



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMİ
TASARIMI**

**Bilg. Müh. Öznur Sinem SÖNMEZ
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Bilgisayar Mühendisliği Programı**

**Danışman
Doç. Dr. A. Halim ZAIM**

Haziran, 2008

İSTANBUL

Bu çalışma 03/07/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Bilgisayar Mühendisliği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Danışman Adı (Danışman)
Doç.Dr. A. Halim ZAIM
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Jüri Adı
Prof.Dr. Ahmet SERTBAŞ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Jüri Adı
Prof.Dr. Osman Nuri UÇAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Jüri Adı
Yrd.Doç.Dr. Oğuzhan ÖZTAŞ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Jüri Adı
Yrd.Doç.Dr. Mustafa DAĞTEKİN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan ÖZTAŞ'a ve Doç. Dr. A. Halim ZAIM'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Beni her zaman destekleyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran, 2008

Öznur Sinem SÖNMEZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ.....	V
TABLO LİSTESİ	VI
SEMBOL LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
SUMMARY	X
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	5
2.1. PARMAK İZİ.....	5
2.1.1. Parmak İzi Çeşitleri	5
2.1.1.1. Helezon Tipi Parmak İzi	6
2.1.1.2. Döngü Tipi Parmak İzi.....	7
2.1.1.3. Ark Tipi Parmak İzi	9
2.1.2. Parmak İzi Ayrıntıları.....	9
2.2. PARMAK İZİ TANIMA.....	11
2.2.2 Parmak İzi Tanıma Yöntemleri.....	13
2.2.2.1. İlinti Tabanlı Yöntemler.....	14
2.2.2.2. Hat Özelliği Tabanlı Yöntemler.....	15
2.2.2.3. Ayrıntı Tabanlı Yöntemler.....	17
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	19
3.1. TEMEL KAVRAMLAR.....	19
3.1.1. Matematiksel Altyapı	19

3.1.1.1. Varyans	19
3.1.1.2. Kutupsal Koordinat Sistemi	20
3.1.2. Görüntü Pekiştirme	21
3.1.2.1. Ortalama Filtreleri	22
3.1.2.2. Ortanca Filtre	23
3.1.2.3. Gaussian Filtresi	23
3.1.2.4. Gabor Filtre	24
3.2. AYRINTI TABANLI PARMAK İZİ TANIMA YÖNTEMİ	26
3.2.1. Normalleştirme	28
3.2.2. Parmak İzi Resmini Pekiştirme (Maskeleye ve Filtreleme)	30
3.2.3. İnceltme	32
3.2.4. Yönelim Hesaplamaları	35
3.2.4.1. Gradyan Hesaplamaları	35
3.2.4.2. Gradyan Tabanlı Yönelim Hesaplamaları	36
3.2.5. Çekirdek Noktanın Bulunması	38
3.2.5.1. Poincare İndis Yöntemi	40
3.2.5.2. Alan Geometrisi Yöntemi	41
3.2.5.3. Eğrilik Doğrultusu Yöntemi	42
3.2.5.4. Melez Yöntem	43
3.2.5.5. Çekirdek Nokta Belirleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması	43
3.2.6. Ayrıntı Noktalarının Çıkartılması	44
3.2.6.1. Gri-Düzeyleli Parmak İzi Resimlerinden Ayrıntıların Çıkarılması	45
3.2.6.2. İkili (Siyah-Beyaz) Parmak İzi Resimlerinden Ayrıntıların Çıkarılması	45
3.2.7. Hatalı Ayrıntı Noktalarının Belirlenmesi	46
3.2.8. Referans Noktaların Bulunması	49
3.2.9. Eşleştirme (Ayrıntıların Karşılaştırılması)	51
3.3. UYGULAMA	55
3.3.1. Sistemin İşleyişi ve Kullanılan Parametreler	56
3.3.1.1. Normalleştirme ve Yönelim Hesapları	56
3.3.1.2. Çekirdek Noktayı Bulma Yönteminin Seçimi	58
3.3.1.3. Pekiştirme ve İnceltme	59
3.3.1.4. Ayrıntıların Çıkarılması ve Hatalı Ayrıntıların Elenmesi	63
3.3.1.5. Referans Nokta Bulunması ve Eşleştirme	65

4. BULGULAR.....	67
4.1. PEKİŞTİRME VE HATALI AYRINTILARIN ELENMESİ İŞLEMLERİNİN PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMİNE ETKİSİ	67
4.2. REFERANS NOKTANIN PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMİNE ETKİSİ	71
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	76
KAYNAKLAR.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	84

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Parmak İzindeki Delta Şekli.....	5
Şekil 2.2: Parmak İzi Çeşitleri	6
Şekil 2.3: Helezon Parmak İzi Çeşitleri	7
Şekil 2.4: Radyal ve Ulnar Döngü Parmak İzi.....	8
Şekil 2.5: Döngü Parmak İzi Çeşitleri.....	8
Şekil 2.6: Ark Tipi Parmak İzi Çeşitleri.....	9
Şekil 2.7: Parmak İzi Ayrıntılarının Çeşitleri	10
Şekil 2.8: Çatal ve Hatsonu Şekillerinin Parmak İzi Kesiti Üzerinde Gösterimi	10
Şekil 2.9: Helezon ve Döngü Tipi Parmak İzlerinde Çekirdek Noktaların Gösterimi... 11	11
Şekil 2.10: Parmak İzi Tanıma Sistemlerinin Çalışma Şemaları	12
Şekil 3.1: Kutupsal Koordinat Sisteminde Noktaların Gösterimi.....	20
Şekil 3.2: Ortalama Maskeleri	22
Şekil 3.3: Gaussian Filtreleri.....	24
Şekil 3.4: Gaussian Filtresinin Aktarım Fonksiyonu	25
Şekil 3.5: Gabor filtrenin büyüklüğü ve frekans yanıtı	26
Şekil 3.6: Normalleştirilmiş Parmak İzi Örneği.....	29
Şekil 3.7: Farklı İnceltme Algoritmaları için Piksel Komşuluklarının Gösterimi	33
Şekil 3.8: Parmak İzi Resminin Gradyan Bileşenlerinin Gösterimi	36
Şekil 3.9: Poincare İndis Hesaplamasının Gösterimi	40
Şekil 3.10: R_1 ve R_2 Alanları	42
Şekil 3.11: Parmak İzi Resmindeki p Pikselinin 8 Komşuluğu	46
Şekil 3.12: Hatalı Ayrıntı Şekilleri.....	47
Şekil 3.13: Vektör Üçgen	49
Şekil 3.15: Parmak izi Yönelim Resminin Gösterimi	57
Şekil 3.16: Farklı Yöntemlerle Bulunan Çekirdek Noktaların Gösterimi.....	58
Şekil 3.17: Kullanılan Pekiştirme Maskeleri	59
Şekil 3.18: Kullanılan Diğer Maskeler.....	60
Şekil 3.19: Maskeleme İşlemleri Sonucunda Oluşan Parmak İzi Resimleri	61
Şekil 3.20: İnceltmiş Parmak İzleri	62
Şekil 3.21: Ayrıntı Noktalarının Parmak İzinde Gösterimi	63
Şekil 3.22: Hatalı Ayrıntılar Çıkarılmış Parmak İzi.....	64
Şekil 4.1: İşlemlerin Ayrıntı Sayılarına Etkisi.....	69
Şekil 4.2: İşlemlerin Tanıma Oranına ve Hatalı Eşleşen Ayrıntı Oranına Etkisi	70
Şekil 4.3: Referans Noktalarını Belirleme Yöntemlerinin Tanınan Parmak İzi Sayılarına Etkisi	72
Şekil 4.4: Referans Noktanın Belirleme Yöntemlerinin Tanıma Oranlarına Etkisi.....	73

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: Poincare indis ($P_{F,E}$) değerine göre noktanın ait olduğu şekiller	41
Tablo 3.2: Hat Frekansına Bağlı Eşik Değerleri.....	48
Tablo 3.3: Sınırlayıcı Kutunun Boyutlarının Hesaplanmasında Kullanılan Sabitler	54
Tablo 3.4: Hatalı Ayrıntıların Belirlenmesi için Kullanılan Eşik Değerleri	64
Tablo 3.5: Referans Nokta Bulunması İşlemlerinde Kullanılan Eşik Değerleri	65
Tablo 4.1: Pekiştirme ve Hatalı Ayrıntıların Elenmesinin Tanımaya Etkisi.....	68
Tablo 4.2: Referans Noktanın Parmak İzi Tanımaya Etkisi.....	71
Tablo 4.3: Vektör Üçgen Yönteminde Farklı Ayrıntı Tiplerinin Kullanılmasının Tanımaya Etkisi.....	74
Tablo 4.4: Veritabanındaki Parmak İzi Resimlerinin Hat Yapılarına göre Grupları.....	74
Tablo 4.5: Referans Noktalarına Göre Yanlış Tanınan ve Hiç Tanınmayan Parmak İzlerinin Numaraları.....	74
Tablo 4.6: İki Farklı Veritabanı için Hesaplanan Değerler	75

SEMBOL LİSTESİ

Σ	: Toplam Sembolü
σ	: Standart Sapma
θ	: Parmak İzinin Yönelim Resmi
Φ	: Yönelim Resminin Vektör Alana Çevrilmiş Hali
ε	: Yönelimin sinüs bileşeni
ε_s	: Sınırlayıcı Kutunun Radyal Açısı
ε_k	: Sınırlayıcı Kutunun Radyal Açısını Belirlemede Kullanılan Sabit

ÖZET

BİLGİSAYAR DESTEKLİ PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMİ TASARIMI

Günümüzde; kimlik sahtekarlığındaki artış, geleneksel bilgi ve andaç tabanlı kimlik tespiti sistemlerinin kimlik belirlemede yetersiz kaldığını işaret etmektedir. Bu nedenle, kimlik belirleme uygulamalarında biyometrik teknolojinin kullanılmasının gerekliliği önem kazanmaktadır. İnsanların uzun yıllardır birbirlerini tanımak için kullandığı yüz, duruş, yürüyüş, ses ve ayırt ediciliği ispatlanmış parmak izi, el geometrisi gibi biyometrik belirleyiciler için bilgisayar yardımıyla tanıma programları oluşturulması ihtiyaç haline gelmiştir.

Parmak izi, ayırt ediciliği belirlendikten sonra kimlik belirleme işlemlerinde kullanılan başlıca biyometrik belirleyicilerden olmuştur. Parmak izi kullanan biyometrik uygulamaların düşük maliyetli olması ve başarılı sonuçlar vermesi sayesinde parmak izinin ticari uygulamadaki kullanımı yaygınlaştırmıştır. Bundan dolayı, parmak izi tanıma sistemleri diğer biyometrik tanıma sistemleri arasında en çok kullanılan kimlik belirleme yöntemleridir. Günümüzde, parmak izi tanıma sistemleri suçluların tespitinde, çeşitli firmaların personel tanıma sistemlerinde, kişisel bilgisayar, cep telefonu gibi aygıtlarda ve bazı otomobillerde kullanılmaktadır. Bu geniş uygulama alanı sebebiyle, farklı tanıma uygulamaları için uygun protokollerin tasarlanması ve mevcut yaklaşımların geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Parmak izi tanıma konusu temelde bir örüntü tanıma işlemidir. Parmak izinden çıkartılan çeşitli özellikler karşılaştırılarak tanıma işlemi yapılmaktadır. Ancak parmak izi tanıma, aynı parmağa ait değişik izlerin çok fazla değişim gösterebilmesinden dolayı oldukça zor ve karmaşık bir süreç olmaktadır. Bu değişimler; parmak izi şekillerinin tarayıcılar yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılması esnasında, tarayıcı yüzeyinin farklı alanlarının kullanılması, tarayıcı yüzeyine göre parmak izinin yaptığı dönme açısı, parmağın elastikiyetinden kaynaklanan doğrusal olmayan bozulmalar meydana gelmesi gibi etmenlerden ve düşük kaliteli tarayıcılardan veya parmak derisinin durumundan dolayı oluşan gürültülü parmak izi resimlerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, parmak izi tanıma sistemlerinde kullanılacak algoritmaların bu değişimleri tolere edecek düzeyde esnek olmaları gerekmektedir.

Bu tezde, öncelikle ilinti tabanlı, hat özelliği tabanlı ve ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma yöntemleri incelenmiştir. Ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma yönteminde kullanılan işlemler ayrı başlıklar halinde, literatürdeki çalışmalardan örneklerle detaylandırılarak irdelenmiştir. Daha sonra, bu işlemleri kapsayan ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sistemi gerçekleştirilmiştir. Buna göre; bazı işlemlerin ve düşük kaliteli parmak izi resimlerinin sistem performansına olan etkisi iki farklı parmak izi veritabanı kullanılarak analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Sonuçta, pekiştirme ve ayrıntıların elenmesi işlemlerinin tanıma oranını büyük ölçüde arttırdığı gösterilmiştir. Düşük kaliteli bazı parmak izi resimlerinin ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sistemlerinin performansını olumsuz yönde etkileyebileceği görülmüştür. Buna rağmen, geliştirilen ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sisteminde yaklaşık %90'lık doğru tanıma oranı elde edilmiştir.

SUMMARY

COMPUTER-AIDED FINGERPRINT RECOGNITION SYSTEM

Nowadays, the increase in identity fraud shows that the traditional knowledge and token-based identity determination systems are inadequate. For this reason, the use of biometric technology in identity determination became more important. It has become a necessity to implement computer-aided recognition software for biometric characteristics that have been used by people for years to recognize each other; such as face, standing, walking, voice, and that have been proven to be distinctive; such as fingerprint and hand geometry.

Fingerprint, after its distinctiveness had been determined, became one of the main biometric characteristics used for identity recognition. Being low cost and successful, the use of fingerprint recognition in commercial applications became widespread. For this reason, fingerprint recognition systems are the most widely used biometric recognition systems. Today, fingerprint recognition systems are used in determination of criminal's identities, in personnel recognition systems of various firms, in devices like personal computers and cellular phones, and in some automobiles. Due to this wide application area, it is necessary to design suitable protocols for different recognition applications and to improve the current approaches.

The subject of fingerprint recognition is basically a pattern recognition process. Recognition is performed by using various characteristics extracted from the fingerprints. However, fingerprint recognition is a difficult and complicated process due to the fact that different fingerprints of the same finger can change considerably. These changes occur during the transfer of the fingerprint shapes into computer media using scanners; and stem from the use of different areas of the scanner surface, different angle of rotations of the fingerprint with respect to the scanner surface, nonlinear distortions due to the elasticity of the finger, and noisy fingerprint scans due to low quality scanners or the condition of the finger skin. Hence, algorithms used in fingerprint recognition systems should be flexible enough to tolerate these variations.

In this thesis, first correlation-based, ridge feature-based and minutiae-based fingerprint recognition methods are investigated. The processes that are used in the minutiae-based fingerprint recognition method are examined under separate titles and detailed using examples from the literature. Then, a minutiae-based fingerprint recognition system including these processes is implemented. Accordingly, the effects of some processes and low quality fingerprint images on system performance are analyzed using two different fingerprint databases and the results are presented.

As a result, it is shown that the recognition rate is greatly improved by enhancement and elimination of false minutiae processes. Some low quality fingerprint images are observed to have negative effects on the performances of minutiae-based fingerprint recognition systems. Yet, about 90% recognition accuracy is obtained from the developed fingerprint recognition system.

1. GİRİŞ

Uzun yıllardır, insanlar birbirlerini yüz, duruş, yürüyüş, ses gibi karakteristik özelliklerinden tanımaktadırlar. Bir yüzyıl kadar önce bu durumu örnek alan Alphonse Bertillon suçluların yakalanmasında vücut ölçülerini kullanma fikrini ortaya atmış ve kullanılabilirliğini denemiştir.[1] Böylelikle, biyometrik tabanlı tanıma sistemlerinin oluşmasında ilk adım atılmıştır. Biyometrik tanıma sistemleri; parmak izi, yüz, iris, duruş gibi ayırt edici fiziksel ve/veya davranışsal özellikleri kullanarak kimlik tespiti yapılmasını sağlayan örüntü tanıma sistemleridir.

Günümüzde; kimlik sahtekarlığındaki artış, geleneksel bilgi ve andaç tabanlı kimlik tespiti sistemlerinin yetersiz kaldığını işaret etmektedir. Bu nedenle, kimlik belirleme uygulamalarında biyometrik teknolojinin kullanılmasının gerekliliği önem kazanmıştır.

Biyometrik tabanlı sistemler, kişiye özgü özellikleri kullandığından çeşitli güvenlik risklerinin çözülmesini sağlamaktadırlar. Biyometrik belirleyiciler, paylaşamadığı ve kopyalanamadığı için şifre ve bilgi tabanlı sistemlere oranla daha güvenilir kimlik tespiti araçları olarak kabul edilmektedirler. Biyometrik tanıma sistemlerinin, diğer sistemlere oranla daha güvenli olması, şifre, kullanıcı adı gibi bilgilerin ezberlenmesi ve kimlik gibi belgelerin taşınması zorunluluğunu ortadan kaldırması, geleneksel yöntemlere oranla daha çok tercih edilen sistemler olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle, uzun yıllardır biyometrik sistemlerle ilgili çalışmalar sürdürülmektedir.

Parmak izi, yüz, iris, duruş, el geometrisi, DNA, imza ve ses biyometrik uygulamalarda kullanılan başlıca biyometrik belirleyicilerdir. Yüz, insanların birbirlerini tanımakta en çok kullandığı karakteristik özelliklerden olduğu için kabul edilebilirliği yüksek biyometrik belirleyicilerdendir. Ancak, yüzün makyaj, sakal, yaşlılıktan ve yüz resminin çekim açısından kaynaklanan değişimlerini göz önünde tutarak tanıma işlemini gerçekleştirecek sistemi oluşturmak oldukça zorlu olmaktadır. Bu açıdan çok fazla geliştirilmesi gereken bir konudur. İris tanıma sistemleri oldukça hızlı çalışan ve tanıma

oranı yüksek olan sistemlerdir ancak maliyetleri yüksektir. Parmak izi tanıma sistemleri ise oldukça düşük maliyetli ve tanıma oranları yüksek olan sistemlerdir.

Biyometrik sistemler, kimlik doğrulama ve kimlik belirleme işlemlerini yapmalarına göre iki ana gruba ayrılır. İlk grupta kişinin belirttiği kimlikle, biyometrik kimliği karşılaştırılarak uyuşup uyuşmadığı sistem tarafından kontrol edilir. Sistem bire-bir karşılaştırma yaparak kişinin iddia ettiği kimliğe sahip olup olmadığını belirlemektedir. Sonuç olumlu veya olumsuzdur. İkinci grupta, sistem kişinin biyometrik özelliklerini daha önce depolanan veritabanındaki diğer biyometrik özelliklerle karşılaştırarak kim olduğunu bulmaya çalışır. Sonuçta, ya kişinin kimliği belirlenir ya da karşılaştırılan kişinin mevcut veritabanında olmadığı bulunur. Bu sistemlerde bir biyometrik özellik birden çok biyometrik özelliklerle karşılaştırılmaktadır.

Biyometrik sistemlerin, kullanılan biyometrik belirleyiciden bağımsız olarak, gruplarına göre temel bazı çalışma prensipleri vardır. İlk gruptaki sistemlerde, kişi ismini veya şifre gibi tanıtıcı bir özelliğini sisteme verir, bir tarayıcı veya kamera yardımıyla biyometrik karakteristikler alınır, alınan karakteristikler dijital formata çevrilerek özellik çıkarımı yapılır, çıkarılan özellikler şifresi veya ismi girilen kullanıcının daha önceden çıkarılmış özellikleriyle karşılaştırılarak uyuşup uyuşmadığı kontrol edilir. İkinci gruptaki sistemlerde, şifre veya isim girdisine gerek olmaksızın biyometrik karakteristikler alınır ve özellikleri çıkarılır, veritabanında kayıtlı olan tüm biyometrik özelliklerle kıyaslanarak kişinin kim olduğu bulunmaya çalışılır.

Biyometrik Sistemler, çevrimiçi veya çevrimdışı olarak tasarlanabilmektedirler. Çevrimiçi sistemlerde kullanıcının biyometrik özelliği bir tarayıcı yardımıyla alınmakta ve herhangi bir kişinin işleminden geçmeksizin hızla sonuç beklenmektedir. Bu sistemlerde makul tanıma oranının yanısıra hızlı işlem yapabilme özelliği ön plana çıkmaktadır. Çevrimdışı sistemlerde ise daha önceden veritabanına alınmış bazı biyometrik belirleyiciler karşılaştırılmakta, biyometrik belirleyicinin kalitesini arttırmak için ön işlemler uygulanabilmekte ve çevrimiçi sistemlere oranla daha uzun sürede sonuca ulaşılması normal kabul edilmektedir.

Biyometrik sistemlerde kullanılan biyometrik belirleyiciler her ne olursa olsun, hepsinin belli bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bunlar; her insanda olması; evrensellik, belli bir zaman içinde değişim göstermemesi; kalıcılık, ayırt edici olması, toplanabilirlik, kabul edilebilirlik, taklit edilmede güçlük, hızlı ve kabul edilebilir tanıma oranı vermesi; iyi performanstır.

Parmak izleri, biyometrik belirleyicilerde olması gereken özellikleri dengeli bir şekilde barındırmaktadır. Parmak izleri, yaralanma, kesik, cilt bozuklukları veya cildin durumuna rağmen ayırt ediciliğini korumaktadır. Parmak izi tarayıcıları sayesinde istenilen kalitede parmak izleri taranmakta ve arka plandan parmak izi çıkarma sorunu yaşanmamaktadır. Parmak izi tabanlı biyometrik sistemler, küçük sensörler sayesinde ucuz maliyetli olmakta ve oldukça iyi performans vermektedirler.

Parmak izleri, kişiye özgü oldukları tespit edildikten sonra suçluların yakalanmasında kullanılan ilk biyometrik belirleyicilerden olmuştur. Önceleri parmak izlerinin karakteristik özelliklerin araştırılarak karşılaştırılması bu konuda uzmanlaşmış kişiler tarafından yapılırken, parmak izi veritabanının büyümesi, karşılaştırma sürelerinin uzaması gibi sebeplerden, parmak izi tanıma sürecinin bilgisayar yardımıyla yapılmaya başlanmasına gerek duyulmuştur. Yaklaşık yarım yüzyıldır bu konuyla ilgili çok çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu nedenle, parmak izi tanıma konusunun tamamen çözülmüş bir konu olduğu gibi yanlış bir kanı oluşmuştur. Aksine, parmak izi tanıma halen üzerinde araştırma yapılması gereken zorlayıcı bir konu olmaya devam etmektedir.

Bu tez çalışmasında, literatürdeki parmak izi tanıma yöntemleri incelenerek parmak izi tanıma sistemi tasarlanması amaçlanmaktadır. Buna göre; ikinci bölümde, parmak izi çeşitleri, parmak izi tanıma sistemlerinin çalışma prensipleri hakkında genel bilgi verilmiş ve literatürdeki ilinti tabanlı, hat özelliği tabanlı ve ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma yöntemleri incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma yönteminin aşamaları ve bu yöntemde kullanılan işlemler detaylarıyla anlatılmıştır. Buna bağlı olarak, ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemin ayrıntıları ve işlemlerinde kullanılan parametreler Uygulama bölümünde verilmiştir.

Dördüncü bölümde, geliştirilen parmak izi tanıma sisteminin performansı farklı iki veritabanı kullanılarak incelenmiş, elde edilen sonuçlar tablo ve grafiklerle gösterilmiştir.

Son olarak beşinci bölümde, çalışmanın sonuçları değerlendirilmiş, sistemin geliştirilmesi için geleceğe yönelik bazı önerilerde bulunulmuştur.

2. GENEL KISIMLAR

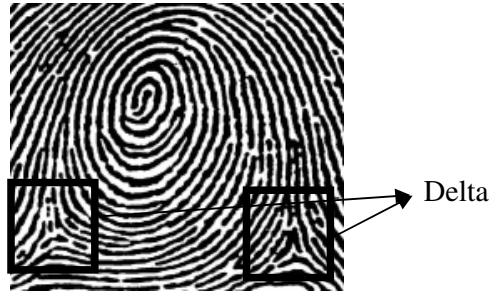
2.1. PARMAK İZİ

Parmak izi, biyometrik belirleyicilerde bulunması gereken temel özellikleri oldukça dengeli bir şekilde barındırmaktadır. Bunlar; ellerini kaybetmiş insanlar dışında herkes de bulunması, ayırt edici ve kalıcı olması, tarayıcılar tarafından toplanabilmesi ve parmak izi kullanan biyometrik sistemlerin kabul edilebilir ölçüde hızlı olması ve yüksek tanıma oranına sahip olmasıdır.

Parmak izi, hat çizgisi ya da hat denilen yükselti ve bu yükseltilerin arasında kalan çukurlardan oluşmaktadır. Cilt papillerinde bulunan parmak izi hatlarının farklı şekiller oluşturması ve her insanda değişen parmak izi ayrıntıları, parmak izini, çok karmaşık bir biçimler bileşkesi haline getirmektedir. Parmak izinde bulunan ayrıntılar, her bir parmak izinde başka sayıda ve farklı yerlerde bulunduğundan hiçbir parmak izi bir diğerine benzememektedir. Ancak, parmak izi hatları, döngü, delta, helezon adı verilen belli başlı şekiller oluşturmaktadır. Bu şekillere bağlı olarak parmak izleri farklı sınıflara ayrılmaktadır.

2.1.1. Parmak İzi Çeşitleri

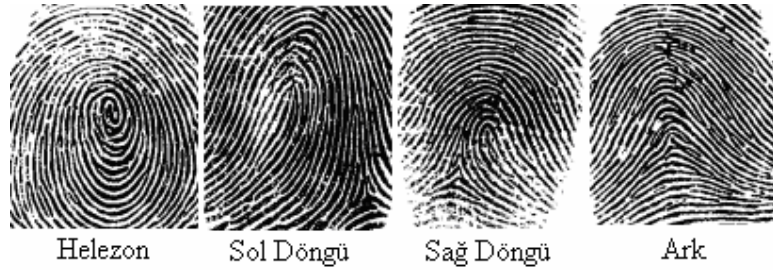
Parmak izi çeşitleri, parmak izi hatlarının oluşturduğu belli başlı şekiller olan delta, helezon ve döngüler üzerine kurulmuştur. Delta, yan yana ilerleyen iki çizginin birbirinden ıraksanarak arada bıraktığı alan olarak tanımlanmaktadır.[2]



Şekil 2.1: Parmak İzindeki Delta Şekli

Başka bir deyişle, Şekil 2.1’de gösterilen delta, iki parmak izi hattının birbirinden ayrılarak üçüncü bir hatla karşılaştığında oluşturduğu üçgen şekildir. Temelde, parmak izi çeşitleri parmak izlerindeki delta sayılarına bağlı olarak belirlenmektedir. Ancak, deltaların yanı sıra helezon ve döngü şekilleri de belirleyicilik sağladığından parmak izi çeşitlerinin belirlenmesinde rol almaktadırlar. Helezon, parmak izi hatlarının oluşturduğu eğrilerin en içinde kalan dairesel bölgedir. Döngü ise parmak izinin bir tarafından başlayan, delta ve çekirdek noktası arasındaki sanal çizgiyi keserek kıvrılan ve başladığı alanda biten veya bitme eğiliminde olan bir ya da daha fazla hattın oluşturduğu şekildir.

