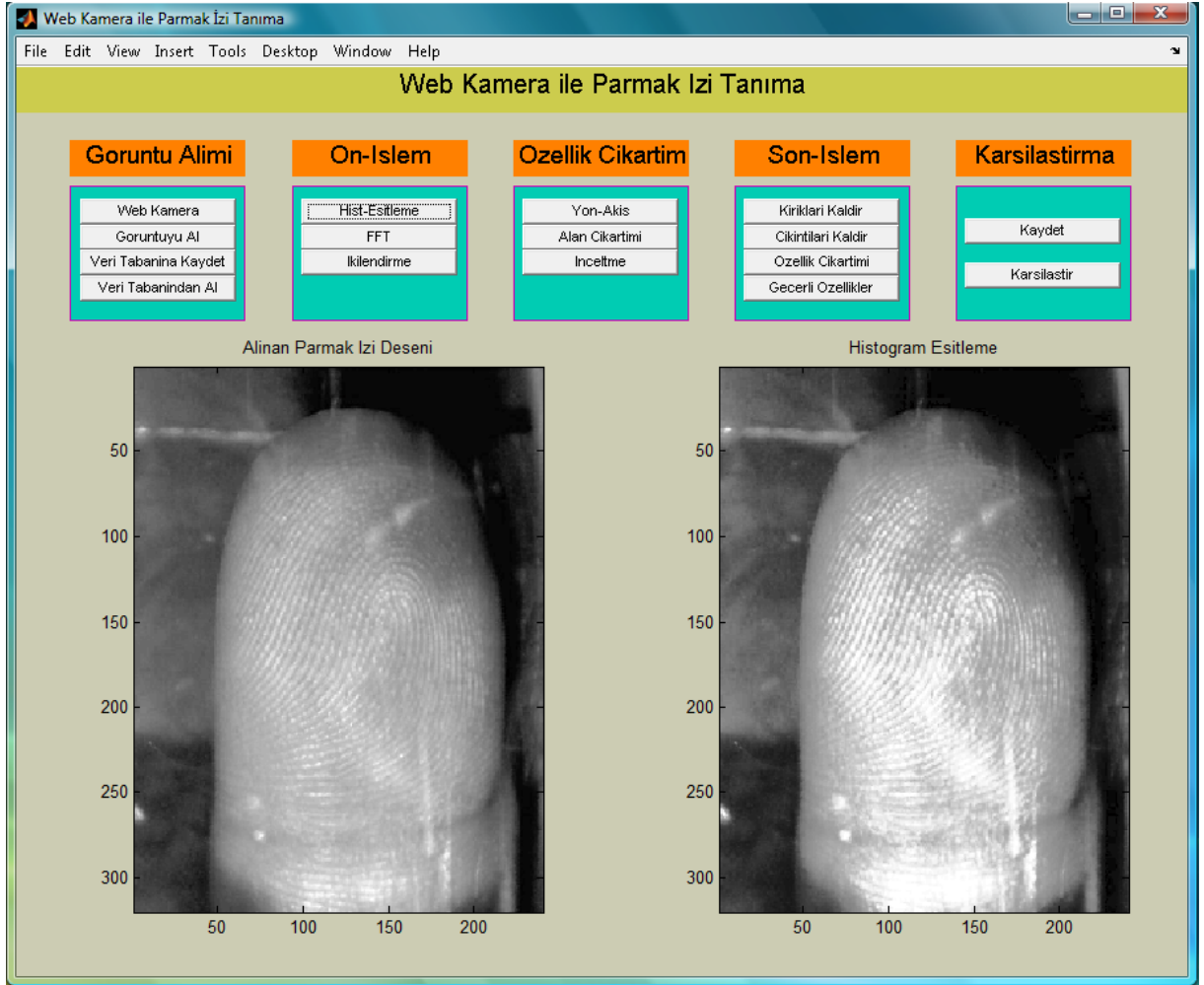
Oluşturulan veri tabanı ile kullanıcı, web kamerası kullanmadan arşivdeki kayıtlı görüntülerden seçim yapabilir. Böylece sistem sadece web kamerasına bağlı kalmadan da doğrulama tekniği yapmaktadır. Veri tabanından alınan görüntüler kayıt sırasında olduğu gibi gri ölçekli halindedir.



Şekil 8.5 Dosya çağırımı

6. Hist-Eşitleme

Bu fonksiyon ile histogram eşitlemesi gerçekleştirilir. Sol taraftaki pencerede gerçek görüntü bulunurken, sağ taraftaki pencerede histogram eşitlemesi sonrası görüntü bulunmaktadır.

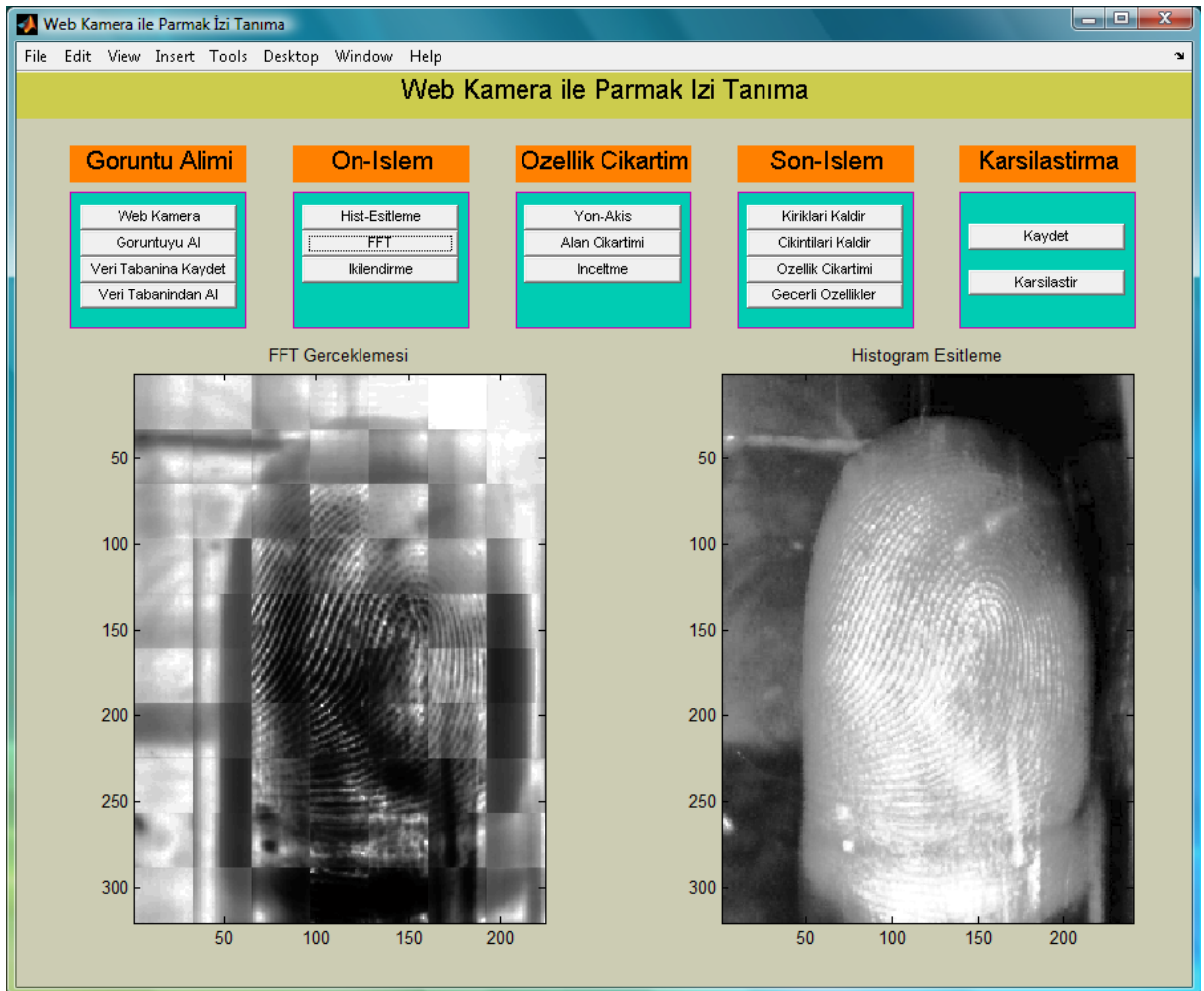


Şekil 8.6 Histogram eşitleme

7. FFT

FFT, Fourier Dönüşümü bu fonksiyonla gerçekleştirilmektedir.

