

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPAY SİNİR AĞLARI VE PARMAK İZİ
ANALİZİ YÖNTEMİ İLE KİMLİK TAYİNİ**

Özge BALTACI

Şubat, 2011

İZMİR

YAPAY SİNİR AĞLARI VE PARMAK İZİ ANALİZİ YÖNTEMİ İLE KİMLİK TAYİNİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Özge BALTACI

Şubat, 2011

İZMİR

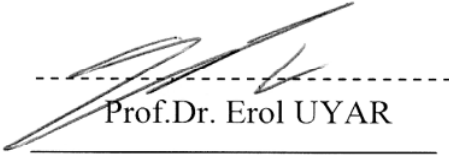
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ÖZGE BALTACI tarafından **DOÇ.DR. ZEKİ KIRAL** yönetiminde hazırlanan **“YAPAY SİNİR AĞLARI VE PARMAK İZİ ANALİZİ YÖNTEMİ İLE KİMLİK TAYİNİ”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



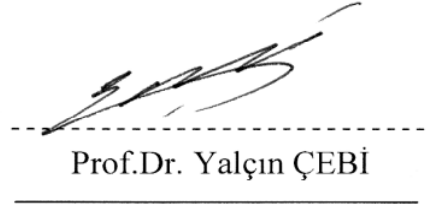
Doç.Dr. Zeki KIRAL

Danışman



Prof.Dr. Erol UYAR

Jüri Üyesi



Prof.Dr. Yalçın ÇEBİ

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜRLER

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi, destek ve güvenini hiçbir zaman esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübeleri ile çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sevgili Hocam ve Tez Danışmanım Sayın Doç.Dr. Zeki KIRAL’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Parmak izlerini tanımam ve detaylarını kavramam konularında yardım ve destekleri ile misafirperverlik ve içtenlikleri için Sayın Mehmet KALE ve Sayın Haluk YEMEZTAŞLICA’ya teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitimim ve tez çalışmalarım boyunca sabır, anlayış ve sevgileriyle her zaman yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve daima bana güç veren sevgili annem Semra BALTACI’ya ve sevgili babam Ekrem BALTACI’ya tüm kalbimle teşekkür ederim.

Deneylerim ve tez yazımım sırasında yardımları ve destekleri ile beni bir an olsun yalnız bırakmayan tüm çalışma arkadaşlarım ve yakınlarıma teşekkür ederim.

Sevgili anneannem ve çok değerli anısına...

Özge BALTACI

YAPAY SİNİR AĞLARI VE PARMAK İZİ ANALİZİ YÖNTEMİ İLE KİMLİK TAYİNİ

ÖZ

Günümüzde parmak izlerinin güvenlik ve adli olaylarda kimlik tespiti için oldukça önemli bir rol oynadığı yadsınamaz bir gerçektir. Bu çalışmada, parmak izlerinin yapay sinir ağları yapısı kullanılarak kayıt, sınıflandırma ve analizi yapılmıştır. Bu amaçla internet veri tabanından ve gerçek kişilerden alınan parmak izleri karma olarak kullanılmış ve parmak izi görüntüleri, bilgisayar ortamında işlenerek parmak izlerinin öz nitelik bilgileri elde edilmiştir. Anılan öz nitelik bilgilerinin kullanılması ile istatistik analizler yapılmış ve sonuçlar oluşturulan yapay sinir ağları tarafından öğrenilmiş ve/veya sınanmıştır.

Deneysel çalışmada kullanılan parmak izlerinin kusursuz olmaması nedeni ile yapay sinir ağları için kullanılacak eğitim setindeki kayıt sayısının artması uygulama başarısını düşürmüş olsa da uygulama sonucunda elde edilen başarı %90-93 aralığındadır. Bu alanda yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde, literatürde yer alan benzer uygulamaların başarı yüzdesinin %90-95 aralığında olduğu görülmektedir. Bu kapsamda, yapılan çalışmanın farklı yöntemlerin uygulandığı sistemlerle karşılaştırıldığında yeterli başarı seviyesinde olduğu söylenebilir.

Anahtar sözcükler: Parmak izi tanıma, görüntü işleme, öznitelik çıkarma, yapay sinir ağları.

IDENTITY RECOGNATION VIA FINGERPRINT ANALYSIS

BY NEURAL NETWORKS

ABSTRACT

Today, it is an undeniable fact that fingerprints play quite important role in the areas of security and forensic investigation for authentication. In this work, a set of fingerprints are recorded, classified and analyzed using artificial neural network (ANN) structure. For this purpose, fingerprints taken from both internet database and real individuals are used together, and the attributes of these fingerprint images are extracted after processing. Beforementioned attributes are used in the statistical analysis and the resulted data are trained and/or tested by artificial neural networks.

As a result of not being perfect, the increase in the number of fingerprint records used in the train set of the ANN reduces the success rate of the application, However, the success ratio at the end of this study is obtained between 90-93%. Compared with the similar studies published so far, it can be said that this study has the acceptable success level.

Keywords: Fingerprint recognition, image processing, fingerprint attributes extracting, artificial neural network.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	i
TEŞEKKÜRLER.....	..ii
ÖZ.....	...iii
ABSTRACT.....	...iv
BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ – TANIMLAR.....	4
2.1 Tarihçe.....	..4
2.2 Parmak İzinin Özellikleri.....	..7
2.3 Parmak İzi Anatomisi.....	..8
2.4 Parmak İzi Alınması ve Tanıma.....	12
BÖLÜM ÜÇ – PARMAK İZİ GÖRÜNTÜ KALİTESİNİ İYİLEŞTİRME....	14
3.1 Literatür.....	14
3.1.1 Sektörizasyon.....	14

3.1.2 Normalizasyon.....	15
3.1.3 Yön Tayini.....	15
3.1.4 Sırt Hatları Frekans Tayini.....	15
3.1.5 Gabor Filtresi Kullanımı.....	16
3.1.6 İkileştirme.....	16
3.1.7 İnceltme.....	17
3.2 Metodoloji.....	17
3.2.1 Sektörizasyon.....	17
3.2.2 Normalizasyon.....	19
3.2.3 Yön Tayini.....	19
3.2.4 Sırt Hatları Frekans Tayini.....	20
3.2.5 Gabor Filtresi Kullanımı.....	20
3.2.6 İkileştirme.....	21
3.2.7 İnceltme.....	22
3.3 DeneySEL Sonuçlar.....	22
3.3.1 Sektörizasyon ve Normalizasyon.....	23
3.3.2 Yön Tayini.....	24
3.3.3 Sırt Hatları Frekans Tayini.....	25
3.3.4 Filtreleme.....	25
3.3.5 İkileştirme ve İnceltme.....	27
3.4 Sonuç.....	27

BÖLÜM DÖRT – NİTEM ELDE ETME VE PARMAK İZİ SON KONTROLÜ..... 28

4.1 Literatür.....	28
4.1.1 Giriş.....	28
4.1.2 Nitem Elde Etme.....	29
4.1.3 Parmak İzi Son Kontrolü.....	30
4.2 Metodoloji.....	31
4.2.1 Nitem Elde Etme.....	31
4.2.2 Parmak İzi Son Kontrolü.....	31
4.3 Deneysel Sonuçlar.....	32
4.3.1 Nitem Elde Etme.....	32
4.3.2 Parmak İzi Son Kontrolü.....	33

BÖLÜM BEŞ – MERKEZ NOKTA VE DELTA ELDE ETME..... 36

5.1 Literatür.....	36
5.2 Metodoloji.....	36
5.3 Deneysel Sonuçlar.....	37
5.4 Sonuç.....	40

BÖLÜM ALTI – PARMAK İZİ İSTATİSTİKLERİ..... 41

6.1 Metodoloji.....	41
6.1.1 Alfa, Beta, Gama Değerleri.....	41
6.1.2 Kare Ortalamalarının Karekökü.....	42
6.1.3 Fc Değeri (Tepe Faktörü – Crest Factor).....	43
6.1.4 Kurtosis Değeri.....	43
6.1.5 Aritmetik Ortalama ve Standart Sapma Değerleri.....	43
6.2 Deneysel Sonuçlar.....	44
6.3 Sonuç.....	44

BÖLÜM YEDİ – YAPAY SİNİR AĞLARI VE DENEY SONUÇLARI..... 45

7.1 Tarihçe.....	45
7.2 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı.....	46
7.3 Öğrenme.....	47
7.3.1 Danışmalı Öğrenme.....	48
7.3.2 Danışmasız Öğrenme.....	48
7.3.3 Takviyeli Öğrenme.....	48
7.4 Metodoloji.....	49
7.4.1 Çok Katmanlı Perseptron.....	49
7.5 Deneysel Sonuçlar.....	52

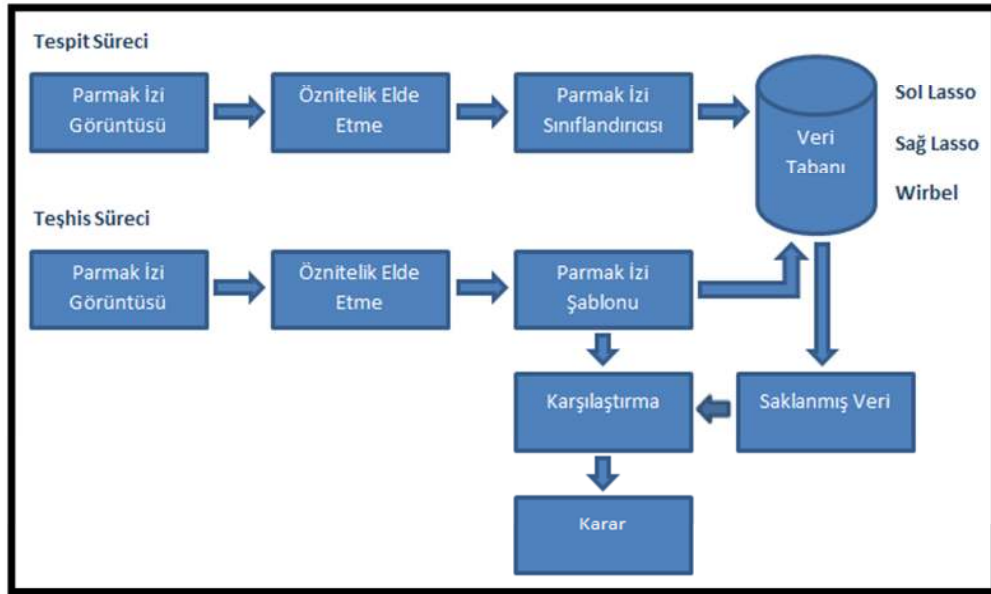
7.5.1 Yeni Kayıt Yaratma.....	53
7.5.2 YSA Eğitimi.....	54
7.5.3 Analiz.....	55
7.5.4 Uygulamayı Sonlandırma.....	56
7.6 Sonuç.....	56
BÖLÜM SEKİZ – SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	58
KAYNAKLAR.....	60

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Biyometrik tanıma sistemleri, kullanıcısının kaybolmayan, unutulmayan ve bir başkası tarafından kullanılmayan fiziksel ve davranışsal özelliklerini tanıyarak kimlik saptamak üzere geliştirilmiş bilgisayar kontrollü otomatik sistemlerdir. Bu sistemler, insan beyninin kişiyi tanıma ve diğerinden ayırt etme yöntemleri ile benzer şekilde çalışmaktadır. Parmak izi tanıma, el ya da imza tanıma, ses tanıma ve iris tanıma gibi çeşitleri olan biyometrik sistemler, günlük hayatın her alanında kullanılabilecek özelliklere sahiptir.

Biyometrik sistemlerin günlük hayatta en sıklıkla kullanılan çeşitlerinden biri olan parmak izi tanıma sistemleri, iki parmak izi arasında bir karşılaştırma yapma metoduna dayanmaktadır. Tüm biyometrik sistemlerde olduğu gibi parmak izi tanıma sistemleri bireyi hem tespit hem de teşhis edecek şekilde kullanılmaktadır. Söz konusu süreç Şekil 1.1’de özetlenmektedir.



Şekil 1.1 Parmak izi tanıma sistemleri tespit ve teşhis süreçleri.

Parmak izi tanıma sistemlerinde kullanılan bilgiler genellikle üç düzeyde incelenmektedir (Jain, Chen ve Demirkuş, 2006). Birinci düzey (örüntüler düzeyi), sırt hatlarının akışı ve örüntü tipleri gibi makro seviyede detaylar içermektedir. İkinci düzey (noktalar düzeyi), hatsonları ve çatallaşmalar gibi nitem noktalarını ya da Galton karakteristiklerini kapsamaktadır. Son düzey olan üçüncü düzey (şekil düzeyi), hat genişliği, şekli, porlar, kenar konturu ve diğer kalıcı detaylar gibi sırt hatlarının tüm özniteliklerinden oluşmaktadır. İstatistiksel analizler, birinci düzey özelliklerin sınıflandırma amaçları ile kullanılmasının uygun olacağını vurgularken ikinci düzey özelliklerin, parmak izlerinin bireyselliğini ortaya çıkaracak gerekli ve yeterli bilgiye sahip olacağını göstermektedir. Bu çalışmada, ikinci düzey özellikler kullanılmakta ve parmak izleri esas olarak hatsonu ve çatallaşma nitemleri yardımı ile sınıflandırılmaktadır.

Parmak izi sınıflandırma sürecine bakıldığında nitem kümelerine, tekil noktalara ve diğer tekniklere dayanan birçok sınıflandırma ve tanıma çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. Bu bölümde Monowar, Sarat ve Dhruba (2010)'nın derlediği çalışmalara yer verilmektedir.

- (a) Masayoshi, (1993) yaptığı çalışmada, dört katmanlı bir yapay sinir ağı mimarisi ve iki adımlı öğrenme metodu kullanılmaktadır. Tasarlanan yapının geniş veri kümelerinde çok etkin olmadığı, sınırlı sonuçlar ürettiğine değinilmektedir.
- (b) Kuru ve Jain (1996) ortak çalışmasında, giriş görüntüsündeki her piksel için sırt hatlarının yönü bulunmaktadır. Tekil noktalar olarak adlandırılan merkez ve delta noktalarının global özellikleri algoritma tarafından çıkarılmakta ve sınıflandırma bu tekil noktaların sayısı ve yerine göre yapılmaktadır. Bu yaklaşımın, kalitesi yüksek görüntülerde oldukça başarılı olduğu değerlendirilmektedir.
- (c) Ballan, Sakarya ve Evans (1997) ortak çalışmasında, öznitelik tabanlı teknik kullanılmakta ve bu teknik sayesinde yöne ait histogramlar yardımı ile tekil noktalar ortaya çıkarılmaktadır. Algoritma ark, tak, sağa ve sola yatık lasso tipi izlerle wirbel tipi izleri sınıflandırmaktadır. Ancak sınıflandırmanın işletim zamanı uzun süre almaktadır.
- (d) Jain, Prabhakar ve Hong (1999) ortak çalışmasında, FingerCode kavramı ortaya atılmaktadır. Bu yeni kavram kullanılarak parmak izleri dairesel, sağa yatık,

sola yatık, ark ve tak olarak sınıflandırılmaktadır. Burada ilgi alanının doğru belirlenmesi ve merkez noktanın doğru olarak bulunması önemlidir.

(e) Karungaru, Fukuda, Fukumi ve Akamatsu (2008) ortak çalışmasında, parmak izlerini tanımada sınıflandırma aşamasında YSA'nın kullanılmasının daha iyi sonuç vereceği ileri sürülmekte ve geliştirilen yaklaşım sonucunda %94,5 oranında başarı elde edildiğine değinilmektedir.

Bu çalışmalardaki başarı durumları Tablo 1.1'de özetlenmektedir. Parmak izi sınıfı, kullanılan parmak izlerinin toplam tip sayısını belirtmektedir.

Tablo 1.1 Parmak izi tanıma çalışmaları başarı karşılaştırması

Çalışma	Parmak İzi Sınıfı	Başarı Yüzdesi	Çalışma	Parmak İzi Sınıfı	Başarı Yüzdesi
Wilson et al.	5	81,0	Wilson et al.	4	86,0
Karu & Jain	5	85,4	Karu & Jain	4	91,4
Jain	5	90,0	Jain	4	94,8
Hong & Jain	5	87,5	Hong & Jain	4	92,3
Cappelli et al.	5	92,2	Senoir	4	88,5
Yao et al.	5	89,3	Yao et al.	4	94,7
Chang & Fan	5	94,8	Monowar	4	98,3

Bununla birlikte, Zhang, Huang ve Yan (2006) ortak çalışmasında yapılan inceleme sonucunda farklı yöntemler birbirleri ile karşılaştırılarak Tablo 1.2'de özetlenmektedir.

Tablo 1.2 Parmak izi sınıflandırılmasında kullanılan farklı yöntemlerin karşılaştırılması

Yöntem	5-Sınıf Başarı Yüzdesi	4-Sınıf Başarı Yüzdesi
Psödo Hat İzleme	84,0	95,3
Yapay Sinir Ağı	90,0	94,8
Hat Yapısı	87,5	92,3
İki Aşamalı Sınıflandırıcı	86,4	92,1
En Yakın K-Komşuluğu	85,4	91,5

BÖLÜM İKİ

TANIMLAR

2.1 Tarihçe

İzmir Emniyet Müdürlüğü Olay Yeri İnceleme Müdürlüğü, (b.t.) eğitim dokümanlarında, parmak izleri ile ilgili olarak takip eden tanımlara yer vermektedir: “Parmakların birinci boğumu ile tırnak ucu arasında kalan papil hatlarının, yüzeylere teması sonucu yüzeyler üzerinde oluşturdıkları izlere parmak izi denir.” Parmak izini papil denilen ince hatlar oluşturmaktadır. Papiller, por denilen küçük deliklerin bir zincir gibi hücresel dizilişinden oluşmaktadır. Vücut sıvılarının bu porlardan geçerek papil hatları üzerinde bıraktıkları kalıntılar ile bir yüzey üzerinde temas bulunulduğunda bu kalıntıların transferi ile parmak izleri oluşmaktadır.

Kriminal soruşturmaların başlangıcından beri polis, insanları ayırt edebilmenin yanılmaz bir yolunu aramıştır. Kişisel saptama konusunda ilk sistematik girişim 1883 yılında bir Fransız polis uzmanı olan Alphonse Bertillon tarafından keşfedilmiş ve tanıtılmıştır. Bertillon sistemi şüphelinin detaylı bir tanımının (portatif parle) tam boy ve profil fotoğrafları ile antropometri olarak bilinen kesin vücut ölçüleri sistemi ile birleştirilmesine dayanmaktadır.

Antropometrinin bir kimlik saptama metodu olarak kullanımı, insan kemik sistemi ölçülerinin yirmi yaşından ölünceye kadar sabit kaldığı dayanak noktası üzerine kurulmuştur. İskelet ölçülerinin, hiçbir iki kişinin tam olarak aynı ölçülere sahip olamayacak kadar çeşitli olduğu düşünülmektedir. Bertillon insan anatomisinin on bir ölçüsünün rutin şekilde alınmasını tavsiye etmiştir. Bunlar; boy, kol uzunluğu, kafanın genişliği ve sol ayağın uzunluğunu içermektedir.