Parmak izleri Şekil 2.2’de gösterilen, bir delta ve döngüden oluşan döngü (sağ veya sol döngü), bir veya daha fazla delta ve helezondan oluşan helezon, delta, helezon veya döngü şekillerinden hiçbirini taşımayan ark tipi olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır.[3]



Şekil 2.2: Parmak İzi Çeşitleri

Helezon, döngü ve ark sınıfları da kendi içlerinde alt gruplara ayrılmaktadırlar. Buna göre; helezon tipi parmak izi; basit, merkezi cep, çift döngülü ve rastlantısal helezon, döngü tipi; ulnar ve radyal döngü, ark tipi; basit ve t-ark olarak adlandırılan alt sınıflara ayrılmaktadır. Bunlar dışında bir de herhangi bir gruba dahil edilemeyen parmak izleri bulunmaktadır.

2.1.1.1. Helezon Tipi Parmak İzi

Helezon tipi parmak izlerinde hatlar, parmak izinin orta bölgesinin çevresinde dairesel olarak dizilirler. Genelde iki delta ve bir helezon şeklinden oluşmaktadırlar. Parmak izlerinin %25-35 civarı bu tip parmak izlerinden oluşmaktadır. [2]

Helezon parmak izleri, Şekil 2.3’de gösterilen sırasıyla basit, merkezi cep, çift döngülü ve rastlantısal olmak üzere dört alt gruba ayrılmaktadır.



Şekil 2.3: Helezon Parmak İzi Çeşitleri

Basit helezon tipi parmak izi, en içteki örüntü alan içinde, iki delta arasına çizilen sanal çizginin kestiği, çember oluşturan veya çember oluşturmaya çalışan hat veya hatlardan oluşmaktadır. Merkezi cep helezon tipi parmak izleri, en içteki örüntü alan içinde, iki delta arasına çizilen sanal çizginin çember oluşturan hat veya hatları kesmediği parmak izleridir. Bu tip parmak izlerinde hatlar tam daire, sarmal, oval, dairesel veya dairenin herhangi bir varyantı olabilmektedir. Çift döngülü helezon, iki bağımsız dairesel oluşum, iki farklı omuz ve iki deltadan oluşmaktadır. Rastlantısal helezon parmak izi, iki veya daha fazla delta veya tanımlanmayan bir örüntü yapısı içeren iki farklı tipte örüntüden oluşmaktadır.

2.1.1.2. Döngü Tipi Parmak İzi

Döngü tipi parmak izleri en çok rastlanan parmak izi çeşididir. Parmak izlerinin yaklaşık %60-70 civarı döngü şeklini içermektedir. Bu parmak izlerinde, bir ya da birden fazla hat, deltadan çekirdek noktaya doğru ilerleyen sanal çizgiyi keserek veya temas ederek giriş yapar, geriye doğru eğilerek döngü oluşturur ve giriş yaptığı bölgede sonlanır. Her döngü parmak izi bir delta ve bir döngü şeklinden oluşmakta ve kendi içinde radyal ve ulnar olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır.

Radyal ve ulnar döngüler isimlerini, ön kol iskeletini oluşturan ve birbirine paralel olan iki uzun kemikten almışlardır. Bu kemiklerden dış yanda, başparmak tarafında olanı radius (döner kemik), iç yanda, küçük parmak tarafında olanına ise ulna (dirsek kemiği) denilmektedir.

Radyal döngüde, parmak izlerinin oluşturduğu döngünün akış yönü döner kemik (radius) yönünde başparmağa doğrudur. Bu tip parmak izlerine çok ender

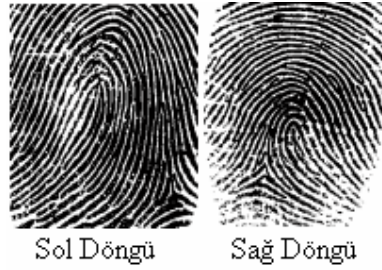
rastlanmaktadır ve genelde işaret parmaklarında görülmektedir. Ulnar döngüde, parmak izlerinin oluşturduğu döngünün akış yönü ulna kemiği yönünde, küçük parmağa doğrudur.

Herhangi bir döngü parmak izinin, tanımlanan radyal veya ulnar tipte olup olmadığını anlamak için öncelikle hangi ele ait olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Şekil 2.4'deki parmak izi sağ ele aitse, tanımlamaya göre; hatların oluşturduğu döngü şeklinin yönü baş parmağa doğru olacağından radyal döngü, sol ele aitse, hatların oluşturduğu döngü şeklinin yönü küçük parmağa doğru olacağından ulnar döngü parmak izi kategorisine girmektedir.



Şekil 2.4: Radyal ve Ulnar Döngü Parmak İzi

Pratikte toplanan parmak izlerinin hepsinin hangi ele ait olduğu bilinemeyeceğinden, bu ayrımın yapılması oldukça güç olmaktadır. Bu açıdan, bazı kaynaklarda [4] radyal ve ulnar tanımları yerine, sağ döngü ve sol döngü kavramları kullanılmaktadır. Döngüyü oluşturan hatların başlangıç ve sonlanma bölgesine göre belirlenen bu isimlendirmeye göre, parmak izlerinin hangi ele ait olduğu bilinmeksizin hangi döngü tipine ait olduğu belirlenebilmektedir. Şekil 2.5'de sol ve sağ döngü parmak izi örnekleri gösterilmektedir.



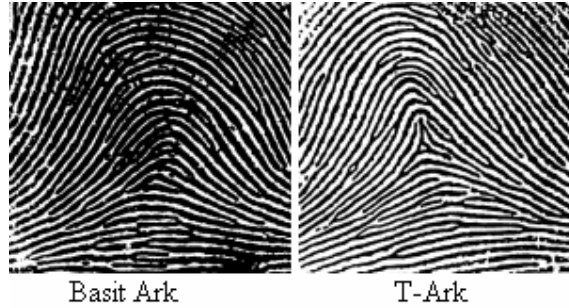
Şekil 2.5: Döngü Parmak İzi Çeşitleri

Sol döngüde, döngüyü oluşturan hatlar yatık bir şekilde parmak izinin sol bölümünden başlayarak ortada kendi üzerlerine kıvrıldıktan sonra yine geldikleri yöne dönerek başlangıç bölgesinde son bulmaktadırlar. Sağ döngüde ise; hatlar parmak izinin sağ bölümünden başlayıp sol döngüdeki gibi ilerleyerek başlangıç bölgesinde sonlanmaktadırlar.

2.1.1.3. Ark Tipi Parmak İzi

Ark tipi parmak izlerinde, hatlar parmak izinin bir yanından yükselmeye başlayarak ortada kemer şeklinde kıvrılıp diğer tarafa doğru alçalarak son bulmaktadır. Bu tip parmak izinde hatlar, üst üste kemere benzer bir şekil oluşturur ancak delta, döngü, helezon gibi şekiller ve çekirdek nokta bulunmamaktadır. İnsanların yaklaşık %5'inde bu tip parmak izi bulunmaktadır. Bazı kaynaklarda kemer tipi parmak izi olarak da adlandırılmaktadırlar.

Ark tipi parmak izleri, Şekil 2.6'da gösterilen basit ark ve t-ark olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.







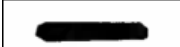


Şekil 2.6: Ark Tipi Parmak İzi Çeşitleri

Basit ark parmak izinde, hatlar parmak izinin sol yanından sağına doğru önemli bir şekil oluşturmaksızın ilerler, delta yoktur. T-ark parmak izlerinde, hatlar yukarı doğru daha fazla yükselerek T harfine benzer bir şekil oluşturur.

2.1.2. Parmak İzi Ayrıntıları

Parmak izleri sadece oluşturdukları belirgin şekillerle değil, aynı zamanda barındırdıkları ayrıntılarla da birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Parmak izleri incelendiğinde, parmak izi hatlarının aniden sonlandığı, ikiye ayrıldığı, başka bir hatla birleştiği görülmektedir. Parmak izindeki bu ayrıntıların insan hayatı boyunca değişmediği ilk olarak bir antropolojist olan Francis Galton tarafından gözlemlenerek

bu ayrıntılar kategorilere ayrılmıştır. Galton [5], ayrıntı (minutiae) olarak adlandırdığı parmak izindeki bu noktaları 4 temel gruba ayırmıştır. Bunlar; parmak izi hatlarının aniden sonlanması hatsonu, hatların ikiye ayrılması çatal, hattın ikiye ayrılıp tekrar birleşerek oluşturduğu dairesel alan kutu, çok kısa hatların oluşturduğu ada olarak tanımlanmaktadır. Parmak izi ayrıntıları, bazı parmak izi uzmanları tarafından farklı birçok çeşide ayrılabilir, birçok uzmanın ortak görüşü bu ayrıntıların hatsonu ve çatal olarak iki ana gruba ayrıldığı ve diğerlerinin bu iki ayrıntının kombinasyonlarından türetilebileceğidir. Şekil 2.7’de en çok kabul gören parmak izi ayrıntıları gösterilmektedir.

	Çatal
	Hatsonu
	Kutu
	Ada
	Bağımsız hat
	Dal
	Köprü

Şekil 2.7: Parmak İzi Ayrıntılarının Çeşitleri

Parmak izinde bulunan bu ayrıntıların sayısı, buldukları noktalar ve yönelim açıları her parmak izinde farklı olduğu ve hiçbir zaman değişmediği için ayrıntılar ayırt edicilik sağlamaktadır. Ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sistemleri, genellikle bu ayrıntılardan Şekil 2.8’de gösterilen çatal ve hatsonunu ayrıntı noktaları olarak kullanmaktadırlar.



Şekil 2.8: Çatal ve Hatsonu Şekillerinin Parmak İzi Kesiti Üzerinde Gösterimi:

a) çatal, b) hatsonu

Bu sistemler, parmak izinde bulunan tüm çatal ve hatsonu noktalarının (x,y) koordinatlarıyla, yönelim açılarını hesaplayıp depolayarak parmak izlerini karşılaştırmakta bu bilgileri kullanmaktadırlar. Yönelim açısı, ayrıntının bulunduğu noktadaki hattın x-eksenine göre oluşturduğu açıdır.

Parmak izlerinde belirleyiciliği sağlayan bir diğer nokta ise; çekirdek noktadır. Çekirdek nokta, Henry [6] tarafından, en içte bulunan parmak iz hattının en kuzeydeki noktası olarak tanımlanmıştır. Başka bir deyişle; bu nokta, en içteki hattın oluşturduğu helezon veya döngü şeklinin en kuzeydeki noktasıdır.



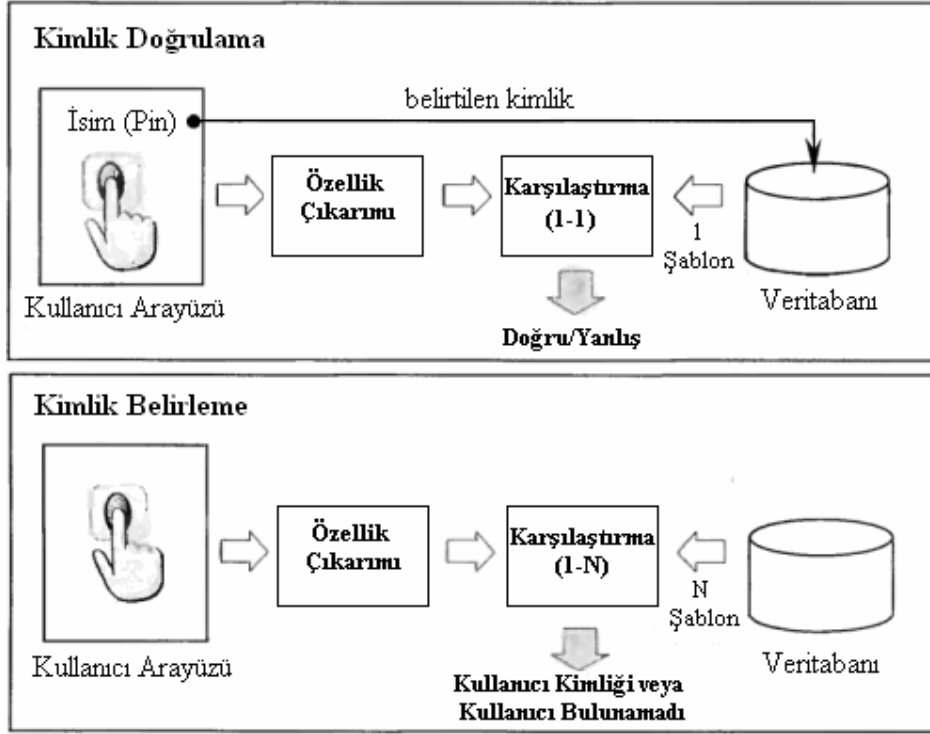
Şekil 2.9: Helezon ve Döngü Tipi Parmak İzlerinde Çekirdek Noktaların Gösterimi

2.2. PARMAK İZİ TANIMA

Parmak izi tanıma sistemleri, parmak izi ayrıntılarını, parmak izinin belirleyici özelliklerini kullanarak veya parmak izlerini birebir karşılaştırarak çalışan biyometrik tanıma sistemleridir. Bu sistemler, çalışma prensiplerine göre; parmak izinin kime ait olduğunu veya parmak izinin söylenen kişiye ait olup olmadığını bulmaktadır. Bu sistemlere sırasıyla kimlik belirleme ve kimlik doğrulama yapan sistemler denilmektedir.

Kimlik doğrulama yapan sistemler, kişinin belirttiği kimliğin doğruluğunu veritabanındaki o kişinin parmak iziyle karşılaştırarak bulmaktadır. Sonuç, olumlu; kişinin iddia ettiği kimliğin doğru olduğu veya olumsuz; olmadığıdır. Kimlik belirleme yapan sistemler ise; herhangi bir parmak izini veritabanındaki diğer parmak izleriyle karşılaştırarak parmak izinin kime ait olduğunu bulmaktadır. Sonuçta, ya kişinin kimliği belirlenmekte ya da kişinin mevcut veritabanında olmadığı bulunmaktadır.

Şekil 2.10’da kimlik doğrulama ve kimlik belirleme işlemlerini yapan parmak izi tanıma sistemlerinin çalışma şemaları gösterilmektedir.



Şekil 2.10: Parmak İzi Tanıma Sistemlerinin Çalışma Şemaları

Parmak izi tanıma sistemleri, çevrimiçi veya çevrimdışı çalışacak şekilde tasarlanabilmektedirler. Çevrimiçi sistemlerde kullanıcının parmak izi bir tarayıcı yardımıyla alınıp, yapılacak işlem çeşidine göre (kimlik doğrulama-kimlik belirleme) veritabanındaki parmak izi veya parmak izleriyle karşılaştırılarak kısa sürede sonuca ulaşılması sağlanmaktadır. Bu sistemlerde makul tanıma oranının yanısıra hızlı işlem yapabilme özelliği ön plana çıkmaktadır. Çevrimdışı sistemlerde ise; daha önceden veritabanına alınmış bazı parmak izleri karşılaştırılmakta, parmak izi resminin kalitesini arttırmak için ön işlemler uygulanabilmekte ve çevrimiçi sistemlere oranla daha uzun sürede sonuca ulaşılması normal kabul edilmektedir.

Parmak izi tanıma sistemleri, parmak izlerini karşılaştırmada parmak izinin hangi özelliklerini kullandıklarına bağlı olarak temel üç kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar; parmak izi ayrıntılarını kullanan ayrıntı tabanlı tanıma, parmak izlerini üst üste koyarak

karşılaştıran ilinti tabanlı tanıma ve parmak izindeki hat ve gözenek gibi yapıları kullanan hat özelliği tabanlı tanıma sistemleri olarak adlandırılmaktadır.

2.2.2. Parmak İzi Tanıma Yöntemleri

Parmak izi tanıma, aynı parmağa ait değişik izlerin çok fazla değişim gösterebilmesinden dolayı oldukça zor ve karmaşık bir süreçtir. Parmak izlerindeki bu değişimler ve oluşma sebepleri aşağıda anlatılmaktadır.

- Yer değiştirme: Aynı parmağa ait iz tarayıcının değişik bölgesi kullanılarak alınmış olabilir. Örneğin; 500 dpi çözünürlükte taranan bir parmak izinin 1mm kayarak yer değiştirmesiyle oluşan parmak izi resminde yaklaşık 20 piksellik ötelenme meydana gelmektedir.
- Dönme: Aynı parmak izi, tarayıcı yüzeyine farklı açılarla dönmüş durumdayken alınmış olabilir. Tarayıcılarla alınan parmak izlerinde ± 20 derecelik bir dönme olabilmektedir.
- Parmağın tarayıcı yüzeyinde yer değiştirmesi ve dönmesi, parmağın bir kısmının tarayıcının tarama alanından çıkmasına neden olmaktadır. Bu da oluşan parmak izlerinin farklı alanlarının karşılaştırılmasına sebep olmaktadır.
- Doğrusal Olmayan Bozulma: Parmakta üç boyutlu olan şeklin tarayıcılarla iki boyutlu parmak izi resmine dönüştürülmesi sonucunda parmağın elastikiyeti yüzünden doğrusal olmayan bozulmalar meydana gelmektedir. Bu bozulmalar genellikle parmak izi alınırken, parmağın tarayıcı yüzeyine sürtünmesi veya parmağın bükülmesi sonucunda oluşmaktadır. Bu da parmak izlerinin değişmez örüntüler olarak eşleştirilmesini zorlaştırmaktadır.
- Parmak izi alınırken uygulanan basınç, parmak izi derisinin yağlı, kuru, nemli, kirlili olması parmağın sensörle temas eden yüzeyini etkileyeceğinden aynı parmağa ait değişik ve gürültülü izlerin oluşmasına neden olmaktadır.

Tüm bu sebeplerden dolayı parmak izi tanıma sistemlerinde kullanılan parmak izinden bilgilerin çıkarılması işlemlerinde hatalar yapılabilmektedir. Bu da, tanıma sürecini doğrudan etkileyerek, tanıma oranını düşürmektedir. Bu açıdan; parmak izi tanıma algoritmalarının yukarıdaki olumsuzluklarla başa çıkabilecek düzeyde esnek olmaları gerekmektedir.

Parmak izi tanıma yöntemlerindeki algoritmalar iki parmak izini karşılaştırarak bir benzerlik derecesi veya eşleşip eşleşmediğine dair bir sonuç verir. Bu algoritmalarından bazıları [7, 8, 9] doğrudan gri-düzeyle parmak izi resmini ve birçoğu [10, 11, 12, 13] çeşitli işlemlerden geçirdiği ikili parmak izinden elde ettiği bilgileri kullanmaktadır.

Parmak izi tanıma yöntemleri genel olarak, ilinti tabanlı [9, 10, 14], hat özelliği tabanlı [15, 16, 17, 18, 19] ve ayrıntı tabanlı [7, 8, 20, 21] olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır.

2.2.2.1. İlinti Tabanlı Yöntemler

İlinti tabanlı yöntemlerde iki parmak izi üst üste koyularak farklı dönme açıları ve yer değiştirme değerleri için karşılık gelen piksellerin aralarındaki ilinti hesaplanmaktadır.

Temelde, iki parmak izi arasındaki fark karşılık gelen piksellerin parlaklık değerlerinin karesi olarak bulunmaktadır. Bu fark parmak izleri arasındaki çapraz ilinti değeri enbüyütüldükçe enküçülmektedir. Buna göre; iki parmak izi arasındaki benzerlik, aralarındaki çapraz ilinti değerinin enbüyütülmesiyle bulunmaktadır. Bu işlem, farklı dönme açıları ve yer değiştirme değerleri de kullanılarak geliştirilmektedir. Ancak bu hesaplama, parmak izinin doğrusal olmayan bozulmaları, parmak derisinin durumu, parmak izi alınırken sensör yüzeyine uygulanan basınç gibi nedenlerle farklılık gösteren aynı parmağa ait parmak izlerinden dolayı pratikte olumlu sonuç vermemektedir. Ayrıca, parmak izindeki her piksel için farklı açı ve yer değiştirme değerlerine göre hesaplamalar yapıldığında, bu işlemin hesaplama karmaşıklığı oldukça yüksek olmaktadır. Bu sorunu çözmek için literatürde [9, 10, 14] çeşitli yaklaşımlar ileri sürülmüştür.

Bazen ve diğ. [9] çalışmasında, karşılaştırmayı parmak izinden seçtiği alanlarda yaparak hesaplamadaki işlem sayısını azaltmaktadır. Bu alanı seçmek için üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Buna göre; ilk parmak izinde seçilecek alan, ayrıntı noktaları kullanılıp hatların eğiminin en fazla olduğu bölge veya parmak izi resminin alanları içinde diğerlerine en az benzeyen alan bulunarak belirlenmektedir. İlk parmak izinden seçilen bu alana karşılık gelen ikinci parmak izindeki alanı bulmak için ilk alan ikinci parmak izi üstünde piksel düzeyinde kaydırılarak karşılaştırılmaktadır. Daha sonra her

iki parmak izindeki yaklaşık 24x24 piksel büyüklüğündeki bu iki alan arasındaki ilinti hesaplamaları yapılmaktadır. Bu şekilde her iki parmak izi için seçilen farklı alanların benzerlikleri ve bu alanlar içinde birbirine en çok benzeyen noktanın koordinatları kullanılarak iki parmak izi arasında toplam benzerlik hesaplanmaktadır.

Benzer olarak, Wilson ve diğ. [10] karşılaştıracakları her iki parmak izini bölümlere ayırarak aralarındaki ilintiyi hesaplamaktadır. Ancak hesaplamaları uzamsal alan yerine fourier alanda yapmaktadırlar. Bu yöntem eşleştirme süresini kısaltmasına rağmen bazı alanların birbiriyle çakışmasından dolayı eşleştirme konusunda zorluk yaşamaktadır.

2.2.2.2. Hat Özelliği Tabanlı Yöntemler

Hat özelliği kullanan yöntemler, hatların oluşturduğu örüntülerin şekli, yapısı, frekansı, yönelimi gibi özelliklerini karşılaştırarak eşleştirme yapmaktadırlar.

Parmak izi ayrıntılarına alternatif olarak kullanılan başlıca parmak izi özellikleri şöyledir:

- Tekil noktaların sayısı, tipi ve bulunduğu noktalar
- Parmak derisindeki gözenek noktaları
- Parmak izi şeklinin ölçüleri ve silueti
- Şekil özellikleri
- Genel ve yerel doku yapıları
- Hat çizgilerinin uzamsal ilişkisi ve geometrik şekilleri

Tekil noktalar ve parmak izi şekli, parmağın sensör yüzeyiyle temas eden bölümünün değişebilmesinden dolayı oldukça istikrarsız bilgilerdir. Bu açıdan eşleştirme performansı düşük olmaktadır.

Jain ve diğ. [11] üç aşamalı özellik çıkarımı yaparak parmaktaki gözenekleri ve hat çizgilerini kullanmaktadırlar. Üç farklı çözünürlükte taranmış parmak izinin en yüksek çözünürlüklü resminden gözenekler ve hat çizgilerinin sınırları belirlenmektedir. Bu özellikler çeşitli filtrelerle işlenerek eşleştirme de kullanılmaktadır. Parmaktaki gözeneklerin kullanılması oldukça ayırt edici olmasına karşın bu gözeneklerin

belirlenmesi için yüksek çözünürlüklü ve maliyetli sensörlerin kullanılması gerekmektedir.

Parmak izindeki hat çizgilerinin çıkarılması için farklı yöntemler [12, 13] kullanılmaktadır. Örneğin; [12] çalışmasında, hat çizgilerini ayrıntı noktalarına göre parça parça çıkararak birleştirirken, [13] bu çizgileri hedef izleme algoritmasına göre eğrileri takip ederek bulmaktadır. Hat çizgilerini belirleyen [12] çalışmasında; karşılaştıracağı parmak izlerine göre hizaladığı bu çizgileri, öncelikle gelişigüzel eşlemede, daha sonra grafik eşleştirme yöntemini kullanarak yanlış eşleşmeleri elemektedir. Bu işlemlerle oluşabilecek yanlış eşleşmeleri en aza indirmeye çalışmakta ve başarılı sonuçlar elde etmektedir.

Feng ve diğ. [15] çalışmalarında hat çizgisini kullanmayı bir adım daha ilerleterek çıkardıkları hat çizgilerini hat koordinat sistemi adını verdikleri bir sisteme dönüştürmektedirler. Buna göre; hat koordinat sistemindeki her noktanın hat çizgisini ve ona yöneltilmiş noktayı gösteren iki bileşeni bulunmaktadır. Bu bileşenler hat çizgilerinin birbirleriyle olan ilişkilerini göstermektedir. Buna bağlı olarak, eşleştirme hat koordinat sisteminde yapılmaktadır. Bu sistem yanlış eşleme oranını bazı ayrıntı tabanlı sistemlere göre azaltmaktadır.

Bunların dışında; [16] parmak izi hat frekanslarını ve çok-çözünürlüklü doku analizini, [18] gabor filtre tabanlı algoritmayla oluşturduğu bölümlenmiş parmak izi kodunu ve hatların yapısını kullanmaktadır.

Jain ve diğ. [18] çalışmasında, parmak izinde çekirdek noktaya göre bölümlendiği alanlarda yerel doku analizi yaparak bir özellik vektörü oluşturmaktadır. Bu özellik vektörü yerel doku bilgilerini, numaralandırılmış bölümlerse yerel dokular arasındaki genel ilişkileri saklamaktadır. Her sektördeki yerel doku bilgisi farklı özellikleri göstermek üzere gabor filtre kullanılarak 8 farklı kanala ayrılmaktadır. Bu şekilde; 80 parçaya bölümlenmiş parmak izindeki her sektörün 8 kanala ayrılmasıyla parmak izi kodu adı verilen özellik vektörü oluşturulmaktadır. Parmak izlerinin eşleştirilmesi iki parmak izi kodu arasındaki öklit uzaklığı hesaplanarak yapılmaktadır. Bu yöntemin en büyük avantajı indeksleme ve eşleştirme işlemlerindeki hesaplamalar sayesinde şablon

olarak depo edilen parmak izi kodlarının bit düzeyinde karşılaştırılabilmesidir. Bu sayede; kimlik doğrulama, veritabanının büyüklüğünden etkilenmeden yapılabilmektedir. Kullanılan parmak izi kodları ayrıntı noktaları kadar ayırt edici olmasa da ayrıntı noktalarıyla birlikte kullanılması halinde sistemin eşleştirme başarısını arttırmaktadır.

Sha ve diğ. [17] çalışmasında, [18] tarafından oluşturulan parmak izi kodu hesaplamalarındaki çekirdek noktanın bulunuşunu değiştirerek yöneltmiş bir parmak izi kodu oluşturmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre [18] çalışmasındaki eşleşme performansının geliştirildiği görülmektedir. Sha ve diğ. [19] bir başka çalışmasında, daha fazla doku bilgisini toplamak için ayrıntı noktalarıyla birlikte bölümlenmiş parmak izi kodunu kullanmaktadır.

Hat özelliği tabanlı yöntemler, ayrıntı noktalarının kullanılmasına alternatif olarak oluşturulmaktadır. Ancak birçoğu hat çizgilerini belirlemek için ayrıntı noktalarını kullanmaktadır. Bu yüzden; bu yöntemlerde ayrıntı noktalarının çıkartılması için gereken ön işlemler de uygulandığından, hem hesaplamaların süreleri uzamakta hem de işlem sayısı artmaktadır. Bunların dışında kalan [11, 16, 17, 18] bazı yöntemlerse; ayrıntı noktalarına gerek duymadan özellik çıkarımı ve eşleştirme işlemlerini yaparak başarılı sonuçlar elde etmekte ve bu özellikleriyle ayrıntı tabanlı tanıma sistemlerine alternatif olmaktadır.