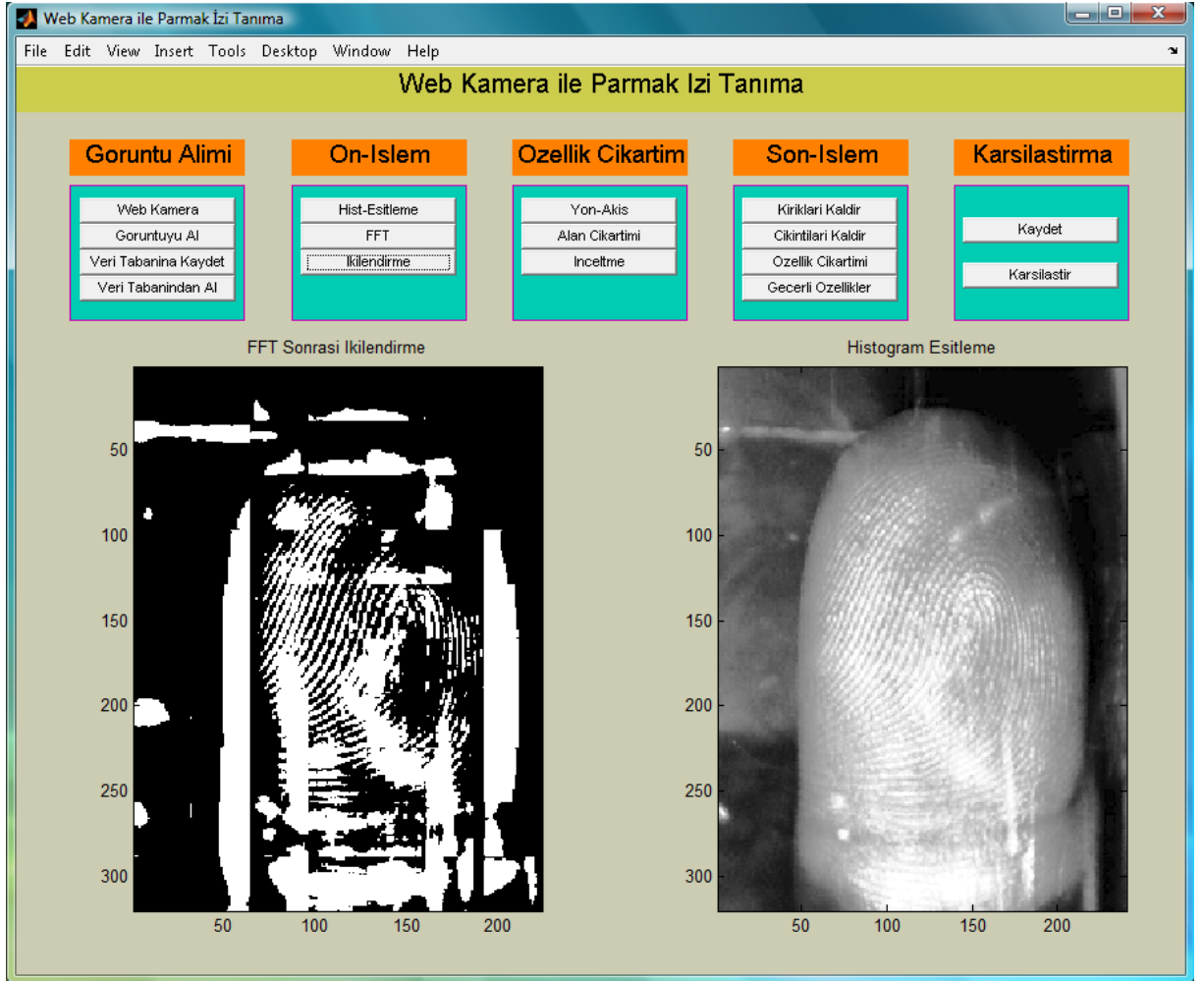
Bu etken, ilgili bölümdeki ikinci formülde yer alan K değerinin görüntü kalitesine bağlı olarak kullanıcı tarafından istenilen değerin seçimiyle belirlenir. Bu değer ilgili algoritmanın içindeki K değerine değer atanmasıyla gerçekleştirilir. İşlem sonrasında sol pencerede FFT etkeni sonrası görüntü bulunurken, sağ pencerede histogram eşitleme sonrası görüntü bulunmaktadır.



Şekil 8.7 FFT dönüşümü

8. İkileendirme

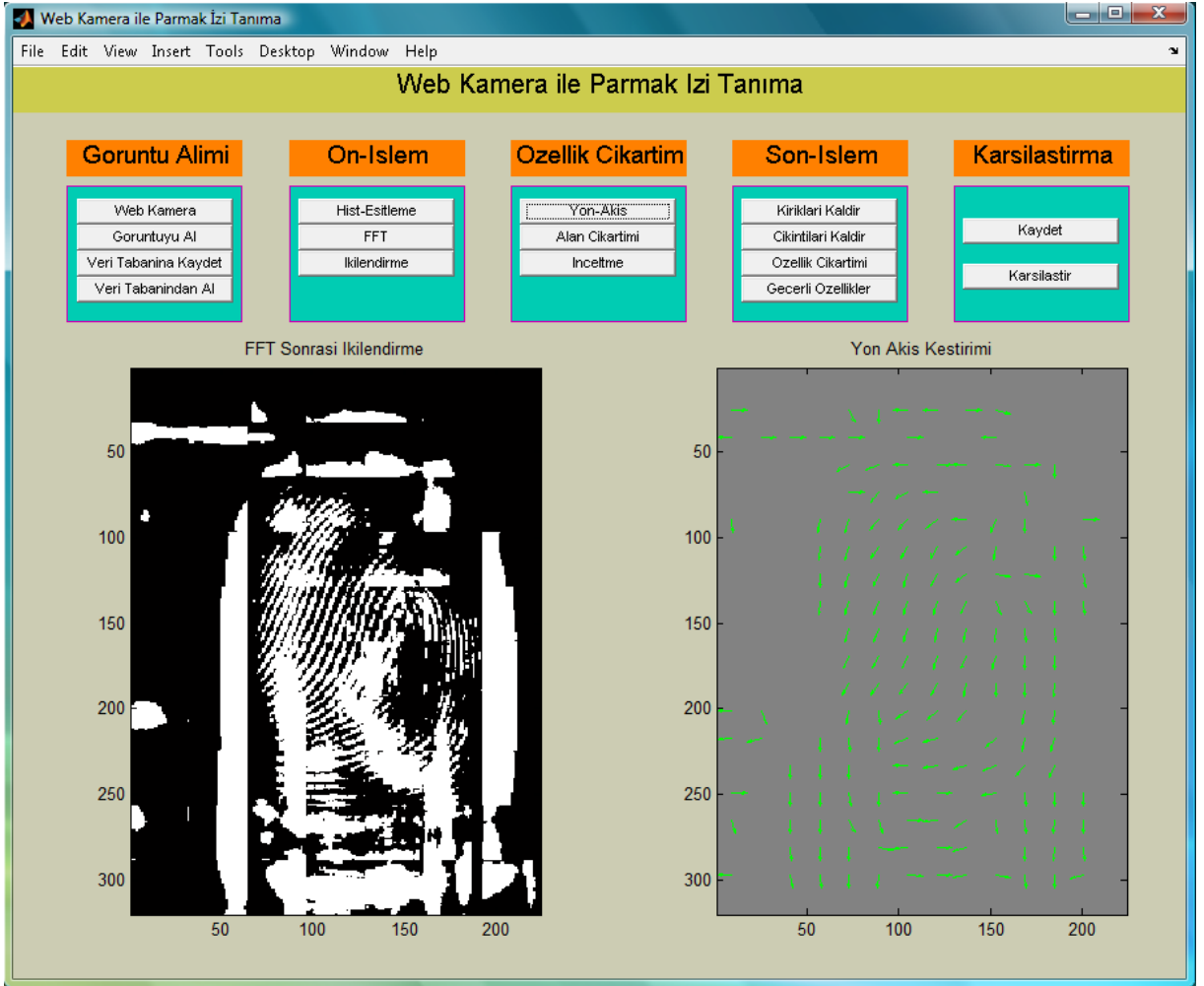
Bu işlem ile FFT sonrası gri ölçekli görüntüye siyah ve beyaz olan ikileendirme işlemi uygulanır. Sol taraftaki pencerede ikileendirme sonrası görüntü mevcutken, sağ tarafta histogram eşitleme sonrası görüntü bulunmaktadır.