Yirmi yıl boyunca bu sistemin en doğru kimlik saptama metodu olduğu düşünülmüştür. Ancak yeni yüzyılın ilk başlarında polis, parmak izleri olarak bilinen hparmak çizgi modellerinin sınıflandırılmasına dayanan bir kimlik saptama sistemini değerlendirmeye ve kabul etmeye başlamıştır. Bugün parmak izi, modern kriminal kimlik saptamasının direğidir.

Kanıtlar, Çinlilerin parmak izini üç bin yıl önceden beri yasal belgeleri imzalamak için kullandığını ortaya koymuştur. Ancak bu uygulamanın törensel bir gelenek için mi yoksa kimlik saptamanın bir yolu olarak mı kullanıldığı tarihe gömülmüş bir varsayım noktası olarak durmaktadır. Her halükarda, antik tarihteki parmak izi alma örnekleri belirsizdir ve günümüzde mevcut olan çok azı da bugün bizim bildiğimiz gibi parmak izi alma tekniklerinin geliştirilmesine katkıda bulunmamıştır.

Bertillon, kendi sistemi üzerinde çalışmaya başlamadan birkaç yıl önce, Hindistan'da görev yapan bir İngiliz devlet memuru olan William Herschel, yerlilerden sözleşmeleri bir damga ıstampasına bastırılan sağ elin bir izi ile imzalamalarını isteme uygulamasını başlatmıştır. Herschel'in bu isteğinin nedenleri muallâkta kalmıştır; parmak izi almayı bir kimlik saptama aracı olarak mı yoksa Hindu geleneğine göre vücutla yapılan bir temas izinin sözleşme üzerindeki bir imzadan daha bağlayıcı olduğu alışkanlığından mı kullandığı şüphelidir. Japonya'da bir hastanede çalışan İskoç bir doktor olan Henry Faulds kişisel kimlik saptaması için parmak izinin potansiyel uygulaması hakkındaki görüşlerini yayınlayana kadar Herschel faaliyetleri hakkında hiçbir şey yayımlanmamıştır.

Faulds, 1880 yılında özel bir yayınlı kurduğu iletişimde deri çizgi modellerinin suçluların saptanmasında önemli olabileceğini öne sürmüştür. Badana yapılmış bir duvarda parmak izini bırakan bir hırsız hakkındaki bir olayı ve bu izleri şüphelinin parmak izleri ile karşılaştırdığında izlerin tamamen farklı olduğunu anlatmıştır. Birkaç gün sonra parmak izleri duvardaki izlerle karşılaştırılan başka bir şüpheli bulunmuş ve kişi bu kanıtlarla karşılaşınca suçunu itiraf etmek zorunda kalmıştır.

Faulds, parmak izlerinin, saptamanın şaşmaz kanıtını verdiğiğine ikna olmuştur. Hatta Scotland Yard'da metodun pratikliğini test etmek için masrafları kendine ait olmak üzere bir parmak izi bürosu kurmayı teklif etmiştir. Fakat önerisi Bertillon sisteminin lehine olmak üzere reddedilmiş, ancak bu karar yirmi yıldan az bir süre sonra tersine dönmüştür.

Polis ajanlarının parmak izinin potansiyel uygulamasının farkına varmalarını sağlamak için ihtiyaç duyulan hızı, Francis Galton adındaki başka bir İngiliz tarafından yapılan parmak izi alma konusundaki kapsamlı bir araştırma sağlamıştır.

1892 yılında Galton, konu hakkındaki türünün ilk kitabı olan klasik ders kitabı “Parmak İzleri”ni yayımlamıştır. Kitabında parmak izlerinin anatomisini tartışmış ve bunları kaydetmek için metotlar önermiştir. Galton ayrıca parmak izlerini üç model türüne -lup, yay ve helezon- ayırmayı teklif etmiştir. En önemlisi kitap ikna edici bir şekilde hiçbir iki parmak izinin aynı olmadığını ve bir bireyin parmak izlerinin yıldan yıla değişmeden aynı kaldığını göstermiştir. Galton’un ısrarı üzerine İngiliz hükümeti parmak izi almayı Bertillon sistemine ek olarak kabul etmiştir.

Parmak izi teknolojisinin gelişiminde ikinci aşama, binlerce izi mantıklı ve aranabilir bir sıraya sokabilecek sınıflandırma sistemlerinin yaratılması olmuştur. Galton’un çalışmasından etkilenen Arjantinli bir polis memuru Dr.Juan Vucetich, 1891’de uygulanabilir bir kavram keşfetmiştir. Vucetich’in sınıflandırma sistemi yıllar içinde artırılmış ve günümüzde İspanyolca konuşan ülkelerin çoğunda hala geniş çaplı olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1897 yılında Sir Edward Richard Henry adındaki bir İngiliz tarafından başka bir sınıflandırma sistemi önerilmiştir. Dört yıl sonra Henry’nin sistemi Scotland Yard tarafından kabul edilmiştir. Bugün Birleşik Devletler de dâhil olmak üzere İngilizce konuşan ülkelerin çoğu parmak izlerini dosyalamak için Henry’nin sisteminin bazı versiyonlarını kullanmaktadır.

Yirminci yüzyılın başlarında Bertillon’un ölçme sistemi beğenisini kaybetmeye başlamıştır. Verdiği sonuçların, özellikle ölçüler konusunda eğitim verilmemiş kişiler tarafından alındığında, hataya karşı çok hassas olduğu görünür hale gelmiştir. Sistem, 1903 yılında William West adındaki bir mahkûm Fort Leavenworth hapisanesine gittiğinde en şiddetli ve dikkate değer düşüşünü yaşamıştır. Hapishane dosyalarında yapılan rutin bir kontrol, hapishanede zaten var olan insanların vücut ölçüleri ve hatta fotoğraflarla bile yeni mahkûmdan ayırt edilemediği gerçeğini ortaya koymuştur. Gerçekte bu iki adam ikiz kardeş kadar birbirlerine benzemektedir ve ölçüleri de hemen hemen aynıdır. Sonuç olarak her iki mahkûmun parmak izi onları birbirinden ayırmıştır.

Birleşik Devletlerde kişisel kimlik saptama için parmak izlerinin ilk sistematik ve resmi kullanımı 1901 yılında Newyork Kamu Hizmet Komisyonu tarafından kabul edilmiştir. Metot, bütün kamu hizmetleri uygulamalarını belgelemek için kullanılmıştır. Bazı Amerikan polis memurları, 1904’te St. Louis’deki dünya

fuvarında Scotland Yard'dan gelen temsilcilerden parmak izi saptanması hakkında dersler almıştır. Fuardan ve William West olayından sonra parmak izi alma Birleşik Devletlerin bütün büyük şehirlerinde kararlı bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. 1924'de Araştırma Bürosu ve Leavenworth Hapishanesi parmak izi kayıtlarını yeni Federal Araştırma Bürosunun kimlik saptama kayıtlarının çekirdeğini oluşturmak için birleştirmiştir. Şu anda FBI, dünyanın en büyük parmak izi koleksiyonuna sahiptir. 1.Dünya Savaşı'nın başlaması ile İngiltere ve özellikle tüm Avrupa suçluları teşhis etmenin esas yöntemi olarak parmak izini benimsemiştir.

Bugün bizim de uygulamakta olduğumuz Henri-Galton tasnifinin, Herschel'in yardımcısı Henri ile meşhur bilgin Darwin'in asistanı Galton kurmuşlardır.

Kriminalistlikle en çok uğraşmış bazı kimseler, parmak izinin mucidi olarak meşhur Alphonse Bertillon'u göstermektedir. Metrik fotoğrafıyı, idantite fotoğraflarını, portreparleyi, belirtileri ve nihayet antropometriyi polise sokan bu büyük Fransız, Bertillon tasnifi denilen bir parmak izi tasnifi usulünü kurmuştur. Hatta 2 Ekim 1902 tarihli raporuyla Scheffer isminde bir katili teşhis ederek parmak izini Fransa'da ilk tatbik etme şerefini de kazanmıştır.

Parmak izleri bize 1910 yılında bir Macar tarafından getirilmiştir. Bu Macar bilahare Müslüman olarak Yusuf Cemil adını almıştır. Bununla beraber en kenar köylerimizde bile yazı bilmeyenlerin senetlerini parmak basmak suretiyle imzaladıkları da dikkate alınırsa parmak izlerinin bize batıdan gelmeden ve polisimizde kullanılmadan önce de halkımız tarafından kullanılmakta olduğu bilinmektedir.

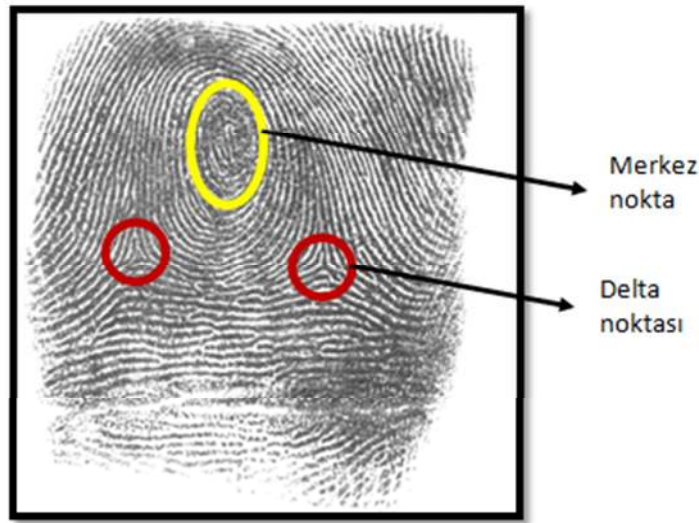
2.2 Parmak İzinin Özellikleri

Kayseri Olay Yeri İnceleme Müdürlüğü, (b.t.) parmak izlerinin üç temel özelliğine değinmektedir. Bu temel özellikleri parmak izinin mükemmel bir kimlik tespit (izlerden faydalanılabilmesi için fiziksel olarak kaydedilmesi) ve teşhis (izin incelenerek diğer izlerden farklı olduğunu ortaya çıkararak bir kişiye ait olduğunun ortaya çıkarılması) aracı olduğunu ortaya koymaktadır. Anılan üç özellik aşağıda sırasıyla tanımlanmaktadır:

- (a) Değişmez-Değiştirilemez Özelliği: Bir kişinin parmak izleri anne karnında oluşmakta ve kişi ölene kadar değişmeden varlığını, yapısını ve karakteristiğini korumaktadır. Dıştan yapılan bir müdahale, parmak izlerini değiştirememektedir.
- (b) Benzemez-Benzetilemez Özelliği: Bir insanın sahip olduğu on parmak izinin her biri birbirinden farklı olup hiçbiri bir diğerine benzememektedir. Dıştan bir müdahale olsa dahi bir parmak izini diğerine benzetmek imkânsızdır.
- (c) Tasnif Edilebilir Özelliği: Parmak izlerini belli formüller yardımıyla arşivlemek mümkündür.

2.3 Parmak İzi Anatomisi

Parmak izi, parmağın epidermis tabakasının tipik örneğidir. Parmak izleri üzerindeki bazı hatlar, parmağın bir tarafından başlayarak merkezde kırılmaya ve bozulmaya uğramadan dönüş yaptıktan sonra aynı yönde devam etmekte ve kendi etrafında kıvrılıp kement meydana getirebilmektedir. Eğer parmak izinde yukarıya doğru bir kement varsa, bu kemendin en ortadaki kıvrım noktasına “göbek noktası” denir ve bu nokta, o parmak izinin merkez noktası olarak kabul edilir. Bununla birlikte, parmak izinin merkez şeklini oluşturan merkez noktası ile aşağıdan çevreleyen çevre hattının birleştiği veya birbirlerine yaklaştığı yerlerde her bir kemende karşılık bir grup hattın meydana getirdiği delta noktası bulunmaktadır. Merkez noktası ve delta noktası/noktaları Şekil 2.1’de örneklenmektedir.



Şekil 2.1 Merkez ve delta noktaları

Bazı parmak izlerinde hiçbir merkez noktası ve delta noktası bulunmamaktadır. Parmak izleri, üzerindeki sırt hatlarının temel davranışına göre belli ana sınıflara ayrılmaktadır. Aşağıdaki tanımlarda belirtilen yönler, kopyası alınıp incelenen parmak izinin bakış açısına göre belirlenmektedir. İzlerdeki yönlerin sağ ya da sol elin parmaklarına ait oluşuna göre yönleri değiştireceği ortadadır; ancak bu durum bir kabul meselesi olduğundan, normal şartlar altında karışıklığa yol açmamaktadır.

Ark Tipi İzler: Bu tip parmak izlerinde sırt hatları parmağın sol yanından başlayarak yükseldikten sonra, ortada kemer şeklinde kıvrılarak sağ tarafa doğru alçalmaktadır. Sol ve sağ taraftaki hatların eğrileri az olmakta ve bu tip parmak izlerinde merkez ve delta noktaları bulunmamaktadır. Ark tipi izlerin insanların %5-7'sinde görüldüğü bilinmektedir.

Tak Tipi İzler: Ark tipi izlerden farklı olarak, hatlar sağdan sola geçerken orta kısımda ters T harfi şeklinde birbirlerine neredeyse dik duruma gelmektedirler. Ark ve tak tipi izler, insanların %5-7'sinde belirlenmiştir.

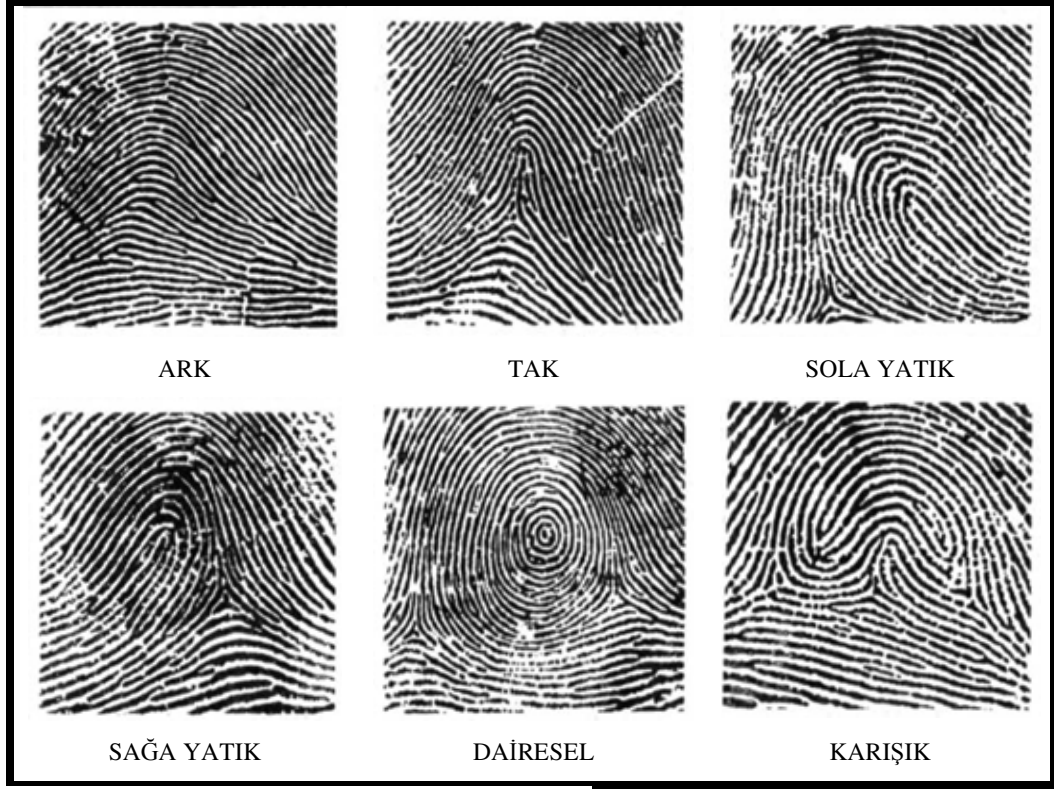
Sola Yatık İzler: Bu tip parmak izlerinde hatlar, yatık bir şekilde sağ taraftan gelip ortada kendi üzerinde kıvrıldıktan sonra yine geldiği yöne dönmektedir. Böylece kıvrım yerinde sola yatık bir kement görülmektedir. Bu tip izlerde kemendin ucunda merkez noktası ve sol tarafta bir delta noktası bulunmaktadır.

Sağa Yatık İzler: Sola yatık izlerle aynı özellikleri taşımaktadır. Fakat hatların geliş yönü sol taraftadır. Sağa yatık izlerde kemendin ucunda bir merkez noktası ve sağ tarafta bir delta noktası bulunmaktadır. Bu izlere %67-70 oranında rastlanmaktadır.

Dairesel İzler: Bu tip parmak izlerinde hatlar parmak izinin ortasındaki bir merkez çevresinde dönen iç içe daireler şeklinde dizilmektedir. Her iki alt köşede delta noktaları bulunmaktadır. Toplumun %25lik kesiminde görülmektedir.

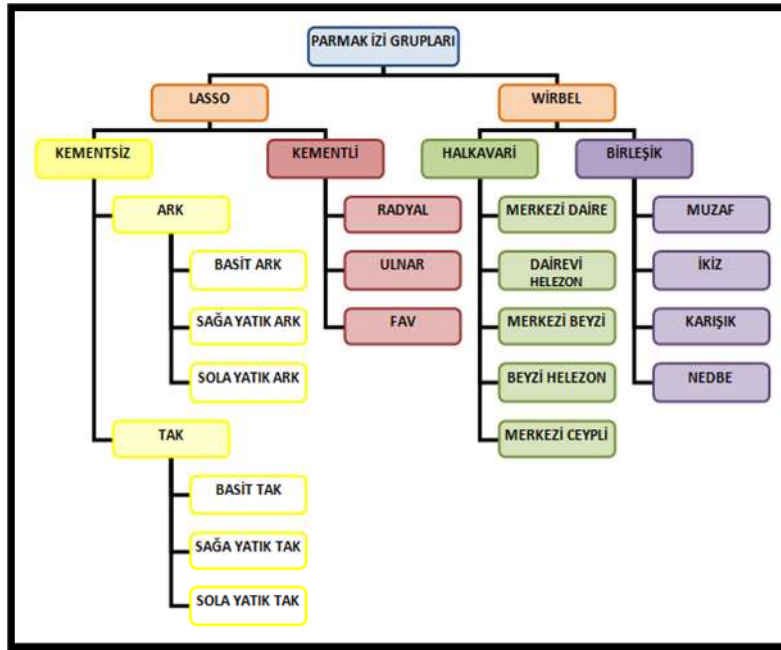
Karışık İzler: Bu tip parmak izlerinde farklı ya da aynı tip izler odaklar halinde bulunmaktadır. Bu izlere %1-2 oranında rastlanmaktadır.

Yukarıdaki tanımlar Şekil 2.2'de örneklenmektedir.



Şekil 2.2 Parmak izi tipleri

Şekil 2.3'te parmak izleri gruplarının detayı verilmektedir.