2.2.2.3. Ayrıntı Tabanlı Yöntemler

Ayrıntı tabanlı yöntem, parmak izlerinden çıkarılıp depolanan ayrıntı noktalarının karşılaştırılmasıyla eşleştirilmenin yapıldığı yöntemdir. Birçok ülkede adli tıp uzmanlarının kullandığı ve sonuçları delil olarak kabul edilen karşılaştırma şekli olduğu için en çok tercih edilen yöntem olmuştur.

Bu yönteme göre; genellikle ayrıntı noktalarının koordinatları ve yönelim açısı $a=\{x, y, \theta\}$ özellik vektörü olarak depolanmaktadır. Bunlardan başka ayrıntı noktasının tipi (çatal, bitim), komşularını olan uzaklığı, komşularıyla arasındaki hat sayıları gibi daha birçok bilgi de saklanabilmektedir.

Bu tezde geliştirilen parmak izi tanıma sisteminin de ayrıntı tabanlı olmasından dolayı bu bölümde ayrıntı tabanlı sistemlerle ilgili sadece genel bilgi verilmiştir. Ayrıntı tabanlı başlıca çalışmalar, ayrıntı tabanlı sistemlerde kullanılan işlemler ve her işlemle ilgili literatürde uygulanan yöntemlerin detayları üçüncü bölümünde anlatılmaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. TEMEL KAVRAMLAR

Parmak izi tanıma sistemlerinde pekiştirme işlemleri, yönelim açılarının hesaplanması, eşleştirme kısımlarında kullanılan ortalama, varyans gibi bazı matematiksel işlemlerin, kutupsal koordinat sistemi gibi bazı konuların ve parmak izi resminin pekiştirilmesi bölümünde kullanılan filtreleme yöntemlerinin daha kolay anlaşılması için görüntü pekiştirme işlemlerinin açıklaması bu bölümde yapılmaktadır.

3.1.1. Matematiksel Altyapı

3.1.1.1. Varyans

Belli bir n elemanlı Y kümesindeki veya dağılımındaki değerlerin ortalaması Denklem 3.1'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} Y_i \quad (3.1)$$

Ortalama değer, kümelerin veya dağılımların karşılaştırılmasında kullanılır ancak sadece ortalamaların karşılaştırılması değerlerin dağılım düzeniyle ilgili bilgi vermez. Örneğin, $X = \{ 2, 4, 8, 14 \}$ ve $Y = \{ 6, 7, 8 \}$ kümelerinin ortalamaları aynıdır ancak Y kümesinin değerleri daha düzenlidir. Bu da standart sapma ve varyans değerlerinin hesaplanmasıyla karşılaştırılmaktadır. Standart sapma, bir kümedeki değerlerin ortalama değerden ne kadar uzaklaştığını göstermektedir. Bu değer, Denklem 3.2'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - M)^2} \quad (3.2)$$

Varyans, belirli bir küme veya olasılık dağılımındaki bütün değerlerin ortalama değere olan uzaklıklarının karelerinin ortalamasıdır. Başka bir deyişle, standart sapmanın

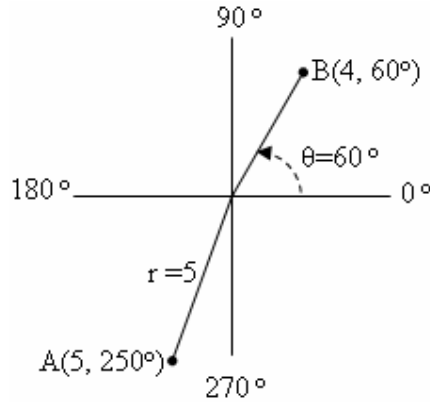
karesini göstermektedir. Varyans değeri bir X kümesi için Denklem 3.3'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$Var = \sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - M)^2 \quad (3.3)$$

3.1.1.2. Kutupsal Koordinat Sistemi

Matematikte kutupsal koordinat sistemi, her noktanın bir açı ve merkez noktaya olan uzaklığıyla tanımlandığı iki boyutlu bir koordinat sistemidir. Bu sistem, özellikle iki nokta arasındaki ilişkinin açı ve uzaklıkla daha kolay belirtildiği durumlarda kullanılmaktadır. Kartezyen koordinat sisteminde, trigonometrik formüllerle oluşturulan bu ilişki kutupsal koordinat sisteminden kolayca elde edilmektedir. Ayrıca, birçok eğri kutupsal denklemler kullanılarak rahatça tanımlanmaktadır.

İki boyutlu olan bu sistemde, her nokta radyal ve açısal olmak üzere iki kutupsal koordinatla belirtilmektedir. Genellikle r ile gösterilen radyal koordinat, noktanın Kartezyen koordinattaki orjine eşdeğer olan ve merkez nokta olarak belirtilen noktaya olan uzaklığı olarak tanımlanmaktadır. Açısal koordinat (θ) ise; noktanın kartezyen koordinat sistemindeki pozitif x-eksenine karşılık gelen 0° ışınına ulaşması için gerekli açı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.1'de $A(5, 250^\circ)$, $B(4, 60^\circ)$ noktalarının kutupsal koordinat sistemindeki konumları gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Kutupsal Koordinat Sisteminde Noktaların Gösterimi

Kartezyen koordinat sistemindeki (x,y) noktasının kutupsal koordinat sistemindeki karşılığı Denklem 3.4 ve 3.5'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} x &= r \cos \theta \\ y &= r \sin \theta \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\theta = \arctan \frac{y}{x}, \quad x \neq 0 \quad (3.5)$$

3.1.2. Görüntü Pekiştirme

Bir resmin pekiştirilmesi, genellikle maskeleye veya filtreleme olarak adlandırılan işlemlerle yapılmaktadır. Filtreleme işlemleri uygulama şekilleri bakımından uzamsal alan filtreleme ve frekans alan filtreleme olmak üzere iki alt kategoriye ayrılmaktadır.

Uzamsal alan filtreleme işlemlerinde; filtre, maske, kernel veya şablon olarak adlandırılan altimge, katsayıları göstermekte ve işlemler doğrudan resmin piksel değerleriyle yapılmaktadır. Uzamsal filtreleme işlemi, temel olarak filtrenin pekiştirilecek resmin her pikseli ile bire bir işlem yapılarak kaydırılması ve oluşturulacak resim için yeni piksel değerlerinin hesaplanmasıdır. Doğrusal uzamsal filtreleme, filtrenin resim üzerinde bulunduğu alandaki piksellerin değerleriyle filtre katsayılarının çarpımlarının toplamı olarak hesaplanmaktadır. Örneğin; $M \times N$ boyutundaki I resmini pekiştirmek için $m \times n$ boyutundaki s maskesi kullanılırsa, filtreleme işlemi Denklem 3.6'daki gibi gösterilmektedir.

$$T(x, y) = \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b s(i, j) I(x+i, y+j) \quad (3.6)$$

Denklem 3.6'da T pekiştirilmiş resim, $a = \frac{m-1}{2}$, $b = \frac{n-1}{2}$, x ve y ise sırasıyla $(0,1,2,\dots,M-1)$ ve $(0,1,2,\dots,N-1)$ olarak tanımlanmaktadır.

Doğrusal uzamsal filtreleme işlemi, frekans alanındaki evrişim işlemine benzerlik gösterdiği için bu işleme genellikle bir maskeyi resimle evriştirmek, kullanılan filtrelere de evrişim maskeleri denilmektedir [22].

Evrişim maskeleye işleminin sonucuna yoğunlaştığında, $m \times n$ boyutundaki maskenin, I resminin herhangi (x,y) pikseline uygulanmasının sonucu, literatürde

sıklıkla Denklem 3.7'deki sadeleştirilmiş evrişim maskeleme işlemiyle elde edilmektedir.

$$T = \sum_{i=1}^{mn} s_i I_i \quad (3.7)$$

Doğrusal olmayan uzamsal filtreler de piksel komşuluklarıyla işlem yapmakta ve çalışma prensipleri maskenin resim üzerinde kaydırılmasına dayanmaktadır. Ancak, bu filtrelerde kaydırılan bölgenin örneğin varyans değeri veya ortanca elemanı hesaplanır ki bu hesaplamalar doğrusal değildir. Yumuşatma, kenar keskinleştirme filtreleri doğrusal uzamsal filtrelerin başlıcalarıdır. Ortanca filtre ise doğrusal olmayan uzamsal filtrelere örnek gösterilebilir.

Frekans alandaki filtreleme işlemleri, resmin fourier dönüşümlerini değiştirmek üzerine kurulmuştur. Yumuşatma işlemi yapan alçak geçiren Gaussian filtresi ve Gabor filtre gürültünün azaltılması için kullanılan frekans alan filtreleme örnekleridir.

3.1.2.1. Ortalama Filtreleri

Yumuşatma filtresinin sonucu, filtre maskesinin bulunduğu komşuluk piksel değerlerinin ortalamasını vermektedir. Bu yüzden, yumuşatma filtrelerine çoğu zaman ortalama filtreleri de denilmektedir.

Ortalama filtrelerinin temel prensibi, bir pikselin gri düzey değerinin maskenin kapladığı alandaki piksellerin gri düzey değerlerinin ortalamasıyla değiştirilmesidir. Böylece, resimdeki gri düzey değerleri arasındaki geçişler yumuşatılmış olmaktadır. Şekil 3.2'de sıklıkla kullanılan çeşitli ortalama maskeleri verilmiştir.

$$\begin{array}{ccc} \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} & \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} & \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{(a)} & \text{(b)} & \text{(c)} \\ \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} & \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{(d)} & \text{(e)} \end{array}$$

Şekil 3.2: Ortalama Maskeleri

Şekil 3.2'deki ortalama maskelerinin resimlere uygulanmasında (a),(b),(c) için Denklem 3.8, (d) ve (e) için Denklem 3.9'daki genelleştirilmiş denklem kullanılmaktadır [23]. Bu farklılık maskelerin katsayılarından kaynaklanmaktadır. Bu denklemlerdeki I , $N \times M$ boyutundaki ortalama maskesi uygulanacak resim, s , $n \times m$ boyutundaki ortalama maskesi, τ belirlenen eşik değeri, T sonuç resmidir. Komşuluk ortalamasındaki bulanıklık etkisini azaltmak için işlemde τ eşik değeri kullanılmaktadır.

$x=(0,1,2,\dots,M-1)$, $y=(0,1,2,\dots,N-1)$ için

$$T(x, y) = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n s(i, j)I(i, j) \quad (3.8)$$

$$T(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n s(i, j)I(i, j) & \left| I(x, y) - \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n s(i, j)I(i, j) \right| > \tau \text{ için} \\ I(x, y) & \left| I(x, y) - \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n s(i, j)I(i, j) \right| \leq \tau \text{ için} \end{cases} \quad (3.9)$$

3.1.2.2. Ortanca Filtre

Ortanca filtreleme, ortalama filtresine benzer olarak piksellerin komşuluk değerleriyle işlem yapan ancak piksel değerlerini komşuların ortalaması yerine ortancasıyla değiştiren doğrusal olmayan bir uzamsal filtreleme yöntemidir. İstenilen komşuluk değerine göre ortanca elemanı bulmak için piksel değerleri sıralanır ve başlangıçtaki piksel değeri, bulunan ortanca elemanın gri düzey değeri ile değiştirilir. Bu yöntem, rastgele gürültülerde gürültüyü azaltmada oldukça etkili olduğu ve doğrusal yumuşatma filtrelerine göre daha az bulanıklık etkisi yarattığı için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.1.2.3. Gaussian Filtresi

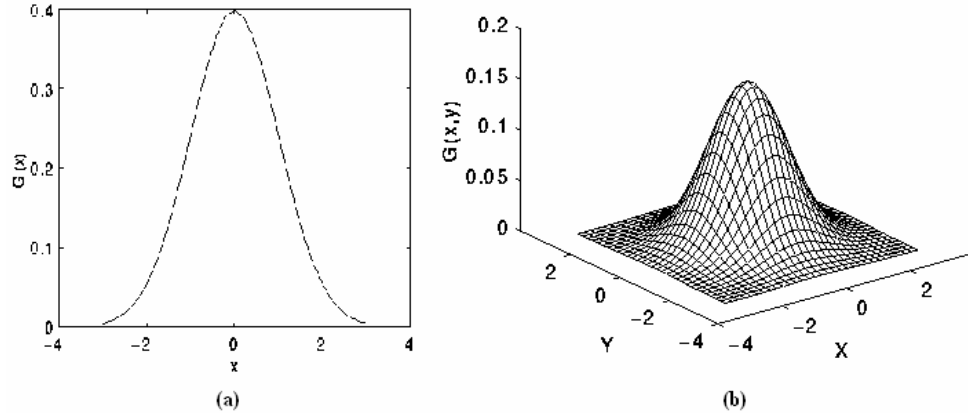
Gaussian filtreleme, resimleri bulanıklaştırarak gürültünün azaltılmasını sağlayan adını Gauss çan eğrisi formundan alan bir filtreleme yöntemidir. Fourier dönüşümü içerdiğinden sonsuz bir aktarım fonksiyonuna karşılık mekansal alanda sonlu bir pencerede filtreleme yapılabilir.

Standart sapması σ olan 1-D Gaussian filtresi Denklem 3.10'da, $\sigma =1$ için grafiği Şekil 3.3.a'da gösterilmektedir.

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (3.10)$$

İki boyutlu dairesel simetrik Gaussian filtresinin dürtü yanıtı Denklem 3.11'de, ortalama=0, standart sapma=1 için grafiği Şekil 3.3.b'de gösterilmektedir.

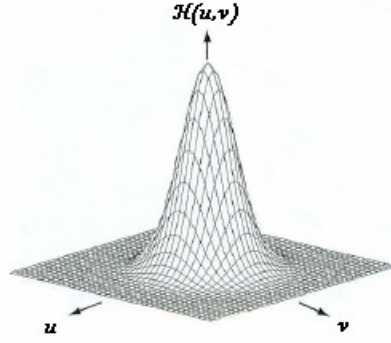
$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (3.11)$$



Şekil 3.3: Gaussian Filtreleri (a) 1-D, (b) 2-D

Gaussian filtresinin dürtü yanıtının genişliği sonsuzdur ancak orjinden uzaklaşarak hızla azalmaktadır. Aynı zamanda bir Gaussian fonksiyonu olan, Gaussian filtresinin frekans yanıtı Denklem 3.12'deki, aktarım fonksiyonunun grafiği ise Şekil 3.4'deki gibi gösterilmektedir. [24]

$$H(u, v) = e^{-2\pi^2\sigma^2(u^2+v^2)} \quad u, v < 1/2 \quad (3.12)$$



Şekil 3.4: Gaussian Filtresinin Aktarım Fonksiyonu

Gaussian filtresinin resme uygulanışı bir fourier dönüşümüdür. $F(u,v)$ resmin ayrık fourier dönüşümü, $H(u,v)$ gaussian filtresinin aktarım fonksiyonu olmak üzere, sonuç resmi $G(u,v)$ Denklem 3.13'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$G(u,v) = H(u,v)F(u,v) \quad (3.13)$$

3.1.2.4. Gabor Filtre

Genellikle resmi farklı bant frekanslarına ayırmak için kullanılan Gabor filtre, alçak geçirgen Gaussian filtrenin ve üstel fonksiyonun çarpımı olarak Denklem 3.14'deki gibi tanımlanmaktadır. [25]

$$h(x,y) = g'(x,y)e^{j(w_x x + w_y y)} \quad (3.14)$$

Denklem 3.14'deki $g'(x,y)$, Denklem 3.11'deki $g(x,y)$ Gaussian filtresinin, θ açısı kadar döndürülmüş ve σ ile ölçeklendirilmiş bir versiyonudur. Buna göre, $g'(x,y)$ Denklem 3.15'deki gibi gösterilmektedir.

$$g'(x,y) = \frac{1}{\lambda \sigma^2} g\left(\frac{x'}{\lambda \sigma}, \frac{y'}{\sigma}\right) \quad (3.15)$$

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta$$

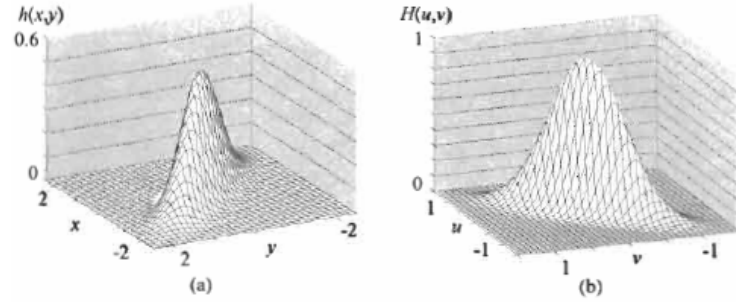
$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (3.16)$$

Gabor filtrenin dürtü yanıtının genişliğini σ , en-boy oranını ise λ parametresi kontrol etmektedir. Yönelim açısı θ genellikle Denklem 3.18'deki gibi filtrenin merkez dairesel frekansının yönüne eşit olarak seçilmektedir.

$$w = \sqrt{w_x^2 + w_y^2} \quad (3.17)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{w_x}{w_y} \quad (3.18)$$

Şekil 3.5’de Gabor filtrenin dağılım fonksiyonunun ve frekans yanıtının büyüklüklerinin grafiği gösterilmektedir.



Şekil 3.5: Gabor filtrenin büyüklüğü (a) ve frekans yanıtı (b). ($\lambda=0,3, \sigma=1$)

3.2. AYRINTI TABANLI PARMAK İZİ TANIMA YÖNTEMİ

Ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma yöntemi, parmak izinden çıkarılan ayrıntı noktalarının eşleştirmede kullanıldığı en çok tercih edilen yöntemdir. Ayrıntı tabanlı yöntemler ayrıntıların doğrudan gri-düzeyle parmak izinden çıkarıldığı çalışmalar [7, 8] ve ikiliye dönüştürülmüş (siyah-beyaz) resimlerden çıkarıldığı [20, 21, 26, 27, 28] çalışmalar olmak üzere iki alt kategoriye ayrılmaktadır.

Maio ve Maltoni [7] ayrıntı noktalarını doğrudan gri-düzeyle resimlerden çıkaran bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritma, hat çizgilerini başka bir hatla karşılaştırmaya ya da hat çizgileri bitinceye kadar takip ederek çeşitli noktalar belirlemekte, belirlediği bu karşılaşma ve bitim noktalarını ayrıntı noktaları olarak tanımlamaktadır.

Lee ve diğ. [8] gri-düzeyle resimlerden ayrıntıların çıkarılmasında gabor temelli fonksiyonlar kullanarak parmak izi hat yapılarının sürekliliğini incelemektedir. Bu sayede parmak izinin yerel uzamsal frekansı ve yönelimi yakalanmaktadır. Parmak izindeki çekirdekler, delta ve ayrıntı noktalarının hat yapılarının süreklilik

göstermeyen alanlarında bulunmasından yararlanılarak bu noktalar belirlenmektedir. Bu yöntem ayrıntıların bulunmasında piksel düzeyinde yapılan işlemlerin süresini azaltarak daha hızlı eşleştirme sağlamaktadır.

Ayrıntıların ikili parmak izlerinden çıkarılması için öncelikle gri-düzeyleli parmak izi resminin görüntü pekiştirme, ikiliye dönüştürme, inceltme gibi bazı ön işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Buna bağılı olarak; ikili parmak izi resimlerinden ayrıntıları çıkaran çalışmalar, ayrıntıların çıkarılması için parmak izi resimlerinin hazırlanışı (ön işlemler), referans noktaların bulunuşu ve eşleştirme gibi işlemlerin yapılmasında farklılık göstermektedirler. Gri-düzeyleli ve ikili resimlerden ayrıntıların çıkarılması bu bölümün ikinci kısmında “Ayrıntı Noktalarının Çıkarılması” başlığı altında detaylarıyla anlatılmaktadır.

Ayrıntı tabanlı sistemlerde, çekirdek nokta veya parmak izi ayrıntılarının karşılaştırılmasında en çok benzeyen ayrıntı noktaları referans nokta olarak kullanılmaktadır. Örneğin; Zhang ve Wang [20] çalışmalarında çekirdek noktayı referans nokta olarak kullanıp, ayrıntı noktalarının çekirdek noktaya göre belirlenen özelliklerini karşılaştırarak yerel ve genel olmak üzere iki aşamalı eşleştirme yapmaktadırlar.

Aksine, Wei ve diğı. [21] çalışmalarında yaptıkları karşılaştırmalarda en çok benzeyen ayrıntı noktalarını referans nokta olarak kullanıp üç aşamalı eşleştirme yapmaktadırlar. İlk aşamada parmak izleri arasındaki yerel yönelimler ve ayrıntıların topolojik yapıları karşılaştırılmaktadır. İkinci aşamada, birinci aşamada en çok benzeştiğı belirlenen 5 ayrıntı çifti referans nokta olarak alınıp parmak izleri bu noktalara göre hizalanmakta, hizalanmış ayrıntı noktaları eşleştirilmektedir. Üçüncü aşamada ise; ikinci aşamada eşleşen ayrıntı çiftleri genel topolojik yapılarına göre tekrar karşılaştırılmaktadır. Üç aşamadan toplam eşleşme skoru oluşturularak parmak izlerinin eşleşip eşleşmediğı belirlenmektedir. Böylece, elde edilen sonuçların doğruluğı arttırılmaktadır.

Parmak izi eşleştirilmesinde en büyük sorun parmak izlerinin doğrusal olmayan biçim bozukluklarıdır. Bu bozukluklar üç boyutlu parmak izi şeklinin, tarayıcılarla iki boyutlu

parmak izi resmine dönüştürülürken parmak izi elastikiyetinin göz önünde bulundurulamamasından kaynaklanmaktadır.

Parmak izi resmindeki biçim bozukluklarıyla baş etmek için Liang ve Asano [27] ayrıntı noktalarının komşu hat çizgileriyle oluşturduğu çokgenleri hesaplayarak eşleştirmede kullanmaktadır. Benzer olarak, biçim bozukluklarının etkisini azaltmak için [28] ayrıntı noktaları arasında “Deluanay Üçgenleştirme” olarak adlandırdığı yöntemle oluşturduğu şekilleri karşılaştırarak parmak izlerini eşleştirmektedir. Bunların dışında, faz-tabanlı eşleştirme yapan [29], eşleştirmede Hough dönüşümünü kullanan [30] çalışmalarındaki gibi daha birçok farklı yöntem kullanılarak biçim bozukluklarından kaynaklanan hatalar azaltılmaya ve eşleştirme oranı arttırılmaya çalışılmaktadır.

Bu tezde tasarlanan ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sistemindeki normalleştirme, pekiştirme, inceltme, yönelim hesaplamaları, çekirdek noktanın bulunması, ayrıntı noktalarının çıkarılması, hatalı ayrıntı noktalarının belirlenmesi, referans noktaların bulunması ve eşleştirme işlemleri, bu işlemlerle ilgili daha önce yapılmış çeşitli çalışmalarla birlikte ayrı başlıklarda anlatılmaktadır.

3.2.1. Normalleştirme

Görüntü işleme tekniklerinde normalleştirme, piksel parlaklık değerlerinin aralığını değiştiren bir işlemdir. Bu dinamik aralık genişletme işlemiyle, parlaklık değerlerinin daha “normal” olduğu kabul edilen aralığa dönüştürülmesi sağlanmaktadır.

Parmak izindeki yönelim hesaplamalarından önce parmak izi resminin normalleştirilmesinin gerekli olduğunu Hong ve diğ. [31] çalışmasında göstermektedir. Parmak izi resmini normalleştirmek için resmin piksel değerlerinin ortalaması M ve varyansı V sırasıyla Denklem 3.19 ve 3.20’deki gibi hesaplanmaktadır. Denklemlerdeki $P(i,j)$, $m \times n$ boyutundaki parmak izi resminin (i,j) koordinatının gri-düzye piksel değerini göstermektedir.

$$M = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} P(i, j) \quad (3.19)$$

$$V = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (P(i, j) - M)^2 \quad (3.20)$$

Normalleştirilmiş parmak izi resmi, ortalama değerin üstünde ve altındaki gri-düzye piksel değeri için aşağıdaki denklemlerle hesaplanmaktadır.

$$N(i, j) = M_0 + \sqrt{\frac{V_0(P(i, j) - M)^2}{V}} \quad P(i, j) > M \text{ için} \quad (3.21)$$

$$N(i, j) = M_0 - \sqrt{\frac{V_0(P(i, j) - M)^2}{V}} \quad P(i, j) < M \text{ için} \quad (3.22)$$

Bu denklemlerde, $N(i, j)$, normalleştirilmiş parmak izi resminin (i, j) elemanının parlaklık değeri, $P(i, j)$, başlangıçtaki parmak izi resminin (i, j) elemanının gri düzeyli parlaklık değeri, M ve V başlangıçtaki parmak izi resmi için hesaplanan sırasıyla ortalama ve varyans değerlerini, M_0 ve V_0 istenen ortalama ve varyans değerlerini göstermektedir.

Denklem 3.21 ve 3.22'deki gibi normalleştirilen resmin parlaklık değeri istenilen M_0 değerine göre ayarlanmaktadır. Örneğin; Şekil 3.6'daki normalleştirilmiş parmak izi $M_0=120$, $V_0=120$ alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.6: Normalleştirilmiş Parmak İzi Örneği : (a) Başlangıçtaki resim, (b) Normalleştirilmiş resim

Parmak izi resminin normalleştirilmesindeki temel sebep, parmak izindeki hat ve boşlukların kendi içlerindeki değişimlerini en aza indirmektir. Bu sayede, hat ve

çukurları birbirinden ayırmak kolaylaşmaktadır. Ancak, parmak izi normalleştirme, hatları ve çukurları düzelten veya belirginleştiren bir işlem değildir. Bu yüzden, parmak izi resmini pekiştirmek için maskeleme ve filtreleme işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

3.2.2. Parmak İzi Resmini Pekiştirme (Maskeleme ve Filtreleme)

İdeal bir parmak izi resminde, hatlar ve çukurlar belirli bir yönde ilerleyip birbiri ardına gelmektedir. Bu tip kaliteli parmak izi resimlerinde, hatlar ve ayrıntılar kolaylıkla ve başarıyla tespit edilebilmektedir. Ancak bazen parmak izi alınırken uygulanan basınç farklarından, parmak izi derisinin nemli, kuru veya yağlı olmasından dolayı gürültülü, kesikli, çok koyu veya çok açık, parmak izi hatlarının ve çukurlarının normal gidişatından saparak iç içe girdiği düşük kaliteli parmak izi resimleri oluşabilmektedir. Bu tip parmak izi resimlerinde, hatları, yönelim açılarını, ayrıntı noktalarını doğru olarak belirlemek mümkün olmamaktadır. Hatalı olarak belirlenen ayrıntı noktaları ve yönelim açıları parmak izi tanıma sistemlerinde karşılaştırmanın hızını ve başarı oranını büyük ölçüde etkilemektedir. Dolayısıyla, tanıma oranını ve tanıma hızını arttırmak için bu tip parmak izi resimlerinin pekiştirilmesi gerekmektedir.