Şekil 8.8 İkileendirme işlemi

9. Yön-Akış

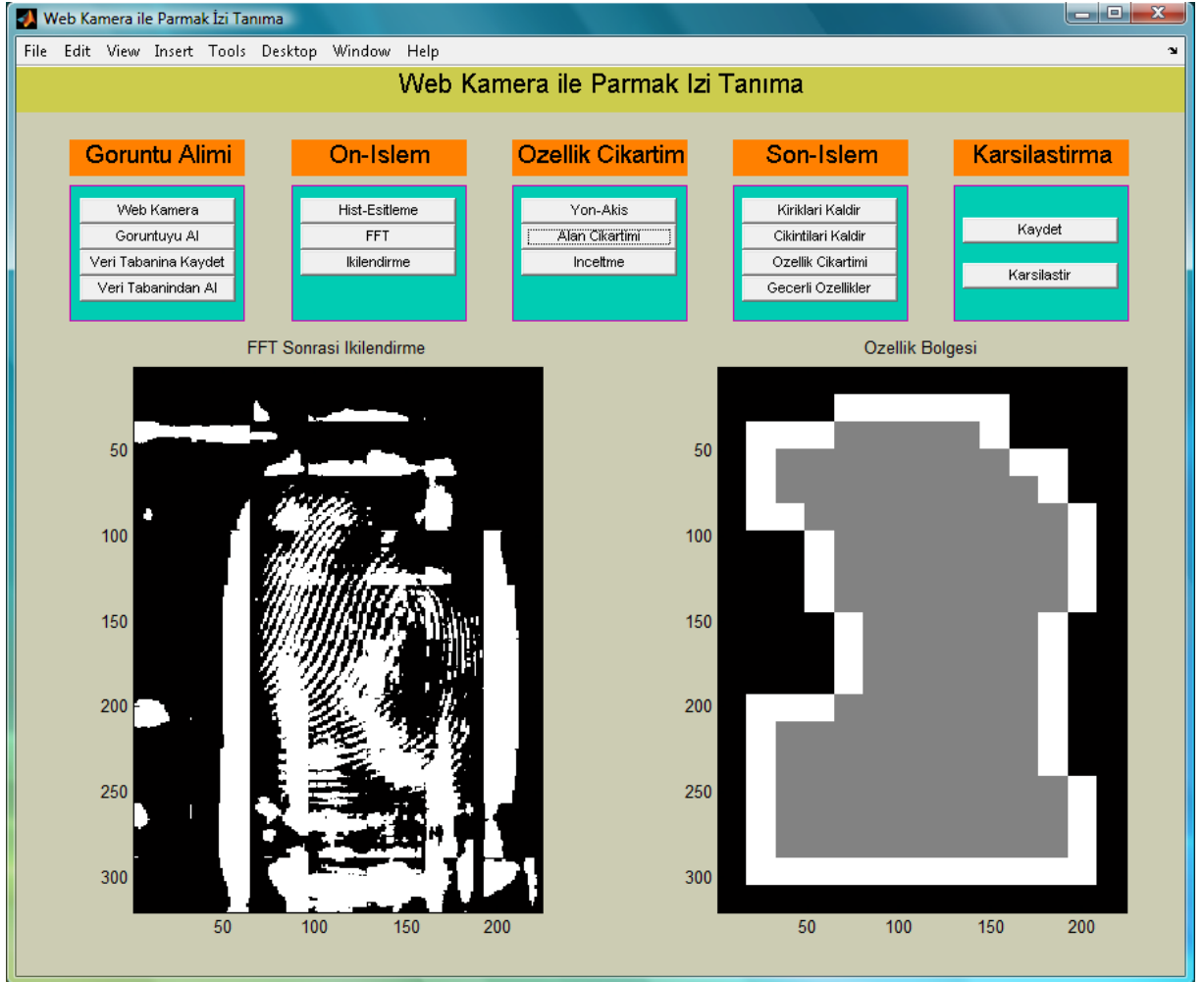
Bu fonksiyon ile ikilendirme sonrası yön akış haritası çıkartılır. İşlem sonrası yön akış haritası sağ taraftaki pencerede görülmektedir.