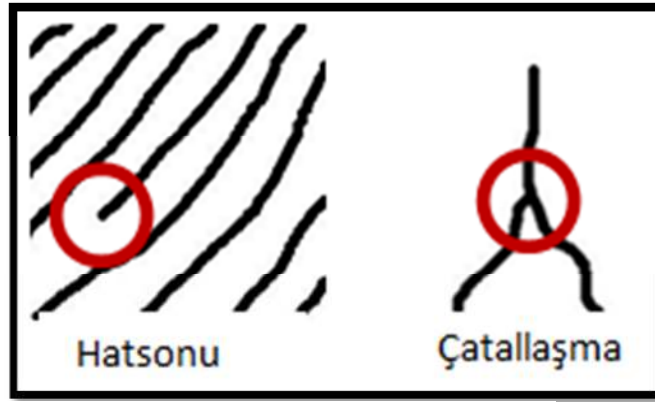
Şekil 2.3 Parmak izi grupları

Dikkatle incelendiğinde, parmak izlerindeki bazı hatların ani olarak sonlandığı veya ortadan ikiye ayrılıp bir çatallı oluşturduğu görülmektedir. Bu karakteristik noktalar, 1888’de Sir Francis Galton’un izleri üzerinde gözlemlediği ve “nitem” olarak tanımlanan zengin detaylardır. Nitemler aynı zamanda, Galton’un onuruna “Galton noktaları” olarak da anılmaktadır. Parmak izi uzmanları bir kısmı Şekil 2.4’te resmedilen 19 farklı tip nitem tanımlama yeteneğine sahip olmalarına rağmen, otomatik parmak izi tanıma sistemleri genellikle iki çeşit nitem üzerine kurulu yapıya sahiptir. Bu noktalar sırasıyla hatsonu ve çatallaşma olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.4 Nitem türleri

Parmak izleri için esas ayırt edici özellik, nitemlerin parmak izi içerisinde bulunduğu yerler ve yönleridir. Mevcut tüm parmak izleri dikkatlice karşılaştırıldığında, ana yapı olarak birbirine benzeseler de, nitemler göz önüne alındığında aslında çok farklı oldukları görülmektedir. Bu farklılıklar öyle ayırt edicidir ki, yapılan çalışmalarda yeryüzündeki iki farklı insanın aynı parmak izine sahip olma olasılığı 64 milyarda bir olarak saptanmaktadır.



Şekil 2.5 Hatsonu ve çatallaşma detaylı görünüm

Şekil 2.5 hatsonu ve çatallaşmayı örneklemekte olup örnek üzerindeki siyah pikseller sırt hatlarını, beyaz pikseller ise vadileri temsil etmektedir.

2.4 Parmak İzi Alınması ve Tanıma

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

Parmak izleri, adli olayların aydınlatılması ve suçluların ortaya çıkarılmasında önemli bir delil olarak uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Bir adli birimde parmak izlerinin geleneksel yöntemlerle incelenmesi ve olayların aydınlatılması şu şekilde olmaktadır:

Olay yerinden gelen, sahibi belli olmayan bir parmak izi büyüteç altında incelenmektedir. Bu parmak izinin ana sınıflardan hangisine ait olduğu belirlenmektedir. Parmak izinin merkez noktası işaretlenmekte ve daha sonra hatsonu ve çatallar belirlenmektedir. Önceden aynı şekilde incelenip dosyalanmış parmak izi formları arasından parmak izi ana sınıfları aynı olan parmak izleri ele alınmakta ve

benzer parmak izi sınıfındaki parmak izleri, nitemlerin yerleşmeleri ve yönleri göz önüne alınarak detaylı incelemeden geçirilmektedir. Burada nitemlerin birbirlerine ya da merkez noktalarına olan uzaklıkları ayırt edici bir bilgidir.

Parmak izi incelemelerinde uzaklık birimi olarak "hat sayısı" kullanılmaktadır. Hat sayısı, bir parmak izi üzerindeki iki nokta arasında çizildiği varsayılan doğrunun kestiği papilla sayısıdır. Bu ölçüm için milimetre gibi standart uzaklık ölçü birimlerinin kullanılmamasının nedeni, herhangi bir yüzeyde parmak izi bırakıldığı zaman basınç değişimlerinden dolayı bu ölçümlerin farklılık göstermesidir. Yani hafifçe dokunarak ve kuvvetlice bastırılarak alınmış iki parmak izi arasındaki ölçümlerde büyük farklılıklar görülmektedir. Hat sayısı ise farklılıklardan etkilenmeyen ve o parmak izine özgü belirleyici bir ölçü birimidir.

Eğer incelenen parmak izi ana sınıfı, merkez ve delta noktalarının yeri, belirlenen nitemlerin yerleri, yönleri ve birbirleri ya da merkez noktasına olan hat sayısı uzaklıkları tutuyorsa bu iki parmak izi aynı kişiye aittir. Bu sayede araştırılan olay ya da kişi daha önceki olay veya kişilerle ilişkilendirilmiş olmaktadır. Eğer benzer parmak izine rastlanmamışsa, yeni gelen parmak izi de eldeki parmak izi arşiv dosyalarına eklenmektedir. Böylece bu parmak izi gelecekte başka bir incelemede kullanılabilecektir.

Geleneksel metotlar, incelenecek parmak izi sayısı arttıkça zaman alıcı ve zor bir iş haline gelmiştir. Buna parmak izi tanıma konusunda bilgili uzmanları yetiştirmenin zorluğu da eklenmektedir. Bilgisayar ve görüntü işleme teknolojisinde son yıllarda görülen gelişmeler sayesinde, parmak izleri otomatik olarak hızlı bir şekilde incelenmekte ve tanınmaktadır.

BÖLÜM ÜÇ

PARMAK İZİ GÖRÜNTÜ KALİTESİNİ İYİLEŞTİRME

Parmak izlerini oluşturan sırt hatları, parmak izi hakkında önemli karakteristik bilgiye sahiptir ve bu nedenle söz konusu eğrilere nitem çıkarımı için gereksinim duyulmaktadır (Raymond, 2003). İdeal bir parmak izinde sırt hatları ile vadilerin birbirlerini sıra ile takip etmeleri ve sabit yönde akışa sahip olmaları beklenmektedir. Ancak, pratikte ideal parmak izi üzerinde çalışmak pek de mümkün olamamaktadır. Parmak üzerindeki yara izleri, nem, kir ve parmak izi alma ortamına bağlı olarak iz üzerinde meydana gelen gürültüler, sırt hatları ve vadilerin arzu edilen netlikte elde edilmesini engellemektedir. Bu nedenle, mevcut gürültüyü en aza indirerek görüntü kalitesini iyileştirme teknikleri ile sırt hatları ve vadiler birbirlerinden ayırt edilmektedir.

3.1 Literatür

Parmak izi görüntülerinin kalitesi zaman zaman kontrol edilebilmesi oldukça güç olan birçok faktör tarafından etkilenmektedir. Bu nedenle parmak izine dayalı sistemler, orta ve düşük (telafi edilebilir düzeyde) kaliteli görüntüleri işleyebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Bazı durumlarda, birtakım görüntü kalitesini iyileştirici yöntemlerin kullanımıyla görüntü kalitesini önemli ölçüde artırmak olanaklıdır. Sözü edilen yöntemlerin esas amacı, izlerdeki sırt hatları yapılarını ortaya çıkarmak ya da sırt hatları yerleşiminin tutarlılığını artırmaktır. Gürültülü bölgelerde, sırt hatlarının ideal yerleşimini tanımlamak zordur. Parmak izi tanımada kullanılacak öznitelik verilerini elde etmeden önce görüntü kalitesini iyileştirecek işlemler “ön-işleme” olarak da nitelendirilmektedir. Takip eden bölümlerde, parmak izi görüntülerinin ön işleminde kullanılan adımlar açıklanmıştır.

3.1.1 Sektörizasyon

Parmak izi verilerinin özniteliklerini elde etmeden önce, parmak izi bölgelerinin görüntünün arka planından ayrılması önemlidir. Bu işlem adımı, işlem bölgesini sınırlandırarak yanlış öznitelik çıkarımının önüne geçtiği gibi aynı zamanda da

işletim süresini azaltmaktadır. Doğru sektörizasyon, özellikle zayıf görüntü kalitesine sahip parmak izlerinde veya özniteliklerin belirgin olmadığı gürültü içeren izlerde oldukça zordur.

3.1.2 Normalizasyon

Normalizasyon, gürültüyü elimine ederek ve düzgün olarak alınmayan parmak izleri üzerindeki deformasyonları düzelterek görüntü kalitesini iyileştiren basit bir metottur. Normalizasyon yaklaşımı, görüntüyü meydana getiren her pikselin yoğunluğunu değiştirmeyi amaçlayarak görüntünün bütününe ait ortalama ve varyans değerlerinin ön tanımlı değerlere dönüşmesini sağlamaktadır. Ancak, normalizasyon, sırt hatlarının netliğini ve kontrastını korurken onlar üzerinde herhangi bir düzeltme işlemini gerçekleştirmemektedir.

3.1.3 Yön Tayini

Parmak izi hatlarının yönleri; parmak izlerinin görüntü kalitesinin iyileştirilmesi, izlerin sınıflandırılması ve tekil noktaların (delta ve\veya merkez nokta) bulunmasını da içeren geniş bir alanda oldukça kullanışlıdır. Bu nedenle, yönlerin doğru olarak tayin edilmesi kritik değerdedir. Gradyan tabanlı yön tayini, açık bir yöntem olup parmak izi görüntülerinin doğru yön bulmayı engelleyecek gürültülü bölgeler içermesi gibi nedenlerle sırt hatlarının yönlerinin doğruluğunu tam olarak garanti edememektedir. Bu gibi durumlar, hatalı sırt hattı akışı, parmak izlerinin yanlış sınıflandırılması ya da yanlış tekil nokta işaretlenmesi gibi yanlış yön verileri ile sonuçlanabilmektedir (Limin ve Tian-Shyr, 2009).

3.1.4 Sırt Hatları Frekans Tayini

Jain ve Hong (2004) çalışmalarında, kimi durumlarda, nitem ya da tekil noktaların bulunduğu yerel komşuluk içinde yer alan sırt hatları ve vadi yapıları, arzu edilen sinüsel dalgayı meydana getiremediğinden söz etmektedir. Bu gibi durumlarda frekans, komşuluktaki ortalama frekans olarak ele alınmaktadır.

3.1.5 Gabor Filtresi Kullanımı

Yerel sırt hatlarının yönleri ve frekanslarını ayarlamak için kullanılan Gabor filtrelerinin, normalize edilmiş parmak izi görüntüsündeki sırt hatları ve vadileri oluşturan piksellere uygulanması ile parmak izi görüntü kalitesinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Başarılı şekilde tanımlanmış frekans ve yön bilgileri ile birbirine paralel sırt hatları ve vadilerin yapılandırılması, parmak izi görüntüsünde yararlı öznitelikleri ön plana çıkarmakta ve istenmeyen izleri ve gürültüyü ortadan kaldırmaktadır. Gabor filtreleri hem frekans-seçici hem de yön-seçici özelliğe sahip olup uzamsal ve frekans alanlarında en uygun çözünürlüğe sahiptir.

Jain ve Hong (2004), Gabor filtrelerinin bandpass filtreler olarak istenmeyen iz ve gürültüyü ortadan kaldırdıklarını ve doğru sırt hattı ve vadi yapılarını korumak için kullanımlarının uygun olduğunu değerlendirmişlerdir. Görüntü üzerinde Gabor filtrelerini uygulamak için üç parametreye gereksinim duyulmaktadır. Bu parametreler sinüsel dalganın frekansı, filtrenin yönü ve Gauss-alanının standart sapmasıdır. Burada, filtrenin frekans karakteristiğinin tamamıyla yerel sırt hatlarının yönleri tarafından belirlenen yönü ve frekansı kullandığı açıkça görülmektedir. Gauss-alanı değerleri, bir kritik bir değerlendirme içermektedir. Değerler ne kadar büyük olursa, filtre gürültüye karşı o kadar dayanıklı ve sağlam olacak; ancak öte yandan sahte sırt hatları ve vadilerin oluşumu engellenememektedir. Benzer şekilde, değerlerin çok küçük olması, filtrenin daha az sayıda hatalı hat ve vadi oluşturması sağlarken, filtrenin de hassasiyetini azaltmaktadır.

3.1.6 İkileştirme

Nitem elde etmek için kullanılan birçok algoritma, ikilileştirilmiş görüntüler üzerinde işlem yapmaktadır. Bu görüntüler, iki düzeyli görüntüler olup görüntüyü meydana getiren siyah pikseller sırt hatlarını, beyaz pikseller ise vadileri temsil etmektedir. İkileştirme adımı, gri ölçekli görüntünün ikili görüntüye dönüşmesi sürecini içermektedir. Bu dönüşüm sonrasında, sırt hatları ve vadiler arasındaki zıtlık daha belirgin olarak ortaya çıkmakta ve dolayısı ile nitem elde etmeye yarar sağlamaktadır.

Gabor filtrelerinin bir özelliği, DC eleman olarak sıfır değerine sahip olmasıdır. Bu, filtrelenen görüntünün ortalama piksel değerinin sıfır olduğu anlamına gelmekte ve görüntünün ikilileştirme işleminin ardından global eşik değerinin sıfır olarak kullanımı gerektirmektedir. İkilileştirmede global eşik değerinin üzerindeki piksel değeri ikili 1, global eşik değerinin altındaki piksel değeri ikili 0 olarak değerlendirilmektedir. Sonuçta, iki düzeyden oluşan ikilileştirilmiş görüntünün arka planı vadileri oluştururken, ön planı sırt hatlarını meydana getirmektedir.

3.1.7 İnceltme

Nitem elde etmek için görüntü kalitesini iyileştirmeye yönelik uygulanan işlem adımlarının sonuncusu, inceltme işlemidir. İnceltme, görüntünün ön planındaki pikselleri bir piksel kalınlığında kalıncaya dek görüntüyü aşındıran morfolojik bir işlemdir. Her iterasyon, ikili görüntüdeki her pikselinin komşuluğunu incelemekle başlamaktadır ve piksellerin silinip silinemeyeceği muhakemesine dayanan belirli bir piksel silme kriterini uygulamaktadır. Sözü edilen iterasyonlar, silinecek piksel kalmayınca dek devam etmektedir.

Parmak izi görüntüsüne uygulanan inceltme algoritması ile ikili görüntünün iskelet versiyonu biçimlenirken sırt hatlarının birbirleri ile olan bağlantısı korunmaktadır.

3.2 Metodoloji

3.2.1 Sektörizasyon

Parmak izi görüntü kalitesinin iyileştirme yöntemlerinin ilk adımı sektörizasyondur. Sektörizasyon yöntemi ile ön plandaki bölgeler, görüntünün arka planından ayrılmaktadır. Böylece ön plan, sırt hatları ve vadilerden oluşan temiz çalışma ortamı olarak elde edilmektedir. Arka planda kalan bilgiler, ilgi alanı dışında kalan kesimler olup çalışma dışında tutulmaktadır. Söz konusu bölgelerin, nitem elde etme işlemlerine dâhil edilmesi durumunda, gürültülü ve yanlış nitemler elde edilmiş olacaktır. Bu gerçekten hareketle Raymond (2003), çalışmasında sektörizasyonun, görüntünün arka plan bölgelerini ihmal ederek güvenilir nitem elde etmeye yardımcı olduğunu açıkça ifade etmektedir.

Bir parmak izi görüntüsü incelendiğinde, arka plan bölgelerinin çok düşük varyansa sahip gri ölçekli bölgeler olduğu görülmektedir. Bu nedenle, varyans eşik değerine bağlı bir metodun sektörizasyon için kullanılması uygun görülmüştür. Bunun için öncelikle görüntü bloklara ayrılmakta, ardından her blok için varyans değeri hesaplanmakta, elde edilen varyans değeri belli eşik değerinin altında ise blok arka plan bölgesi, aksi durumda ön plan bölgesi olarak etiketlenmektedir. $I(i,j)$, (i,j) pikselindeki gri ölçek değeri ve $M(k)$ ortalama gri ölçek değeri olmak üzere, $W \times W$ boyutlu bir k -bloğu için $V(k)$ varyansı Denklem 3.1'deki gibi tanımlanmaktadır:

$$V(k) = \frac{1}{W^2} \sum_{i=0}^{W-1} \sum_{j=0}^{W-1} (I(i,j) - M(k))^2 \quad (3.1)$$

3.2.2 Normalizasyon

Görüntü kalitesini artırma sürecinde bir sonraki adım normalizasyondur. Normalizasyon, gri ölçekli değerleri istenilen değer aralığında ayarlayarak görüntüdeki yoğunluk değerlerini standardize etmektedir. Bu şekilde, değerler arzu edilen aralıkta kalmaktadır. $I(i,j)$, (i,j) pikselindeki gri ölçek değeri ve $N(i,j)$, (i,j) pikselindeki normalize değeri olmak üzere, normalize edilmiş görüntü Denklem 3.2'deki gibi ifade edilmektedir:

$$N(i,j) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\frac{V_0(I(i,j) - M)^2}{V}}, & \text{if } I(i,j) > M, \\ M_0 - \sqrt{\frac{V_0(I(i,j) - M)^2}{V}}, & \text{if } I(i,j) \leq M. \end{cases} \quad (3.2)$$

3.2.3 Yön Tayini

Yön tayini, görüntü kalitesini iyileştirme sürecinde yer alan en temel adımdır. Takip eden adımdaki Gabor filtresi işlemleri bu adımda ortaya çıkan sonuçlara doğrudan bağlıdır.

Julasayvake ve Choomchuay (2007)'ın yaptıkları çalışma, yön tayini, görüntünün $W \times W$ bloklarına bölünmesi, her (i,j) pikseli için $\partial_x(i,j)$ ve $\partial_y(i,j)$ gradyan değerlerinin hesaplanması, yerel yön değerlerinin Denklem 3.3 ve Denklem 3.4 eşitlikleri ile yön alanının Denklem 3.5 eşitliği ile bulunması, yön görüntüsünün Denklem 3.6 ve Denklem 3.7 eşitlikleri kullanılarak sürekli vektör alanına dönüştürülmesi, elde edilen vektöre Denklem 3.8 ve Denklem 3.9 eşitlikleri ile verilen low pass filtresinin uygulanması ve yeniden düzenlenen yön alanlarının Denklem 3.10 eşitliği ile hesaplanması adımlarını içermektedir.