Literatürde parmak izi resimlerini pekiştirmek için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin başlıcaları; histogram eşitleme, karşıtlığı arttırma, maskeleme veya filtreleme [31, 32, 33, 34, 35] yöntemleridir.

Hong ve diğ. [31] parmak izi resmindeki hat ve çukurları iyileştirmek için parmak izinin frekansı ve yönelim hesaplarının kullanılmasının istenmeyen gürültüyü azaltmada yardımcı olacağını öne sürmüşlerdir. Buna göre; hat ve çukurların sinüzoidal dalga şeklinin bölgesel yönelimlerde çok az değişim gösterdiği belirlenmiş, buna dayanarak frekans ve yönetime göre ayarlanan bant-geçiren filtrenin gürültüyü azaltırken hat ve çukur yapılarını koruyacağı düşünülmüştür. Bu açıdan; yaptıkları çalışmada hem frekans seçme hem yönelim seçme özelliği olduğu düşüncesiyle gabor filtre kullanılmaktadır.

G normalleştirilmiş parmak izi resmini, O yönelim resmini, F frekans resmini, R yenilenebilir maskeyi, h Gabor filtrenin aktarım fonksiyonunu göstermek üzere Gabor filtrenin uygulanmasıyla elde edilen pekiştirilmiş E resmi, Denklem 3.23'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$E(i, j) = \begin{cases} 255 & R(i, j) = 0 \text{ için} \\ \sum_{u=-w/2}^{w/2} \sum_{v=-w/2}^{w/2} h(u, v : O(i, j), F(i, j))G(i-u, j-v) & R(i, j) \neq 0 \text{ için} \end{cases} \quad (3.23)$$

Frekans resminin bulunmasının ve Gabor filtrenin aktarım fonksiyonunun türetilmesinin ayrıntıları [31] çalışmasında anlatılmaktadır.

Parmak izi ayrıntılarının belirlenmesinde gri düzeyli resimlerin ve siyah beyaz resimlerin kullanılmasının verimliliğini karşılaştıran Greenberg ve diğ. [33], buna bağlı olarak her iki yöntemde kullanılacak resimler için farklı iyileştirme yöntemleri uygulamaktadırlar. İkili resimler için; histogram eşitleme, gürültüyü azaltmak için Wiener filtreleme işlemleri yapılmaktadır. Gri düzeyli resimler için ise; [31] çalışmasındakine benzer olarak frekans ve yönelime göre ayarlanmış gabor filtrenin değiştirilmiş bir benzeri olan yönbağımlı (anisotropic) filtre kullanılmaktadır.

İlk olarak Freeman ve Aldeman [36] tarafından kullanılan yönlendirilebilir filtreler, bir resmin gauss fonksiyonunun yönlü türevinden oluşturulmuştur. Bu filtreler bir resmin yönelim analizi için kullanılmaktadır. Benzer olarak, Sharath ve diğ. [34] çalışmalarında yönlendirilebilir filtreleri temel alan kama yönlendirilebilir filtreleri ve geliştirilmiş gabor filtreleri resimlere uygulayarak pekiştirmektedirler.

Sherlock ve diğ. [35] çalışmalarında standart uzamsal filtrelemeden farklı olarak kullandıkları iki boyutlu fourier dönüşüm algoritması sayesinde resimleri kendi boyutundaki filtrelerle evriştirmektedirler. Resmin iyileştirilmesi sadece maskenin belirttiği komşuluk pikselleriyle değil resimdeki tüm piksellerle yapıldığı için gürültünün azaltılmasında diğer maskeleme yöntemlerine göre daha etkili olmaktadır.

Literatürdeki parmak izi resimlerine uygulanan pekiştirme işlemleri, resme daha sonra uygulanacak işlemlere göre farklılık göstermektedir. Bu da sonraki işlemlerde en iyi

sonucu elde etme amacından kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak, tez kapsamında parmak izi resminin pekiştirilmesinde hangi filtrelerin kullanıldığı üçüncü bölümün Uygulama kısmında anlatılmaktadır.

3.2.3. İnceltme

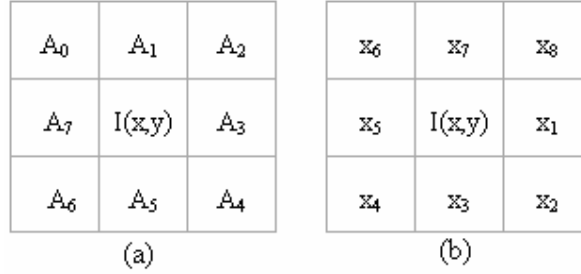
İnceltme işlemi, resimdeki boşluklu olmayan bir objenin en yakın dış sınırına eşit uzaklıkta olan minimum bağlı noktalar ve boşluklu olan bir objenin her boşluğunun ve boşluğa en yakın dış sınırının arasında, ortada kalan minimum bağlı daire kalıncaya kadar aşındırılarak siyah piksellerin silinmesi işlemidir [37]. Bu işlem sonucunda, başlangıçtaki resmin bağlantılı piksellerinin yapısının korunması gerekmektedir. Ancak çoğu zaman istenmeyen birleşim ve kopma yapıları oluşabilmektedir.

Literatürde inceltme işlemi için, seri yöntem [38], paralel yöntem [39], ıskala yakala dönüşümünü kullanan [40] yöntem gibi farklı inceltme algoritmalarının kullanıldığı yöntemler bulunmaktadır. Bu algoritmalarla oluşturulan bazı durumlar resme n kez uygulanarak inceltme işlemi yapılmaktadır. Seri yöntemde [38], pikselin n. özyinelemedeki değeri, içlerinden bazıları için n. özyineleme sonucu daha önceden bulunmuş piksel kümesine bağlıdır. Paralel yöntemde [39], pikselin n. özyinelemedeki değeri, pikselin ve (n-1)'inci özyinelemedeki komşularının piksel değerlerine bağlıdır.

Paralel inceltme algoritmasına [39] göre; I resminin (x,y) pikselinin, değeri 0 olmayan komşularının sayısı $N[I(x,y)]$, $A_1, A_2, A_3, \dots, A_7, A_0$ komşularının 0'dan 1'e geçişlerinin sayısı $S[I(x,y)]$ olduğu farzedildiğinde, Denklem 3.24'deki şartları sağlayan $I(x,y)$ pikseli silinmektedir. Denklem 3.25'deki şartları sağlayan $I(x,y)$ pikseli ise sonuçtaki iskeletin bir parçası olmadığı için kaldırılmaktadır. Şekil 3.7.a'da $I(x,y)$ pikselinin paralel yönetime göre komşu pikselleri gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} 2 \leq N[I(x,y)] &\leq 6 \\ S[I(x,y)] &= 1 \\ A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 &= 0 \\ A_3 \cdot A_5 \cdot A_7 &= 0 \end{aligned} \tag{3.24}$$

$$\begin{aligned}
2 \leq N[I(x, y)] &\leq 6 \\
S[I(x, y)] &= 1 \\
A_1 \cdot A_3 \cdot A_7 &= 0 \\
A_1 \cdot A_5 \cdot A_7 &= 0
\end{aligned} \tag{3.25}$$



Şekil 3.7: Farklı İnceltme Algoritmaları için Piksel Komşuluklarının Gösterimi: I(x,y) pikselinin (a) [39] çalışmasına göre, (b) [41] çalışmasına göre komşuları

Guo ve Hall [41] çalışmalarında paralel yöntemdeki algoritmanın [39] bir benzerini kullanmaktadırlar.

Bu algoritmaya göre;

- resmi dama tahtası örüntüsü içinde iki farklı alt-alana ayırmak,
- ilk alt-özyinelemede eğer Denklem 3.26, 3.27, 3.28'deki durumların hepsi sağlanıyorsa piksel p'yi ilk alt-alandan silmek,
- ikinci alt- özyinelemede eğer Denklem 3.26, 3.27, 3.29'deki durumların hepsi sağlanıyorsa piksel p'yi ikinci alt-alandan silmek gerekmektedir.

Algoritmaya göre bu iki alt-özyineleme birleşerek inceltme algoritmasının bir özyinelemesini oluşturmaktadır. Bu özyinelemeler resimde herhangi bir değişiklik olmayana kadar devam ettirildiğinde görüntü son inceltilmiş halini almaktadır.

Durum 1: I(p)=1 ise;

$$b_i = \begin{cases} 1 & \text{eğer } x_{2i-1} = 0 \text{ ve } (x_{2i}=1 \text{ veya } x_{2i+1}=1) \text{ için} \\ 0 & \text{değilse} \end{cases} \tag{3.26}$$

$$I(p) = \sum_{i=1}^4 b_i$$

Şekil 3.7.b’de p pikselinin en batısından saat yönünün tersine doğru $x_1, x_2, x_3, \dots, x_8$ komşuları gösterilmektedir.

Durum 2:

$$2 \leq \min\{n_1(p), n_2(p)\} \leq 3$$

$$n_1(p) = \sum_{k=1}^4 x_{2k-1} \vee x_{2k} \quad (3.27)$$

$$n_2(p) = \sum_{k=1}^4 x_{2k} \vee x_{2k+1}$$

Durum 3:

$$(x_2 \vee x_3 \vee \bar{x}_8) \wedge x_1 = 0 \quad (3.28)$$

Durum 3’:

$$(x_6 \vee x_7 \vee \bar{x}_4) \wedge x_5 = 0 \quad (3.29)$$

Parmak izi resminin inceltilmesi için tercih edilen bir diğer yöntem [42] hat çizgilerini takip ederek inceltme yöntemi [33, 7, 43] makalelerinde uygulanmaktadır.

Literatürdeki çeşitli inceltme algoritmalarının ayrıntılı açıklamaları ve karşılaştırmaları Lam ve diğ. [44] tarafından yapılmıştır.

Bu tez kapsamında parmak izi resimlerinin inceltilmesi için [41] çalışmasında geliştirilip uygulanan ve yukarıda açıklanan yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemle göre inceltirilmiş parmak izi resimleri üçüncü bölümün Uygulama kısmında gösterilmektedir.

3.2.4. Yönelim Hesaplamaları

Ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sistemlerinde, çekirdek noktanın bulunması, parmak izi bölümlenmesi ve ayrıntıların karşılaştırılmasında parmak izi hatlarının yönelimi kullanılmaktadır. Parmak izi resminin hesaplanan yönelim resmi, parmak izinin kendine özgü özelliklerini göstererek, hat ve çukurların yerel komşuluk içindeki değişmeyen koordinatlarını tanımlamaktadır. Literatürde en yaygın kullanılan yönelim hesaplamaları gradyan tabanlı [31, 45, 46, 47] yaklaşımlardır. Bunların dışında piksel hizalaması tabanlı [48], her pikselin yerel yönelimini, sabit sayıda referans yönelimine göre piksel hizalamasına bağlı olarak hesaplamaktadır. Ancak sabit sayıdaki referans yönelimi yüzünden sonuçların doğruluk oranı gradyan tabanlı yöntemlere göre daha düşüktür.

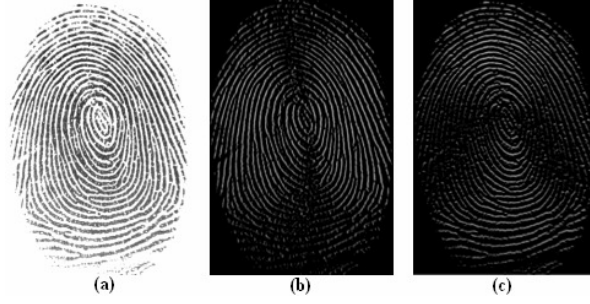
3.2.4.1. Gradyan Hesaplamaları

Görüntü işleme tekniklerinde gradyan, resimlerin renk değişim derecelerini göstermek için kullanılmaktadır. İkili resimlerde gradyan, siyah beyaz geçişlerin derecelerini belirtmektedir. Matematiksel anlamda iki değişkenli fonksiyonun gradyanı, resmin her noktası için bileşenleri yatay ve dikey yönlerdeki türevleri olan iki boyutlu bir vektör olarak tanımlanmaktadır. Buna göre; resmin parlaklık fonksiyonunun gradyan vektörü, resimdeki her nokta için parlaklık değişiminin en fazla olduğu yönü işaret etmekte ve vektörün büyüklüğü de bu yöndeki parlaklık değişim oranına karşılık gelmektedir.

Resmin gradyanı, sürekli olduğu farzedilen parlaklık fonksiyonu $f(x,y)$ 'nin herhangi bir (x,y) koordinatı için Denklem 3.30'daki gibi iki boyutlu vektör olarak hesaplanmaktadır. Bu vektörün büyüklüğü ise x ve y bileşenleri kullanılarak Denklem 3.31'deki gibi hesaplanmaktadır. Şekil 3.8'de parmak izi resmi ve resme ait gradyanların x ve y bileşenlerinin resimleri gösterilmektedir.

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

$$|\nabla f| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \quad (3.31)$$



Şekil 3.8: Parmak İzi Resminin Gradyan Bileşenlerinin Gösterimi: (a) parmak izi resmi, (b) gradyanın x bileşeninin resmi, (c) y bileşeninin resmi

3.2.4.2. Gradyan Tabanlı Yönelim Hesaplamaları

Gradyan tabanlı yaklaşımlardan Hong ve diğ. [31] tarafından geliştirilen en küçük ortalama kare yönelim kestirimi algoritmasının oldukça başarılı sonuçlar verdiği Sun ve diğ. [49] tarafından gösterilmektedir. Bu özelliği nedeniyle birçok parmak izi tanıma uygulamasında [18, 50] bu yöntem kullanılmaktadır.

Bu yönetime göre yönelim hesaplamaları normalleştirilmiş parmak izi resmi kullanılarak aşağıdaki işlem sırasıyla yapılmaktadır.

1. Normalleştirilmiş P resmi $w \times w$ boyutundaki bloklara ayrılarak her bloğun merkezindeki (i,j) pikselinin x ve y koordinatları için $\partial_x(i, j)$, $\partial_y(i, j)$ gradyan değerleri hesaplanmaktadır. Hesaplama Sobel, Perwitt, Kirsch, Robinson gradyan operatörlerinden herhangi biri kullanılabilir.

2. Her bloğun yerel yönelimi 3.32, 3.33 ve 3.34'deki denklemlerle hesaplanmaktadır.

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} 2\partial_x(u, v)\partial_y(u, v) \quad (3.32)$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} 2\partial_x^2(u, v)\partial_y^2(u, v) \quad (3.33)$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{V_y(i, j)}{V_x(i, j)} \right) \quad (3.34)$$

Denklem 3.34'de merkezi, piksel (i,j) olan bloğun en küçük kare kestirimine göre yerel hat yönelimi $\theta(i, j)$ hesaplanmaktadır. Matematiksel anlamda ise bu hesaplama w x w penceresinin baskın fourier spektrumuna dikgen olan yönün gösterimi olarak tanımlanmaktadır.

4. Denklem 3.34'deki yönelim $\theta(i, j)$, parmak izi hat ve çukur yapılarının kesikli olması, parmak izi resmindeki gürültü dolayısıyla hatalı hesaplanabilmektedir. Hatalı hesaplanan bu değerlerin düzeltilmesi için yönelim resmine alçak geçiren filtre uygulanması gerekmektedir. Ancak bu filtrenin uygulanabilmesi için yönelim resminin sürekli vektör alanına çevrilmesi gerekmektedir.

$$\Phi_x(i, j) = \cos(2\theta(i, j)) \quad (3.35)$$

$$\Phi_y(i, j) = \sin(2\theta(i, j)) \quad (3.36)$$

Φ_x ve Φ_y sırasıyla vektör alanın x ve y bileşeni olmak üzere, θ yönelim resminin vektör alana çevrilmesi Denklem 3.35 ve 3.36'daki gibi yapılmaktadır.

$$\Phi'_x(i, j) = \sum_{u=-n/2}^{n/2} \sum_{v=-n/2}^{n/2} S(u, v) \Phi_x(i - uw, j - vw) \quad (3.37)$$

$$\Phi'_y(i, j) = \sum_{u=-n/2}^{n/2} \sum_{v=-n/2}^{n/2} S(u, v) \Phi_y(i - uw, j - vw) \quad (3.38)$$

S, n x n boyutundaki iki boyutlu alçak geçiren filtreyi göstermek üzere; hesaplanan vektör alanın x ve y bileşenlerine alçak geçiren filtrenin uygulandığı Denklem 3.37 ve 3.38'deki gibidir.

5. Son olarak, düzgünleştirilmiş yönelim resmi Denklem 3.39'daki gibi hesaplanarak bulunmaktadır.

$$O(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\Phi'_y(i, j)}{\Phi'_x(i, j)} \right) \quad (3.39)$$

Gradyan tabanlı bu yöntemden farklı olarak yönelim resminin düzgünleştirilmesi için değişik filtreler uygulanabilmektedir. Örneğin; Manhua ve diğ. [51] çalışmalarında yönelim resminin düzgünleştirilmesi için alçak geçiren filtre yerine ortanca filtre kullanmaktadırlar.

3.2.5. Çekirdek Noktanın Bulunması

Parmak izi sınıflandırmasında kullanılan tekil noktalar delta ve çekirdek nokta, aynı zamanda parmak izi karşılaştırılmasında referans noktaları olarak da kullanılmaktadır. Çekirdek nokta, örüntü alanının en içteki geriye eğilen parmak izi hattının en üst noktası olarak tanımlanmaktadır.[52]

Literatürde, çekirdek noktanın bulunması için sıklıkla tekil nokta ve yönelim tabanlı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin başında Poincare indis yöntemi [53] gelmektedir. Ayrıca Poincare yöntemini geliştiren [54, 55, 56] yaklaşımlar, yönelim tabanlı; alan geometrisi yöntemi [18], eğrilik doğrultusu yöntemi [57], bu iki yöntemin birleştirilmesinden oluşan melez yöntem [50], çoklu çözünürlük yöntemi [58], yönlü mikro-örüntü histogramlar kullanan yöntem [59], çoklu ölçek uzayı yöntemi [60], geliştirilmiş ilişkili grafik yöntemi [61], sıfır-kutup modelini kullanan yöntemler [62, 63] ve farklı yaklaşımlar ortaya koyan [64, 65, 66, 67, 68] birçok yöntem ileri sürülmüştür.

Çekirdek nokta, örüntü alanının en içteki eğiminin içinde yer aldığı için Rao ve diğ. [52] geliştirdikleri iki boyutlu paralel işlem yöntemiyle örüntü alanındaki geriye eğimli hattın en üstündeki noktayı bulmaktadırlar. Poincare indis yönteminde [53], Poincare indisi bir vektör alan içinde eğrinin üstündeki tüm vektörlerin toplam dönme açısı olarak tanımlanmaktadır. Bu toplamın verdiği sonuç doğrultusunda noktanın delta veya çekirdek nokta olup olmadığı belirlenmektedir. Ancak bu hesaplama parmak izi resmindeki gürültüden çok fazla etkilenmektedir.

Poincare indis yöntemini geliştiren [62] çalışması sadece yönelim alanının eğriliğini değil aynı zamanda tekil noktaların gerçekten o bölgede olup olmadığını anlamak için bu noktaları yerel yönelimle ilişkilendirerek benzerlikleri hesaplamaktadır. Buna göre, tekil noktanın konumuyla, yerel yönelim alanında ilişki kurulmaktadır. Bu

ilişkilendirme ilk olarak Sherlock ve Monro [69] tarafından ileri sürülen sıfır-kutup modeli kullanılarak yapılmıştır. Wu ve Jie [62] çalışmalarında modelin katsayılarını hesaplamak için Hough Dönüşümü gerçekleştirmektedirler. Benzer olarak Fan ve diğ. [63] çalışmalarında sıfır-kutup modelini ve Hough dönüşümünü birleştirerek çekirdek noktayı bulunmaktadırlar.

Parmak izi hatlarındaki maksimum eğim derecesini bulmaya dayanan Koo ve diğ. [70] çalışmalarında, buldukları bu noktayı referans nokta olarak kullanmaktadırlar. Bu yöntemi geliştiren Jiang ve diğ. [57] geliştirdikleri eğrilik doğrultusu yöntemiyle uzamsal varyanslar üzerinde yönelimin değişme oranı olarak tanımladıkları eğim derecesini hesaplayarak delta ve çekirdek noktayı bulmaktadırlar. Bu yöntemle, sonuca çabuk ulaşılmaktadır ancak düşük kaliteli parmak izlerinde hatalar olabilmektedir.

Alan geometrisi yöntemi [18], oluşturduğu dairesel alanda yönelim resminin sinüs bileşenini kullanarak maksimum eğim derecesini yakalamaya çalışmaktadır. Bu yöntemin hesaplama karmaşıklığı çok yüksektir. Bu yüzden, çekirdek noktayı bulma süresi uzamaktadır.

Melez yöntem [50], alan geometrisi ve eğrilik doğrultusu yönteminin birleştirilmiş halidir. Bu yaklaşımda, eğrilik doğrultusu yöntemine göre bulunan çekirdek noktanın koordinatları merkez nokta kabul edilerek yönelim resminden belirlenen büyüklükte bir parça çıkarılarak küçültülmüş bir yönelim resmi oluşturulmakta, bu resme alan geometrisi yöntemi uygulanarak çekirdek nokta bulunmaktadır. Bu yöntemle alan geometrisi yönteminin hesaplama karmaşıklığı azaltılmaya çalışılarak daha hızlı sonuca ulaşmak amaçlanmaktadır.

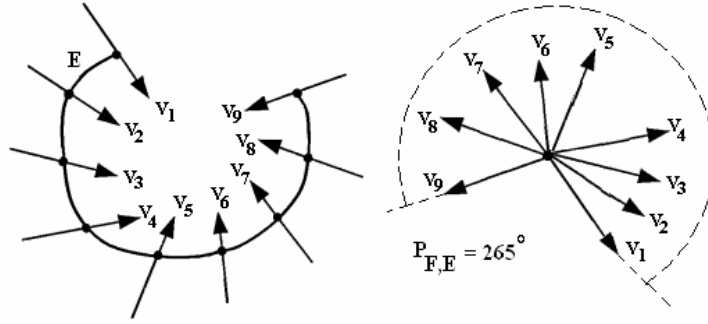
Yönelim tabanlı tekil noktaların bulunmasına dayanan [58], daha hızlı sonuca ulaşabilmek için öncelikle düşük çözünürlüklü yönelim alanından çekirdek noktanın bulunduğu alanı belirleyip, daha sonra bu alan için yüksek çözünürlüklü yönelim resminde çekirdek noktayı belirlemektedir. Parmak izi resminin yönelim alanını bölümleyen [64], bu bölümleri kullanarak çekirdek noktayı bulmaya çalışmaktadır.

Yönelim alanına iki farklı filtre uygulayan [65], azami parabolik simetriyi arttırarak çekirdek noktayı, üçgensel simetriyi arttırarak delta noktasını bulmaktadır. Ancak bu yöntemin verimliliği parmak izi hatlarının belirginliği ve parmak izi resmindeki gürültüye bağlıdır.

3.2.5.1. Poincare İndis Yöntemi

Poincare indis yöntemi [53], oldukça pratik hesaplar içeren, bir vektör alan içinde bulunan eğrinin üstündeki tüm vektörlerin oluşturduğu toplam dönme açısını hesaplamaya dayanan bir yöntemdir. Poincare indis olarak adlandırılan bu toplamın verdiği sonuç doğrultusunda noktanın hangi tekil noktaya ait olduğu belirlenmektedir.

Şekil 3.9'daki F, vektör alan, E, bu vektör alandaki bir eğri olarak farzedilirse E eğrisi üstündeki vektörlerin oluşturduğu toplam dönme açısı $P_{F,E} = 265^\circ$ olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 3.9: Poincare İndis Hesaplamasının Gösterimi

Bu yöntem parmak izi resmine uygulanmak istendiğinde, F parmak izi resminin karşılık gelen yönelim resminin (θ) üzerindeki vektör alanı, E yönelim resminde tanımlanmış kapalı bir eğri olarak farzedilirse; yönelim resminin herhangi bir (i,j) noktasındaki Poincare indisini ($P_{F,E}$) hesaplamak için yönelim resmindeki açıların doğrultularının belirlenmesi gerekmektedir. Eğri üzerindeki ilk elemanın doğrultusu rastgele belirlenip, her ardışık elemana da öncekinin en yakın doğrultusu atanarak doğrultular oluşturulmaktadır. Buna göre; yönelim alandaki herhangi bir (i,j) noktasının indisi Denklem 3.40'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$P_{(i,j)} = \sum_{i=0}^7 a_{çıl}(d_i, d_{(i+i) \bmod 8}) \quad (3.40)$$

Tablo 3.1: Poincare indis ($P_{F,E}$) değerine göre noktanın ait olduğu şekiller

Poincare İndis	Ait Olduğu Alan
0 °	Yok
360 °	Helezon
180 °	Döngü
-180 °	Delta

Tablo 3.1’de Poincare indis değerine göre noktanın hangi bölgeye ait olduğunun listesi verilmektedir. Buna göre; çekirdek nokta, helezon veya döngü alanı oluşturan eğrilerin en içindeki nokta olarak bulunabilmektedir.

3.2.5.2. Alan Geometrisi Yöntemi

Jain ve diğ. [18] tarafından oluşturulan alan geometrisi yöntemi birçok çalışmada kullanılmıştır. Bu yönelim tabanlı yöntemde, oluşturulan dairesel alan için yönelim resminin sinüs bileşeni kullanılarak çekirdek noktanın koordinatları bulunmaya çalışılmaktadır. Bu yöneme göre yapılan işlemler sırasıyla aşağıda anlatılmaktadır.

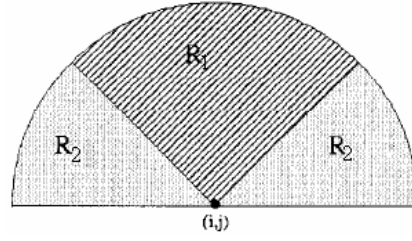
1. Düzgünleştirilmiş yönelim alanı Denklem 3.39’daki gibi, yönelim alanının O' sinüs bileşeni ε Denklem 3.41’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon(i, j) = \sin(O'(i, j)) \quad (3.41)$$

2. Yönelim alanının sinüs bileşeninin ε her (i,j) pikseli için Şekil 3.10’daki R_1 ve R_2 alanlarının ilişkili piksellerinin parlaklıklarının farkı, çekirdek noktayı belirtmesi için oluşturulan A resminin karşılık gelen pikseline Denklem 3.42’deki gibi atanmaktadır.

$$A(i, j) = \sum_{R_1} \varepsilon(i, j) - \sum_{R_2} \varepsilon(i, j) \quad (3.42)$$

R_1 ve R_2 alanları deneysel olarak belirlenmiş ve geometrisi konkav hatlardaki maksimum eğim derecesini yakalamak için tasarlanmış alanlardır. Şekil 3.10’da gösterilen bu alan parmak izi resmindeki en az bir hat çizgisini içeren 10-15 piksel yarıçaplı bir yarım dairedir.



Şekil 3.10: R₁ ve R₂ Alanları

Buna göre; A resminin maksimum değerli elemanının koordinatları çekirdek noktanın koordinatlarını göstermektedir. Eğer çekirdek nokta bu işlemler sonucunda bulunamadıysa işlemler 1. aşamadaki w boyutu küçültülerek tekrarlanmaktadır.