Şekil 8.9 Yön akış haritası oluşumu

10. Alan Çıkartımı

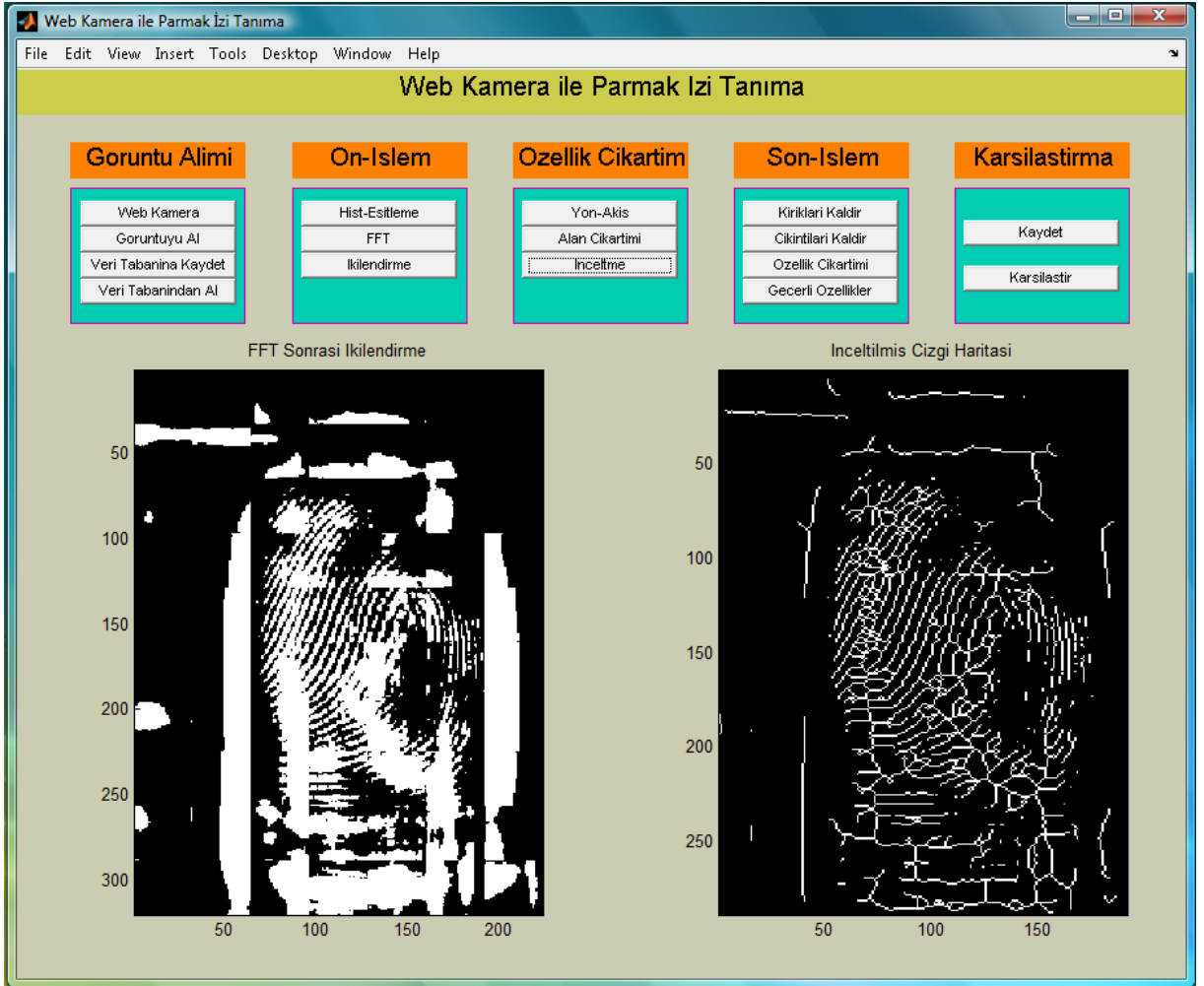
Morfolojik işlemler ile gerçekleştirilen alan çıkartımı bu adımda gerçekleşmektedir. Çıkartım işlemi yapıldıktan sonraki görüntü, sağ tarafta bulunan pencerede görülmektedir.



Şekil 8.10 Alan çıkartımı

11. İnceltme

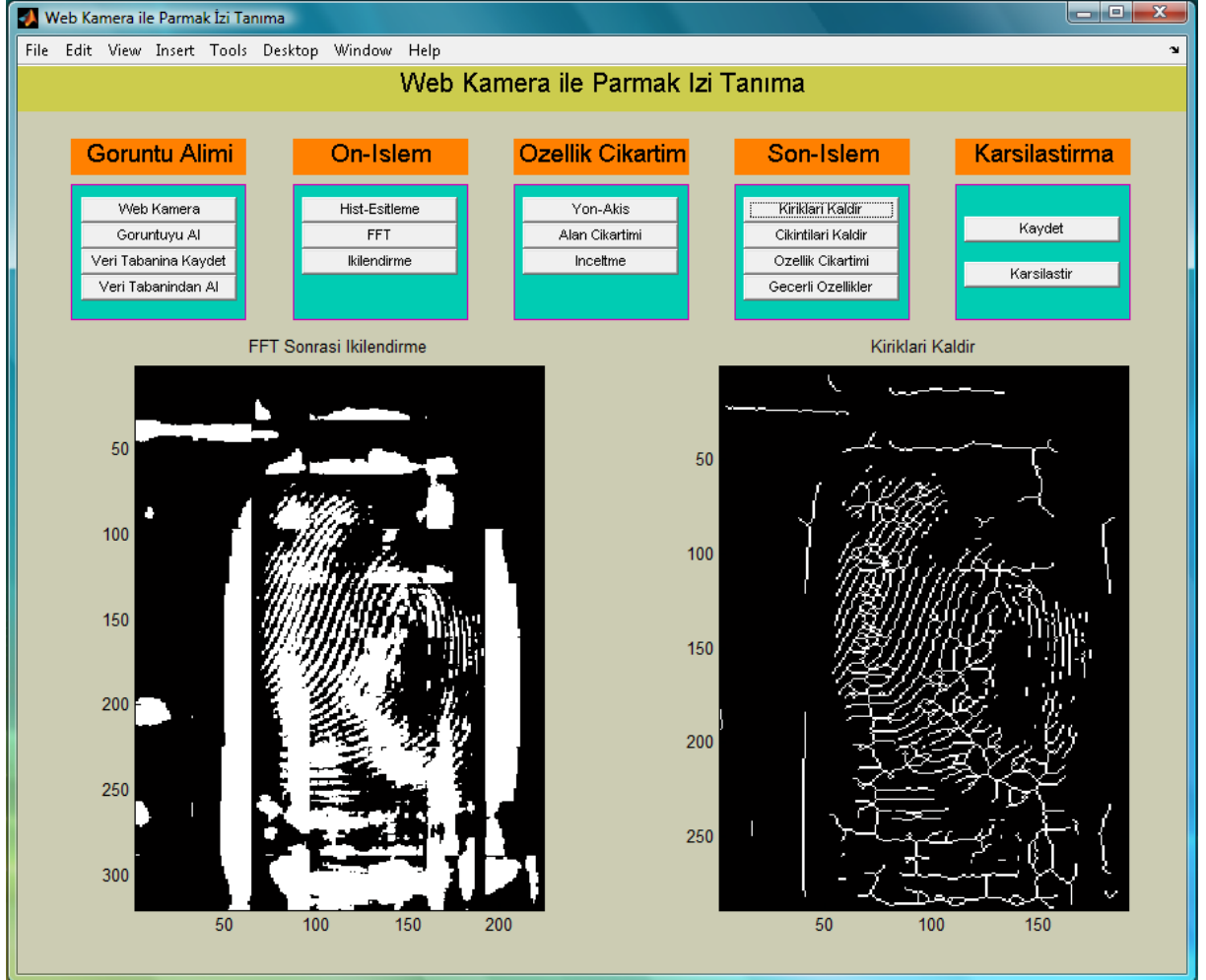
Alan çıkartımından sonra bu fonksiyonla parmak izi çizgi inceltimi yapılır. İnceltme işlemi yapıldıktan sonraki inceltilmiş çizgi haritası, sağ taraftaki pencerede gözükmektedir.