Y_x ve Y_y yerel yön koordinatları olmak üzere;

$$Y_x(i, j) = \sum_{u=1-W/2}^{i+W/2} \sum_{v=j-W/2}^{j+W/2} 2 \partial_x(u, v) \partial_y(u, v), \quad (3.3)$$

$$Y_y(i, j) = \sum_{u=i-W/2}^{i+W/2} \sum_{v=j-W/2}^{j+W/2} \partial_x^2(u, v) \partial_y^2(u, v) \quad (3.4)$$

θ , görüntünün yön alanı olmak üzere;

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{Y_y(i, j)}{Y_x(i, j)} \right) \quad (3.5)$$

ϕ_x ve ϕ_y sürekli vektör alanı koordinatları olmak üzere;

$$\phi_x(i, j) = \cos 2\theta(i, j), \quad (3.6)$$

$$\phi_y(i, j) = \sin 2\theta(i, j) \quad (3.7)$$

G low pass filtre ve $W_\phi \times W_\phi$ filtre blok boyutu olmak üzere;

$$\phi'_x(i, j) = \sum_{u=-W_\phi/2}^{W_\phi/2} \sum_{v=-W_\phi/2}^{W_\phi/2} G(u, v) \cdot \phi_x(i - uW, j - vW), \quad (3.8)$$

$$\phi'_y(i, j) = \sum_{u=-W_\phi/2}^{W_\phi/2} \sum_{v=-W_\phi/2}^{W_\phi/2} G(u, v) \cdot \phi_y(i - uW, j - vW) \quad (3.9)$$

Yeniden düzenlenen yön bilgisi;

$$\theta'(i,j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\varphi'_y(i,j)}{\varphi'_x(i,j)} \right) \quad (3.10)$$

3.2.4 Sırt Hatları Frekans Tayini

Ortalama sırt hatları frekansı, Gabor filtresinin oluşturulması için önemli olan bir parametredir. Frekans görüntüsü, bir parmak izindeki sırt hatlarının yerel frekanslarını vermektedir. Frekans tayinindeki ilk adım, diğer süreçlerde de birebir uygulanmakta olan görüntüyü bloklara ayırma işlemidir. Daha önceki adımlarda işlenen görüntü verisi, bu aşamada da $W \times W$ boyutlu bloklar şeklinde işleme alınmaktadır. Bir sonraki adımda, yerel yönlere ortogonal doğrultuda olacak şekilde her bloğun içinde yer alan tüm gri ölçekli pikseller ortaya çıkarılmaktadır. Böylece, parmak izindeki sırt hatlarını oluşturan sinüsel dalgalar ile birlikte yerel minimum noktaları biçimlenmektedir.

3.2.5 Gabor Filtresi

Sırt hatlarının yön ve frekans bilgileri elde edildikten sonra, bu parametreler Gabor filtresini oluşturmak için kullanılmaktadır. Gabor filtresi, belirli yön ve frekans bilgilerinin sinüsel dalgadan meydana gelmekte ve bu nedenle frekans ve yön seçici özelliğe sahip olmaktadır. Bu özellikleri sayesinde düzgün uyarlanmış bir Gabor filtresi bir yandan görüntü üzerindeki gürültüyü en aza indirirken bir yandan da hatların yapısını korumaktadır.

Simetrik Gabor filtresi, Gabor fonksiyonunun bir parçası olup modüle edilmiş kosinüs dalgası ile verilmektedir. Uzamsal alandaki Gabor filtresi Denklem 3.11, Denklem 3.12 ve Denklem 3.13 eşitlikleri ile tanımlanmaktadır:

θ Gabor filtresinin yönü, f kosinüs dalgasının frekansı, σ_x ve σ_y x ve y eksenleri ile tanımlanan Gauss bölgesinin standart sapması, x_0 ve y_0 filtre koordinat düzlemindeki x ve y değerleri olmak üzere;

$$G(x, y; \theta, f) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{x_{\theta}^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_{\theta}^2}{\sigma_y^2} \right] \right\} \cos 2\pi f x_0 \quad (3.11)$$

$$x_0 = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (3.12)$$

$$y_0 = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (3.13)$$

Gabor filtresi, uygulama için (i,j) pikseli için O(i,j) yön değerine, F(i,j) frekans değerine gereksinim duymaktadır. Uygulama sonunda elde edilen kalitesi artırılmış iz E, Denklem 3.14 eşitliği ile verilmiştir.

O yön görüntüsü, F frekans görüntüsü, N normalize edilmiş parmak izi ve w_x ve w_y sırasıyla Gabor filtresinin genişlik ve yükseklik değerleri olmak üzere;

$$E(i, j) = \sum_{u=-\frac{w_x}{2}}^{\frac{w_x}{2}} \sum_{v=-\frac{w_y}{2}}^{\frac{w_y}{2}} G(u, v; O(i, j), F(i, j)) N(i - u, j - v) \quad (3.14)$$

Filtrenin bant genişliğini standart sapma parametreleri σ_x ve σ_y belirlemektedir. σ_x ve σ_y değerleri, Denklem 3.15 ve Denklem 3.16 eşitlikleri kullanılarak hesaplanmaktadır.

F frekans görüntüsü, k_x ve k_y sırasıyla σ_x ve σ_y değerleri için sabitler olmak üzere;

$$\sigma_x = k_x F(i, j), \quad (3.15)$$

$$\sigma_y = k_y F(i, j) \quad (3.16)$$

3.2.6 İkileştirme

Gabor filtresi DC eleman olarak sıfır değerine sahip olması nedeniyle, filtreleme işlemi sonucunda elde edilen görüntünün ortalama değeri de sıfırdır. Dolayısıyla ikili değer elde etme sürecinde global eşik değeri sıfır olarak belirlenmektedir. İkileştirilmiş görüntünün çıktısı ikili bilgi olup ürünler ön plan hatları ile arka plan vadileridir.

3.2.7 İnceltme

Algoritma, MATLAB morfolojik fonksiyonlarından birisi olan “thin” işlemi ile gerçekleştirilmektedir.

3.3 Deneyisel Sonuçlar

Bu bölümün amacı, parmak izi görüntü kalitesini artırma adımlarını sırasıyla örneklemektir. Parmak izi veri tabanı, 55 adet farklı parmak izinden oluşmaktadır. Her parmak izinden sekizer adet örnek alınmış olup işlenen toplam veri sayısı 440’tır. Parmak izleri görüntüleri 300x300 piksel boyutunda, 600 dpi çözünürlüğünde ve “.tif” formatındadır.

Yapılan işlemlerin detayına değinmeden önce bu bölümün genel görünümü Şekil 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.1 Parmak izi görüntü kalitesi iyileştirme işlem adımları

3.3.1 Sektörizasyon ve Normalizasyon

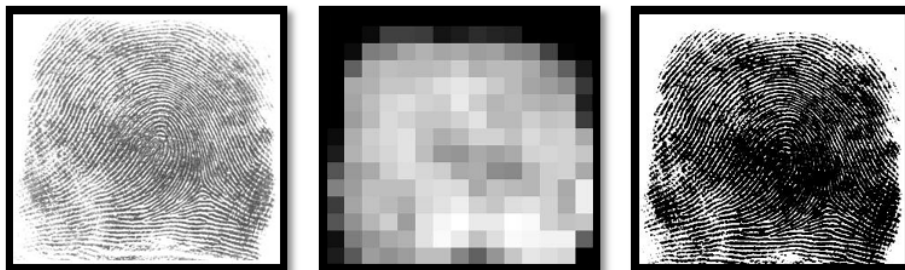
Parmak izi görüntüsü üzerindeki sırt hattı bölgeleri belirlenmekte ve belirlenen bölgeleri teşhis eden maske değeri elde edilmektedir. Aynı zamanda, görüntünün yoğunluk/keskinlik değeri normalize edilerek sırt hattı bölgelerinden sıfır ortalama değeri ve birim standart sapma hesaplanmaktadır.

Görüntüler, 20x20 boyutundaki bloklara bölünerek incelenmekte ve her bölgenin standart sapması çıkarılmaktadır. Standart sapma 0,1 olarak belirlenen eşik değerinin üzerinde ise bölge parmak izinin bir parçası olarak kabul edilmektedir. Kullanılan parametreler ve dönüş değerleri Tablo 3.1’de özetlenmektedir.

Tablo 3.1 Sektörizasyon ve Normalizasyon fonksiyonları parametre ve dönüş değerleri

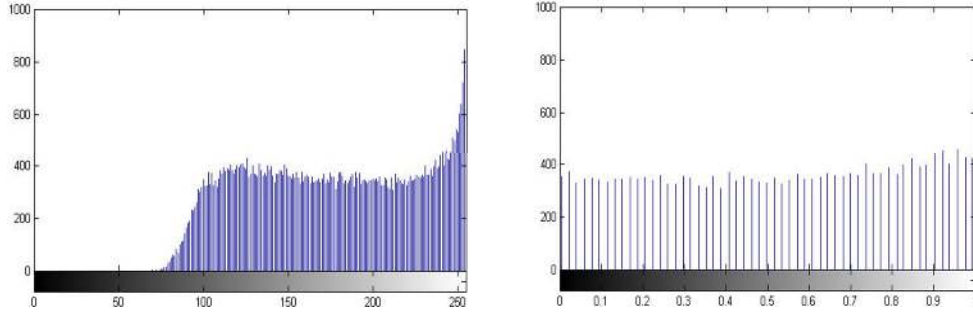
KULLANILAN PARAMETRE VE DÖNÜŞ DEĞERLERİ ÖZETİ-1		
Parametreler	Parmak izi görüntüsü	Kesimlenecek parmak izi görüntüsü.
	Blok boyutu	Her bir kesim için kullanılacak blok boyutu.
	Eşik değeri	Blokların sırt hatlarını içeren bölgeler olup olmadığına karar vermek üzere kullanılacak standart sapmanın eşik değeri.
Dönüş Değerleri	Normalize edilen görüntü	Birim standart sapma ve sıfır ortalama değerine sahip normalize edilen görüntü.
	Maske	Sırt hatlarına ait bölgeleri maskeleyen matris; hatları içeren bölgeler için 1, diğer şekilde 0 değerini içermektedir.
	Maske indisi	Maske yer indekslerinin tutulduğu vektör.
Kovesi (b.t.) çalışmasında parametre değerlerini (im, 16, 0.1) olarak tavsiye etmiştir. Bu çalışmada parametre değerleri (im, 20, 0.1) olarak yeniden düzenlenerek kullanılmıştır.		

Üretilen sonuç Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Sırasıyla orijinal parmak izi, standart sapma görüntüsü, normalize edilen görüntü

Görüntülerin histogram değerleri elde edilmiş ve orijinal görüntü ile normalize edilen görüntü arasındaki farklar Şekil 3.3'te sunulmuştur.



Şekil 3.3 Orijinal görüntü ve normalize edilen görüntü histogramları karşılaştırılması

3.3.2 Yön Tayini

Parmak izi sırt hatlarının yerel yerleşim ve yönlerini tayin etmektedir. Kullanılan parametreler ve fonksiyon dönüş değerleri Tablo 3.2'de kısaca açıklanmaktadır.

Tablo 3.2 Yön tayini fonksiyonu parametre ve dönüş değerleri

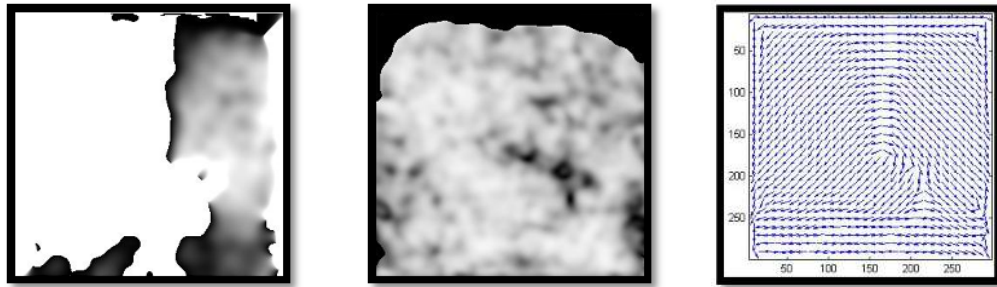
KULLANILAN PARAMETRE VE DÖNÜŞ DEĞERLERİ ÖZETİ-2		
Parametreler	Görüntü	Normalize edilen görüntü.
	Gradientsigma	Görüntü gradyan değerlerini hesaplamak için kullanılan Gauss fonksiyonun türevi.
	Blocksigma	Toplam Gradyan momentlerini hesaplamak üzere kullanılan Gauss ağırlıkları.
	Orientsmoothsigma	Nihai yön vektörünü düzenleyen Gauss değeri.
Dönüş değerleri	Yön görüntüsü	Radyan olarak hesaplanan yön görüntüsü.
	Güvenilirlik değeri	[0 1] aralığında hesaplanan güvenilirlik değeri. Bu değer parmak izi tekil noktaları (delta ve merkez noktaları) tayin edilirken kullanılacaktır.
Kovesi (b.t.) çalışmasında parametre değerlerini (normim, 1, 3, 3) olarak tavsiye etmiştir. Bu çalışmada parametre değerleri (normim, 1, 5, 5) olarak yeniden düzenlenerek kullanılmıştır.		

İşletim sürecinde sırasıyla, normalize edilen görüntünün gradyan değerleri hesaplanmakta, hesaplanan gradyan değerleri Gauss lowpass filtresini oluştururken

filtrenin satır ve sütun sayısı olarak fonksiyona verilmektedir. Görüntü gradyanlarının farklılıkları bulunarak her noktadaki sırt hatlarının yerel yerleşim ve yön değerleri tayin edilmektedir. Görüntü gradyanları için kovaryans verisi hazırlanmakta ve kovaryans verisinin düzenlenmesi ile yerel yönler bir başka Gauss filtresi yardımı ile tekrar hesaplanmaktadır. Bu işlemin sonucunda belirli boyuta sahip bir alan için ortalama yön değerleri elde edilmektedir. Bulunan değerler analitik olarak yeniden incelenmekte, üçüncü Gauss filtresinden süzülerek açılının trigonometrik değerleri hesaplanmaktadır.

İşletimin sonunda yön verilerinin güvenilirlik değerleri bulunmakta, bunun için yön ekseninin atalet momentleri hesaplanmaktadır. Sonuç olarak elde edilen atalet oranı 1 değerine yaklaştıkça, yön bilgisinin zayıfladığı gözlemlenmektedir.

Bu bölümün sonunda oluşan parmak izi görüntüleri Şekil 3.4’te görülmektedir.



Yön görüntüsü

Güvenilirlik

Yön değerleri

Şekil 3.4 Parmak izinin yön, güvenilirlik görüntüsü ile yön değerleri

3.3.3 Sırt Hatları Frekans Tayini

Parmak izlerini oluşturan sırt hatlarının frekans tayini, görüntünün bloklar şeklinde ele alınması ve her bir blok için hat sayımının bulunması ile yapılmaktadır. Kullanılan parametre ve dönüş değerleri Tablo 3.3’te özetlenmektedir.

3.3.4 Filtreleme

Parmak izi görüntüsüne filtreleme sonrasında netlik kazandırılmakta ve iki değerli görüntü elde etmeden önce görüntü kalitesini iyileştirme yönünde son düzenlemeler yapılmaktadır. Kullanılan parametre ve üretilen dönüş değerleri Tablo 3.4’te özetlenmektedir.

Tablo 3.3 Sırt hatları frekans tayini fonksiyonu parametre ve dönüş değerleri

KULLANILAN PARAMETRE VE DÖNÜŞ DEĞERLERİ ÖZETİ-3		
Parametreler	Görüntü	Normalize edilen görüntü.
	Maske	Sektörizasyon işlemi sonucunda elde edilen dönüş değeri. Maske, sırt hatlarını içeren bölgeleri tanımlamaktadır.
	Yön görüntüsü	Hatların yerleşim ve yön değerlerinin tayin edilmesinin ardından düzenlenen yön görüntüsü.
	Blok boyutu	Kullanılacak görüntü blok boyu.
	Pencere boyutu	Görüntü tepe noktalarını saptamak üzere kullanılan pencere boyutu.
	Minimum dalga boyu	Sırt hatlarından elde edilen minimum ve maksimum dalga boyları.
	Maksimum dalga boyu	
Dönüş değerleri	Frekans görüntüsü	Orijinal görüntü ile aynı boyuta sahip frekans görüntüsü. Hatların frekans değerlerinin bulunamadığı ve/veya görüntü bloğunda sırt hatlarının yer almadığı durumlarda sıfır değerini almaktadır.
	Frekans değeri medyan	Görüntünün geçerli olan tüm bölgelerinin frekans değerlerinin medyanı.
Kovesi (b.t.) çalışmasında parametre değerlerini (im, mask, orientim, 32, 5, 5, 15) olarak tavsiye etmiştir. Bu çalışmada parametre değerleri (im, mask, orientim, 36, 5, 5, 15) olarak yeniden düzenlenerek kullanılmıştır.		

Tablo 3.4 Filtreleme fonksiyonu parametre ve dönüş değerleri

KULLANILAN PARAMETRE VE DÖNÜŞ DEĞERLERİ ÖZETİ-4		
Parametreler	Görüntü	Normalize edilen görüntü.
	Yön görüntüsü	Yön tayini sonucunda elde edilen görüntü.
	Frekans görüntüsü	Sırt hatlarının frekanslarının tayini sonrasında elde edilen görüntü.
	Kx	Ölçekleme faktörleri. kx değişkeni, filtrenin bant genişliğini ve x-eksenindeki sigma değerini belirlemektedir. ky değişkeni, filtrenin yön seçiciliğini ve filtre genelindeki sigma değerini belirlemektedir.
	Ky	
Dönüş değerleri	Görüntü	Yüksek kaliteye sahip görüntü.

3.3.5 İkileştirme ve İnceltme

Gri ölçekli bir görüntünün ikili görüntüye dönüştürülmesi işlemi, bir anlamda veri miktarı indirgenmesi olarak da düşünülmektedir. İşletim açısından bakıldığında, bir görüntüyü ikili değere indirmek ve bir sonraki adımda inceltme işlemine tabi tutmak, zaman kaybedici olarak nitelendirilebilmektedir. Ancak nitem elde etme süreci göz önünde bulundurulduğunda, bir adım önce kaybedilen zamanın burada veri sağlamlığı açısından büyük kazanımlara neden olduğunu kabul etmek gerekmektedir.

Şekil 3.5’te elde edilen son görüntüler örneklenmektedir.



Şekil 3.5 İkileştirilme (siyah/beyaz görüntü) ve inceltme sonrası görüntü

3.4 Sonuç

Görüntü kalitesini iyileştirme yöntemleri olarak adlandırılan işlem adımlarının tamamlanması ile iskelet olarak da adlandırılacak görüntü elde edilmiştir. İskelet görüntü üzerinde her öznitelik bir piksel genişliğinde olup orijinal parmak izinin tüm özelliklerini taşımaktadır. Nitemlerin, yalnızca sırt hatlarındaki süreksizliklerden elde edilmesi, bu özelliklerin hatların kalınlığından bağımsız olması anlamındadır. Bu nedenle, siyah/beyaz renklerle oluşturulan görüntünün inceltmesi ile bulunan bir piksel genişliğinde sırt hatlarına sahip olan iskelet parmak izi görüntüsünde nitemler olası asgari veri ile mevcut bulunmaktadır.

BÖLÜM DÖRT

NİTEM ELDE ETME VE PARMAK İZİ SON KONTROLÜ

İskelet parmak izi verisinden nitem elde etme, değişik şekil ve türdeki nitemleri sınıflandırma ve ayırtırmayı gerektirmektedir. Bu çalışmada geliştirilen metot, Raymond, (2003) ile Chikkerur, Cartwright ve Govindaraju, (2007) çalışmalarından yararlanmaktadır.

4.1 Literatür

4.1.1 Giriş

Parmak izleri incelendiğinde, izlerin çok zengin bilgi içeriğine sahip oldukları görülmektedir. İzlerden iki çeşit bilgi elde edilebilmektedir: Önceki bölümde incelenen sırt hatları ve vadiler ile ikinci çeşit bilgi olarak nitelendirilen ve hatlar ve vadilerdeki süreksizliklerden meydana gelen nitemlerdir. Parmak izleri içerdikleri bilgi açısından benzersizdir.

Parmak izi görüntüleri manuel olarak incelenip kimlik tayininde kullanıldıklarında, daha önceden oluşturulan nitem haritaları ile eşleştirme yapılmaktadır. Parmak izlerindeki nitem sayısı parmaktan parmağa ya da çok çeşitli sebeplerden dolayı aynı parmak için değişmekle birlikte, genellikle bir parmak için 70 ila 150 aralığındadır.