3.2.5.3. Eğrilik Doğrultusu Yöntemi

Parmak izi hatlarındaki maksimum eğim derecesini bulmaya dayanan [70], bulduğu bu noktayı referans nokta olarak kullanmaktadır. Bu yöntemi geliştiren Jiang ve diğ. [57] eğrilik doğrultusu yöntemiyle, uzamsal varyanslar üzerinde yönelimin değişme oranı olarak tanımladıkları eğim derecesini hesaplayarak delta ve çekirdek noktayı bulmaktadırlar. Bu yönteme göre aşağıdaki işlemler sırayla uygulanarak çekirdek noktanın koordinatları bulunmaktadır.

1. Mümkün olduğunca küçük boyutlu bloklar kullanılarak Denklem 3.34'deki gibi yönelim alanı hesaplanmakta ve yönelim alanı Denklem 3.39'daki gibi düzgünleştirilmektedir.

3. Her blok için yön bileşenlerinin farkı Denklem 3.43 ve 3.44'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$DiffX = \sum_{i=1}^3 \cos 2\theta(3,i) - \sum_{i=1}^3 \cos 2\theta(1,i) \quad (3.43)$$

$$DiffY = \sum_{j=1}^3 \sin 2\theta(j,3) - \sum_{j=1}^3 \sin 2\theta(j,1) \quad (3.44)$$

4. $DiffX$ ve $DiffY$ değerlerinin negatif olduğu (i,j) pikseli çekirdek noktayı belirten eğrilme olarak belirlenmektedir.

5. Eğer çekirdek nokta belirlenemediyse resmin boyutu küçültülerek işlemler tekrarlanmaktadır.

Bu yöntemle, sonuca çabuk ulaşılmaktadır ancak düşük kaliteli parmak izlerinde hatalar olabilmektedir.

3.2.5.4. Melez Yöntem

Bu yöntem [50], alan geometrisi ve eğrilik doğrultusu yöntemlerinin bileştirilmesiyle oluşturulmuştur. Yönteme göre, normalleştirilmiş resmin Denklem 3.34'deki düzgünleştirilmemiş yönelim alanı, Denklem 3.32 ve 3.33'deki yerel yönelim değerleri kullanılarak çekirdek nokta belirleme işlemi için oluşturulan bir algoritmayla iyileştirilmektedir. Bu aşamadan sonra yöntem aşağıdaki işlemlerden oluşmaktadır.

1. Eğrilik doğrultusu yöntemine göre Denklem 3.43 ve 3.44 kullanılarak çekirdek nokta belirlenmektedir.

2. Belirlenen bu çekirdek noktanın koordinatları merkez nokta olacak şekilde yönelim resminden $t \times t$ boyutunda bir parça kesilerek B resmi oluşturulmaktadır. ($t=100$)

3. B yönelim resmi Denklem 3.35 ve 3.36'daki gibi vektör alana çevrilerek, resme Denklem 3.37 ve 3.38'deki gibi alçak geçiren filtre uygulanmaktadır. Düzgünleştirilmiş yönelim resmi Denklem 3.39'daki gibi elde edilmektedir.

4. Blok boyutu 3×3 piksel ve dairesel alanın yarıçapı 15 piksel olacak şekilde alan geometrisi yöntemi Denklem 3.41 ve 3.42'deki gibi uygulanarak çekirdek nokta bulunmaktadır.

Bu yöntemle alan geometrisinin hesaplama karmaşıklığı azaltılmaya çalışılarak daha hızlı sonuca ulaşmak amaçlanmaktadır.

3.2.5.5. Çekirdek Nokta Belirleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Alan geometrisi, eğrilik doğrultusu ve melez yöntemlerin karşılaştırması [50] çalışmasında yapılmaktadır. Buna göre; 800 adet parmak izi bulunduran veritabanında yapılan hesaplamalar için alan geometrisinin doğru çekirdek noktayı bulma oranı %77,

eğrilik doğrultusu yönteminin %88 ve melez yöntemin %93 olarak gösterilmektedir. Ancak [50] çalışmasında hesaplama karmaşıklığı karşılaştırması yapılmamıştır. Eğrilik doğrultusu yönteminin hesaplama karmaşıklığı diğer iki yönteme göre oldukça düşük olmasına karşın çekirdek noktayı doğru bulma oranı melez yönteme çok yakındır. Bu da çekirdek noktanın bulunma süresinin kısa olmasını sağlamaktadır.

Bu tezde, her üç yöntem gerçekleştirilmiş, buna göre, hızlı ve başarılı sonuçlar veren eğrilik doğrultusu yöntemi çekirdek nokta hesaplamalarında kullanılmak üzere seçilmiştir. Bu seçimin nedenleri üçüncü bölümün Uygulama kısmında anlatılmaktadır.

3.2.6. Ayrıntı Noktalarının Çıkarılması

Ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sistemlerinde parmak izlerinin eşleştirilmesi, parmak izi ayrıntılarının karşılaştırılmalarına dayanmaktadır. Parmak izi ayrıntılarının çıkarılmasındaki başarı, sistemin tanıma oranını direkt olarak etkilediğinden bu aşama ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sistemlerinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu açıdan, literatürde parmak izinden ayrıntıların çıkarılması için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar, gri-düzeyle resimlerden ayrıntıların çıkarılması ve siyah-beyaz resimlerden ayrıntıların çıkarılması olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır.

Literatürde en çok tercih edilen yöntem, siyah-beyaz parmak izi resimlerinden ayrıntıların çıkarılmasıdır. Bunun için öncelikle gri-düzeyle resmin ikiliye dönüştürülmesi ve daha sonra inceltmesi gerekmektedir. Parmak izi resminin yapısındaki temel özellikleri kaybetmemek için ikiliye dönüştürmeden önce parmak izi imgesini pekiştirme işlemi yapılmaktadır. Pekiştirme işlemleri sonucunda ikiliye dönüştürülmüş resim elde etmek mümkün olabilmektedir. Pekiştirme ve inceltme işlemleri üçüncü bölümde ayrı başlıklar altında anlatılmıştır.

Gri-düzeyle resimlerden ayrıntıların çıkarılması Mario ve Maltoni [7] tarafından öne sürülmüş, resmin iyileştirilmesi ve inceltmesi işlemleri sonucu oluşan bozulmalardan kaynaklanan sorunların ortadan kaldırılması amaçlanmıştır.

3.2.6.1. Gri-Düzeyle Parmak İzi Resimlerinden Ayrıntıların Çıkarılması

Parmak izi resmini ikiliye dönüştürmeden ve inceltme işlemi yapılmadan doğrudan gri-düzeyle resimden ayrıntıların çıkarılması Mario ve Maltoni [7] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bunun başlıca sebepleri; resmin ikiliye dönüştürülmesi sırasında birçok bilginin kaybedilebilmesi, ikiliye dönüştürme ve inceltme işlemlerinin zaman alması ve düşük kaliteli resimlerin ikiliye dönüştürülmesinin yetersiz sonuçlar vermesidir.

Ayrıntıların gri-düzeyle resimden çıkarılması için hatların takip edilerek belirlenmesi ve belirlenen hatların yönelimlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bunun için; Mario ve Maltoni [7] çalışmasında hatları başka bir hatla karşılaştırmaya ya da bitinceye kadar takip ederek belirleyen, bu karşılaşma ve bitim noktalarını ayrıntı olarak tanımlayan bir algoritma geliştirmişlerdir. Buna göre; koordinatları belirlenen bu ayrıntı noktalarının gradyan yardımıyla yönelimleri hesaplanmaktadır. Ancak bu yöntemin zorluğu her hattın yalnızca bir defa incelenmesi gerekmesinden kaynaklanmaktadır. Aksi takdirde, daha önceden bulunan bitim ve çatal noktaları tekrar bulunacak, işlemin süresi uzayacak ve işlemlerin ne zaman sonlanacağı belirlenemeyecektir.

3.2.6.2. İkili (Siyah-Beyaz) Parmak İzi Resimlerinden Ayrıntıların Çıkarılması

Siyah-beyaz parmak izi resimlerinden ayrıntıların doğru çıkartılabilmesi, büyük ölçüde gri-düzeyle resmin pekiştirilmesi ve inceltmesi işlemlerinin başarısına bağlıdır. Bu işlemler sırasında parmak izi yapısının bozulması ayrıntıların hatalı bulunmasına neden olmaktadır. Bu açıdan, bu işlemlerin iyi sonuç vermesi oldukça önem taşımaktadır.

İnceltmiş parmak izi resmi elde edildikten sonra ayrıntıların çıkarılması işlemi resmin piksel düzeyinde taranarak kesen sayı farklarının bulunmasıyla mümkündür. Bu değer, Arcelli ve Baja [71] tarafından ikili parmak izi resmindeki her p pikselinin 8-komşuluğundaki ardışık piksellerin farklarının toplamının yarısı olarak tanımlanmakta ve Denklem 3.45'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$T = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^8 |p_{k \bmod 8} - p_{k-1}| \quad (3.45)$$

Parmak izi resmindeki p pikselinin 8 komşuluğu Şekil 3.11’de gösterilmektedir. Buna göre; Denklem 3.45’de p pikselinin çevresindeki piksellerdeki siyah-beyaz geçişlerin toplamının yarısı elde edilmektedir.

p7	p0	p1
p6	p	p2
p5	p4	p3

Şekil 3.11: Parmak İzi İmgesindeki p Pikselinin 8 Komşuluğu

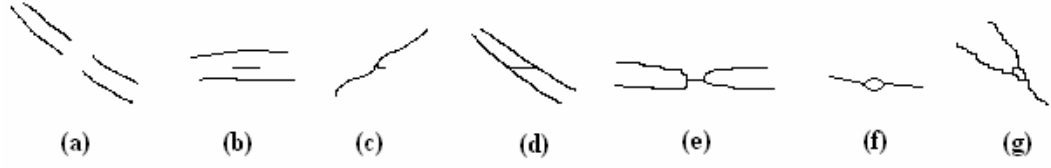
Parmak izi resmindeki her siyah p pikseli için;

- T=2, pikselin hat çizgisinin içindeki piksel olduğunu,
- T=1, pikselin bitim noktası olduğunu,
- T=3, pikselin çatal nokta olduğunu göstermektedir.

Bu şekilde, ayrıntı tabanlı tanıma sistemlerinde ikili parmak izi resminden çatal ve bitim noktaları rahatlıkla belirlenerek, bu ayrıntı noktalarının koordinatları depolanmaktadır. Ancak parmak izi resmindeki hat yapıları resimdeki gürültü veya resme uygulanan ön işlemlerin etkisiyle bozulmalar gösterebileceğinden ayrıntı noktalarının hatalı belirlenip belirlenmediğinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

3.2.7. Hatalı Ayrıntı Noktalarının Belirlenmesi

Parmak izi ayrıntılarının doğru olarak belirlenmesi, ayrıntı tabanlı parmak izi sistemlerinin tanıma oranını direkt olarak etkilediğinden, parmak izi resmindeki gürültü, kesikler, resmin pekiştirilmesi ve inceltilmesi işlemlerinden dolayı oluşan bozukluklar nedeniyle hatalı olarak belirlenen ayrıntı noktalarının bulunması ve bu noktaların veritabanından çıkarılması gerekmektedir. Şekil 3.12’de parmak izi resminde düşük çözünürlük ve gürültü nedeniyle oluşan ve hatalı olarak kabul edilen şekiller gösterilmektedir. Genelde bitim ve çatal nokta dışında kalan ayrıntı şekilleri, parmak izi resmindeki bozukluklardan dolayı oluşabileceğinden hatalı olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, Şekil 3.12.a’da gösterilen parmak izi hatlarının tarama esnasındaki basınç farklarından dolayı oluşan kesikleri de bitim noktası olarak kabul edilmediğinden hatalı ayrıntı şekillerine dahil edilmektedir.



Şekil 3.12: Hatalı Ayrıntı Şekilleri (a) kesik hat, (b), (c), (e) kısa hat, (d) köprü, (f) kutu, (g) üçgen

Literatürde hatalı olarak bulunmuş ayrıntıların belirlenmesi için çeşitli çalışmalar [7, 72] ileri sürülmüştür. Bu çalışmaların çoğu, ayrıntı noktalarının arasındaki uzaklık ve bağlantıların hesaplanmasına dayanmaktadır. Bunların dışında Kim ve diğ. [73], hatalı ayrıntıların bulunması için uzaklık ve bağlantıların yanı sıra hatların akışı ve ayrıntıların yönelim açısını da kullanmaktadır. Buna göre; bulunan ayrıntı noktalarının içindeki kesik hat, köprü, kısa hat ve kutu şekillerinden dolayı hatalı olarak tespit edilmiş ayrıntı noktaları belirlenmektedir.

Kesik hatlardaki hatalı ayrıntıların belirlenmesi için iki bitim noktası arasındaki uzaklık, hattın akış yönü ve noktaların yönelim açılarından faydalanılmaktadır. Buna göre; Denklem 3.46'daki gibi iki nokta arasındaki uzaklık, Denklem 3.47'deki gibi hattın akış yönü ve iki noktanın yönelim açılarının toplamının yarısı hesaplanarak daha önceden belirlenmiş eşik değerleri U_1 ve θ_1 ile karşılaştırılmaktadır.

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} < U_1 \quad (3.46)$$

$$\tan^{-1}\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right) - \frac{1}{2}(\theta(x_1, y_1) + \theta(x_2, y_2)) < \theta_1 \quad (3.47)$$

Bu şekilde karşılaştırılan iki bitim noktası Denklem 3.46 ve 3.47'deki şartları sağlıyorsa kesik hat üstündeki noktalar olarak kabul edilmekte ve ayrıntı veritabanından çıkarılmaktadır.

Köprü şeklindeki hatalı ayrıntıların belirlenmesi için üç parmak izi hattının birleştiği 1. ve 2. çatal nokta bulunarak, aralarındaki uzaklık U_{AB} , oluşturdukları hattın yönelimi θ_{AB} hesaplanmaktadır. Buna göre; Denklem 3.48'deki şartları sağlayan noktalar köprü şeklini oluşturan hatalı çatal noktalar olarak kabul edilmektedir.

$$U_{AB} < U_2, \quad \theta_{AB} - \frac{1}{2}(\theta_A + \theta_B) < \frac{\pi}{4} \quad (3.48)$$

Kısa hat çizgileri, inceltme veya pekiştirme işlemlerinin etkileriyle oluşabileceğinden hatalı ayrıntı noktası olarak kabul edilmektedir. Bu tip noktaların bulunması için bitim noktalarının aynı hat çizgisi üstünde belirli bir U_3 eşik uzaklığında başka bir bitim veya çatal noktayla karşılaşmış veya karşılaşmadığının belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca herhangi bir çatal noktanın da aynı hat çizgisi üstünde başka bir çatal noktayla karşılaşmasından oluşan Şekil 3.12.e'deki şekle ait hatalı noktalar da bu yöntemle bulunmaktadır.

Parmak izindeki gözenek ve kirler sonucunda oluşan kutu şekillerindeki hatalı ayrıntılar, üç hattın birleştiği çatal noktanın, belirli bir U_4 uzaklığında başka bir çatal noktayla karşılaşmış veya karşılaşmadığına bakılarak bulunmaktadır.

Parmak izi hatları arasındaki uzaklık, parmak izleri arasında ve parmak izinin elastikiyetinden dolayı aynı parmağa ait değişik izler arasında farklılık gösterdiği için U_1 , U_2 , U_3 , U_4 eşik değerleri parmak izi hatlarının frekans değerine göre veya deneysel olarak hesaplanmaktadır. Hong ve diğ. [31] çalışmalarında hat frekans değerlerinin hesaplanmasını pekiştirme aşamasında göstermektedirler. Hat frekansına bağlı olarak hesaplanan eşik değerleri, f frekans değerini göstermek üzere Tablo 3.2'de ve deneysel olarak hesaplanan eşik değerleri üçüncü bölümün Uygulama kısmında gösterilmektedir.

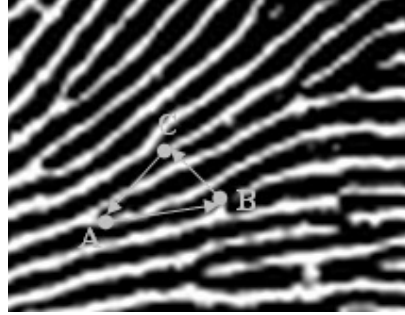
Tablo 3.2: Hat Frekansına Bağlı Eşik Değerleri

Uzaklık	Eşik Değeri
U_1	$2/f$
U_2	$1,5/f$
U_3	$1,7/f$
U_4	$2/f$

3.2.8. Referans Noktaların Bulunması

Ayrıntıların karşılaştırılarak referans noktaların bulunması ve parmak izi eşleştirilmesi için literatürde çok çeşitli çalışmalar [74, 21, 8, 75, 72, 27] ileri sürülmüştür. Bunlardan ayrıntı tabanlı olan bazı çalışmalar [21, 8, 75, 72] genellikle parmak izi hatlarının bitim ve çatal noktalarının koordinat ve yönelimlerini kullanarak parmak izlerini karşılaştırmaktadır.

Ayrıntı tabanlı eşleştirme yapan vektör üçgen yöntemi [74], ayrıntıların koordinat ve yönelimlerinin yanı sıra en yakın iki komşusuna olan uzaklık ve arada kalan hatların sayısı gibi bilgileri de kullanmaktadır. Bu yöntemde göre aynı doğru üstünde olmayan üç ayrıntı noktası A, B, C saat yönünün tersine doğru birleştirilerek Şekil 3.13'deki gibi bir vektör üçgen oluşturulmaktadır.



Şekil 3.13: Vektör Üçgen

Her ayrıntı noktası için oluşturulan bu vektör üçgenlerin kenar uzunlukları, köşeler arasında kalan hat sayıları, ayrıntıların tipleri ve yönelimleri karşılaştırılarak ayrıntıların uyuşup uyuşmadıkları belirlenmektedir. Buna göre; giriş parmak izindeki ve veritabanından alınan şablon parmak izindeki ayrıntılar için oluşturulmuş vektör üçgenlerin aşağıdaki özellikleri uyuşuyorsa, vektör üçgenlerin de uyuştugu ve dolayısıyla ayrıntıların aynı noktalar olduğu kabul edilmektedir.

1. Kenar uzunlukları
2. Köşelerin Yönelimleri
3. Köşelerin Tipleri
4. Köşeler arasında kalan hat sayıları

X giriş parmak izi, Y veritabanından alınan parmak izi, U_{x1} , U_{x2} , U_{x3} , U_{y1} , U_{y2} , U_{y3} sırasıyla X ve Y parmak izlerinde herhangi bir ayrıntı noktası için oluşturulmuş vektör üçgenin kenar uzunlukları, H_{x1} , H_{x2} , H_{x3} , H_{y1} , H_{y2} , H_{y3} kenarlar arasında kalan hat sayıları, θ_{x1} , θ_{x2} , θ_{x3} , θ_{y1} , θ_{y2} , θ_{y3} köşelerin yönelim açıları, T_{x1} , T_{x2} , T_{x3} , T_{y1} , T_{y2} , T_{y3} köşelerdeki ayrıntıların tipleri olmak üzere; bu özelliklerin karşılaştırılması, Denklem 3.49, 3.50, 3.51, 3.52'deki gibi yapılmaktadır. Denklemlerdeki E_1 , E_2 , E_3 belirlenen eşik değerlerini göstermektedir.

$$\left|U_{x1} - U_{y1}\right| < E_1 \quad \& \quad \left|U_{x2} - U_{y2}\right| < E_1 \quad \& \quad \left|U_{x3} - U_{y3}\right| < E_1 \quad (3.49)$$

$$\left|\theta_{x1} - \theta_{y1}\right| < E_2 \quad \& \quad \left|\theta_{x2} - \theta_{y2}\right| < E_2 \quad \& \quad \left|\theta_{x3} - \theta_{y3}\right| < E_2 \quad (3.50)$$

$$T_{x1} = T_{y1} \quad \& \quad T_{x2} = T_{y2} \quad \& \quad T_{x3} = T_{y3} \quad (3.51)$$

$$\left|H_{x1} - H_{y1}\right| + \left|H_{x2} - H_{y2}\right| + \left|H_{x3} - H_{y3}\right| < E_3 \quad (3.52)$$

Farklı iki parmak izindeki ayrıntı noktaları için oluşturulmuş vektör üçgenler yukarıdaki şartları sağlıyorsa, bu iki noktanın uyuştuğuna karar verilerek, noktalar ait oldukları parmak izi için referans noktası olarak belirlenmektedir.

Vektör üçgen yöntemiyle bulunan referans noktalarının yanısıra her parmak izinin kendine ait çekirdek noktası veya çekirdek noktaya göre belirlenen bir ayrıntı noktası da referans nokta olarak kullanılabilir.

Bu tezde tasarlanan ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sisteminde, referans noktaların bulunması için vektör üçgen yöntemi kullanılmaktadır. Ancak, vektör üçgen yöntemine göre belirlenen ayrıntı noktaları, çekirdek nokta ve çekirdek noktaya göre belirlenen ayrıntı noktaları ayrı ayrı referans nokta olarak kullanılarak, bu üç farklı referans nokta belirleme şeklinin parmak izi tanıma oranlarına olan etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar dördüncü bölümde gösterilmektedir. Vektör üçgen yöntemi için kullanılan eşik değerleri üçüncü bölümün Uygulama kısmında bulunmaktadır.

3.2.9. Eşleştirme (Ayrıntıların Karşılaştırılması)

Belirlenen referans noktaları giriş ve şablon parmak izinin kutupsal koordinat sistemine çevrilmesinde merkez nokta olarak kullanılmaktadır. Buna göre; giriş ve şablon parmak izindeki her ayrıntı noktası (x_i, y_i, θ_i) , ait olduğu parmak izinin referans noktası (x_r, y_r, θ_r) olmak üzere, parmak izlerindeki ayrıntı noktaları Denklem 3.53'deki gibi kutupsal koordinat sistemine çevrilmektedir. Kutupsal koordinat sistemiyle ilgili temel bilgi üçüncü bölümün başında anlatılmaktadır.

$$\begin{pmatrix} r_i \\ e_i \\ \theta'_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{(x_i - x_r)^2 + (y_i - y_r)^2} \\ \arctan\left(\frac{y_i - y_r}{x_i - x_r}\right) + \Delta\theta \\ \theta_i - \theta_r \end{pmatrix} \quad (3.53)$$

Denklem 3.53'e göre r_i kutupsal koordinat sistemindeki radyal uzaklığı, e_i radyal açığı, θ'_i ayrıntı noktasının referans noktasına göre yönelimini belirtmektedir.

Giriş parmak izi ve şablon parmak izi arasındaki dönme açısı $\Delta\theta$ iki farklı şekilde hesaplanmaktadır. Jia ve diğ. [74] çalışmalarında $\Delta\theta$ değerini, Denklem 3.54'deki şartları sağlayacak şekilde Denklem 3.55'deki gibi hesaplayarak giriş ve şablon parmak izlerindeki tüm ayrıntı noktalarını Denklem 3.53'deki gibi kutupsal koordinat sistemine çevirmektedirler.

$$0 \leq \arctan\left(\frac{y_i - y_r}{x_i - x_r}\right) + \Delta\theta < 2\pi \quad (3.54)$$

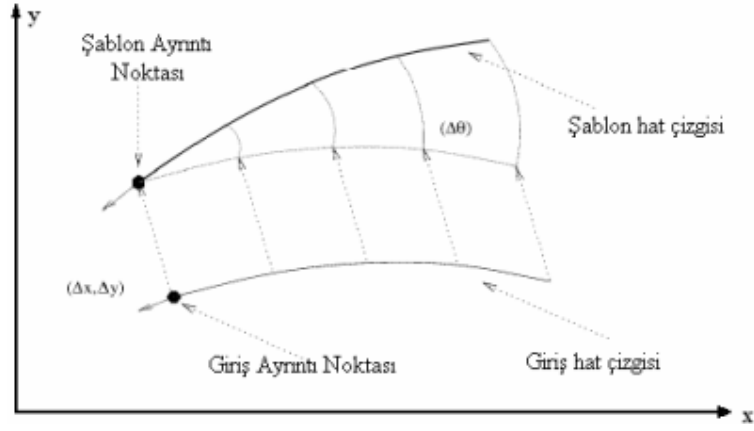
$$\Delta x = x_i - x_r, \Delta y = y_i - y_r, \Delta\theta = \begin{cases} 0 & \Delta x > 0 \quad \Delta y > 0 \\ \pi & \Delta x < 0 \quad \Delta y \neq 0 \\ 2\pi & \Delta x > 0 \quad \Delta y < 0 \end{cases} \quad (3.55)$$

Luo ve diğ. [76] yaptıkları çalışmada $\Delta\theta$ değerini, Denklem 3.56'daki gibi giriş ve şablon referans noktalarının yönelim açılarının farkı olarak hesaplamaktadırlar. Buna göre; θ_{r1} şablon referans noktasının yönelim açısını, θ_{r2} giriş referans noktasının yönelim açısını göstermektedir.

$$\Delta\theta = \theta_{r1} - \theta_{r2} \quad (3.56)$$

Bu şekilde hesaplanan giriş ve şablon parmak izleri arasındaki $\Delta\theta$ değeri, sadece giriş parmak izleri kutupsal koordinata çevrilirken eklenerek iki parmak izi arasındaki hizalama yapılmaktadır.

Bu sayede, hem giriş parmak izindeki hem de şablon parmak izindeki tüm ayrıntı noktaları kutupsal koordinat sistemine çevrilirken aralarındaki dönme açısı da hesaba katılarak hizalama yapılmış olmaktadır.

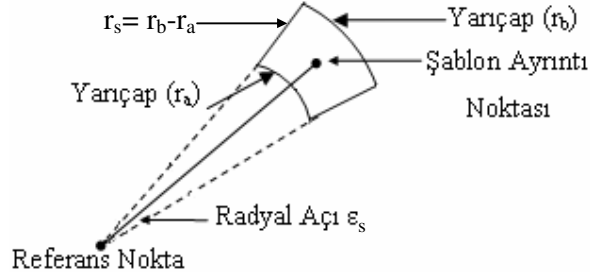


Şekil 3.14: Giriş ve Şablon Parmak İzlerinin Hizalanması

İki özdeş nokta örüntüsü tam olarak hizalandığında, karşılık gelen her noktanın birbiriyle uyuşması gerekmektedir. Bu durumda eşleştirme örtüşen çiftlerin sayısına bağlı olarak yapılmaktadır. Ancak, giriş ve şablon parmak izlerinin doğrusal olmayan biçim değişimleri yüzünden ayrıntı noktalarının konumları, parmak izlerinin birbirine göre hizalanmasına rağmen tam olarak özdeş olmamaktadır. Bu açıdan; parmak izlerinin eşleştirilmesinde kullanılacak olan algoritma, bu farklılığı tolere edecek şekilde esnek olmalıdır. Bu esnekliği sağlamak amacıyla eşleştirme işleminden önce, her şablon ayrıntı noktası için Jain ve diğ. [72] tarafından tanımlanan sınırlayıcı kutunun oluşturulması gerekmektedir.