Şekil 8.11 İnceltme işlemi

12. Kırıkları Kaldır

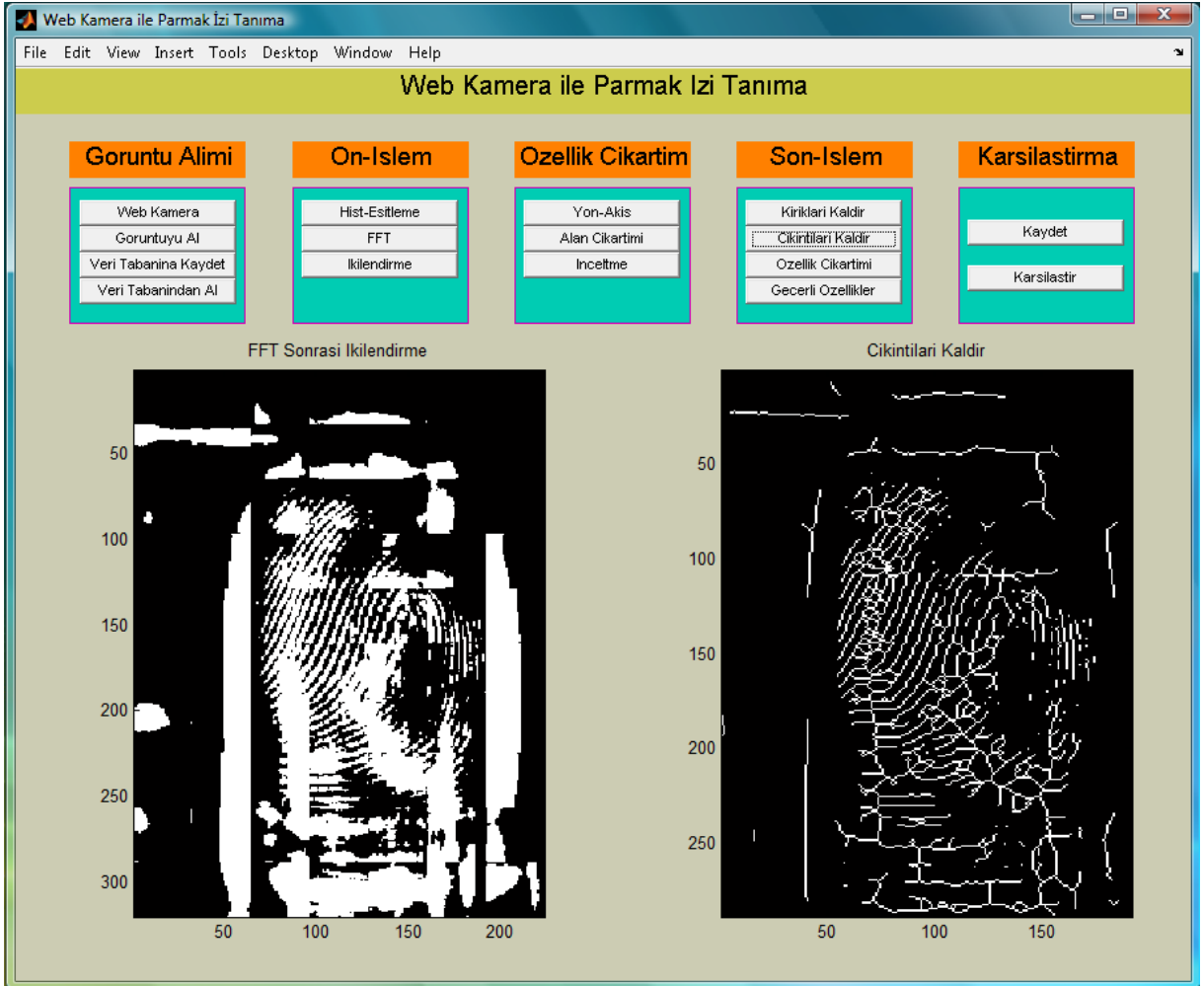
İnceltme sonrası çizgi arasında oluşan çizgi aralığından daha ufak çizgi veya artıkların kaldırım işlemi yapılmaktadır. Kırıkları kaldırma işlemi yapıldıktan sonraki görüntü, sağ taraftaki pencerede gözükmektedir.



Şekil 8.12 Kırıkları kaldırımı

13. Çıkıntıları Kaldır

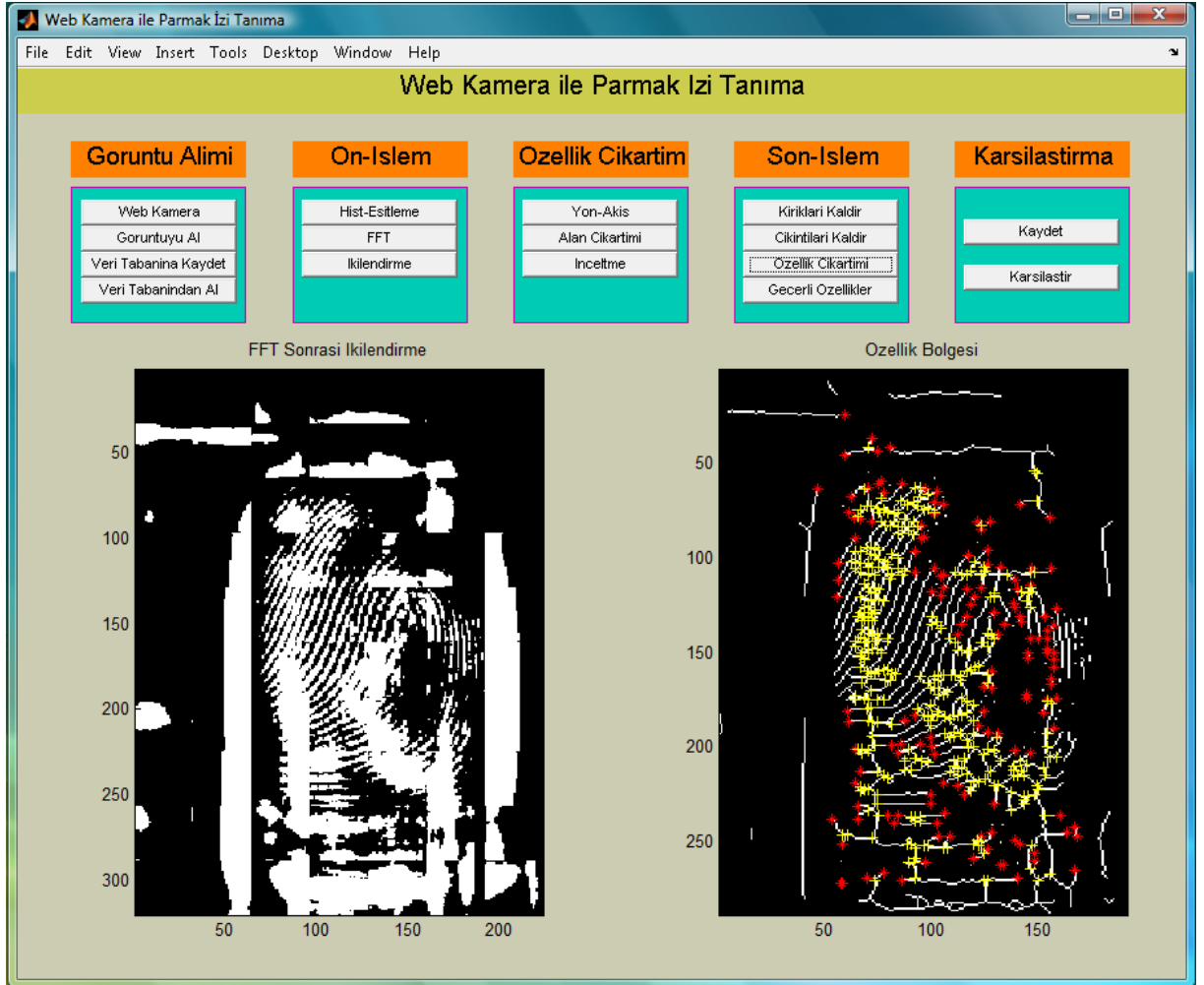
Bu işlem inceltme sonrasında oluşan kırıkların, artıkların ve çıkıntıların kaldırılması işlemidir. Çıkıntıları kaldırma işlemi yapıldıktan sonraki görüntü sağ taraftaki pencerede görülmektedir.