Parmak izi tanıma yöntemleri, aşağıda sıralanan ana sorunlar sebebiyle ciddi problemleri çözmek zorundadır:

(a) Nitem haritası, çeşitli sebeplerden dolayı aynı parmak için farklılıklar gösterebilmektedir. Örneğin, fazla ya da yetersiz mürekkep yanlış nitem görünümüne sebep olabilmekte ya da bir örnekte var olan geçerli nitem diğer örnekte görülememektedir.

- (b) Parmak izinin rotasyonu, deformasyonu vb. gibi nedenler aynı parmaktan alınan izlerde farklılıklara yol açmaktadır.
- (c) Ortamdan kaynaklanan gürültü ve bozulmalar.
- (d) Kişiyeye bağlı olarak ortaya çıkan fazla kuru cilt, kesikler, yaşlanma vb. gibi durumlar.

Alındığı zaman ve metottan bağımsız olarak iki görüntünün aynı bireye ait aynı parmaktan alınan izler olduğuna karar verilebiliyorsa, bu iki parmak izi görüntüsü “eşleşen çift” olarak adlandırılmaktadır. Eşleşen çift kavramı, kimlik tayini ve kimlik doğrulaması olmak üzere iki önemli uygulamada kullanılmaktadır. Kimlik tayini söz konusu olduğunda, bilinmeyen bireylere ait parmak izleri, kimlikleri bilinmeyen bireylerin parmak izleri ile karşılaştırılmaktadır. Kimlik doğrulamasında ise, bir bireye ait bir ya da daha fazla parmak izi, daha önceden alınıp o bireye ait olduğu kabul edilen parmak izi ile karşılaştırılmaktadır. Bilgisayarların kullanımından önce her iki uygulama da manuel olarak yapılmakta ve çok geniş bir veri topluluğu içinde hızlı yanıt gerektiren bu gereksinimler etkin olarak karşılanamamaktadır. Bilgisayar teknolojisi ile birlikte, bu işlemleri gerçekleştiren otomatik parmak izi tanıma sistemleri, manuel işletimin yerini almıştır.

4.1.2 Nitem Elde Etme

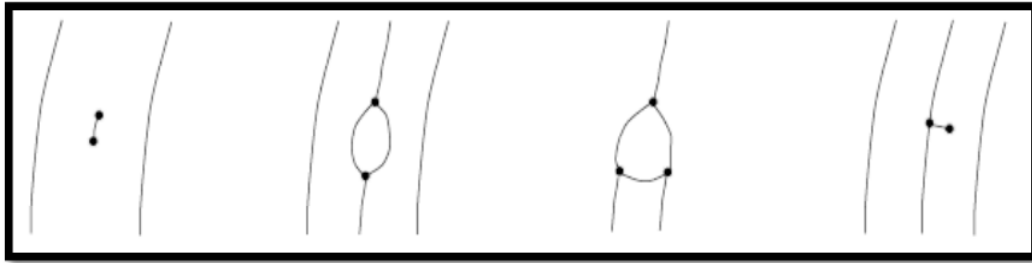
Raymond, (2003) nitem elde etmek için en yaygın kullanılan metodun Geçiş Sayıları (Crossing Number - CN) kavramı olduğundan söz etmektedir. Bu metot, 3x3 boyutlu bir pencerenin iskelet görüntü üzerinde adım adım gezdirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu gezinti esnasında sırt hatlarını oluşturan her piksel, sekiz komşuluklu bir çerçeve içine alınarak çevresindeki piksel değerlerinin hesaplanması sağlanmaktadır. Piksel değerleri, komşuluk içindeki ardışık piksel çiftleri arasındaki farkların toplamının yarısı olarak hesaplanmaktadır. Tablo 4.1'deki özelliklerin kullanımı ile ele alınan pikselin nitem olup olmadığına ya da ne tür nitem olduğuna karar verilmektedir.

Tablo 4.1 Geçiş sayıları toplamı ve nitem çeşitleri

Hesaplanan Toplam	Özellik
1	Hatsonu
2	Sürekli nokta
3	Çatallaşma
4	Geçiş noktası

4.1.3 Parmak İzi Son Kontrolü

Hatalı nitem, görüntü üzerindeki gürültülerden ya da inceltme işlemi sonrasında meydana gelebilecek yanıltıcı izlerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, nitemler elde edildikten sonra, geçerliliklerinin sağlanması için son kontrolün yapılması gerekmektedir. Şekil 4.1’de dört adet hatalı nitem örneği resmedilmektedir.



Şekil 4.1 Hatalı nitem örnekleri

Şekil 4.1’den de görüldüğü gibi, hatalı nitemler hatsonu ya da çatallaşma olarak nitelendirilebilmektedir.

Literatürde hatalı nitemleri elimine etmek üzere önerilen birçok yöntem mevcuttur. Ratha ,Chen ve Jain, (1995) yaptıkları çalışmada, nitem geçerliliği bir dizi buluşsal kurala dayandırmaktadır. Bir çatallaşma noktası ile bağlantılı bir hatsonu noktası, belirli bir uzaklık eşik değerinin altında ise elimine edilmektedir. Bu şekilde bir dizi buluşsal kural görüntü üzerinde sırasıyla uygulanarak, hatalı nitemleri ortadan kaldırmaktadır. Son olarak, görüntü üzerinde sınır kontrolü yapılarak belirli bir sınır değeri eşiklerinin altındaki nitemler silinmekte, böylece ön plan bölgesi temizlenmektedir.

Tico ve Kuosmanen, (2000) yaptıkları çalışmada, yukarıda değinilen tekniğe benzer bir yöntem uygulamakta; ancak hatalı nitemleri buluşsal kurallarla değil, basit bir algoritma ile yok etmektedirler. İskelet görüntü üzerindeki her nitemin komşulukları kontrol edilmekte ve hatalı nitem iptal edilmektedir.

4.2 Metodoloji

Bu çalışmada Geçiş Sayıları metodu ile Raymond, (2003)'ün çalışmasındaki yöntem kullanılmaktadır.

4.2.1 Nitem Elde Etme

Geçiş Sayıları metodu iskelet görüntü üzerindeki sonlama ve çatallaşma noktalarını merkez alarak, bu noktaların komşuluklarını 3x3 boyutlu pencereler kullanarak araştırmaktadır. Bir P pikseli için hesaplanan T toplamı Denklem 4.1'de formüle edilmektedir.

$$T = 0.5 \sum_{i=1}^8 |P_i - P_{i+1}| \quad (4.1)$$

P ₄	P ₃	P ₂
P ₅	P	P ₁
P ₆	P ₇	P ₈

4.2.2 Parmak İzi Son Kontrolü

Hatalı Nitemlerin elenmesi için iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki, [18] çalışmasındaki yöntem olup, söz konusu yöntem hatsonları için uygulanmaktadır. Diğer yöntem, nitemin görüntünün içinde kalan kısmında olup olmadığının araştırılmasıdır.

M, WxW boyutunda görüntü olmak üzere kullanılan Raymond (2003)'ün algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir:

- (a) İskelet görüntü üzerindeki nitem noktası -1 değeri ile işaretlenir.

- (b) M görüntüsündeki hatsonunun sekiz komşuluğunun tüm pikselleri 1 olarak etiketlenir.
- (c) M görüntüsü üzerinde saat doğrultusunda ilerlenerek komşuluklardaki sıfırdan bire geçişlerin sayısı kaydedilir. Eğer bu sayı 1 ise nokta geçerli bir hatsonu olarak nitelendirilmektedir.

Nitemin görüntü içinde kalıp kalmadığını incelemek için, arka plan ile ön planın arasındaki sınır ortaya çıkartılmakta ve sınır üzerinde bulunan nitemler silinmektedir.

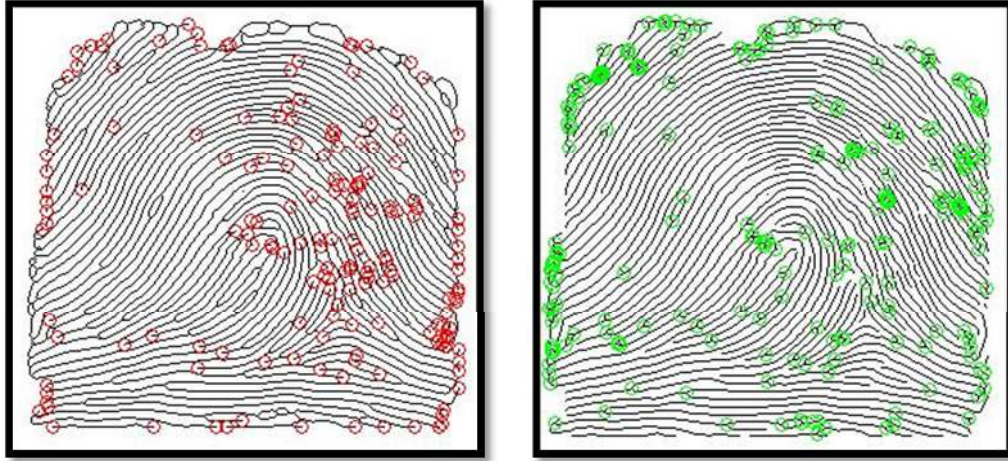
4.3 Deneysel Sonuçlar

4.3.1 Nitem Elde Etme

İskelet görüntü üzerinde nitem elde etme işlemi Geçiş sayıları yöntemi ile yapılmaktadır. Geçiş Sayıları, merkezi 1 değerine sahip sekiz komşuluklu bir yapı üzerinde işlemektedir. Bu yapı, 3x3 boyutundaki kayan pencere yardımı ile kullanılmaktadır.

Kayan pencere MATLAB Görüntü İşleme fonksiyonlarından *makelut* ve *applylut* işlemleri ile yapılmaktadır. *makelut*'un kullandığı fonksiyon, merkezi 1 olan 3x3 boyutlu hatsonu/çatallaşma şablonlarını esas alarak her şablonun Geçiş Sayıları yöntemi için toplamını hesaplamakta ve hesaplanan toplamın 1 ya da 3 değerine eşit olması halinde ilgili noktanın nitem türüne karar vermektedir. Türü belirlenen nitem için *applylut* fonksiyonu ile tablo oluşturulmakta, tabloda öznitelik bölgeleri tutulmakta ve ardından her bölge etiketlenmektedir.

Nitemler, hatsonu ve çatallaşma olmak üzere iki farklı matriste tutulmaktadır. Şekil 4.2'de parmak izi görüntüsünün üzerinde bulunan ve yazılımın nitem olarak nitelendirdiği noktalar görüntülenmektedir.



Hatsonu matrisi değerleri

Çatallaşma matrisi değerleri

şekil 4.2 Hatsonu ve çatallaşma ekran görüntüleri

4.3.2 Parmak İzi Son Kontrolü

şekil 4.2’den de görüleceği gibi, parmak izi görüntüleri üzerinde hatalı ya da fazla olarak nitelendirilebilecek nitemler bulunmaktadır. Sırt hatlarının başlangıç ve bitiş noktaları hatsonu olarak değerlendirilmiş olmasına rağmen, bu noktaların hatsonu niteliği taşımadığı açıktır. Aynı şekilde, 4.2.1 ve 4.2.2 numaralı bölümlerde anlatıldığı gibi ada vs. gibi oluşumların çatallaşma tipinde nitemler olarak algılanması söz konusu olmaktadır. Bu nedenle, elde edilen nitemlerin son kontrolünün yapılması ve bu nitemlerin geçerliliklerinin netleştirilmesi önem taşımaktadır.

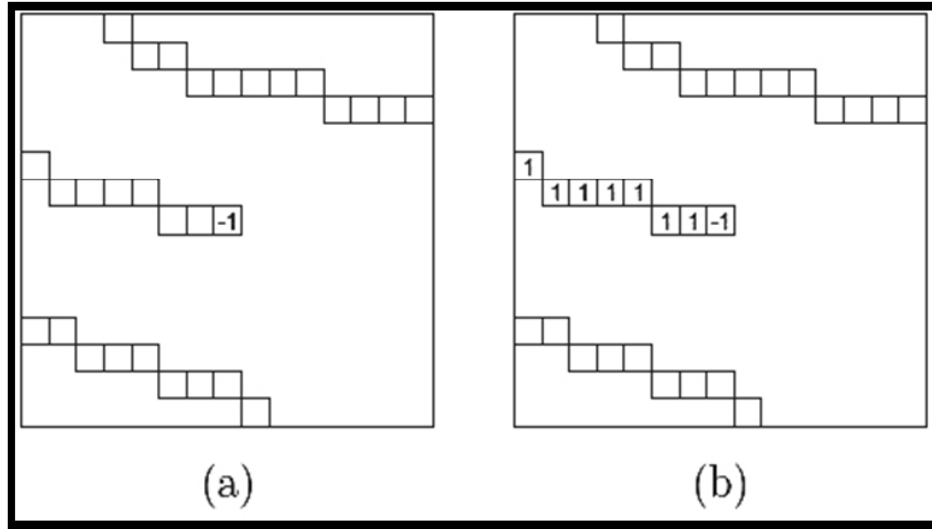
Bu kapsamda, hatsonu matrisinde bulunan değerler için bir ilgi alanı oluşturulmakta ve bu ilgi alanı parmak izi görüntüsünün sınır alanlarını kapsamayacak şekilde daha küçük boyuta sahip olarak ayarlanmaktadır. Böylece esasında hatsonu olmayan, ancak parmak izi görüntüsü tarandığında hatsonu gibi görünen sınır bölgeleri ilgi alanı dışında kalmakta ve bu noktaların hatalı nitem olarak değerlendirilmesi riski ortadan kalkmaktadır.

Aynı zamanda güncellenen değerleri ile hatsonu matrisinin içerdiği noktaların geçerli nitem olup olmadığı kontrol edilmektedir. Bu kontrolde, ilgili noktanın komşu değerleri teker teker ele alınmakta ve Raymond, (2003) alışmasında önerilen iki aşamalı yöntem uygulanmaktadır.

Görüntü boyutunda matris oluşturulmakta ve matristeki tüm hatsonu koordinatlarındaki pikseller -1 değeri ile etiketlenmektedir. Hatsonu adayı olarak nitelendirilen her bir nokta için;

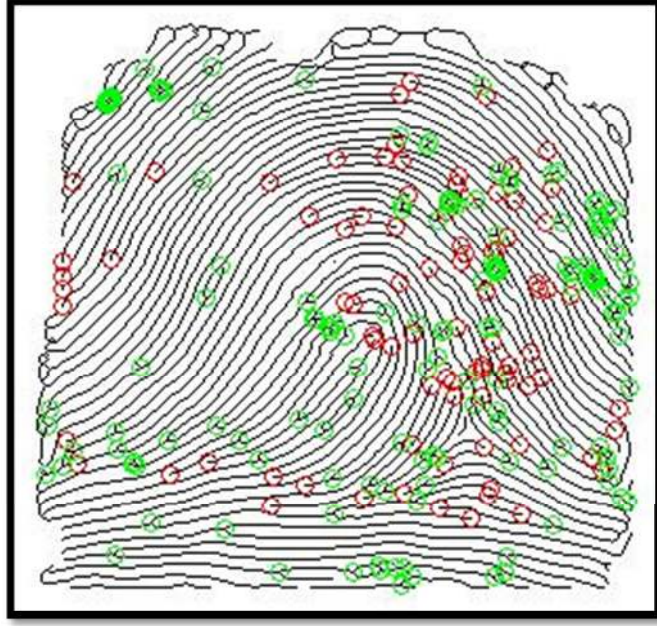
- (a) 21x21 boyutlu M matris oluşturulmakta, -1 değerli nokta merkez koordinata yerleştirilmekte ve gibi komşuluğundaki sırt hattı değerleri 1 olarak etiketlenmektedir.
- (b) Bir sonraki adım olarak, saat yönünde ilerlenmekte ve M matrisinin sınırlarına ulaşıncaya dek 0-1 değer geçişlerinin sayısı tutulmaktadır. Bu sayının 1 olması, aday nitem noktasının gerçek bir hatsonu noktası anlamına gelmektedir.

Yukarıdaki adımlar, Şekil 4.3'te resmedilmektedir.



Şekil 4.3 Son kontrol adımları

Son kontrollerin tamamlanmasının ardından elde edilen ve istatistiksel sonuçların üretileceği nitemler Şekil 4.4'te sunulmaktadır.



Şekil 4.4 Son kontrol sonrası görüntü

BÖLÜM BEŞ

MERKEZ NOKTA VE DELTA ELDE ETME

Merkez nokta, birçok parmak izi tanıma tekniğinde önemli rol oynamaktadır. Aynı zamanda merkez nokta, parmak izi sınıflandırma ve eşleştirme problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Sırt hatlarında çok sayıda süreksizliğin bulunduğu birçok parmak izi için parmak izi tanıma işleminde hatalar meydana gelmektedir (Julasayvake ve Choomchuay, 2007).

Bununla birlikte, bazı zamanlarda merkez nokta tam olarak tanımlanamamakta ya da doğru olarak iz üzerindeki yeri tayin edilememektedir. Ancak durum ne olursa olsun, parmak izi tanıma sistemlerinde tam olarak yerleşmiş bir merkez noktanın bulunması çok önemlidir.

5.1 Literatür

Bir parmak izi tanıma sistemini kullanan kayıtlı kullanıcı sayısının artmasıyla birlikte, parmak izlerini karşılaştırma sayısı da artmaktadır (Ohtsuka, Watanabe ve Aoki, 2007). Tanıma safhasındaki işletim zamanını azaltmak için, parmak izlerinin kesin şekilde sınıflandırılması önem kazanmaktadır. Güvenli bir sınıflandırma, merkez ve delta noktalarının bulunmasını gerektirir. Merkez ve delta noktalarının bulunup işaretlenmesi ile güvenli parmak izi sınıflandırmasının gerçekleştirilmesini kolaylaştırmaktadır.

5.2 Metodoloji

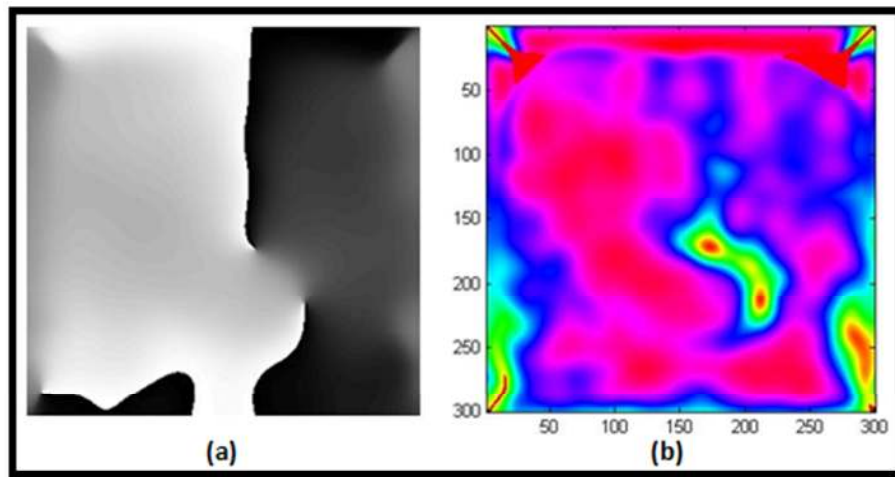
Ohtsuka, Watanabe ve Aoki, (2007) yaptıkları çalışmada Poincare metodunun merkez ve delta noktalarının bulunmasında en popüler ve pratik metot olduğuna değinmektedir. Bu metot sırt hatlarının yönlerini düzenleyerek parmak izinin yön gösterimini tayin eder. Başka bir ifade ile Poincare metodu, merkez ve delta tekil noktalarını ardışık sırt hatlarının yön farklılıklarına göre bulmaktadır. Poincare algoritması basit bir algoritma olarak değerlendirildiği için, işletim maliyeti de

oldukça düşük olmaktadır. Bununla birlikte gürültü içeren ya da düşük kaliteye sahip parmak izi görüntüleri için Poincare metodu kullanarak merkez ve delta tekil noktalarının bulunması oldukça zordur. Söz konusu kritik durumda, yalnızca parmak izinin yerel özelliklerini kullanan Poincare metodu, hatalı sonuçlara yol açabilecektir.