Şekil 3.15'de gösterilen sınırlayıcı kutu, giriş parmak izinden alınan ayrıntının şablon parmak izindeki ayrıntıyla kıyaslanırken bulunabileceği alanın sınırlarını göstermektedir. Bu alanın yarıçapları r_a ve r_b şablon ayrıntı noktasının yarıçapına eşit uzaklıktadır. Şablon ayrıntı noktasının radyal açısı e_T olarak farzedilirse; alanı sınırlayan radyal açılar, $(e_T + \epsilon_s/2)$ ve $(e_T - \epsilon_s/2)$ olarak hesaplanmaktadır. Alanın yarıçapları ve

radyal açısı için önceden belirlenen sabit değerler kullanılabilceği gibi, her şablon ayrıntı noktası için [76] çalışmasında olduğu gibi farklı değerler de kullanılabilir. Farklı değerlerin kullanılması daha esnek bir algoritma oluşturulmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.15: Sınırlayıcı Kutu

Yarıçapı r olan şablon ayrıntı noktası için sınırlayıcı kutunun yarıçapları arasındaki fark r_s ve radyal açısı ε_s Denklem 3.57 ve 3.58'deki gibi hesaplanmaktadır. Buna göre; küçük yarıçaplı bir ayrıntı noktası için daha büyük açı, küçük yarıçap, büyük yarıçaplı bir ayrıntı noktası için küçük açı, büyük yarıçap seçilmektedir.

$$r_{ort} = \frac{r}{r_k}, r_s = \begin{cases} r_{min} & r_{ort} < r_{min} \\ r_{ort} & r_{min} < r_{ort} < r_{maks} \\ r_{maks} & r_{ort} > r_{maks} \end{cases} \quad (3.57)$$

$$a_{ort} = \frac{\varepsilon_k}{r^2}, \varepsilon_s = \begin{cases} a_{min} & a_{ort} < a_{min} \\ a_{ort} & a_{min} < a_{ort} < a_{maks} \\ a_{maks} & a_{ort} > a_{maks} \end{cases} \quad (3.58)$$

Denklemlerde, r_{min} , r_{maks} , a_{min} , a_{maks} sırasıyla minimum ve maksimum r_s ve radyal açı ε_s değerini gösteren, r_k ve ε_k ise sırasıyla ortalama r_{ort} ve a_{ort} değerlerinin hesaplanmasında kullanılan daha önceden tanımlanmış sabitlerdir. Sınırlayıcı kutunun boyutlarının hesaplanmasında kullanılan bu sabitlerin değerleri Tablo 3.3'de gösterilmektedir.

Her ayrıntı noktası için yarıçaplarına göre farklı açı ve yarıçap seçilmesinin amacı parmak izlerindeki doğrusal olmayan değişimlerin eşleştirme algoritmasına olan etkisini en aza indirmektir.

Tablo 3.3: Sınırlayıcı Kutunun Boyutlarının Hesaplanmasında Kullanılan Sabitler

Sabitler	Değeri
r_{\min}	2 birim
r_{\max}	8 birim
a_{\min}	30°
a_{\max}	60°
ε_k	90
r_k	2

Giriş ve şablon parmak izine ait kutupsal koordinat sistemine çevrilmiş tüm ayrıntı noktaları birbiriyle karşılaştırıldığında Denklem 3.59'daki şartları sağlayanların eşleştiği kabul edilmektedir. Denklem 3.59'da karşılaştırılan iki ayrıntı noktasının radyal açılarının farkı $\Delta e_{(i,j)}$, Denklem 3.60'daki gibi, yönelim açılarının farkı $\Delta \theta_{(i,j)}$ Denklem 3.61'deki gibi 0° ile 360° arasında bir değer alacak şekilde hesaplanmaktadır.

$$\left| r_i^P - r_j^Q \right| \leq r_s, \Delta e_{(i,j)} \leq \varepsilon_s, \Delta \theta_{(i,j)} < \varepsilon_2 \quad (3.59)$$

$$\Delta e_{(i,j)} = \begin{cases} a & a = (e_i^P - e_j^Q + 360) \bmod 360 < 180 \\ a - 180 & \text{aksihalde} \end{cases} \quad (3.60)$$

$$\Delta \theta_{(i,j)} = \begin{cases} a & a = (\theta_i^P - \theta_j^Q + 360) \bmod 360 < 180 \\ a - 180 & \text{aksihalde} \end{cases} \quad (3.61)$$

Eşleştirme işleminde, giriş parmak izindeki tüm ayrıntı noktaları şablon parmak izindeki noktalarla Denklem 3.59'a göre karşılaştırılarak bir $m[i][j]$ eşleşme tablosu oluşturulmaktadır. Bu eşleşme tablosundaki en büyük değer karşılaştırılan iki parmak izinin eşleşme skorunu göstermektedir. Giriş parmak izinin, veritabanındaki tüm şablon parmak izleriyle karşılaştırılması sonucunda elde edilen eşleşme skorlarının maksimum değeri belli bir eşik değerinin üstündeyse, giriş parmak izinin ve maksimum eşleşme skorunun hesaplandığı şablon parmak izinin eşleştiğine karar verilmektedir.

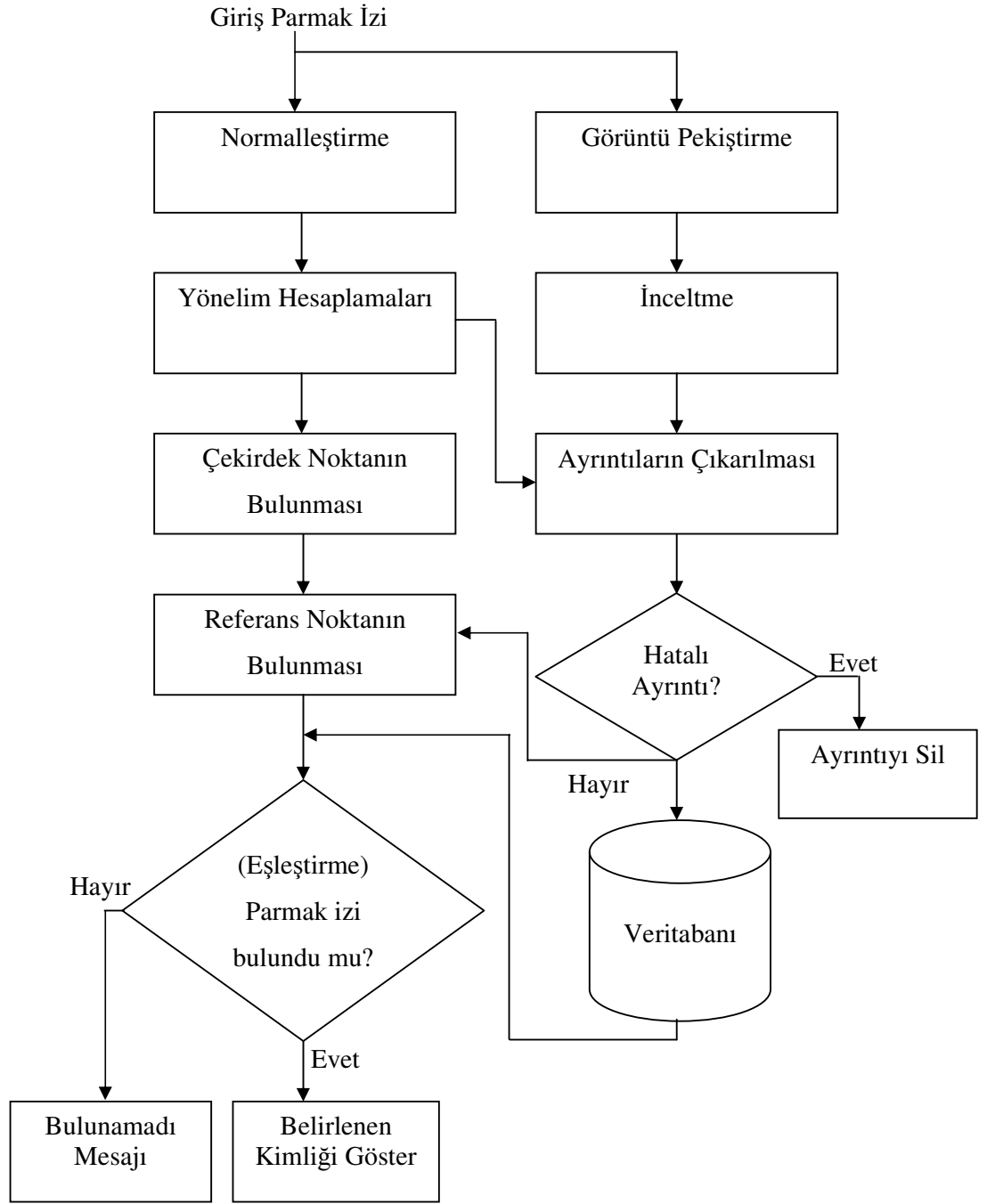
3.3. UYGULAMA

Bu tezde, parmak izi tanıma yöntemleri ayrıntılarıyla incelendikten sonra, üçüncü bölümde anlatılan normalleştirme, yönelim hesaplamaları, çekirdek noktanın bulunması, pekiştirme, inceltme, ayrıntıların çıkarılması, hatalı ayrıntıların belirlenmesi, referans noktaların bulunması ve eşleştirme işlemlerinin tümünü kapsayan ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sistemi tasarımı yapılmıştır. Matlab yazılımı kullanılarak tasarlanan sistem, çevrimdışı çalışarak kimlik belirleme işlemi yapacak şekilde ayarlanmıştır. Sistem, performansı etkileyen pekiştirme, hatalı ayrıntıların elenmesi ve referans nokta seçimi gibi farklı koşullar için iki farklı veritabanı kullanılarak analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar dördüncü bölümde sunulmuştur.

Üçüncü bölümün bu kısmında, sistemin işleyişi anlatılarak işlemlerde kullanılan parametreler verilmektedir. Ayrıca, pekiştirilmiş ve inceltilmiş parmak izi resmi örneklerinin gösterimi ve farklı pekiştirme işlemlerinden geçirilmiş parmak izi resimlerinde bulunan ayrıntı noktalarının parmak izi üzerinde gösterimi yapılmaktadır.

Geliştirilen ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sisteminin akış şeması Şekil 3.14'de gösterilmektedir. Buna göre; giriş parmak izi şemadaki işlemlerden geçirildikten sonra veritabanındaki diğer parmak izleriyle karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucunda, giriş parmak izinin eşleştiği parmak izi bulunarak kimlik belirleme işlemi yapılmaktadır. Giriş parmak izinin veritabanındaki hiçbir parmak iziyle eşleşmemesi bu parmak izinin veritabanında bulunamadığı anlamına gelmektedir.

Sistemin eşleştirme aşamasından önce parmak izi resimlerinin işlenerek ayrıntı noktalarını içeren veritabanının oluşturulması gerekmektedir. Veritabanında, parmak izi ayrıntılarının koordinatları, yönelimi ve çekirdek noktaların koordinatları gibi bilgiler bulunmaktadır. Bu veritabanı, Şekil 3.14'deki şemadan da görüldüğü gibi hatalı ayrıntıların belirlenip silinmesi aşamasından sonra, tüm şablon parmak izlerinden çıkarılan ayrıntı noktalarının gerekli bilgileri alınarak oluşturulmaktadır. Bu sayede, oluşturulan veritabanı eşleştirme aşamasında kullanılarak resimlerin her karşılaştırmada tekrar işlenmesinin önüne geçilmiş, karşılaştırma süreleri kısaltılmış olmaktadır.



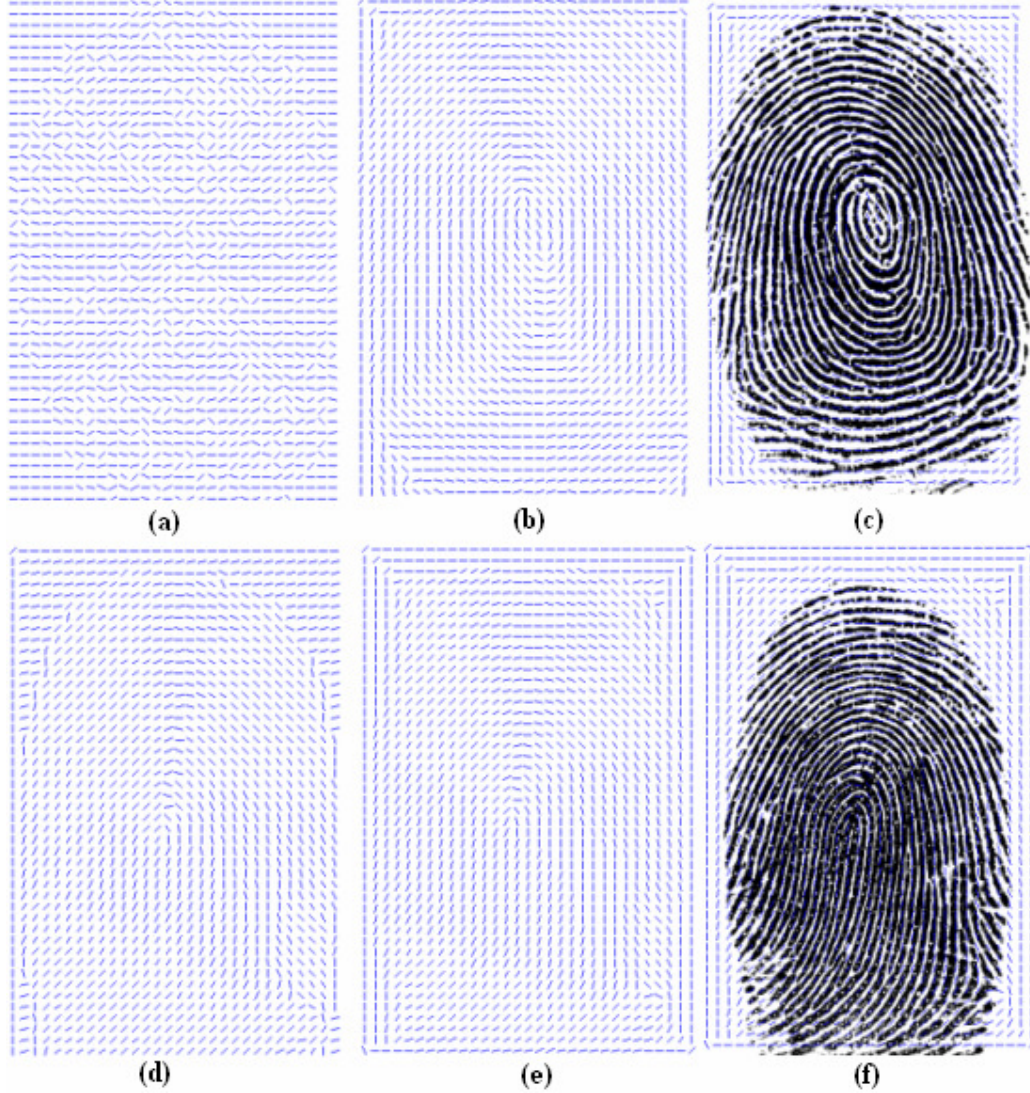
Şekil 3.14: Parmak İzi Tanıma Sisteminin Akış Şeması

3.3.1. Sistemin İşleyişi ve Kullanılan Parametreler

3.3.1.1. Normalleştirme ve Yönelim Hesapları

Şekil 3.14'deki şemaya göre; giriş resmine uygulanan ilk işlem olan normalleştirmeyle hatların ve boşlukların kendi içlerindeki değişimleri en aza indirilmeye çalışılmaktadır.

Normalleştirme işleminin ayrıntıları 3.2.1’de anlatılmaktadır. Buna göre; sistemde, parmak izinin normalleştirilmesi Denklem 3.21 ve 3.22 kullanılarak yapılmakta ve $M_0=128$, $V_0=128$ olarak alınmaktadır. Bu işlem yönelim hesaplarının doğruluğunu arttırmaktadır.



Şekil 3.15: Parmak izi Yönelim Resminin Gösterimi (a) düzgünleştirilmemiş yönelim resmi, (b), (e) alçak geçiren filtreyle düzgünleştirilmiş, (d) ortanca filtreyle düzgünleştirilmiş resimler, (c), (f) yönelim resimleri (b) ve (e)’nin ait oldukları parmak izleri üstünde gösterimi

Sistemde, normalleştirilmiş parmak izi resminin Denklem 3.34’deki gibi hesaplanan yönelim resmi, Denklem 3.39’deki alçak geçiren filtreyle düzgünleştirilmiş yönelim resmi ve ortanca filtreyle düzgünleştirilmiş yönelim resmi Şekil 3.15’de

gösterilmektedir. Yönelim hesaplamalarında resmin gradyan değerleri Sobel operatörü kullanılarak bulunmuştur.

Şekil 3.15'den de görüldüğü gibi iki filtreleme yöntemi de yönelim resminin düzgünleştirilmesinde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak iki yöntemden elde edilen yönelim resimleri karşılaştırıldığında aralarında ince farklar olduğu görülmektedir. Buna göre; Şekil 3.15.c'deki alçak geçiren filtreyle düzgünleştirilmiş yönelim resmi, parmak izi hatlarını daha başarılı tanımlamaktadır. Bu açıdan, diğer işlemlerde, örneğin çekirdek noktanın bulunmasında Denklem 3.39'daki gibi alçak geçiren filtreyle düzgünleştirilmiş yönelim resmi kullanılmaktadır.

3.3.1.2. Çekirdek Noktayı Bulma Yönteminin Seçimi

Sistemde, yönelim hesaplamalardan sonraki aşama olan çekirdek noktanın bulunması için 3.2.5'de anlatılan yöntemlerden, eğrilik doğrultusu yöntemi, alan geometrisi yöntemi ve melez yöntem ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlere göre bulunan çekirdek noktaları, Şekil 3.16'da parmak izleri üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 3.16: Farklı Yöntemlerle Bulunan Çekirdek Noktaların Gösterimi: (a) Eğrilik Doğrultusu Yöntemi, (b) Alan Geometrisi Yöntemi, (c) Melez Yöntem

Bu üç yöntemin karşılaştırılması 3.2.5.5'de yapılmaktadır. Bahsedildiği gibi alan geometrisi yönteminin hesaplama karmaşıklığı yüksek olduğundan çekirdek noktanın bulunması diğer yöntemlere göre daha uzun sürmektedir. Buna rağmen yöntemin verimliliği %77'de kalmaktadır. Melez yöntem ise alan geometrisi yöntemini daha dar bir alanda kullanmasına rağmen süreyi fazla kısaltamamıştır. Ayrıca yapılan

hesaplamalarda bu yöntemin diğer yöntemlere göre çekirdek noktayı doğru bulma oranının daha düşük olduğu görülmüştür. Eğrilik doğrultusu yöntemi, %83 verimlilikte oldukça hızlı sonuçlar vermektedir. Bu verilere göre; tez kapsamında eğrilik doğrultusu yönteminin çekirdek noktanın bulunması için kullanılmasının uygun olacağı belirlenmiştir.

3.3.1.3. Pekiştirme ve İnceltme

Tasarlanan sistemde, normalleştirme, yönelim hesapları ve çekirdek noktanın bulunması işlemlerinden bağımsız olarak, giriş resmine pekiştirme işlemi uygulanmaktadır.

Bu işlemle; parmak izi resmi, parmak izi alınırken uygulanan basınç farkından ve parmak derisinin durumunda kaynaklanan gürültülü, kesikli, çok koyu veya çok açık, hat ve çukurların iç içe girdiği şekil yapılarından kurtarılarak, resmin ideal bir parmak izi yapısına yaklaştırılması amaçlanmaktadır. Böylece, uygulanacak inceltme işlemi sonucunda parmak izi yapısını mümkün olduğunca doğru anlatan bir parmak izi hat haritasının elde edilmesi sağlamaktadır. Bu da inceltmiş parmak izinden, parmak izi ayrıntı noktalarının belirlenmesinin doğruluğunu arttırmaktadır. Dolayısıyla, tanıma oranını ve tanıma hızını arttırmak için parmak izi resimlerinin pekiştirilmesi gerekmektedir.

Görüntü pekiştirmek için parmak izi resmine çeşitli filtreler uygulanmaktadır. 3.1.2.1’de bahsedilen ortalama maskelerinden Şekil 3.17.a’nın kendi üzerine iki kez evriştirilmesinden 3.17.b’deki 7x7 ağırlıklı ortalama değer maskesi ve 3 kez evriştirilmesinden 3.17.c’deki 9x9 bulanıklaştırma maskesi elde edilmiştir.

$$\begin{array}{ccc}
 \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} & \frac{1}{9 \cdot 9 \cdot 9} \begin{bmatrix} 1 & 3 & 6 & 7 & 6 & 3 & 1 \\ 3 & 9 & 18 & 21 & 18 & 9 & 3 \\ 6 & 18 & 36 & 42 & 36 & 18 & 6 \\ 7 & 21 & 42 & 49 & 42 & 21 & 7 \\ 6 & 18 & 36 & 42 & 36 & 18 & 6 \\ 3 & 9 & 18 & 21 & 18 & 9 & 3 \\ 1 & 3 & 6 & 7 & 6 & 3 & 1 \end{bmatrix} & \frac{1}{9 \cdot 9 \cdot 9 \cdot 9} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 10 & 16 & 19 & 16 & 10 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 40 & 64 & 76 & 64 & 40 & 16 & 4 \\ 10 & 40 & 100 & 160 & 190 & 160 & 100 & 40 & 10 \\ 16 & 64 & 160 & 256 & 304 & 256 & 160 & 64 & 16 \\ 19 & 76 & 190 & 304 & 361 & 304 & 190 & 76 & 19 \\ 16 & 64 & 160 & 256 & 304 & 256 & 160 & 64 & 16 \\ 10 & 40 & 100 & 160 & 190 & 160 & 100 & 40 & 10 \\ 4 & 16 & 40 & 64 & 76 & 64 & 40 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 10 & 16 & 19 & 16 & 10 & 4 & 1 \end{bmatrix} \\
 \text{(a)} & \text{(b)} & \text{(c)}
 \end{array}$$

Şekil 3.17: Kullanılan Pekiştirme Maskeleri

Şekil 3.17.b'deki ağırlıklı ortalama değer maskesinin Şekil 3.18.a'daki laplas maskesiyle evriştirilmesinden Şekil 3.18.b'deki maske elde edilmiştir.

$$\begin{array}{c}
 \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \\
 \text{(a)}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{c}
 \begin{bmatrix} -1 & -4 & -10 & -16 & -19 & -16 & -10 & -4 & -1 \\ -4 & -7 & -13 & -10 & -13 & -10 & -13 & -7 & -4 \\ -10 & -13 & -19 & 2 & -1 & 2 & -19 & -13 & -10 \\ -16 & -10 & 2 & 68 & 74 & 68 & 2 & -10 & -16 \\ -19 & -13 & -1 & 74 & 80 & 74 & -1 & -13 & -19 \\ -16 & -10 & 2 & 68 & 74 & 68 & 2 & -10 & -16 \\ -10 & -13 & -19 & 2 & -1 & 2 & -19 & -13 & -10 \\ -4 & -7 & -13 & -10 & -13 & -10 & -13 & -7 & -4 \\ -1 & -4 & -10 & -16 & -19 & -16 & -10 & -4 & -1 \end{bmatrix} \\
 \text{(b)}
 \end{array}$$

Şekil 3.18: Kullanılan Diğer Maskeler

Parmak izi resmini pekiştirmek için sırasıyla keskinleştirme, bulanıklaştırma, boşlukların doldurulması ve gürültünün azaltılması işlemleri uygulanmıştır.

Gürültünün azaltılması için Şekil 3.18.b'deki maske, bu maskenin ve Şekil 3.17.b'deki ağırlıklı ortalama değer maskesiyle evriştirilmesinden oluşturulan maske ve ortanca filtre parmak izi resimlerine uygulanmaktadır. Elde edilen parmak izi resimleri Şekil 3.19'da gösterilmektedir. Maskeleme ve filtreleme işlemlerinin ayrıntıları ile çeşitli filtrelerin açıklaması 3.1.2'de bulunmaktadır.

Şekil 3.19'daki parmak izi resimlerinin hangi maskeler uygulandıktan sonra elde edildiğinin anlatılmasında yarar vardır. Buna göre; Şekil 3.19.a'daki resim, başlangıçtaki pekiştirilmemiş parmak izini, 3.19.b'deki resim, Şekil 3.18.b'deki maske uygulanmış parmak izini göstermektedir. Şekil 3.19.c'deki resim, Şekil 3.18.b ve Şekil 3.17.b'deki maskelerin evriştirilmesinden elde edilen maskenin uygulanmasıyla elde edilen resimdir. Şekil 3.19.d'deki resim ise ortanca filtre uygulanarak elde edilmiş parmak izi resmidir. Maskeler parmak izine birbirini takip eden sırayla uygulanarak pekiştirilmiş parmak izi (d) elde edilmektedir.

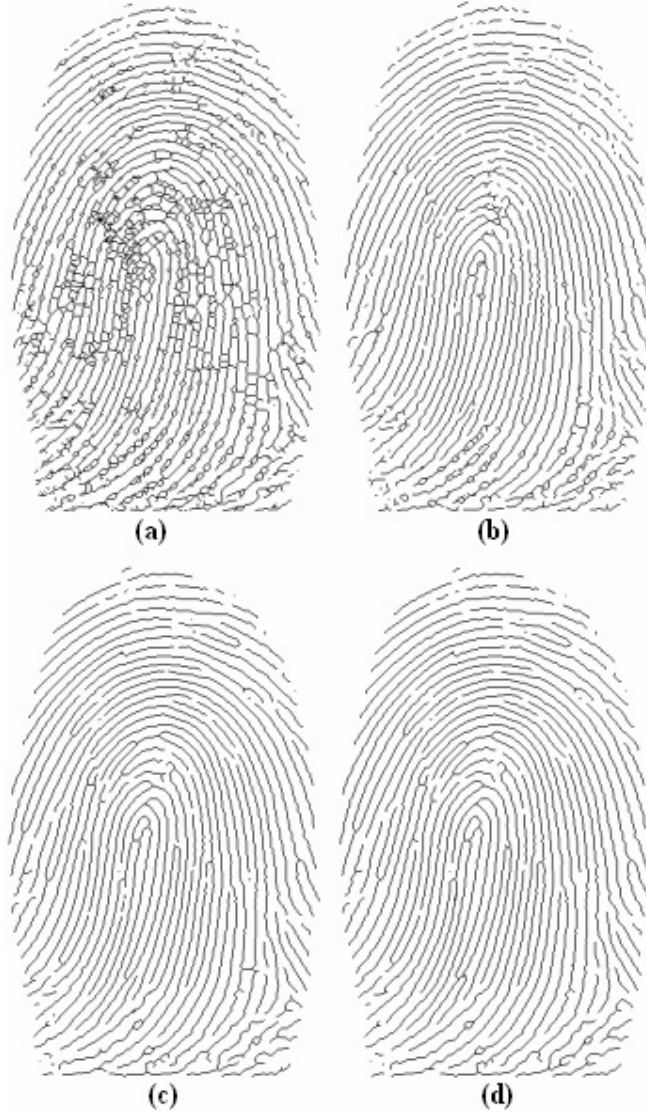
Uygulanan maskelerle pekiştirme işleminin yanı sıra gri-düzeyleli resmin ikiliye dönüştürülmesi de sağlanmaktadır. Bu sayede; inceltme işleminden önce ayrıca ikiliye dönüştürme işlemi uygulamaya gerek kalmamaktadır.



Şekil 3.19: Maskeleme İşlemleri Sonucunda Oluşan Parmak İzi Resimleri: (a) başlangıçtaki pekiştirilmemiş parmak izi, (b), (c), (d) gürültünün azaltılması için kullanılan maskelerden sonra sırasıyla elde edilen parmak izleri

Parmak izi resimlerinin inceltilmesi 3.2.3’de ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Buna göre; inceltme işlemi [31]’de anlatılan yöntemle, 3.26-29’daki denklemler kullanılarak yapılmaktadır.