Şekil 8.13 Çıkıntıların kaldırımı

14. Özellik Çıkartımı

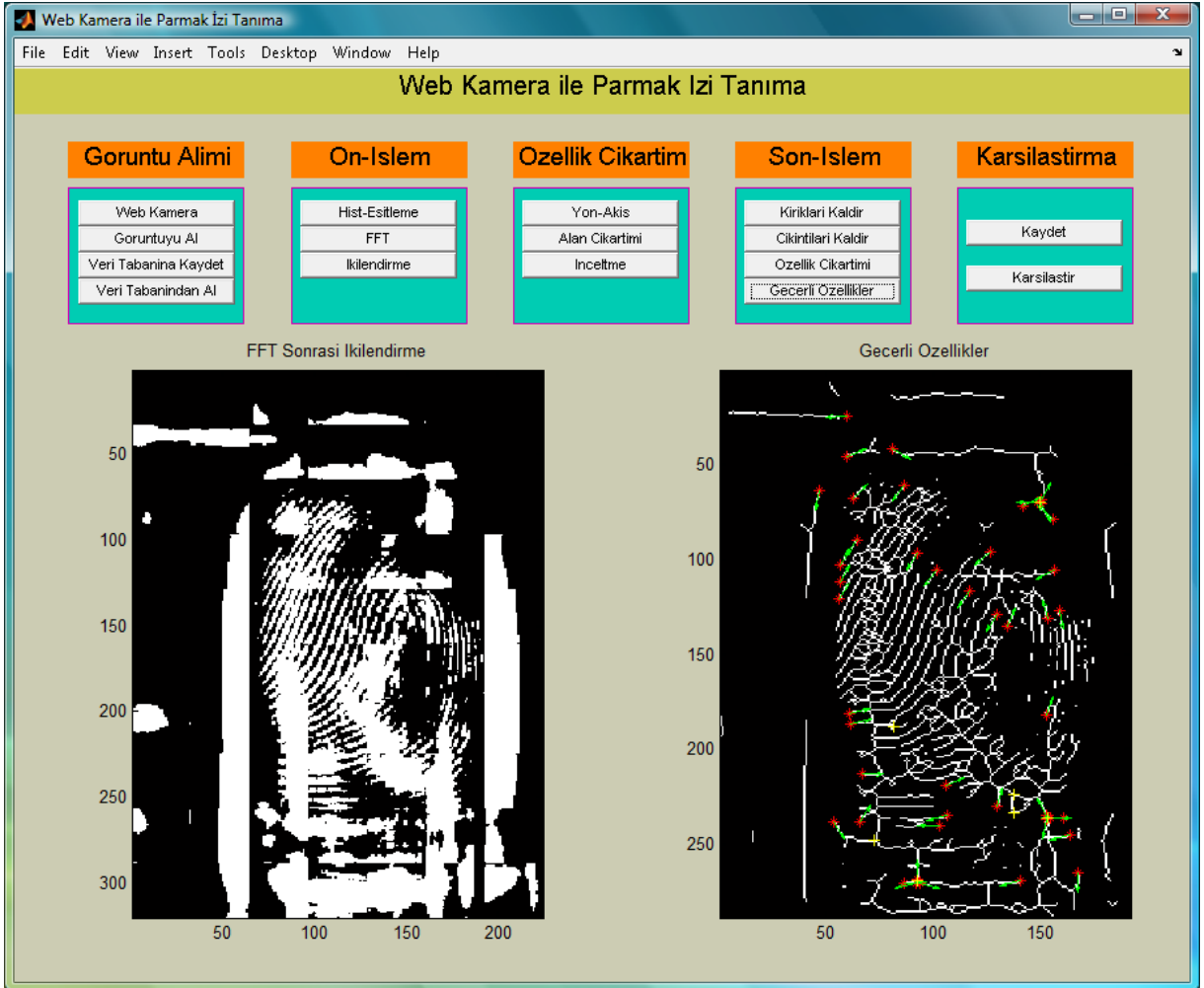
Burda karşılaştırma işlemi için en gerekli olan özellik çıkartımı yapılmaktadır. Özellik çıkartımı yapıldıktan sonraki görüntü sağ taraftaki pencerede görülmektedir.



Şekil 8.14 Özellik çıkartımı

15. Geçerli Özellikler

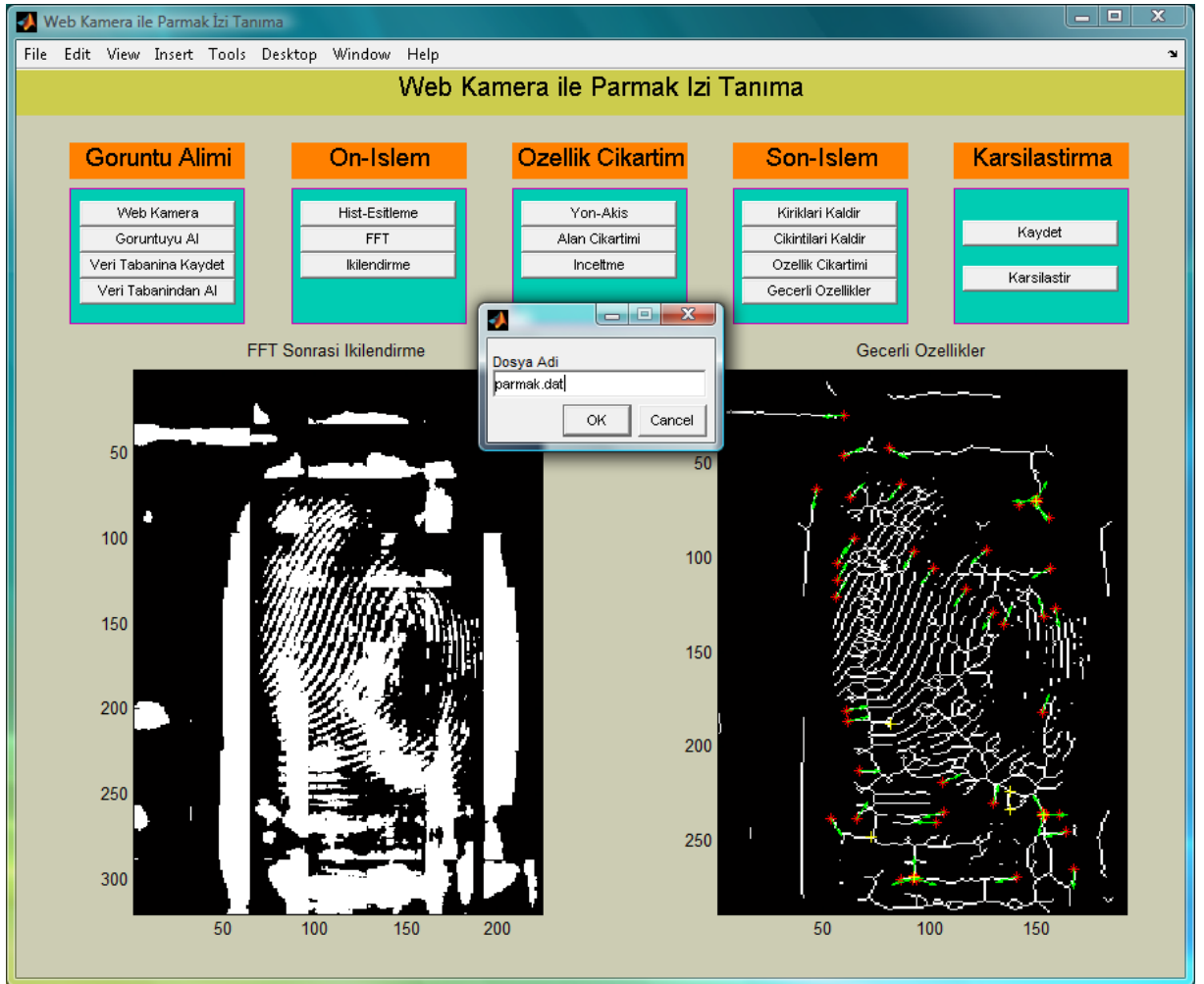
Bu işlem ile yanılmaya yönelik sahte ayrıntılar atıldıktan sonra geçerli özellikler elde edilir. İşlem sonrası oluşan görüntü sağ taraftaki pencerede bulunmaktadır.