Bu çalışmada, Poincare metodunun yön tayininden yola çıkılmakta, yön görüntüsü ile birlikte güvenilirlik görüntüsü de elde edilmekte ve güvenilirlik görüntüsü üzerinde morfolojik işlemler gerçekleştirilmektedir. Bu sayede merkez nokta ve delta noktaları bulunmaktadır.

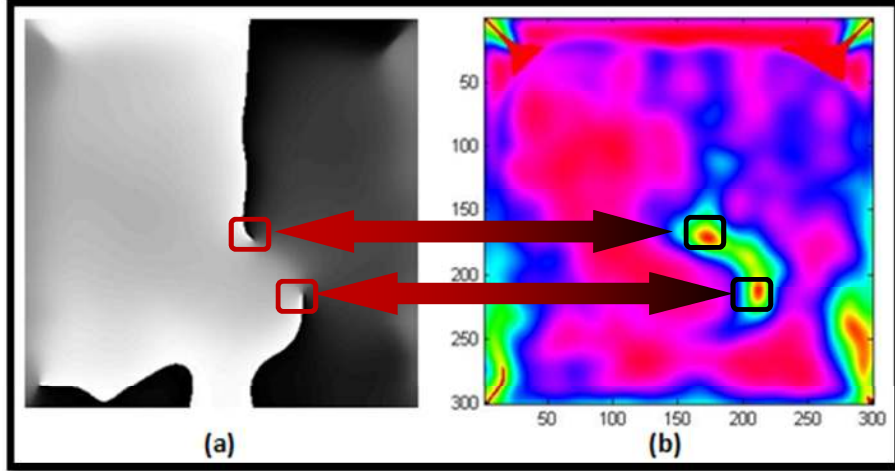
5.3 Deneyisel Sonuçlar

Bir önceki kısımda değinildiği gibi, merkez nokta ve delta noktalarını bulmak için bölüm 4.2.3'te açıklanan yön tayini metodunu kullanılmaktadır. Fonksiyon, parametre olarak normalize edilen parmak izi görüntüsünü almakta ve sonucunda, merkez noktanın koordinatlarını ve delta sayısı ile delta noktalarının koordinatlarını döndürmektedir. Fonksiyon, yön tayini için kullanılan alt fonksiyona değer göndermektedir. Gönderilen parametre değerleri güncellenmiş ve merkez nokta ile delta noktalarını ayırt edecek şekilde uyarlanmıştır. Bu fonksiyondan dönen değerler Şekil 5.1'de gösterilmektedir.



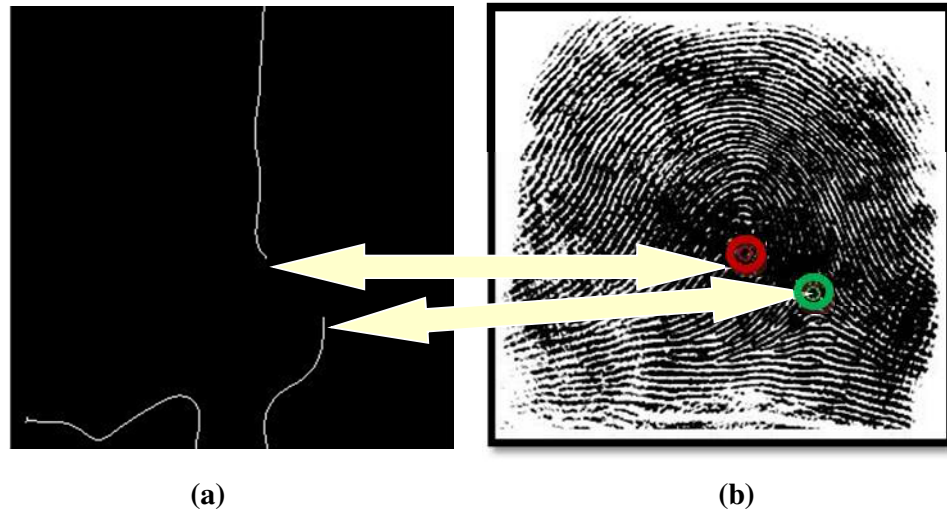
Şekil 5.1 Siyah/beyaz yön bilgileri ile renkli yön bilgileri

Şekil 5.1 detaylı incelenip karşılaştırma yapıldığında görüntüler üzerindeki belirli noktaların merkez ve delta noktalarına karşılık geldiği görülmektedir. Şekil 5.2’de bu alanlar işaretlenerek gösterilmektedir.



Şekil 5.2 Yön bilgileri haritalarındaki merkez ve delta noktalarının yerleşimi

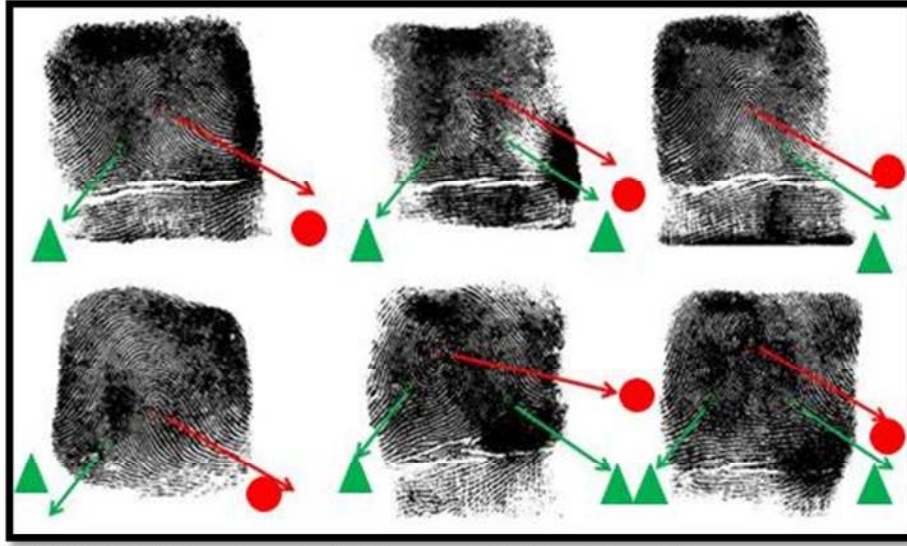
Şekil 5.2(a)’daki işaretli bölgeler, iki renk tonu arasındaki kesin geçişin sonlandığı alanları, Şekil 5.2(b)’deki işaretli bölgeler ise, kırmızı renkle gösterilen alanları işaret etmekte ve bu işaretlenen bölgelerin merkez ve delta noktalarına karşılık geldiği görülmektedir. Buradan hareketle, Şekil 5.2(a)’daki görüntü ele alınmakta ve bu görüntü bir dizi morfolojik işlemle geçirilmektedir. MATLAB “*edge*” fonksiyonu ile gri ölçekli güvenilirlik görüntüsündeki kenarlar bulunmaktadır. Şekil 5.2(a)’da da görüldüğü gibi, görüntü üzerindeki kenarlar, kesin renk değişimlerini belirtmektedir. “*edge*” komutunun parametre değeri olarak “*roberts*” metodu daha uygun olmakta ve daha kesin sonuçlar üretmekte olup Roberts metodu için tanımlanan hassaslık eşik değeri kullanılmaktadır. İzlenen adımlar sonrasında, Şekil 5.3’te gösterilen görüntü elde edilmektedir.



Şekil 5.3 Filtreleme sonrası oluşan görüntüde merkez ve delta noktalarının yerlerinin tayin edilmesi ve parmak izi görüntüsü üzerinde işaretlenmesi.

Şekil 5.3(a)'daki görüntünün elde edilmesinin ardından, görüntünün ele alınacağı çerçeve güncellenmekte ve görüntü üzerindeki kalan beyaz çizgilerin sonlandığı noktaların koordinatları bulunmaktadır. Bu koordinatlar, merkez nokta ve delta noktalarının tanımları gereğince çıkarılmakta ve gereksinim duyulan noktalara karşılık Şekil 5.3(b)'de olduğu gibi işaretlenmektedir.

Bu yöntem kullanılarak parmak izleri üzerinde işaretlenen merkez ve delta noktalarının örnekleri Şekil 5.4'te verilmektedir.



Şekil 5.4 Geliştirilen yöntemin değişik parmak izleri üzerinde tatbiki sonrası

5.4 Sonuç

Merkez ve delta tekil noktalarının bulunması ile;

- (a) Nitemlerin uzaklıklarının belirlenmesi için referans noktası elde edilmiştir. Böylece parmak izlerindeki rotasyon hassasiyeti ortadan kalkmıştır.
- (b) Delta noktası/noktalarının bulunması sınıflandırmadaki güvenilirliği artırmış, delta sayısına ve deltanın merkez noktasına olan konumuna göre parmak izleri sınıflandırılmıştır. Böylece yapay sinir ağının seçiciliği de artırılmıştır.

BÖLÜM ALTI

PARMAK İZİ İSTATİSTİKLERİ

Bu bölümde, parmak izi istatistiklerinden oluşan sonuçlar açıklanmaktadır. Önceki ünitelerde anlatılan ve incelenen görüntü kalitesini iyileştiren tekniklerin sonucunda elde edilen nitemlerden bir dizi istatistiksel veriler çıkarılmaktadır. Üzerinde durulan istatistiksel veriler aşağıda sıralanmaktadır:

Hatsonu ve çatallaşma tip nitem matrisleri için ayrı ayrı;

- (a) Alfa, beta ve gama değerleri
- (b) Kare Ortalamalarının Karekökü
- (c) Fc Değeri (Tepe Faktörü - Crest Factor)
- (d) Kurtosis değeri
- (e) Standart sapma
- (f) Aritmetik ortalama değer

6.1 Metodoloji

6.1.1 Alfa, Beta, Gama Değerleri

Veri noktalarından oluşan bir kümede Delaunay Nirengisi, her veri noktasını doğal komşularına bağlayan doğrular kümesi olup Voronoi Diyagramı ile ilgilidir. Nirengi, ele aldığı bir bölgeyi alt bölgelere bölen bir yöntemdir. Anılan alt bölgeler, basit üçgenlerden oluşmaktadır. $p_1, p_2, \dots, p_N$ noktalarını içeren bir S kümesinde Delaunay nirengisi hesaplanmak istendiğinde, öncelikle bu kümenin Voronoi diyagramı hesaplanmaktadır. Voronoi diyagramı, iki boyutlu uzayı her nokta için bölgelere ayırmakta ve herhangi bir p_i noktası çevresindeki bölgedeki p_i 'ye yakın tüm noktalar yer almaktadır. Verilen bir Voronoi diyagramından, Voronoi bölgelerinin her komşu çiftlerinin merkezlerinin birbirlerine bağlanması ile Delaunay

nirengisi oluşturulabilmektedir. Delaunay nirengisinin özellikleri aşağıda sıralandığı gibidir:

- (a) Sağlam bir noktalar kümesi için Delaunay nirengisi benzersizdir.
- (b) Bir Delaunay üçgeninin üç noktasından geçen bir daire, başka herhangi bir nokta içermemektedir.
- (c) Her Delaunay üçgeni içindeki en küçük açı, aynı noktaların bir diğer nirengisindeki en küçük açıdan daha büyüktür.

Birinci özellik, Delaunay üçgenlerinin indekslenmesini sağlamakta, ikinci özellik Delaunay nirengisine yeni katılan bir noktanın, yalnızca o noktayı içeren dairenin kapsadığı üçgenleri etkilemektedir.

Nitemler nirengi olarak kullanıldığında, her nitemin (x,y) koordinatlarından Delaunay üçgenleri hesaplanmaktadır. Verilen bir nitem üçgeninden üçgenlerin açı ve kenar uzunlukları elde edilmektedir. Her üçgenin kenar uzunlukları, küçükten büyüğe doğru düzenlenip saklanmaktadır:

$$l_1 \leq l_2 \leq l_3$$

Sıralanan kenar uzunluklarından;

- (a) Kosinüs teoremine göre, her bir üçgenin açılarından maksimum kosinüs değerine sahip olan açılar bulunmakta ve tüm değerlerin standart sapması alınarak alfa değeri hesaplanmakta,
- (b) $p = l_1 + l_2 + l_3$, $s = p/2$ olmak üzere;

$$\beta = \sqrt{s(s - l_1)(s - l_2)(s - l_3)}$$

beta değeri hesaplanmakta,

- (c) En kısa iki kenarının üçüncü kenara oranlanması ile iki farklı gama değeri hesaplanmaktadır.

6.1.2 Kare Ortalamalarının Karekökü

Kare ortalamalarının karekökü (Root Mean Square - RMS), kuadratik ortalama olarak da bilinmektedir. Değişen miktarların büyüklüğünün ölçülmesinde kullanılan

istatistiksel bir ölçüdür. Karelerin ortalamasının karekökünün alınmasını ifade etmekte olup Denklem 6.1 eşitliği ile formüle edilmektedir. n sayıdaki değerlerin $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ RMS değerleri;

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (6.1)$$

6.1.3 Fc Değeri (Tepe Faktörü - Crest Factor)

Veri kümesinde bulunan en büyük değer ile en küçük değer farkının verilerin RMS değerine oranlanması ile elde edilmektedir. Denklem 6.2 eşitliği ile formüle edilmektedir.

$$Fc = (\max(n) - \min(n)) /_{RMS} \quad (6.2)$$

6.1.4 Kurtosis Değeri

İstatistikte dağılımın dördüncü momenti olarak bilinen Kurtosis değeri, dağılıma ait basıklık ölçüsünü vermektedir. Formülü Denklem 6.3 eşitliği ile verilmektedir.

$$kurtosis = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^2} - 3 \quad (6.3)$$

6.1.5 Aritmetik Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

Aritmetik ortalama Denklem 6.4 ve standart sapma Denklem 6.5 eşitlikleri ile formüle edilmektedir.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (6.4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6.5)$$

6.2 DeneySEL SonuÇlar

Elde edilen nitemlerden yukarıda tanımlanan istatistiklerin çıkarılması ile yapay sinir ağıları için ham veriler oluşturulmaktadır. İki farklı parmaktan farklı zamanlarda alınan altışar adet farklı parmak izine ait istatistiksel bilgiler Tablo 6.1’de görülmektedir.

Tablo 6.1 İstatistik bilgilerinin örnek görünümü

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	.06	54.19	.23	.23	.07	128.28	.22	.39	74.29	1.89	2.36	36.11	62.95	68.62	1.46	1.79	31.588	61.21
1	1	.05	43.23	.21	.23	.06	128.64	.22	.39	75.45	1.79	2.18	37.34	66.01	70.89	1.58	2.04	30.13	64.45
1	1	.05	50.35	.23	.23	.05	130.48	.22	.39	74.84	1.81	2.40	32.07	61.23	72.66	1.90	1.91	31.57	60.31
1	1	.06	48.77	.21	.23	.05	125.36	.22	.39	75.30	1.91	2.08	39.53	70.18	72.92	2.09	3.21	32.61	59.05
1	1	.06	54.19	.23	.23	.07	124.28	.22	.39	75.29	1.89	2.36	36.11	62.95	68.62	1.46	1.79	31.58	61.21
1	1	.05	48.82	.23	.23	.06	126.63	.22	.39	75.88	1.60	1.98	32.40	64.51	68.57	1.91	2.14	32.05	58.75
4	1	.06	46.47	.24	.34	.06	322.35	.23	.12	94.68	1.64	2.12	45.15	83.75	111.3	1.39	1.90	39.23	102.3
4	1	.06	44.43	.24	.34	.06	321.10	.23	.11	94.64	1.32	1.59	43.95	84.39	111.1	1.37	2.12	39.08	103.3
4	1	.06	46.71	.26	.34	.06	321.99	.23	.12	93.24	1.49	2.20	43.90	76.31	110.2	1.64	2.48	37.05	102.0
4	1	.06	47.25	.22	.34	.06	328.69	.23	.11	95.79	1.51	1.91	45.24	95.99	110.7	1.72	2.39	37.77	104.9
4	1	.06	47.19	.22	.34	.05	320.22	.23	.11	95.26	1.42	2.17	38.76	87.37	109.7	1.30	2.01	38.09	105.8
4	1	.06	45.86	.24	.34	.06	323.89	.23	.11	95.92	1.73	2.17	39.67	65.24	107.5	1.28	2.06	39.79	104.6

1	: İz kayıt nu.	6	: Gama değeri-2 (S)	11	: RMS değeri (S)	16	: RMS değeri (Ç)
2	: İz tipi	7	: Alfa değeri (Ç)	12	: Fc değeri (S)	17	: Fc değeri (Ç)
3	: Alfa değeri (S)	8	: Beta değeri (Ç)	13	: Kurtosis değeri (S)	18	: Kurtosis değeri (Ç)
4	: Beta değeri (S)	9	: Gama değeri-1 (Ç)	14	: standart sapma (S)	19	: standart sapma (Ç)
5	: Gama değeri-1 (S)	10	: Gama değeri-2 (Ç)	15	: ortalama değeri (S)	20	: ortalama değeri (Ç)

(S) hatsonu tipi, (Ç) çatallaşma tipi nitem verileri anlamında kullanılmaktadır.

6.3 Sonuç

Seçilen istatistik kavramlarının, parmak izi verileri için ayırt edici oldukları görülmekte ve parmak izi tanıma uygulaması için kurulacak yapay sinir ağı yapısına giriş verisi olmaları değerlendirilmektedir.

BÖLÜM YEDİ

YAPAY SİNİR AĞLARI VE DENEYSEL SONUÇLAR

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. En genel anlamda bir YSA, insan beynindeki nöronlar arasındaki ilişkiye benzer şekilde basit işlemcilerin birbirlerine değişik etki seviyeleri ile bağlanması sonucu oluşan karmaşık bir sistem olarak düşünülebilir. YSA örüntü tanıma, tahmin, optimizasyon ve kontrol alanları gibi birçok alandaki çok sayıda problemi çözmek için tasarlanmıştır. Söz konusu problemleri çözen geleneksel yaklaşımların başarı oranlarının yüksek olmasına rağmen, bu yöntemlerin tanımlandıkları alan dışında yeterince yüksek performans gösterebilecek kadar esnek olmadıkları düşünülmektedir. YSA, geleneksel yaklaşımlara alternatif olarak kullanılmaktadır.