Uygulanan pekiştirme maskelerinin resimlerde yarattığı farkı daha net gösterebilmek için Şekil 3.19’da gösterilen tüm parmak izi resimlerine ayrı ayrı inceltme işlemi uygulanmıştır. Buna göre; elde edilen inceltilmiş parmak izi resimleri Şekil 3.20’de gösterilmektedir.



Şekil 3.20: İnceltilmiş Parmak İzleri

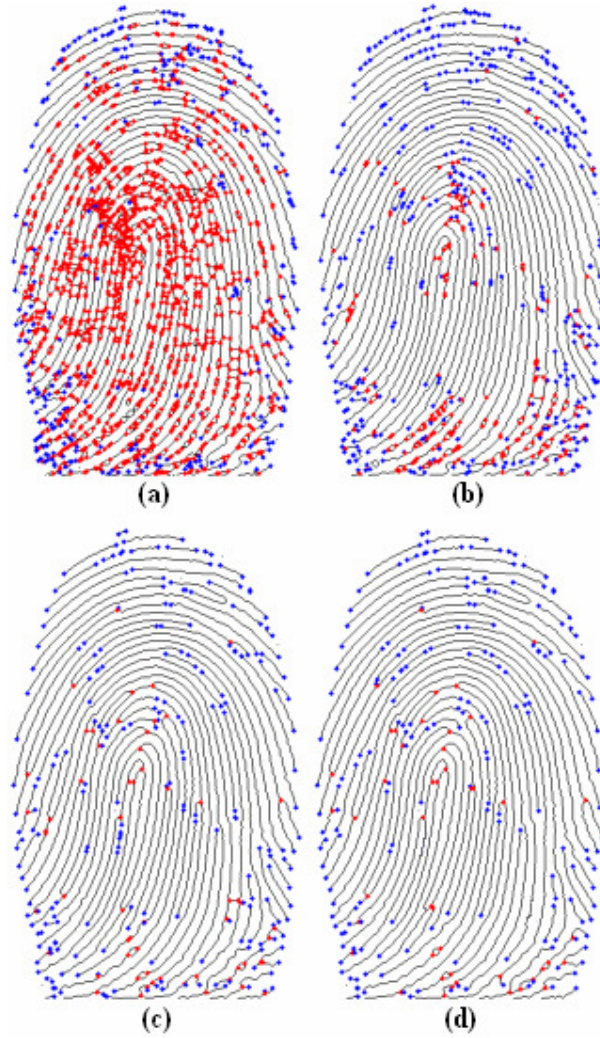
Şekil 3.20’de (a) sadece normalleştirme işlemi uygulanmış imgenin inceltilmiş hali, (b), (c), (d) sırasıyla Şekil 3.19’da karşılık gelen resimlerin inceltilmiş halini göstermektedir.

Şekil 3.20’deki parmak izleri karşılaştırıldığında; parmak izi pekiştirme işleminin, parmak izi hatlarının hatalı birleşimlerini ve kesikli çizgilerini azaltarak inceltme işleminden elde edilen sonucu olumlu yönde etkilediği görülmektedir.

3.3.1.4. Ayrıntıların Çıkarılması ve Hatalı Ayrıntıların Elenmesi

Ayrıntı noktalarının parmak izi resminden çıkarılması işlemi, 3.2.6'daki ikili parmak izi resimlerinden ayrıntıların çıkarılması için anlatılan yöntemle inceltilmiş parmak izi resimleri kullanılarak yapılmaktadır.

Şekil 3.21'de, Şekil 3.20'deki inceltilmiş parmak izleri için bulunan çatal ve bitim ayrıntı noktaları gösterilmektedir. Çatal ayrıntı noktaları kırmızı renkle, bitim ayrıntı noktaları mavi renkle gösterilmektedir.



Şekil 3.21: Ayrıntı Noktalarının Parmak İzinde Gösterimi

Şekil 3.21'deki parmak izi ayrıntı noktalarının sayısının parmak izi pekiştirme işlemleriyle giderek azalması, pekiştirme işlemlerinin hatalı birleşim ve kesik

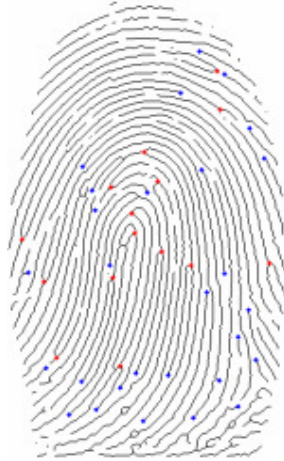
noktalarını azaltmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin; Şekil 3.21.a'daki ayrıntı sayısı 1510 iken Şekil 3.21.d pekiştirilmiş imgedeki ayrıntı sayısı 310'dur. Bu da pekiştirme işlemi sayesinde birçok hatalı ayrıntı noktasının elendiğini göstermektedir.

Her ne kadar bu işlemle oldukça fazla hatalı ayrıntı noktası elenmiş olsa da halen resmin bozukluklarından kaynaklanan hatalı ayrıntı noktaları bulunmaktadır. Hatalı sayılan ayrıntılar, bu ayrıntıların belirlenmesi ve elenmesi 3.2.7'de detaylarıyla anlatılmaktadır. Buna göre; Şekil 3.21.d'deki parmak izi için Denklem 3.46, 3.47 ve 3.48'deki gibi belirlenen hatalı ayrıntı noktalarının çıkarılmasından sonra elde edilen ayrıntı noktaları Şekil 3.22'de gösterilmektedir. Bu hesaplamada kullanılan deneysel olarak belirlenmiş eşik değerleri Tablo 3.4'de gösterilmektedir.

Tablo 3.4: Hatalı Ayrıntıların Belirlenmesi için Kullanılan Eşik Değerleri

Uzaklık	Eşik Değeri
U_1	30
U_2	15
U_3	20
U_4	16

Pekiştirme ve hatalı ayrıntıların elenmesi işlemlerinin bulunan ayrıntı sayılarına, tanınan parmak izi sayılarına ve tanıma oranlarına olan etkisi dördüncü bölümde gösterilmiştir.



Şekil 3.22: Hatalı Ayrıntılar Çıkarılmış Parmak İzi

Parmak izi resimlerinden ayrıntıların çıkarılması ve hatalı ayrıntıların elenmesi işlemlerinden sonra ayrıntıların koordinatları (x, y) , yönelim açıları θ , ayrıntı tipi (bitim, çatal) bilgileri, her parmak izinin çekirdek noktasının koordinatları ve yönelim açısı depolanmaktadır. Ayrıca karşılaştırma işlemlerinde hesaplama süresini kısaltmak için her ayrıntı noktasının en yakın iki komşusuna olan uzaklığı ve arada kalan hat sayısı gibi bilgiler de hesaplanarak veritabanına eklenmektedir.

3.3.1.5. Referans Nokta Bulunması ve Eşleştirme

Parmak izi resimlerinden elde edilen yukarıdaki bilgileri içeren veritabanı oluşturulduktan sonra bu bilgiler ışığında giriş parmak izi ve veritabanından alınan şablon parmak izinin karşılaştırılması için ilk olarak her birine ait referans noktalarının bulunması gerekmektedir.

Geliştirilen uygulamada referans noktaları üç farklı şekilde bulunmaktadır. Birincisi; 3.2.8’de anlatılan vektör üçgen yöntemini kullanarak belirli şartları sağladığı için uyduğu bulunan ayrıntı noktalarını kullanmaktır. Buna göre; giriş resmindeki tüm ayrıntı noktalarının şablon parmak izindeki herhangi bir ayrıntı noktasıyla uyuyup uyuşmadığı 3.49, 3.50, 3.51, 3.52 denklemlerindeki kıyaslamalar yapılarak anlaşılmaktadır.

Vektör üçgen yöntemi için kıyaslamalarda kullanılan eşik değerleri Tablo 3.5’de gösterilmektedir. Buna göre; E_1 , vektör üçgenlerin kenar uzunluklarını, E_2 , köşe noktaların yönelim açılarını, E_3 , üç kenarın kestiği toplam hat sayısının uyuyup uyuşmadığını karşılaştırmak için kullanılan eşik değerleridir.

Tablo 3.5: Referans Nokta Bulunması İşlemlerinde Kullanılan Eşik Değerleri

	Eşik Değeri
E_1	20
E_2	25
E_3	8

İkinci yöntem, çekirdek noktayı referans nokta olarak kullanmaktır. Üçüncüsü ise çekirdek noktaya en yakın konumdaki ayrıntı noktasını referans nokta olarak

kullanılmaktadır. Bu üç yöntem ayrı ayrı gerçekleştirilerek yöntemlerin tanıma oranına olan etkisi dördüncü bölümde gösterilmiştir.

Belirlenen referans noktalarına göre giriş ve şablon parmak izlerindeki tüm ayrıntı noktaları Denklem 3.53'deki gibi kutupsal koordinat sistemine çevrilmiştir. Bu işlemle, Denklem 3.56'daki giriş ve şablon parmak izi arasındaki açı $\Delta\theta$ hesaplanarak hizalama işlemi de yapılmaktadır.

Kutupsal koordinat sistemine çevrilen giriş ve şablon parmak izine ait ayrıntı noktaları Denklem 3.59'daki gibi karşılaştırılarak eşleştirme işlemi yapılmaktadır. Eşleştirme işleminde doğrusal olmayan bozulmalarla başa çıkabilmek amacıyla her ayrıntı noktası için Denklem 3.57 ve 3.58'deki gibi tanımlanan sınırlayıcı kutular kullanılmaktadır.

Anlatılan tüm işlemleri içeren parmak izi tanıma sisteminin çeşitli durumlara göre performans analizi dördüncü bölümde yapılmaktadır.

4. BULGULAR

Tasarlanan ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sistemi, iki farklı veritabanı kullanılarak test edilmiştir. İlk veritabanı, 500 dpi çözünürlüklü 320x480 boyutunda 18 farklı parmağa ait toplam 36 parmak izi resminden oluşmaktadır. Bu veritabanında, her parmak için 2 farklı parmak izi resmi bulunmaktadır. Parmak izleri 18’li gruplar halinde ayrılarak, ilk grup parmak izi özelliklerini içeren veritabanını oluşturmak için şablon parmak izleri olarak ve ikinci grup karşılaştırılacak giriş parmak izleri olarak kullanılmaktadır.

İkinci veritabanı, 500 dpi çözünürlüklü 350x400 boyutunda toplam 40 parmak izi resminden oluşmaktadır. Bu veritabanında 20 farklı parmağa ait, 2 farklı parmak izi resmi bulunmaktadır. Şablon ve giriş parmak izlerini oluşturmak üzere veritabanı 20’li gruplara ayrılmaktadır. Bir grup parmak izi ayrıntılarını içeren veritabanını oluşturmak için şablon parmak izleri olarak, diğer grup giriş parmak izleri olarak kullanılmaktadır.

Özellikleri açıklanan bu iki parmak izi veritabanı kullanılarak, parmak izi resminin pekiştirilmesi, hatalı ayrıntı noktalarının elenmesi işlemlerinin ve eşleştirmede farklı referans noktaları kullanılmasının sistemin performansına olan etkisi tanıma oranları karşılaştırılarak gösterilmektedir. Ayrıca, her iki veritabanına göre sistemin tanıma oranları karşılaştırılmaktadır.

4.1. PEKİŞTİRME VE HATALI AYRINTILARIN ELENMESİ İŞLEMLERİNİN PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMİNE ETKİSİ

Geliştirilen ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sisteminde parmak izi resmine uygulanan işlemler sırasıyla Uygulama bölümünde anlatılmaktadır. Buna göre; sistemde, giriş parmak izi resmini inceltme işlemine hazırlamak için pekiştirme işlemi uygulanmaktadır. Pekiştirme işlemi, inceltme işleminden sonra parmak izi yapılarını daha düzgün yansıtan bir parmak izi hat haritası elde edilmesini sağlayarak hatalı ayrıntı

noktalarının oluşmasını azaltmaktadır. İnceltilmiş resimden ayrıntıların çıkarılması işleminden sonra ise hatalı ayrıntıların elenmesi işlemi yapılarak yanıltıcı ayrıntı noktaları silinmektedir. Tezin farklı bölümlerinde birçok kez bahsedildiği gibi bu işlemler tanıma oranını doğrudan etkilemektedir.

Tablo 4.1’de ilk veritabanı için pekiştirme, hatalı ayrıntıların elenmesi gibi farklı işlemler uygulanmış parmak izi resimlerinin kullanılmasının, parmak izi tanıma performansına olan etkisi gösterilmektedir. Bu parmak izi resimleri sırasıyla; hiç işlenmemiş yalnızca gri-düzeyden ikiliye (siyah-beyaz) çevrilmiş, sadece normalleştirme işlemi uygulanmış, sadece pekiştirme işlemi uygulanmış, ikiliye çevrilmiş parmak izi resminden sadece hatalı ayrıntılar elenmiş ve tüm işlemler sırasıyla uygulanmış parmak izi resimleridir. Tablodaki tanıma oranı doğru eşleşen parmak izlerinin yüzdesini, hatalı eşleşme oranı eşleşen ayrıntı noktalarındaki hatalı eşleşmelerin yüzdesini göstermektedir. Tablodaki ayrıntı sayıları tüm parmak izleri için hesaplanan sayıların ortalaması alınarak bulunan değerlerdir. Örneğin; eşleşen ayrıntı sayısı, veritabanındaki 18 parmak izindeki eşleşen toplam ayrıntı sayısının ortalamasını göstermektedir.

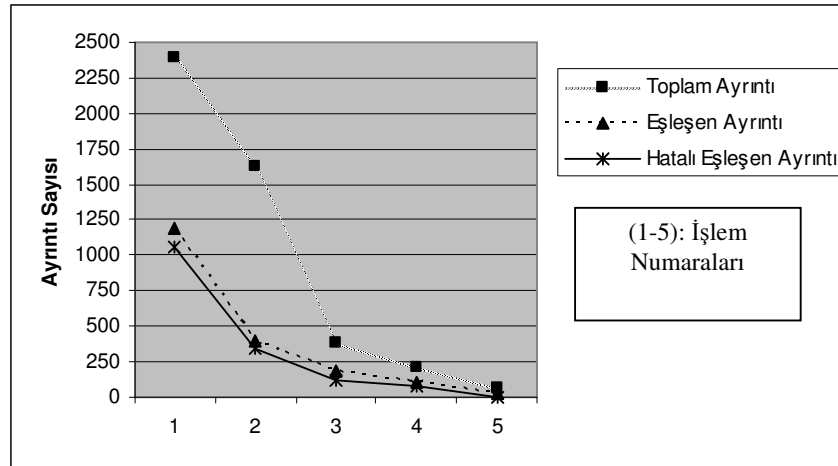
Tablo 4.1: Pekiştirme ve Hatalı Ayrıntıların Elenmesinin Parmak İzi Tanımaya Etkisi

Uygulanan İşlemler	Tanıma Oranı	Toplam Ayrıntı Sayısı	Eşleşen Ayrıntı Sayısı	Hatalı Eşleşen Ayrıntı Sayısı	Ayrıntıların Hatalı Eşleşme Oranı
İkiliye Çevirme (1)	%5,56	2392	1190	1057	%88,82
Normalleştirme (2)	%5,56	1630	398	339	%85,18
Pekiştirme (3)	%38,89	382	187	125	%66,84
Hatalı Ayrıntıların Elenmesi (4)	%33,33	218	112	80	%71,43
Tüm İşlemler (5)	%88,89	68	32	4	%12,5

Tablo 4.1’deki hiç işlenmemiş parmak izi resmi kullanıldığında tanıma oranının %5,56 gibi oldukça düşük olmasının sebebi parmak izi resminin doğrudan ikiliye çevrilmesiyle parmak izindeki bazı hat ve çukur yapılarının kaybedilmesi ve bu durumun inceltilmiş parmak izi resmindeki hatların, hatalı birleşim ve bitim noktaları oluşturmasına neden

olmasıdır. Bu oluşumlar, aslında parmak izinde olmayan çatal ve bitim noktalarının ayrıntı noktaları olarak çıkartılmasına sebep olmaktadır. Eşleştirmede, bu rastgele oluşmuş çatal ve bitim noktalarını gösteren hatalı ayrıntıların kullanılmasıyla tanıma oranı düşmektedir. Ayrıca bu tip parmak izi resimlerindeki ayrıntı noktalarının sayısı çok fazla olduğu için rastlantısal eşleşme olasılığı artmakta ve bu da hatalı eşleşmeleri arttırmaktadır. Bu durum, eşleşen ayrıntı sayısının fazla olmasının tanıma oranının da yüksek olması anlamına gelmediğini göstermektedir.

Sadece normalleştirilmiş resim kullanıldığında, aynı sebeplerden dolayı hiç işlenmemiş ikili parmak izi resminin kullanılmasına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Çünkü normalleştirme işlemi, hat yapılarını düzgünleştirmeden sadece hat ve çukurların kendi içlerindeki değişimini en aza indirmektedir. Bu işlem, Şekil 4.1’de görüldüğü gibi toplam ayrıntı sayısının azaltılmasını sağlasa da Tablo 4.1’deki hatalı eşleşme oranından da anlaşılacağı gibi işlemin hatalı ayrıntıların azaltılmasına olan katkısı çok azdır.

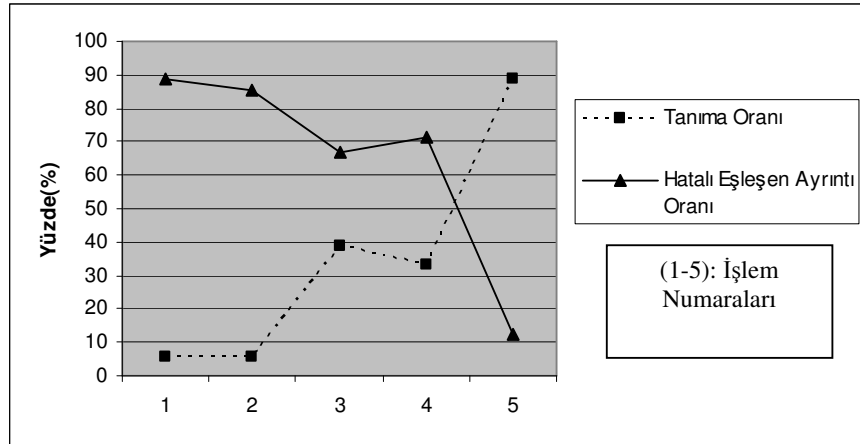


Şekil 4.1: İşlemlerin Ayrıntı Sayılarına Etkisi

Pekiştirme işlemi uygulanmış parmak izi resimlerinin kullanılması tanıma oranının yaklaşık %39’a ulaşmasını sağlamıştır. Bu durum, pekiştirme işleminin parmak izi hat ve çukur yapılarını belirginleştirip düzgünleştirmesiyle hatalı birleşim ve bitim noktalarını azalttığını göstermektedir. Ancak Şekil 4.1’den de görüldüğü gibi bu işleme (3) rağmen eşleşen ayrıntıların bir bölümü hatalı eşleşen ayrıntılardan oluşmaktadır. Buna göre; hatalı ayrıntıların istenilen ölçüde azaltılması için pekiştirme işleminin hatalı ayrıntıların elenmesi işlemiyle desteklenmesi gerektiği görülmektedir.

Tablo 4.1'e göre sadece hatalı ayrıntıların elenmesi işlemi pekiştirme işlemine oranla tanıma oranını daha az arttırarak ancak %33'e çıkarmıştır. Bu sonuç, pekiştirme işleminin hatalı ayrıntıları azaltmaya olan etkisinin daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bu işlemin tek başına uygulanmasının yeterli sonuçlar vermemesinin sebebi ikiliye çevrilmiş resimlerdeki gürültü ve kesik hat yapılarıdır. Hat yapılarının sadece ikiliye dönüştürülmüş resimlerle tam olarak yansıtılamamasından dolayı bu işlem bazı doğru ayrıntı noktalarının da elenmesine yol açmaktadır. Bu durum pekiştirme işleminden sonra hatalı ayrıntıların elenmesiyle ortadan kaldırılmaktadır.

Tablo 4.1'de yukarıda bahsedilen farklı işlemlerden geçirilmiş resimlerin kullanılmasının sistemin performansına etkisinin yanısıra, bu işlemlerin hatalı ayrıntıların azaltılmasına olan katkısı da görülmektedir. Ayrıntı noktalarının sayısının azalmasına rağmen tanıma oranının artması bu durumun göstergesidir.



Şekil 4.2: İşlemlerin Tanıma Oranına ve Hatalı Eşleşen Ayrıntı Oranına Etkisi

Temelde, tanıma oranının tüm işlemler uygulanmış resimlerde artmasının sebebi pekiştirme ve hatalı ayrıntıların elenmesi işlemleriyle hatalı ayrıntı noktalarının minimuma indirgenmesidir. Buna göre; hiç işlem görmemiş resimlere göre diğer işlemlerden sonra tanıma oranı ne kadar artıyorsa hatalı ayrıntı noktaları en az o oranda azalıyor demektir. Bu da, Şekil 4.2'de gösterildiği gibi yapılan işlemlerle hatalı eşleşen ayrıntı oranı azaltılarak tanıma oranının artırılmasının sağlandığını göstermektedir.

4.2 REFERANS NOKTANIN PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMİNE ETKİSİ

Ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sistemlerinde ayrıntı noktalarını kutupsal koordinata çevirerek karşılaştırmak için referans noktaları kullanılmaktadır. Referans noktası, giriş ve şablon parmak izlerinde en çok uyduğu belirlenen ayrıntı noktalarından seçilebileceği gibi çekirdek nokta veya çekirdek noktaya göre bulunan ayrıntı noktası olarak da seçilebilmektedir. Ancak referans noktanın seçimi parmak izi tanıma sistemini doğrudan etkilemektedir.

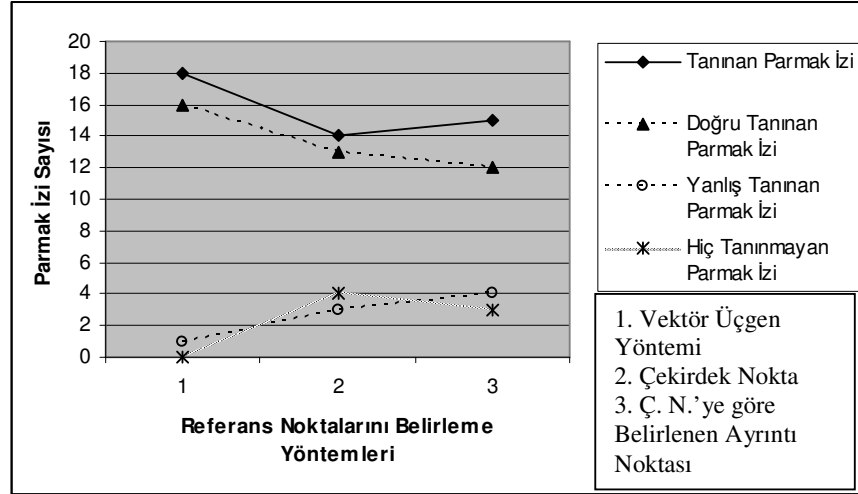
Referans noktanın seçiminin sisteme olan etkisini göstermek için ilk veritabanı kullanılarak, vektör üçgen yöntemine göre en çok uyduğu belirlenen noktalar kullanıldığında, çekirdek nokta kullanıldığında ve çekirdek noktaya göre belirlenen ayrıntı noktası kullanıldığında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.2: Referans Noktanın Parmak İzi Tanımaya Etkisi

Referans Noktaları	Tanınan Parmak İzi Sayısı	Doğru Tanınan Parmak İzi Sayısı	Yanlış Tanınan Parmak İzi Sayısı	Hiç Tanınmayan Parmak İzi Sayısı	Tanıma Oranı	Tanınanlarda Doğru Tanıma Oranı	Tüm Veritabanında Doğru Tanıma Oranı
Vektör Üçgen Yöntemi	18	16	2	0	%100	%88,89	%88,89
Çekirdek Nokta	14	13	1	4	%77,78	%92,86	%72,22
Ç. N. göre Belirlenen Ayrıntı Noktası	15	12	3	3	%83,33	%80	%66,67

Tablo 4.2’de bu üç farklı şekilde belirlenen referans noktaları için ilk veritabanındaki toplam 18 farklı parmak izine göre yapılan eşleştirmelerin sonuçları bulunmaktadır. Buna göre; tanınan parmak izi sayısı, giriş parmak izlerinden kaç tanesinin veritabanındaki bir parmak iziyle eşleştiğini belirtmektedir. Eşleştiği belirlenen bu parmak izlerinin kaç tanesinin gerçekten aynı olduğunu, doğru tanınan parmak izi sayısı, farklı olduğunu yanlış tanınan parmak izi sayısı göstermektedir. Hiç tanınmayan parmak izi sayısı ise giriş parmak izlerinin veritabanındaki hiçbir parmak iziyle eşleşmeyenlerinin sayısıdır. Bu verilere göre tüm parmak izleri içinde tanınanların

yüzdesi tanıma oranı olarak gösterilmiştir. Doğru tanınan parmak izlerinin tanınan tüm parmak izi sayısına göre yüzdesi tanınanlarda doğru tanıma oranı olarak ve tüm veritabanındaki parmak izi sayısına göre yüzdesi tüm veritabanındaki doğru tanıma oranı olarak adlandırılmıştır. Bu verilere göre; referans noktanın belirleme yöntemlerinin tanınan parmak izi sayılarına etkisinin grafiksel gösterimi Şekil 4.3’de bulunmaktadır.

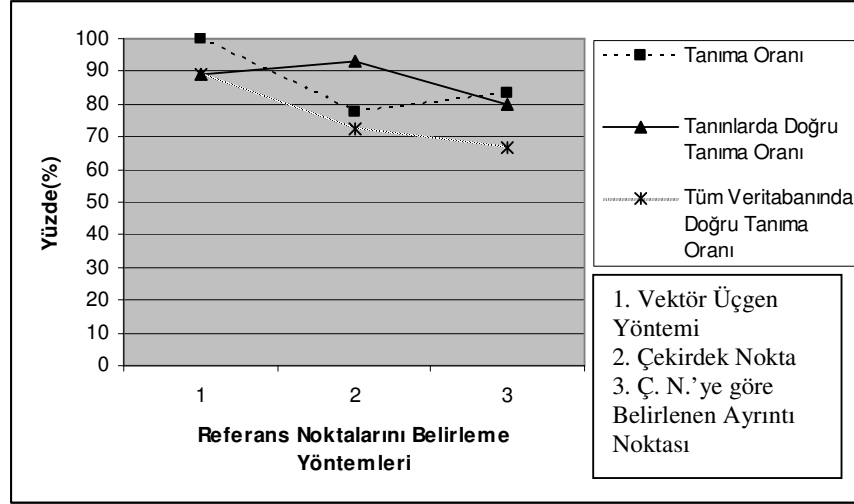


Şekil 4.3: Referans Noktalarını Belirleme Yöntemlerinin Tanınan Parmak İzi Sayılarına Etkisi

Tablo 4.2’deki referans noktalarını belirleme yöntemlerinin başarısını karşılaştırmak için tüm veritabanındaki doğru tanıma yüzdesi kullanılmaktadır. Buna göre; vektör üçgen yöntemiyle belirlenen referans noktalarının kullanılmasının yaklaşık %89’luk doğru tanıma yüzdesiyle en başarılı sonuçları verdiği görülmektedir. Bu sonucun sebebinin anlaşılması için yöntemlerin kısaca hatırlatılmasında fayda vardır. Üçgen vektör yönteminde, uyduğu belirlenen tüm ayrıntı noktaları iki parmak izinin karşılaştırılması için teker teker referans noktası olarak kullanılmaktadır. Bu karşılaştırmalarda elde edilen sonuçların en yüksek olanı iki parmak izi için eşleşme skorunu belirtmektedir. Buna göre; belli bir değer üstündeki en yüksek eşleşme skoru giriş parmak izinin hangi şablon parmak iziyle eşleştiğini göstermektedir.