Şekil 8.15 Geçerli özelliklerin gösterimi

16. Kaydet

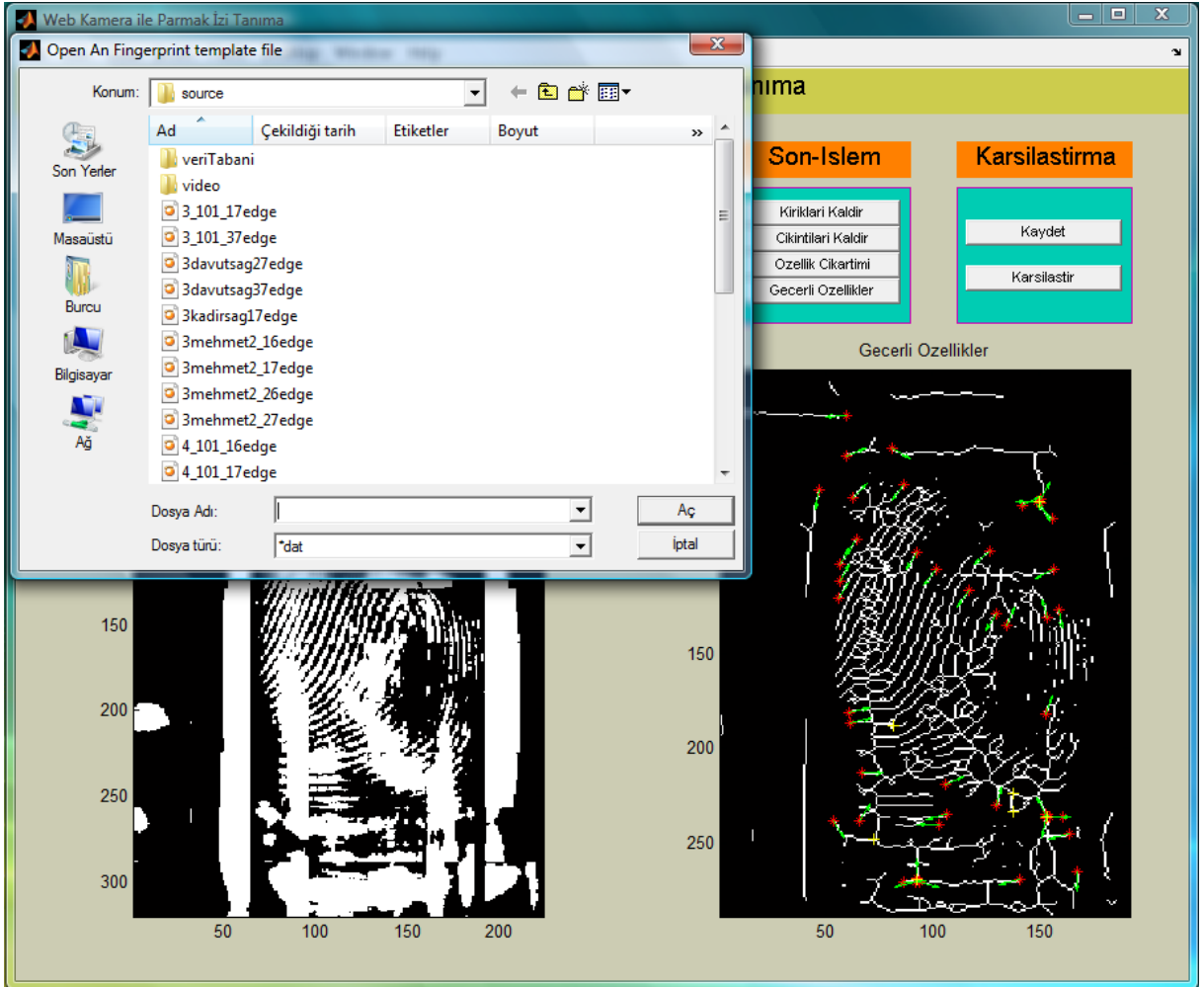
Görüntüye tüm işlemler uygulandıktan sonra kaydet fonksiyonu ile veri tabanına özellik çıkartımı kayıt edilir. Düğmeye basıldığında kullanıcı tarafından dosya adının girilmesi gereken pencere açılacaktır. Dosya biçimleri belirlenen bir isimden sonra *.dat formatı ile sisteme kayıt edilmelidir. Aksi takdirde karşılaştırma işlemi yapılacağı zaman sistem bu dosya biçimini geçersiz kılacaktır.



Şekil 8.16 Özellik çıkartım kaydı

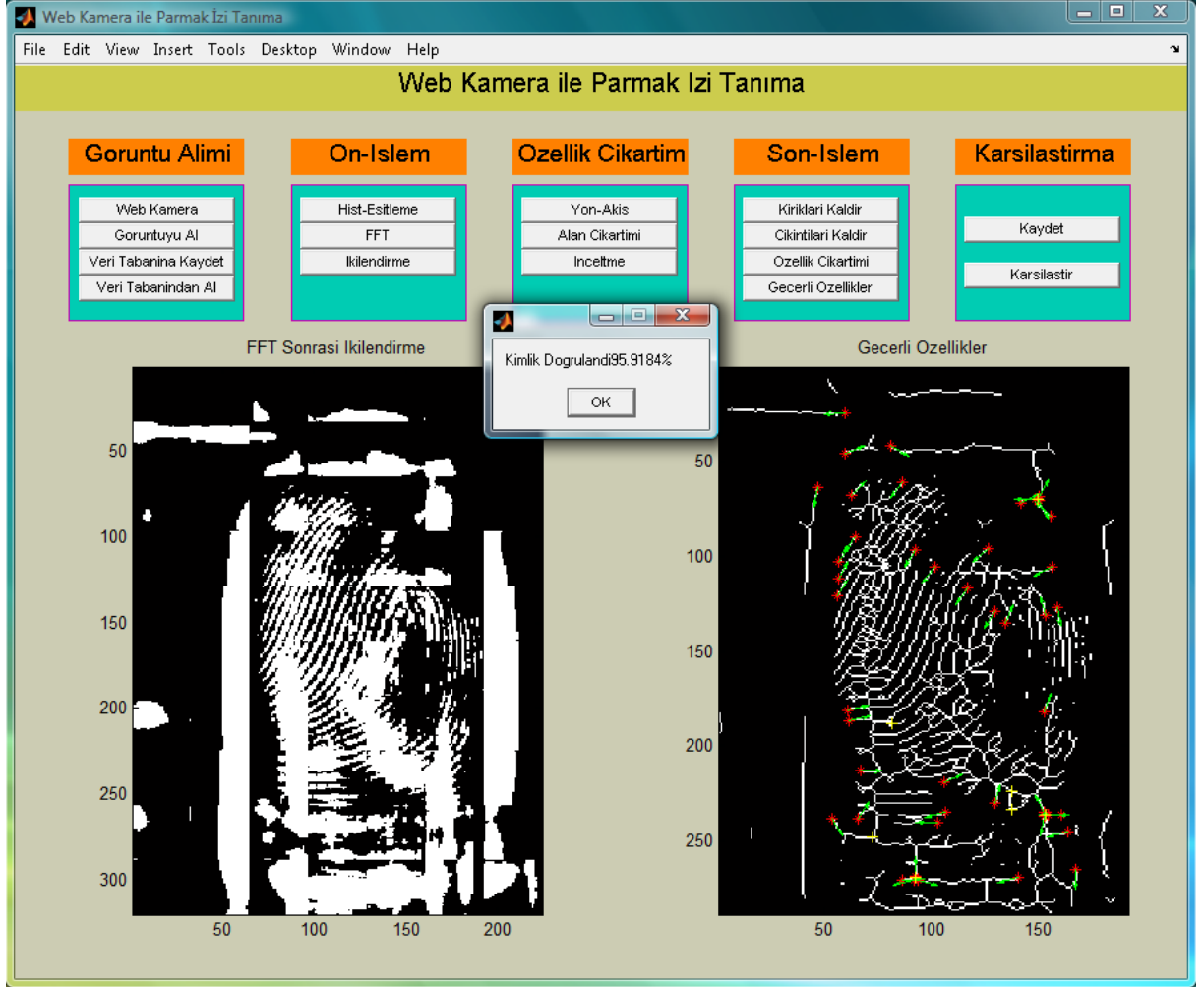
17. Karşılaştır

Karşılaştırma seçeneğinde iki parmak izi özellik noktasının eşleştirmesi yapılır. Düğmeye basıldığı zaman açılan pencere, önceki işlemlerde kayıt edilmiş olan *.dat biçimindeki veriyi ister.



Şekil 8.17 Karşılaştırma işlemi

Veritabanından herhangi bir dosya seçildikten sonra, var olan pencere tekrar açılarak aynı işlemlerin uygulandığı ikinci veriyi ister. İkinci dosya veri tabanından seçildikten sonra ortaya bilgi penceresi ile parmak izi benzerlik oranı çıkmaktadır.



Şekil 8.18 Sonuç penceresi gösterimi

Şekildeki karşılaştırma değeri, kişiye ait aynı parmağın farklı izlerinin seçimiyle gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- CSS Bilişim ve Güvenlik Sistemleri, (2000), [<http://www.cssguvenlik.com/axess.php>], (04.03.2010).
- Daugman, J., (2004), IEEE Transactions on circuits and systems for video technology, 14 (1).
- Donahue, M., J., ve Rokhlin, S., I., (1992), On the Use of Level Curves in Image Analysis, Image Understanding, 57: 652 - 655.
- Drahanský, M., (2005), “Biometric Security Systems Fingerprint Recognition Technology”, Dissertation, Brno University of Technology Faculty of Information Technology Department of Intelligent Systems.
- Farina, A., Kovacs-Vajna, Z., A., Leone, A., (1999), “Fingerprint Minutiae Extraction from Skeletonized Binary Images”, Pattern Recognition, 32 (4): 877-889.
- Feng, J., ve Jain, A., K., (2009), “FM Model Based Fingerprint Reconstruction from Minutiae Template”, M. Tistarelli and M.S. Nixon (Eds.): ICB2009, LNCS 5558: 544-553.
- Fingerprint Verification Competition (FVC 2004), <http://bias.csr.unibo.it/fvc2004>, (10.03.2010).
- Gonzalez, R., C., ve Woods, R., E., (1992), Digital Image Processing, 2/E, Addison-Wesley, Massachusetts.
- Greenemeier, L., (2008), “Palm-Reading Devices Get Smart about Security”, <http://www.scientificamerican.com>, (10.03.2010).
- Haralick, R., M., ve Shapiro, L., G., (1992), Computer and Robot Vision, Addison-Wesley, MA, USA, I: 28-48.
- Henry, E., (1900), “Classification and Uses of Finger Prints”, Routledge.
- Hong, L., (1998), "Automatic Personal Identification Using Fingerprints", Ph.D. Thesis.
- Hong, L., Wan Y., ve Jain, A., K., (1998), “Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation”, IEEE Transactions on PAMI, 20 (8): 777-789.
- Hong, L., ve Jain, A., K., (1999), “Classification of fingerprint images,” in 11th Scandinavian Conf. Image Analysis, Kangerlussuaq, Greenland.
- Humbe, V., Gornale, S., S., Manza, R., Kale, K., V., “Mathematical Morphology Approach for Genuine Fingerprint Feature Extraction” International Journal of Computer Science and Security, 1 (2).
- Jain, A., K., (1989), Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice-Hall, Inc, Upper Saddle River.
- Jain, A.K., Hong, L., ve Bolle, R., (1997), “On-Line Fingerprint Verification”, IEEE Trans. On Pattern Anal. and Machine Intell, 19 (4): 302-314.
- Jain, L., C., Halici, U., Hayashi, I., Lee, S., B., ve Tsutsui, S., (1999), Intelligent Biometric Techniques in Fingerprint and Face Recognition, the CRC Press.
- Kakıcı, A., (2008), “Biyometrik Tanıma Sistemleri”, Internet Blog (04.03.2010).
- Lam, L., Lee, S.W., ve Suen, C., Y., (1992), “Thinning Methodologies-A Comprehensive Survey,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 14 (9): 879.
- Lee, C.,J., ve Wang, S.D., (1999), “Fingerprint Feature Extraction Using Gabor Filters, Electron. Lett.”, 35 (4): 288-290.
- Leung, W., F., Leung, S., H., Lau, W., H., ve Luk, A., (1991), “Fingerprint Recognition Using Neural Network”, proc. of the IEEE workshop Neural Network for Signal Processing”: 226-235.
- Maiorani, D., ve Maltoni, D., (1997), “Direct Gray-Scale Minutiae Detection In Fingerprints”, IEEE

Trans. Pattern Anal. And Machine Intell., 19 (1): 27-40.

Maltoni, D., Maio, D., Jain, A., K., ve Prabhakar, S., (2009), Handbook of Fingerprint Recognition, Second Edition, Springer-Verlag London Limited.

MATLAB The Language of Technical Computing, (R2006b), Image Processing Toolbox.

O’Gorman, L., (1998), “Overview of fingerprint verification Technologies”, Elsevier Information Security Technical Report, 3 (1).

Prabhakar, S., (2001), “Fingerprint Classification and Matching Using a Filterbank”, Doctor of Philosophy, Michigan State University Computer Science & Engineering.

Ratha, N., Chen, S., Jain, A., K., (1995), “Adaptive Flow Orientation Based Feature Extraction in Fingerprint Images”, Pattern Recognition, 28: 1657-1672.

Ratha, N., Bolle, R., (2004), Automatic Fingerprint Recognition Systems, Springer-Verlag New York Inc., USA.

Shah, S., W., ve Uddin, A., (2009), “Fingerprint Recognition and Password Security System”, Thesis.

Shapiro, L., G., ve Stockman, G., C., (2001), “Computer Vision” Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.

Sony, Corp., (2009), <http://www.sony.net/SonyInfo/News/Press/200902/09-016E/index.html>, (10.03.2010).

Stefanelli, R., ve Rosenfeld, A., (1971), “Some parallel thinning algorithms for digital pictures”, J., ACM, 18 (2): 255-264

Thai, R., (2003), “Fingerprint Image Enhancement and Minutiae Extraction”, School of Computer Science and Software Engineering, The University of Western Australia.

Tico, M., Kuosmanen P., ve Saarinen, J., (2001), “Wavelet domain features for fingerprint recognition”, Electroni. Lett., 37 (1): 21-22.

Wuzhili, (2002), “Fingerprint recognition”, Student project, Hong Kong Baptist University.

Yager, N., (2006), “Hierarchical Fingerprint Verification”, School of Computer Science and Engineering University of New South Wales.

Yang, J., Liu, L., ve Jiang, T., (2002), “An Improved Method for Extraction of Fingerprint Features”, IEEE National Laboratory of Pattern Recognition, Proc. SPIE, 4875: 552.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 20.07.1984

Doğum yeri İstanbul

Lise 1998-2002

Beşiktaş Sakıp Sabancı Anadolu Lisesi

Lisans 2003-2008

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fak.

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum(lar)

2008 - Devam ediyor

Karfo Karacasulu Dış Tic. A.Ş.