İnsan beyninin uzun süre boyunca incelenmesi sayesinde, modern paralel bilgisayarlarda veya Von Neumann ilkesinde var olmayan ancak gereksinim duyulan karakteristikler ortaya çıkmıştır. Bu karakteristikler, büyük çapta paralellik, dağıtık gösterim ve hesaplama, öğrenme yeteneği, genelleme yeteneği, adapte olabilme, hata toleransı, düşük enerji tüketimi olarak sıralanmaktadır. Biyolojik nöronların işleyişine benzetilerek yapılan akıllı cihazların, bu karakteristiklerin bir kısmına sahip olmaları umulmaktadır.

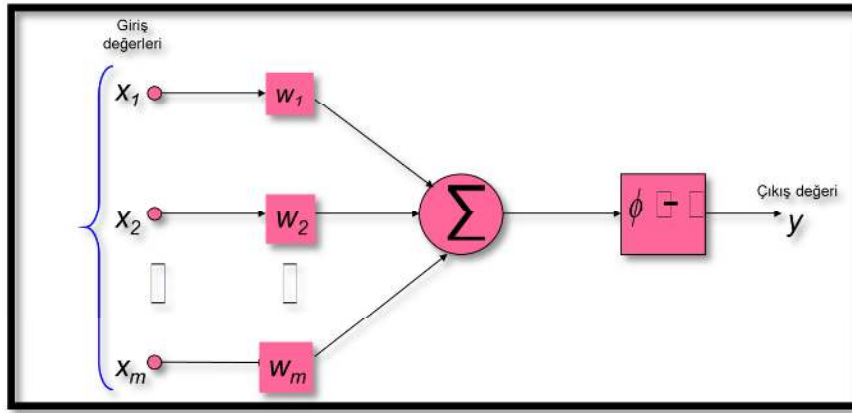
7.1 Tarihçe

YSA, üç periyotlu uğraşın sonunda kabul görmüştür. İlk yapay nöronun ortaya çıkışı 1940'larda Warren McCulloch ve Walter Pitts'in ortak çalışması sonucunda üretilmiştir. Ancak dönemin kısıtlı olanakları nedeniyle, bu alanda çok fazla gelişme kaydedilememiştir. İkinci yükselişi, 1960'larda Rosenblatt'ın perseptron yakınsaması teoremini ortaya atması ve Minsky ve Papert'in basit bir perseptronun limitlerini göstermeleri ile olmuştur. Takip eden yaklaşık 20 yıllık süreçte yine bir durgunluk yaşanmış ve bu durgunluk 1982 yılında Hopfield'in başarısıyla sona ermiştir. Hopfield'in Enerji Yaklaşımı ilk gözle görünür gelişme olarak tarihe geçmiş, bunu

Werbos'un çok katmanlı perseptronlar için geriye yayılma algoritması takip etmiştir. Algoritma, 1986 yılında Rumelhart tarafından son halini almıştır. Rosenfeld ve Anderson tarafından da YSA'nın geliştirimi konusunda çok detaylı bir tarihçe hazırlanmıştır.

7.2 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

McCulloch ve Pitts'in yapay nöron için önerdikleri yapı Şekil 7.1'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 McCulloch-Pitts nöron modeli

Bu matematiksel nöron, n adet $X_j = 1, 2, \dots, n$ giriş sinyallerinin ağırlıkları toplamını hesaplamakta ve hesaplanan toplam eşik değerinin üzerinde ise 1, aksi halde 0 çıkış değerini üretmektedir. y çıkış değeri, θ birim adım fonksiyonu, W_j bağlantısının j girdisi ile ilgili ağırlıkları olmak üzere işlemin matematiksel ifadesi Denklem 7.1 ile formüle edilmiştir.

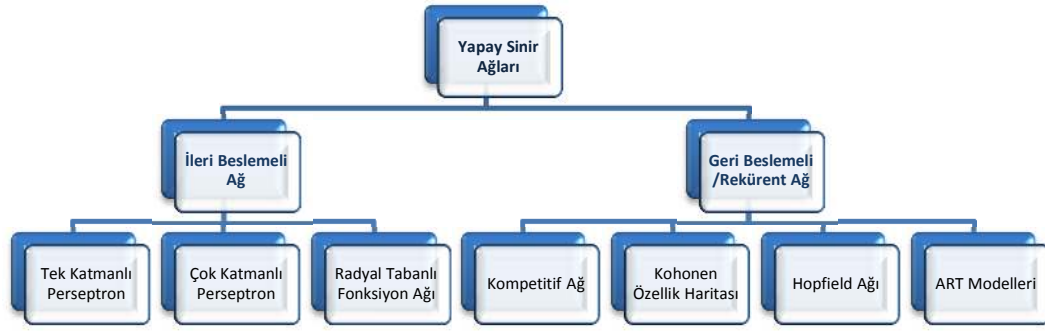
$$y = \theta \left(\sum_{j=1}^n W_j X_j - u \right) \quad (7.1)$$

YSA temel olarak, basit yapıda ve yönlü bir grafik biçimindedir. Her bir düğüm hücre denilen n . dereceden lineer olmayan bir devredir. Düğümler, işlem elemanı olarak tanımlanmaktadır. Düğümler arasında bağlantılar mevcuttur. Her bağlantı tek

yönlü işaret iletim yolu olarak görev yapmaktadır. Her işlem elemanı istenilen sayıda giriş bağlantısına ve tek bir çıkış bağlantısına sahiptir.

YSA birtakım alt kümelerle ayrılmaktadır. Bu alt kümelerdeki elemanların transfer fonksiyonları aynı olmaktadır. Bu küçük gruplara katman adı verilmektedir. Ağ, katmanların birbirlerine hiyerarşik bir şekilde bağlanmasından oluşmaktadır. Bilgi, dış dünyadan giriş katmanı ile alınmakta, YSA transfer fonksiyonu ve yerel bellek elemanları bir öğrenme kuralı ile giriş-çıkış arasındaki bağıntıya göre ayarlanmaktadır.

YSA, Şekil 7.2’de gösterildiği gibi bağlantı özelliklerine göre iki kategoride gruplandırılmaktadır: ileri beslemeli ağ ve rekürent ya da geri beslemeli ağ.



Şekil 7.2 Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması

7.3 Öğrenme

Öğrenme yeteneği, aklın temel özelliğidir. Öğrenmenin net bir tanımının formüle edilmesi zor olsa da, YSA kavramındaki öğrenme metodu, ağ mimarisi ve bağlantılardaki ağırlıkların güncellenme ve böylece ağın belirlenen amacını etkin bir şekilde yerine getirme problemi olarak görülebilir. Ağ genellikle bağlantı ağırlıklarını verilen öğrenme örüntülerinden öğrenmek zorundadır. Performans, ağdaki ağırlıkların zamanla ve tekrarlı olarak güncellenmesi ile yeniden düzenlenir. İşlediği örnek örüntülerden otomatik olarak öğrenmeyi gerçekleştirmesi, YSA’yı çekici ve ilginç kılmaktadır. Bir uzman tarafından önceden belirlenen kuralları takip

etmek yerine, YSA verilen örnek kümelerinden çıkardığı kurallarla öğrenir. Bu, sinir ağlarının geleneksel uzman sistemlere göre en büyük avantajlarından biri olmaktadır.

Bir öğrenme yöntemi sürecini anlamak ve tasarlamak için, ilk olarak sinir ağının çalışacağı modelin, başka bir ifade ile ağ için gerekli bilgilerin neler olacağını bilmek gerekmektedir. Bu model öğrenme paradigması olarak tanımlanmaktadır. İkinci olarak, ağdaki ağırlıkların nasıl güncelleneceğine, yani hangi öğrenme kurallarının güncelleme metodunun yöneteceğine karar vermektir. Bir öğrenme algoritması, ağırlıkların düzenlenmesi için kullanılan prosedürler anlamına gelmektedir.

Başlıca üç ana tipte öğrenme paradigması tanımlanmaktadır: Danışmalı öğrenme, danışmasız öğrenme ve takviyeli öğrenme.

7.3.1 Danışmalı Öğrenme

Danışmalı öğrenmede devreye bir eğitmen girmektedir. İşlem birimi kendisine eğitim süresince verilen bilgi karşılığında bir fonksiyon üretmektedir. Bu fonksiyon sayesinde verilebilecek tüm olası girdiler için bir sonuç üretmektedir. Asıl cevap ile verilen cevap arasındaki fark değerlendirilerek ağırlıklar güncellenmektedir. Bu süreç zarfında eğitici ödüllendirme ve cezalandırma mekanizmasını uygulayarak asıl cevap ile verilen cevap arasındaki fark azaltılmaya çalışılır. Fark azaldıkça öğrenme gerçekleşmektedir. Danışmalı öğrenme, çok katmanlı perseptron ve geri beslemeli ağlarda kullanılabilir.

7.3.2 Danışmasız Öğrenme

ART ve SOM ağlarında kullanılabilen danışmasız öğrenmede eğitmen bulunmamaktadır. Danışmalı öğrenmedeki gibi çıkması gereken ya da çıkacak sonuçlar bilinmemektedir. Bu sebeple herhangi bir hata bilgisi ağın kendisini düzeltmesi için kullanılamamaktadır. Bunun yerine girişlerin verdiği cevaplar öğrenme için önemlidir.

7.3.3 Takviyeli Öğrenme

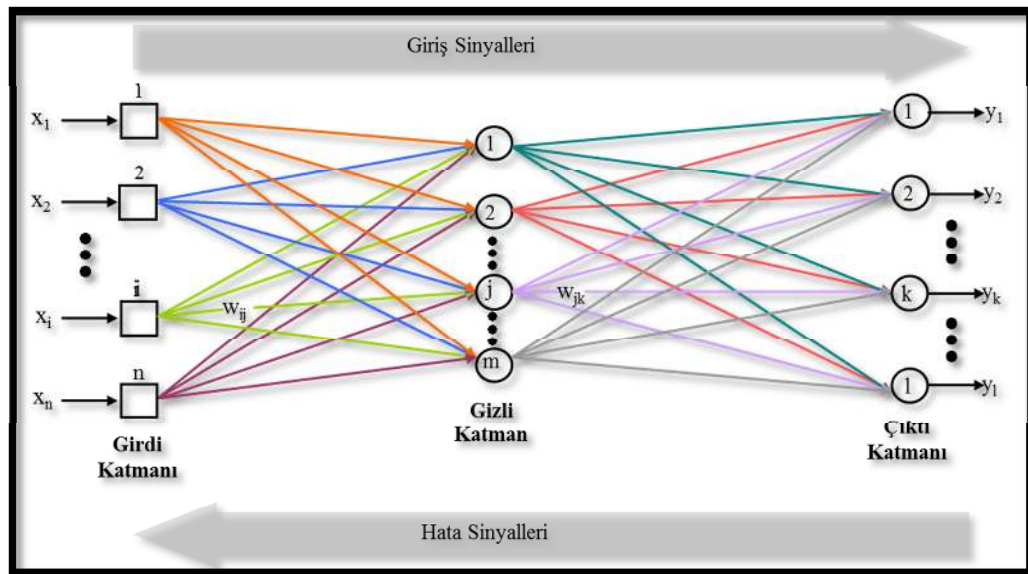
Ağın davranışının uygun olup olmadığını belirten bir mekanizma bulunmaktadır. Ağırlıkların güncellenmesi buna bakılarak yapılmaktadır. Deneme yanılma esasına

göre ağ eğitilmektedir. Kesin bir giriş-çıkış ilişkisi bulunmaması bakımından danışmalı öğrenmeden farklı bir yapıya sahiptir.

7.4 Metodoloji

7.4.1 Çok Katmanlı Perseptron

Çok Katmanlı Perseptron, giriş ve çıkış katmanları arasında birden fazla katmanın kullanıldığı ileri beslemeli bir YSA sistemidir. Gizli katman olarak isimlendirilen ara katmanlarda, düğümleri giriş ve çıkış katmanlarına doğrudan bağlı olmayan işlem elemanları bulunmaktadır. Şekil 7.3'te çok katmanlı perseptronun genel yapısı verilmektedir. Çok katmanlı perceptronlar, yeni eğitim algoritmalarının geliştirilmesi ile tek katmanlı perceptronlara ait sınırlamaların birçoğunu ortadan kaldırarak hâlihazırda etkinlikle kullanılmaktadır (Rumelhart, Hinton ve Williams, 1986).



Şekil 7.3 Çok katmanlı perseptron modeli

Çok katmanlı ağlarda, veriler giriş katmanı tarafından kabul edilmektedir. Ağ içinde yapılan işlemler sonucunda çıkış katmanında oluşan sonuç değer, istenen cevap ile karşılaştırılmaktadır. Bulunan cevap ile istenen cevap arasında herhangi bir ayrılık varsa, ağırlıklar bu farkı azaltacak şekilde yeniden düzenlenmektedir. Girişteki değer, ağırlıklar uygun noktaya ulaşana kadar değişmemektedir. Hesaplanan çıkışlar, istenilen cevaplarla karşılaştırılarak sonuçta hata

belirtilmektedir. Hata işareti gizli işlem elemanlarından çıkış birimine olan ağırlıkları değiştirmekte kullanılmaktadır. Ancak burada giriş katmanından gizli katmana ağırlığın değiştirilip değiştirilmediği konusu önemlidir. Gizli birimlerden ne tür bir çıkış istendiği bilinemeyeceği için gizli birimlerin çıkışında hata işareti verilmesi dikkat edilmesi gereken bir husustur. Bunun yerine her birimin çıkış biriminin hatalarına olan etkisi bilinmelidir. Bu ise hatalı birim için gizli birime bağlı olan çıkış birimlerinin hata işaretlerinin toplamı alınarak yapılmaktadır.

Çok sayıda gizli katmana sahip sistemlerde, her sistemin hata işaretleri, bir önceki katmanın düzeltilmiş işlemlerinden çıkartılarak işlem tekrarlanmaktadır. Sonuç olarak, ağırlık düzeltme işlemi çıkış seviyesine bağlı ağırlıklardan başlamakta ve işlem ters yönde, giriş seviyesine varana kadar devam etmektedir. Sonuçta sistem hatalar yapmakta, ama bu hatalardan bir şeyler öğrenip isteneni bulana kadar işlemi tekrarlamaktadır. Bu yöntemle “hatanın geriye beslenmesi algoritması” denilmektedir (Rumelhart ve McClelland, 1986).

Çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağları için geri yayılım algoritması Şekil 7.4’te verilmektedir.

Adım 0: Ağırlıklara ilk değer atanması: rastgele küçük değerler üretilir.

Adım 1: Örnek tanımlama: arzu edilen çıkışı y^k vektörü olan u^k giriş vektörü sinir ağına girdi olarak verilmektedir.

Adım 2: İleri Faz: ilk gizli katmandan başlamakta ve çıkış katmanına doğru yayılım göstermektedir.

2.1. Aktivasyon değerlerinin hesaplanması: her L katmanı için;

2.1.1. Eğer giriş katmanı L-1 ise;

$$a_{h_L}^k = \sum_{j=0}^N w_{jh_L} u_j^k$$

2.1.2. Eğer gizli katman L-1 ise;

$$a_{h_L}^k = \sum_{j_{L-1}=0}^{N_{L-1}} w_{j_{L-1}h_L} x_{j_{L-1}}^k$$

2.2. L katmanındaki birimler için çıkış değerlerinin hesaplanması. (h_L çıkış katmanı ise yerine i_0 kullanılmaktadır.)

$$x_{h_L}^k = f_L(a_{h_L}^k)$$

Adım 4: Çıkış hataları: çıkış katmanındaki hatalar hesaplanmaktadır.

$$\delta_{i_0}^k = (y_{i_0}^k - x_{i_0}^k) f'_0(a_{i_0}^k)$$

Adım 5: Geri Faz: hata terimini kullanarak her L katmanından giriş katmanına doğru hatanın yayılımını sağlamaktadır. (L+1 çıkış katmanı ise, $i_{(L+1)}$ yerine i_0 kullanılmaktadır.)

$$\delta_{h_L}^k = f'_L(a_{h_L}^k) \sum_{i_{L+1}=1}^{N_{L+1}} \delta_{i_{L+1}}^k w_{h_L i_{L+1}}^k$$

Adım 6: Ağırlıkların güncellenmesi: ağırlıklar aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$w_{j_{(L-1)}h_L}(t+1) = w_{j_{(L-1)}h_L}(t) + \eta \delta_{h_L}^k x_{j_{(L-1)}}^k$$

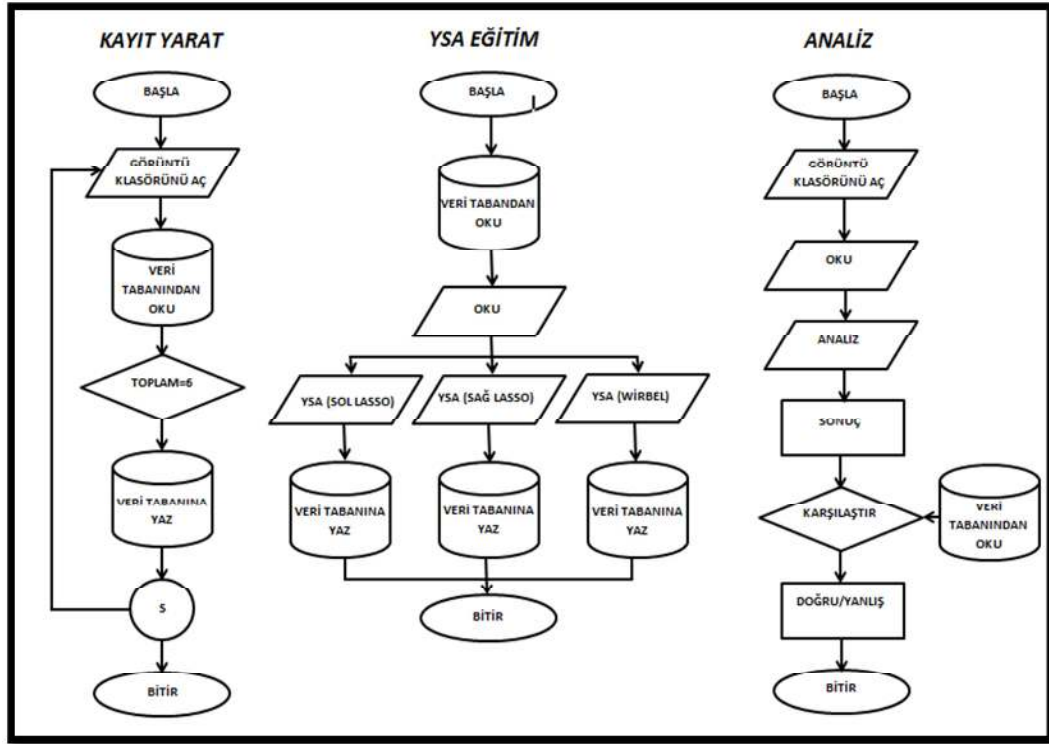
Adım 7: Durma kriteri sağlanana kadar 1-6 adımları tekrarlanmaktadır.

$$\langle e^k \rangle = \langle 1/2 \sum_{i_0=1}^M (y_{i_0}^k - x_{i_0}^k)^2 \rangle$$

Şekil 7.4 Çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağları için geri yayılım algoritması

7.5 DeneySEL SonuÇlar

Geliştirilen uygulamanın akış diyagramı Şekil 7.5'te, kullanıcı arayüzü Şekil 7.6'da verilmektedir.



Şekil 7.5 Akış diyagramı

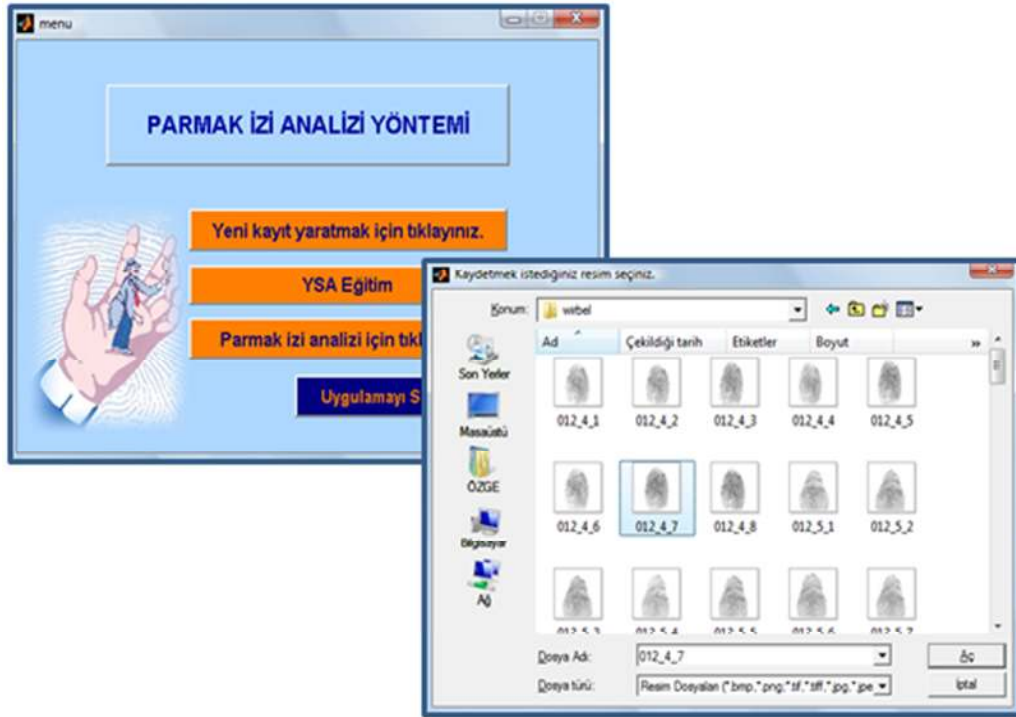


Şekil 7.6 Kullanıcı arayüzü

Şekil 7.6'da görüldüğü gibi uygulama arayüzü üç işlevsel buton ile bir çıkış butonu içermektedir. İşlevsel butonlar kayıt oluşturma, YSA'nın eğitimi ve YSA'nın sınama işlevlerini gerçekleştirmesinden sorumludur. Aşağıdaki bölümlerde her butonun işlevi detayları ile açıklanmaktadır.

7.5.1 Yeni Kayıt Yaratma

Uygulama, aynı parmağa ait farklı zamanlarda alınan sekiz adet parmak izine gereksinim duymaktadır. Bu izlerden rastgele altı adedi YSA eğitim, kalan iki adedi de YSA sınama için kullanılmaktadır. Yeni kayıt yaratırken kullanıcı, Şekil 7.7'de resmedilen arayüzden altı parmak izi girmeye zorunlu kılınmaktadır. Butona tıklanması ile görüntü klasörü açılmakta ve etiketli veriler arasından kullanıcının 6 adet seçim yapması beklenmektedir. Bu altıparmak izi yazılım tarafından işlenmekte, işletim sonrasında istatistik analizler yapılmakta ve analiz sonuçları YSA'ya eğitim verisi olacak şekilde hazırlanmaktadır.



Şekil 7.7 Yeni kayıt yaratma

7.5.2 YSA Eğitimi



Şekil 7.8 YSA Eğitim

Kullanıcı arayüzündeki (Şekil 7.8) ikinci butonun tetiklenmesi ile eğitim süreci başlamaktadır. Çalışmada, nitemlerin elde edilmesinin ardından her iz için deltaların konum ve sayısına bakıldıktan sonra izler sağ lasso (tek deltası vardır ve delta merkez noktasına göre izin sağında yer almaktadır), sol lasso (tek deltası vardır ve delta merkez noktasına göre izin solunda yer almaktadır) ve wirbel (delta sayısı iki adettir) tip olarak sınıflandırılmaktadır. Toplam üç farklı veri türü için üç farklı yapay sinir ağı yapısı oluşturulmaktadır.

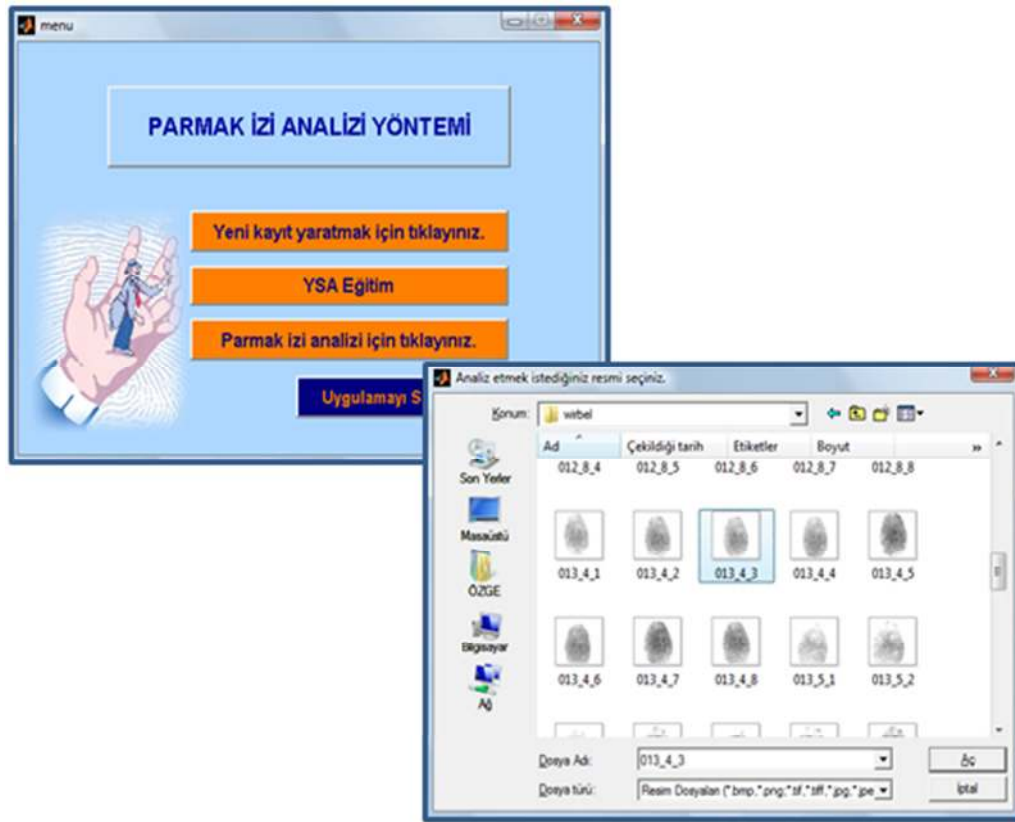
Üzerinde çalışılan yapay sinir ağı yapısı, çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağı yapısı olup, ağı oluşturulması için MATLAB *newff* fonksiyonu kullanılmaktadır. *newff* fonksiyonunun yapısı ve parametreleri aşağıda açıklanmaktadır:

newff(PR,[S1 S2...SNI],{TF1 TF2...TFNI},BTF,BLF,PF)

- | | |
|------------|--|
| PR | : R giriş elemanlarının, R x 2 boyutlu minimum ve maksimum değer matrisi |
| Si | : i=1,2,...,NI olmak üzere i'ninci katmanın boyutu |
| TFi | : i'ninci katmanın transfer fonksiyonu |
| BTF | : Geri yayımlı ağ öğrenme fonksiyonu |
| BLF | : Geri yayımlı ağırlık/bias öğrenme fonksiyonu |
| PF | : Performans fonksiyonu |

YSA eğitim verileri, istatistikler sonucunda elde edilen benzersiz öznitelik verilerinin derlenmiş halidir. Anılan veriler nitem türlerine göre ayrılmakta ve üç farklı YSA tarafından giriş verisi olarak kullanılmaktadır. Eğitim sonucunda üç farklı ağ oluşmakta ve sınama için hazır bulundurulmaktadır.

7.5.3 Analiz



Şekil 7.9 Parmak izi analizi

Parmak izi analizi, YSA'nın sınama sonuçlarını üretmesi ile yapılmaktadır. Test edilecek veri, Şekil 7.9'da verilen ekran aracılığı ile alınmaktadır. Veri, kayıt yaratma işlem adımlarından geçmekte, öznitelik bilgileri elde edilmektedir. Elde edilen öznitelik bilgilerinden parmak izinin türü belirlenmekte ve belirlenen türe göre uygun olan YSA seçilmektedir. Test verisi seçilen YSA ile sınanmaktadır. Üretilen sonuç, YSA'nın veri tabanında mevcut kayıtlı veriler arasından birisidir.

Başarılı bir analiz sonrasında kullanıcı Şekil 7.10'daki pencereye benzer bilgileri elde etmektedir.

PARMAK İZİ VE FOTOĞRAF KAYIT FORMU

KİMLİK BİLGİLERİ	
ADI	Haluk
SOYADI	Kocak
DOĞUM TARİHİ	03.03.1988

EŞLEŞME SAĞLANDI!!

Şekil 7.10 Analiz sonuç penceresi

7.5.4 Uygulamayı Sonlandırma

Uygulama, Şekil 7.11’de gösterilen çıkış onay butonuna tıklaması ile sonlanmaktadır.

Uygulamayı sonlandırmak istediğinizden emin misiniz? (EVET / HAYIR)

EVET **HAYIR**

Şekil 7.11 Uygulama çıkış onay penceresi

7.6 Sonuç

Kullanılan yapay sinir ağlarının özellikleri ve sınama sonuçları Tablo 7.1’de özetlenmektedir.

Tablo 7.1 Yapay Sinir Ağları Özellik ve Başarı Durumları

TİP	KATMANLAR	TEKRAR	ÖĞRENME ORANI	EĞİTİM SETİ			TEST SETİ		
				VERİ SAYISI	DOĞRU	YÜZDE	VERİ SAYISI	DOĞRU	YÜZDE
Sağ Lasso	[19 30 15 1]	32000	0,1	126	124	98,4	42	39	92,8
Sol Lasso	[19 19 10 1]	12500	0,001	96	96	100,0	32	29	90,6
Wirbel	[19 30 30 1]	5000	0,1	108	106	98,1	36	33	91,6
Karma	[19 45 45 1]	35000	0,1	330	302	91,2	110	68	61,8
	[19 45 45 1]	40000	0,1	330	328	99,3	110	70	63,6

Yapay sinir ağlarının sonuçlarına bakıldığında, eğitim seti verileri ile test edilen YSA arasında karma parmak izleri için tasarlanan YSA daha başarılı görünse de test seti sonuçlarında her tip parmak izi için ayrı ayrı tasarlanan YSA'nın başarılı olduğu açıktır.

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada internet kaynaklı CrossMatchSample veri tabanındaki parmak izleri ile gerçek kişilerden alınan parmak izleri karma olarak kullanılmış ve anılan parmak izlerinden öznelilikler çıkartılıp istatistiksel analizler yapılmış ve istatistik sonuçları çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağı yapısı kullanılarak başarı ile sınıflandırılmıştır.

Gerçek kişilerin parmak izleri cam levha üzerine yayılmış matbaa mürekkebi ile hâlihazırda kullanılan Parmak İzi Kayıt Formu üzerine alınmıştır. Tarayıcıdan geçirilen görüntüler, ön işleme işlemlerine tabi tutularak sırasıyla Sektörizasyon, Normalizasyon, Yön Tayini, Frekans Tayini, Filtreleme, İkileştirme ve İnceltme işlemlerinden geçirilmiştir. Sıralanan bu işlem adımlarının ardından, görüntü kalitesi iyileştirilmiş, ön plan ve arka plan farkları ön plana çıkartılmış ve iz alımından kaynaklanan hatalar giderilmeye ve yanlış algılanabilecek nitemler yok edilmeye çalışılmıştır. Merkez noktanın tespiti ile istatistikler için referans nokta elde edilmiş, delta noktalarının sayısı ve yeri ile parmak izleri üç farklı sınıfa ayrılmıştır.

Yapay Sinir Ağı (YSA) olarak, ileri beslemeli model seçilmiş ve bu model hatanın geriye doğru yayılımını kullanan bir öğrenme modelini kullanmıştır. Anılan model, danışmalı öğrenme modelidir. YSA'nın iki temel işlevinden biri öğrenme ve diğeri öğrendiğinin sorgulaması yapıldığında buna yanıt üretmektir. Bu kapsamda, hiç öğrenmediği bir örüntüyle karşılaşan YSA'nın, bu örüntüyü daha önce öğrendiklerine benzeterek yanıt vermeye çalışacağı açıktır. Bu çalışmada, test sonucunda üretilen çıkış değeri ne olursa olsun herhangi bir reddetme işlemi yapılmamış ve çıkış değeri belirlenen kayıtlı kişilerden birisine ait olmaya zorlanmıştır.

Sonuç olarak, YSA ve parmak izi analizi yöntemiyle kimlik tayini çalışmasının başarısı %90-93 arasında olmuştur. Literatürde yer alan benzer çalışmaların sonuçlarının %90-95 aralığında olduğu görülmektedir. Bu bakımdan, elde edilen doğru tanıma yüzdesinin yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

YSA ve parmak izi analizi yöntemiyle kimlik tayini çalışmasında, öznitelik verileri literatürde yer alan diğer çalışmalardan farklı olarak, hatsonu ve çatallaşma nitemlerinden ayrı ayrı oluşturulan Delaunay üçgenlerinden elde edilen alfa, beta ve gama değerleri ile yine anılan nitemlerden ayrı ayrı elde edilen kare ortalamalarının karekökü, Fc tepe değeri, Kurtosis değeri, aritmetik ortalama ve standart sapma değerleridir. Bu veriler, YSA'ya verilerek öğrenme ve sınama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ancak bu girdi değerlerinin öznitelik anlamında öğrenme üzerindeki baskınlıkları incelenmemiştir. İleride yapılacak çalışmalarda bu özniteliklerin etkilerinin incelenmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, yine ileride yapılacak çalışmalarda, gerçek kişilerden daha fazla sayıda parmak izi alınması ile gerçek veriler üzerinde çalışılmasının, görüntüler için kullanılan iyileştirme ve kaliteyi artırma işlemlerinin daha kapsamlı ve daha çok gereksinimi karşılayacak nitelikte detaylı şekilde yapılmasının ve son olarak paralel çalışabilen YSA'nın kullanılmasının performans ve başarıyı artırıcı yönde sonuçlar üreteceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ballan, M., Sakarya, F.A. ve Evans, B.L. (1997). *A Fingerprint Classification Technique Using Directional Images*. Conference Record of the Thirty-First Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers, 1, 101-104.
- Chikkerur, S.S., Cartwright, A.N. ve Govindaraju, V.(2007). Fingerprint Image Enhancement Using STFT Analysis. *Journal Pattern Recognition*, 40, (1).
- İzmir Emniyet Müdürlüğü Olay Yeri İnceleme Şube Müdürlüğü. (b.t.). *Olay Yeri İnceleme ve Kimlik Tespit Ders Dokümanı*. İzmir: Emniyet Müdürlüğü Basımevi.
- Jain, A.K., Prabhakar, S. ve Hong, L. (1999). A Multichannel Approach to Fingerprint Classification. *Journal IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 21, (4), 349-359.
- Jain, A.K. ve Hong, L. (2004). *Fingerprint Enhancement*. Proceedings of the First IEEE WACV, 202-207.
- Jain, A.K., Chen, Y. ve Demirkuş M. (2006). *Pores and Ridges: Fingerprint Matching Using Level 3 Features*. 18th International Conference on Pattern Recognition, ICPR 2006, 26, (1), 477-480.
- Julasayvake, A. ve Choomchuay, S. (2007). *An Algorithm for Fingerprint Core Point Detection*. 9th International Symposium on Signal Processing and Its Applications, ISSPA 2007, 1-4.
- Kamijo, M. (1993). *Classifying Fingerprint Images using Neural Network: Deriving the Classification State*. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Application and Reviews, 35, (3), 287-300.
- Karu K. ve Jain A.K. (1996). Fingerprint Classification. *Pattern Recognition*, 29, (3), 389-404.
- Karungaru, S., Fukuda, K., Fukumi, M. ve Akamatsu N. (2008). *Classification of Fingerprint Images Into Individual Classes Using Neural Networks*. IEEE Annual Conference on Industrial Electronics, 1857-1862.

- Kayseri Emniyet Müdürlüğü Olay Yeri İnceleme Şube Müdürlüğü. (24 Nisan 2009). *kayseri.pol* . (Kasım 2010) , <http://www.kayseri.pol.tr/haberdetay.asp?ID=29>.
- Kovesi, P. (27 Eylül 2010). *Fingerprint Enhancement* (Kasım 2010), <http://www.csse.uwa.edu.au/~pk/Research/MatlabFns/Index.html#fingerprints>.
- Limin, L. ve Tian-Shyr, D. (2009). A Reliable Fingerprint Orientation Estimation Algorithm. *Journal of Information Science and Engineering*, 27, (22), 353-368.
- Monowar, H.B., Sarat, S. ve Dhruva. K.B.(2010). An Effective Method for Fingerprint Classification. *International Arap Journal of e-Technology*, 1, (3).
- Ohtsuka, T., Watanabe, D. ve Aoki, H. (2007). *Fingerprint Core and Delta Detection by Candidate Analysis*. IAPR Conference on Machine Vision Applications, 130-133.
- Ratha, N., Chen, S. ve Jain, A. (1995). Adaptive Flow Orientation Based Feature Extraction in Fingerprint Images. *Pattern Recognition*, 28, (11), 1657-1672.
- Raymond T. (2003). *Fingerprint Image Enhancement and Minutiae Extraction*. Aralık 2009, www.csse.uwa.edu.au/~pk/studentprojects/raymondthai/RaymondThai.pdf.
- Rumelhart, D. E., McClelland, J. L. ve the PDP research group. (1986). *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition. Volume I*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. ve Williams, R.J. (1986). *Parallel distributed processing: Learning Internal Representations by Error Propagation*. (318-362). Cambridge, MA: MIT Press.
- Shen, W. ve Eshera, M.A. (2004). Feature Extraction in Fingerprint Images. *Automatic Fingerprint Recognition Systems (Chapter 8)*.(145-181).
- Tico, M. ve Kuosmanen, P. (2000). *An Algorithm for Fingerprint Image Postprocessing*. Conference Record of the Thirty-Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 2, 1735 – 1739.

Zhang, Q., Huang, K. ve Yan, H. (2006). *Fingerprint Classification Based on Extraction and Analysis of Singularities and Pseudoridges*. Proceeding of the Pan-Sydney Area Workshop on Visual Information, 11.