Ancak diğer iki yöntemde sadece belirlenen bir nokta referans noktası olarak kullanılmakta ve bulunan değer iki parmak izi arasındaki eşleşme skorunu belirtmektedir. Bu durumda, giriş ve şablon parmak izlerindeki referans noktaları arasındaki fark, en düşük eşleşme skorunun da oluşmasına neden olabileceği için öne

çıkmaktadır. Bu yüzden, Şekil 4.4'den de görüldüğü gibi bu iki yöntemin tanıma yüzdeleri vektör üçgen yöntemine göre daha düşüktür.



Şekil 4.4: Referans Noktanın Belirleme Yöntemlerinin Tanıma Oranlarına Etkisi

Diğer yöntemler arasında en iyi tanıma sonucunu veren üçgen vektör yönteminin hesaplamalarında tüm ayrıntı noktalarının referans noktası olup olmayacağı karşılaştırılmaktadır. Ancak bu hesaplama sadece çatal ayrıntı noktaları veya sadece bitim ayrıntı noktaları kullanılarak da yapılabilmektedir. Bu sayede karşılaştırılacak ayrıntı sayısının azalmasıyla tanıma işlemlerinin süresinin kısaldığı bilinmektedir. Ancak bu durumun tanıma oranlarına etkisini görebilmek amacıyla sadece çatal ve sadece bitim noktaları için ilk veritabanı kullanılarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Buna göre; her üç durum için elde edilen sonuçlar Tablo 4.3'de sunulmaktadır.

Tablo 4.3'deki tüm veritabanındaki doğru tanıma oranları karşılaştırıldığında bitim ve tüm ayrıntı noktalarının tanıma yüzdelerinin aynı olduğu görülmektedir. Buna karşın çatal noktanın bu değeri diğerlerine göre düşüktür. Bu durum, bitim ayrıntı noktalarının hat yapılarını daha doğru yansıttığının göstergesidir. Demek ki; çatal ayrıntı noktaları bu veritabanı için diğerlerine göre daha yanıltıcı olabilmektedir. Bu sonuç değişmez bir kural olarak genelleştirilemez. Ancak bu sonucun oluşmasının sebebini genelleştirmek mümkündür. Buna göre; hat çizgileri daha kalın olan parmak izi resimlerinde daha fazla hatalı çatal ayrıntı noktası bulunmaktadır. Ayrıca kesikli hat çizgileri yoğun olan parmak izi resimlerinde daha fazla hatalı bitim noktası oluşmaktadır.

Tablo 4.3: Vektör Üçgen Yönteminde Farklı Ayrıntı Tiplerinin Kullanılmasının Tanımaya Etkisi

Referans Noktaları	Tanınan Parmak İzi Sayısı	Doğru Tanınan Parmak İzi Sayısı	Yanlış Tanınan Parmak İzi Sayısı	Hiç Tanınmayan Parmak İzi Sayısı	Tanıma Oranı	Tanınanlarda Doğru Tanıma Oranı	Tüm Veritabanında Doğru Tanıma Oranı
Sadece Çatal Noktalar	16	14	1	2	%88,89	%93,75	%83,33
Sadece Bitim Noktalar	17	16	1	1	%94,44	%94,12	%88,89
Tüm Ayrıntı Noktaları	18	16	2	0	%100	%88,89	%88,89

Bu sonuca nasıl varıldığıının anlaşılması için veritabanındaki tüm parmak izi resimleri normal hat çizgili, kalın hat çizgili ve kesik hat çizgili olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Her parmak izinin hangi gruba dahil olduğu Tablo 4.4’de gösterilmektedir.

Tablo 4.4: Veritabanındaki Parmak İzi Resimlerinin Hat Yapılarına göre Grupları

Hat Yapısı	Parmak İzi Resimlerinin Numarası
Normal	1-4, 14-18
Kalın	5, 7, 8, 11, 12, 13
Kesikli	6, 9, 10

Tablo 4.5’de sadece çatal, sadece bitim ve tüm ayrıntı noktalarının referans noktası olarak kullanılmasına göre hangi parmak izlerinin doğru eşleştiği gösterilmektedir.

Tablo 4.5: Referans Noktalarına Göre Yanlış Tanınan ve Hiç Tanınmayan Parmak İzlerinin Numaraları

Referans Noktaları	Yanlış Tanınan ve Hiç Tanınmayan Parmak İzi Resimlerinin Numaraları
Tüm Ayrıntı Noktaları	6,9
Çatal Ayrıntı Noktaları	8,11,13
Bitim Ayrıntı Noktaları	6, 9

Bu veriler incelendiğinde; çatal noktaların referans olduğu durumlar için Tablo 4.4’deki kalın hat çizgili parmak izi resimlerinin bazılarının doğru eşleşmediği, bitim noktaları için kesik hat çizgili parmak izi resimlerinin bazılarının eşleşmediği görülmektedir. Bu

durum parmak izi resimlerindeki kalın ve kesikli hat yapılarının tanıma oranını etkileyebileceğini göstermektedir. Bu veritabanında kalın hat çizgili parmak izi sayısının kesik hat çizgili parmak izi sayısına oranla daha fazla olmasından dolayı bitim noktaları daha ayırt edici olmaktadır. Çatal noktalar referans olarak alındığında eşleşmeyen bazı parmak izlerinin tüm noktalar alındığında eşleşmesi bitim noktalarının eşleşmeyi daha çok etkilediğini anlatmaktadır.

Tablo 4.6’da tüm ayrıntı noktaları kullanılarak vektör üçgen yöntemine göre belirlenen referans noktaları için her iki veritabanı kullanılarak elde edilen değerler gösterilmektedir. Buna göre; tüm değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu da sistemin tüm veritabanında doğru tanıma oranının kullanılan veritabanından bağımsız olarak yaklaşık %90 olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.6: İki Farklı Veritabanı için Hesaplanan Değerler

Veritabanı	Tanınan Parmak İzi Sayısı	Doğru Tanınan Parmak İzi Sayısı	Yanlış Tanınan Parmak İzi Sayısı	Hiç Tanınmayan Parmak İzi Sayısı	Tanıma Oranı	Tanınanlarda Doğru Tanıma Oranı	Tüm Veritabanında Doğru Tanıma Oranı
(1)	18	16	2	0	%100	%88,89	%88,89
(2)	19	18	1	1	%95	%94,74	%90

Tüm karşılaştırmalar sonucunda referans noktanın belirlenmesinde vektör üçgen yönteminin kullanılmasının diğer iki yönteme göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Ayrıca bu yöntemin farklı ayrıntı tiplerinin kullanılmasına göre tanıma oranlarının karşılaştırılması sonucunda, bitim veya tüm ayrıntı noktaların kullanılmasının bu veritabanı için tanıma oranını değiştirmedeği gösterilmiştir. Bunun nedeninin parmak izi resimlerinin hat yapıları olduğu belirlenerek, hangi tip parmak izlerinin ne şekilde bu durumu etkilediği anlatılmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, öncelikle literatürdeki ilinti tabanlı, hat özelliği tabanlı ve ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma yöntemleri incelenmiştir. Ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma yönteminin aşamaları olan normalleştirme, görüntü pekiştirme, inceltme, yönelim hesaplamaları, çekirdek noktanın bulunması, ayrıntı noktaların çıkartılması, hatalı ayrıntıların elenmesi, referans noktanın bulunması ve eşleştirme işlemleri ayrı başlıklar altında detaylarıyla anlatılarak irdelenmiştir. Buna göre; Matlab yazılımı kullanılarak, tüm bu işlemleri kapsayan ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sistemi tasarlanmıştır. Geliştirilen bu sistemin işleyişi ve işlemlerde kullanılan parametreler Uygulama bölümünde verilmiştir.

Tasarlanan ayrıntı tabanlı parmak izi tanıma sistemdeki pekiştirme ve hatalı ayrıntıların elenmesi işlemlerinin tanıma oranlarına etkisi parmak izi veritabanı kullanılarak gösterilmiştir. Bulunan tanıma oranlarına göre bu işlemlerin hatalı ayrıntı sayısını azaltarak doğru tanıma oranını artırdığı belirlenmiştir.

Ayrıca, farklı şekillerde belirlenen referans noktaları için eşleştirmedeki tanıma oranları ve tanınan parmak izi sayıları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda üç farklı şekilde belirlenen referans noktaları kullanılmaktadır. Bunlar; vektör üçgen yöntemiyle uyduğu belirlenen ayrıntı noktaları, giriş ve şablon parmak izlerindeki çekirdek noktaları ve çekirdek noktalara göre belirlenmiş ayrıntı noktalarıdır. Sonuçta beklendiği gibi en yüksek doğru tanıma oranı vektör üçgen yöntemiyle belirlenen referans noktalarının kullanılmasıyla elde edilmiştir. Bu durumun diğer iki yöntemde sadece bir noktanın referans noktası olarak kullanılmasından kaynaklandığı görülmüştür.

Tanıma oranlarında en iyi performansı gösteren vektör üçgen yöntemi, sadece çatal ayrıntıları, sadece bitim ayrıntıları ve tüm ayrıntı noktalarının kullanılmasına göre kendi içinde analiz edilerek farklı tip ayrıntı noktalarının tanıma oranına ve tanınan parmak izi sayısına olan etkisi gösterilmiştir. Parmak izi resimlerinde genellikle az sayıda

bulunması nedeniyle daha ayırt edici olduğu düşünölen çatal ayrıntı noktalarının kullanılmasının daha iyi sonuç vermesi beklenirken, bitim noktalarının kullanılması oldukça yüksek tanıma oranları elde edilmesini sağlamıştır. Bu oranın tüm ayrıntı noktalarının kullanılmasıyla elde edilen sonuçlarla aynı olduğu hatta tanınan parmak izlerindeki doğru tanıma oranının yaklaşık %94 gibi tüm ayrıntı noktalarının kullanılmasına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum, tüm ayrıntılar kullanıldığında çatal noktalarının yarattığı olumsuz etkiden kaynaklanmaktadır. Çatal ayrıntı noktalarının kullanıldığında daha düşük tanıma oranları bulunmasının sebepleri eşleşen ve eşleşmeyen parmak izlerindeki hat yapılarında saklıdır. Buna göre; çok kalın hat yapıları olan parmak izlerinde hatalı çatal noktaları, çok kesikli hat yapıları olan parmak izlerinde hatalı bitim noktaları oluşturduğu görölmüştür. Bu da kullanılan veritabanındaki çok kalın hat yapıları parmak izi sayısının kesik çizgili parmak izi sayısından fazla olmasından dolayı çatal noktalar kullanıldığında tanıma oranlarının düşmesine sebep olmuştur.

Bu çalışmada, her parmak izi için aynı pekiştirme işlemleri kullanılmıştır. Ancak hat yapılarının yapılan tüm pekiştirme ve hatalı ayrıntıların elenmesi işlemlerine rağmen tanıma oranını etkilemesi farklı hat yapıları için farklı pekiştirme işlemlerinin uygulanması gerektiğini ortaya koymuştur. İlerde yapılacak çalışmalarda bu durum dikkate alınıp parmak izleri hat yapılarına göre gruplara ayrılmalı ve her gruba uygun pekiştirme işlemleri belirlenmelidir. Bu sayede; bahsedilen hatalı çatal ve bitim noktalarının oluşmasının önüne geçilerek tanıma oranı artırılabilir.

KAYNAKLAR

1. KOMARINSKI, PETER, 2005, *Automated Fingerprint Identification Systems (AFIS)*, Elsevier Academic Press, USA, 0-12-418351-4.
2. KEOGH, E., 2001, An Overview of the Science of Fingerprints, *Anil Aggrawal's Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, January, Vol. 2, No. 1.
3. LEE, HENRY C., ve GAENSSLE, R. E., 2001, *Advances in Fingerprint Technology*, CRC Press, USA, 0-8493-0923-9.
4. MALTONI, D., MAIO, D., JAIN, ANIL K., PRABHAKAR, SALIL, 2003, *Handbook of Fingerprint Recognition*, Springer-Verlag, New York, 0-387-95431-7.
5. GALTON, FRANCIS, F. R. S., 1892, *Finger Prints*, Macmillan, London.
6. HENRY E. R., 1900, *Classification and Uses of Finger Prints*, Routledge, London.
7. MARIO, D., MALTONI, D., 1997, Direct Gray-Scale Minutiae Detection In Fingerprints, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 1, s.27-40.
8. LEE, C. J., YANG, T.N., CHEN, C. J., 2006, Direct Minutiae Matching in Gray-Level Fingerprint Images, *Proceedings of International Conference on Innovative Computing, Information and Control*, s. 577-580.
9. BAZEN, A. M., VERWAAIJEN, G.T.B., GEREZ, S. H., VEELANTURF, L. P. J., ZWAAG, B. J., 2000, A Correlation-Based Fingerprint Verification System, *Proc.Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing (ProRISC 2000)*, s. 205-213.
10. WILSON C. L., WATSON C. I., PAEK E. G., 1997, A Combined Optical And Neural Network Fingerprint Matching, *Proceedings of SPIE, The International Society for Optical Engineering*, Vol. 3073, s. 373-382.
11. JAIN, A., CHEN, Y., DEMIRKUS, M., 2006, Pores and Ridges: Fingerprint Matching Using Level 3 Features, *The 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, s. IV: 477-480.
12. WEI, H., OU, Z., ve ZHANG, J., 2006, Fingerprint Identification Based on Ridge Lines and Graph Matching, *In Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA '06)*, Dalian, China, Vol. 2, s. 9965-9968.

13. MA, R., QI, Y., ZHANG, C., WANG, J., 2005, A Novel Approach to Fingerprint Ridge Line Extraction, *IEEE International Symposium on Communications and Information Technologies*, Beijing, China, s. 1-4.
14. LINDOSO, A., ENTRENA, U., ONGIL, C.L., LIU, J., 2005, Correlation-Based Fingerprint Matching using FPGAs, *IEEE International Conference on Field-Programmable Technology*, s. 87-94.
15. FENG, J., CAI, A., 2006, Fingerprint Representation and Matching in Ridge Coordinate System, *The 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, s. IV: 485-488.
16. ABHYANKAR, A., SCHUCKERS, S., 2006, Fingerprint Liveness Detection Using Local Ridge Frequencies and Multiresolution Texture Analysis Techniques, *IEEE International Conference on Image Processing*, s. 321 – 324.
17. SHA, L.F., ZHAO, F., ve TANG, X., 2003, Improved Fingercode for Filterbank-Based Fingerprint Matching, *International Conference on Image Processing (ICIP03)*, s. II: 895-898.
18. JAIN, A. K., PRABHAKAR, S., HONG, L., 2000, Filterbank-Based Fingerprint Matching, *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol. 9, no. 5, s.846-859.
19. SHA, L., ZHAO, F., ve TANG, X., 2005, Fingerprint Matching Using Minutiae and Interpolation-Based Square Tessellation Fingercode, *International Conference on Image Processing (ICIP05)*, s. II: 41-44.
20. ZHANG, W., ve WANG, Y., 2002, Core-Based Structure Matching Algorithm of Fingerprint Verification, *Proceedings of 16th International Conference on Pattern Recognition (ICPR02)*, Vol. 1, s. 70-74.
21. WEI, HONGLEI, GUO, MINGEN, ve OU, ZONGYING, 2006, Fingerprint Verification Based on Multistage Minutiae Matching, *Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition*, Vol. 2, s. 1058-1061.
22. GONZALES, RAFAEL C., WOODS, RICHARD E., 2002, *Digital Image Processing Second Edition*, Prentice Hall, New Jersey, 0-201-18075-8.
23. SING, TZE BOW, 2002, *Pattern Recognition and Image PreProcessing Second Edition*, Marcel Decker, New York, 0-8247-0659-5.
24. BOVIK, AL, 2000, *Handbook of Image and Video Processing*, Academic Press, Canada, 0-12-119790-5.
25. THEODORIDIS, SERGIOS, ve KOUTROUMBAS, KONSTANTINOS, 2003, *Pattern Recognition Second Edition*, Academic Press, Elsevier (USA), 0-12-685875-6.
26. WAN, D., ve ZHOU, J., 2006, Fingerprint Recognition Using Model-Based Density Map, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 15, No. 6, s. 1690-1696.

27. LIANG, X. ve ASANO, T., 2006, Fingerprint Matching Using Minutiae Polygons, *Proceedings of 18th International Conference on Pattern Recognition 2006*, Hong Kong, China, s. 1046-1049.
28. WANG, C., GAVRILOVA, M., LUO, Y., ve ROKNE, J., 2006, An Efficient Algorithm for Fingerprint Matching, *Proceedings of 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR06)*, s. I: 1034-1037.
29. ITO, K., MORITA, A., AOKI, T., HIGUCHI, T., NAKAJIMA, H., ve KOBAYASHI, K., 2005, A Fingerprint Recognition Algorithm Using Phase-Based Image Matching for Low-Quality Fingerprints, *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, s. II: 33-36.
30. QI, J., SHI, Z., ZHAO, X., ve WANG, Y., 2004, A Novel Fingerprint Method Based on the Hough Transform without Quantization of the Hough Space, *Proceedings of 3rd International Conference on Image and Graphics (ICIG04)*, s.262-265.
31. HONG L., WAN Y., AND JAIN A.K., 1998, Fingerprint Image Enhancement: Algorithms and Performance Evaluation, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 20, no. 8, s. 777-789.
32. SAĞIROĞLU, Şeref ve ÖZKAYA, Necla, 2006, Otomatik Parmakizi Tanıma Sistemlerinde Kullanılan Ön İşlemler için Yeni Yaklaşımlar, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 21, No. 1, s. 11-19.
33. GREENBERG, S. SHLOMO, ALADJEM, M.MAYER, KOGAN, D.DANIEL, 2000, Fingerprint Image Enhancement using Filtering Techniques, *International Conference on Pattern Recognition*, Vol. 3, s. 326-329.
34. SHARATH C., SHARATH PANKANTI, NALINI RATHA AND RUUD BOLLE, 2005, Novel Approaches for Minutiae Filtering in Fingerprint Images, *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, s. 111-116.
35. SHERLOCK, B. G. MONRO, D. M. MILLARD, K., 1994, Fingerprint Enhancement By Directional Fourier Filtering, *IEE Proceedings Vision, Image and Signal Processing*, Vol. 141, no.2, s. 87-94.
36. FREEMAN, W., ALDEMAN, E., 1991, The Design and Use of Steerable Filters, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 13, no. 9, s. 891-906.
37. PRATT, WILLIAM K., 2001, *Digital Image Processing Third Edition*, John Wiley & Sons Inc, New York, 0-471-37407-5.
38. NACCACHE, N. J., ve SHINGHAL, R., 1984, An Investigation into The Skeletonization Approach of Hilditch, *Pattern Recognition*, Vol. 17, no. 3, s. 274-284.
39. ZHANG, T. Y., SUEN, C. Y., 1984, A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns, *Commun. ACM*, Vol. 27, s. 236-239.

40. HONGBIN, P., JUNALI, C., YASHE, Z., 2007, Fingerprint Thinning Algorithm Based on Mathematical Morphology, *ICEMI 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments*, s. 2-618-2-621.
41. GUO, Z., HALL, R. W., 1989, Parallel Thinning With Two-Subiteration Algorithms, *Comm. ACM*, Vol. 32, no. 3, s. 359-373.
42. Baruch, O., 1988, Line Thinning By Line Following, *Pattern Recognition Letters*, Vol.8, no. 4, s. 271-276.
43. BRANKICA M. P., MASKOVIC, L., 2007, Fingerprint Minutiae Filtering Based on Multiscale Directional Information, *Scientific Journal of University of NIS Electronics And Energetics*, Vol. 20, no. 2, s. 233-244.
44. LAM, L., LEE, S. WHAN, SUEN, CHING Y., 1992, Thinning Methodologies-A Comprehensive Survey, *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, Vol. 14, No. 9, s. 869-885.
45. ZHOU, JIE, GU, JINWEI, 2004, A Model-based Method for the Computation of Fingerprints Orientation Field, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.13, no.6, s. 821-835.
46. WANG, Y., HU, J., SCHRODER, H., 2005, A Gradient Based Weighted Averaging Method for Estimation of Fingerprint Orientation Fields, *IEEE Proceedings of the Digital Imaging Computing: Techniques and Applications*, s. 195-202.
47. LI JUN, YAU, WEI-YUN, 2004, Prediction of Fingerprint Orientation, *Pattern Recognition Proceedings of the 17th International Conference*, Vol.4, s. 436-439.
48. KARU, K., JAIN, A. K., 1996, Fingerprint classification, *Pattern Recognition*, Vol. 17, no. 3, s. 389-404.
49. SUN, YUQIN, CHEN, SHENGHONG, WANG, ZHIFANG, LI, QIONG, 2007, Performance Evaluation of Fingerprint Orientation Estimation Algorithms, *Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing Third International Conference*, Vol. 1, s. 159-164.
50. JULASAYVOKE, A., ve CHOOMCHUAY, S., 2007, An Algorithm For Fingerprint Core Point Detection, *International Conference on Information Sciences, Signal Processing and their Applications (ISSPA07)*, Sharjah, UAE.
51. MANHUA, L., XUDONG, J., KOT, A.C., 2005, Nonlinear Fingerprint Orientation Smoothing by Median Filter, *International Conference on Information, Communications and Signal Processing*, s. 1439-1443.
52. RAO, C. V. KAMESWARA, ve BALCK, K., 1978, Finding The Core Point In A Fingerprint, *IEEE Transcation On Computers*, Vol. C-27, No. 1, s. 77-81.

53. KAWAGOE, M., ve TOJO, A., 1984, Fingerprint Pattern Classification, *Pattern Recognition*, Vol. 17, s. 295-303.
54. KITTYANAN, N., ve HAVLICEK, J. P., 2004, Modulation Domain Reference Point Detection For Fingerprint Recognition, *Proceedings of the Sixth IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation*, s.147-151.
55. ZHOU, JIE, GU, JINWEI, ve ZHANG, DAVID, 2007, Singular Points Analysis in Fingerprints Based on Topological Structure and Orientation Field, *International Conference on Biometrics*, s. 261-270.
56. BAZEN, A. M., ve GEREZ, S., 2002, Extraction of Singular Points from Directional Fields of Fingerprints, *In Mobile Communications in Perspective, Annual CTIT Workshop*, Finlandiya, February 2002.
57. JIANG, X., LIU, M., ve KOT, A.C., 2004, Reference Point Detection for Fingerprint Recognition, *17th International Conference on Pattern Recognition*, Vol. 1, s. 540-543.
58. ZHANG, W., ve WANG, Y., 2002, Singular Point Detection in Fingerprint Image, *Proceeding of 5th Asian Conference on Computer Vision*, Melbourne, Australia, s. 793-796.
59. WANG, S., ve LEE, C., 1999, Fingerprint Recognition Using Directional Micropattern Histograms and LVQ Networks, *Proceedings of International Conference on Information Intelligence and Systems IEEE Comput. Soc.*, s. 300-303.
60. LIU, M., JIANG, X., ve KOT, A., 2004, Fingerprint Reference Point Detection, *International Conference on on Bioinformatics and its Applications*, LNCS 3072, s. 272-279.
61. OHTSUKA, TOMOHIKO, ve KONDOA, AKIYOSHI, 2005, A New Core And Delta Detection For Fingerprints Using The Extended Relation Graph, *The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Transactions*, Vol. E88-A, No. 10, s. 2587-2592.
62. WU, NANNAN, ve ZHOU, JIE, 2004, Model Based Algorithm For Singular Point Detection From Fingerprint Images, *International Conference on Image Processing*, s. 885-888.
63. FAN, LINGLING, WANG, S., WANG H., ve GUO, TIANDE, 2008, Singular Points Detection Based on Zero-Pole Model in Fingerprint Images, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 30, No. 6, s. 929-940.
64. CAPPELLI, R., LUMINI, A., MAIO, D., ve MALTONI, D., 1999, Fingerprint Classification by Directional Image Partitioning, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.21, no.5, s.402-421.

65. NILSSON, K., veBIGUN, J., 2003, Location of Corresponding Points in Fingerprints by Complex Filtering, *Pattern Recognition Letters*, Vol. 24, s. 2135-2144.
66. PENG, XIAOQI, WU, G., PENG, Z., ve LI, YUXIAO, 2007, An Improved Method Of Fingerprint Singular Points Detection, *IEEE International Conference on Control and Automation*, s.1032-1035.
67. LIA, JUN, YAU, WEI-YUN, ve WANG, HAN, 2008, Combining Singular Points And Orientation Image Information For Fingerprint Classification, *Pattern Recognition(41)*, No. 1, s. 353-366.
68. C., ARUN VINODH, 2007, Extracting and Enhancing The Core Area in Fingerprint Images, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol.7, No.11, s. 16-20.
69. SHERLOCK, B., ve MONRO, D., 1993, A Model for Interpreting Fingerprint Topology, *Pattern Recognition*, Vol.26, No.7, s. 1047-1055.
70. KOO, WAI MUN, ve KOT, ALEX, 2001, Curvature-Based Singular Points Detection, *3rd International Conference on Audio and Video Based Biometric Person Authentication, LNCS 2091*, s.229-243.
71. ARCELLI, C. ve BAJA, G.S.D., 1984, A Width Independent Fast Thinning Algorithm, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 4, No. 7, s. 463-474.
72. JAIN, A. K., HONG, L., ve BOLLE, R., 1997, On-Line Fingerprint Verification, *IEEE Trans.Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 4, s.302-313.
73. KIM, SEONJOO, LEE, DONGJAE, ve KIM, JAIHIE, 2001, Algorithm for Detection and Elimination of False Minutiae in Fingerprint Images, *Third International Conference of Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication (AVBPA), Halmstad, Sweden, June 6-8*, Vol. 2091, s. 235-240.
74. JIA, CONGZHI, XIE, MEI ve LI, QINGRONG, 2004, A Fingerprint Minutiae Matching Approach Based on Vector Triangle Method and Ridge Structure, *In Proc. 2004 International Conference on Communications, Circuits and Systems*, Vol. 2, s. 871-875.
75. WANG, W., LI, J. W., ve CHEN, W., 2006, Fingerprint Minutiae Matching Based on Coordinate System Bank and Global Optimum Alignment, *International Conference on Pattern Recognition (ICPR06)*, s. 401-404.
76. LUO, X., TIAN, J., ve WU, Y., 2000, A Minutia Matching Algorithm In Fingerprint Verification, *International Conference on Pattern Recognition (ICPR00)*, s.833-836.

ÖZGEÇMİŞ

Öznur Sinem SÖNMEZ, 1981 yılında İzmit'te doğdu. 2003 yılında Bahçeşehir Üniversitesi'nin Bilgisayar Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2005 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı.