

# Genel Amaçlı Otomatik Parmakizi Tanıma Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

Necla ÖZKAYA\* Şeref SAĞIROĞLU\*\* Erkan BEŞDOK\*\*\*

\*Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
38039 Kayseri

\*\*Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
06570 Maltepe, Ankara

\*\*Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü  
38039 Kayseri

## ÖZET

Bu çalışmada, otomatik bir parmakizi tanıma sistemi başarıyla gerçekleştirilmiş ve sunulmuştur. Sistem tasarlanırken işlemler adım adım yapılmıştır. Öncelikle bir parmakizi okuyucu yardımıyla veya dosyadan alınan parmakizi resimleri sayısal çevrilmiştir. Resimler küçük parçalara bölünerek üzerinde işlem yapılacak alan arkaplandan ayrılmıştır. İyi sonuç veren bir algoritma kullanılarak griseviye resimden referans noktaları elde edilmiştir. Sistem hızını ve performansını arttırmak için parmakizi resimleri temizlenip iyileştirilmiştir. Temizlenip iyileştirilen resimlere bölgesel ikili dönüşüm uygulanmış ve daha sonra siyah beyaz renkten oluşan ikili resim inceltirilmiştir. İnceltirilmiş resim üzerinde özellik noktaları olarak adlandırılan uç ve çatal noktalar ve bunlarla ilgili gerekli parametreler bulunmuş ve yalnızca özellik noktaları elenmiştir. Son olarak karşılaştırma algoritması belirlenip karşılaştırma işlemi yapılmıştır. Sunulan çalışmada, belirtilen tüm adımlar başarıyla gerçekleştirilmiş ve bu işlemlerin kolaylıkla yapılabilmesi için bir yazılım geliştirilmiştir. Hem tanıma, hem de onaylama/doğrulama modunda çalışabilen sistem, 100 parmakizi resminin bulunduğu bir veritabanında test edilmiş ve başarılı sonuçlar vermiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Biyometri, Otomatik Parmakizi Tanıma, Parmakizi Temizleme, Özellik Noktaları, Referans Noktalar, Parmakizi Karşılaştırma.

# Automatic Fingerprint Identification and Verification System Design for General Usage

## ABSTRACT

This work presents an automatic fingerprint identification and verification system for general usage. Design processes of the system have been presented step by step. Fingerprints were first converted into digital images using a specific hardware. They were then processed by a computer. Fingerprint images were divided into grid blocks, and these blocks were classified as image area and background. An effective algorithm was developed and used to detect the fingerprint singularities from gray level fingerprint images. In order to improve the performance of the system, fingerprint image enhancement was performed by using a mask. Binary images were obtained from the enhancement images using a regional binarization algorithm. Binary images were converted to thin images. Ridge endings and ridge bifurcations of the fingerprints (minutiae) were extracted. A postprocessing algorithm was used to eliminate false minutiae patterns and the fingerprint matching process was finally applied. In order to automatise the system, a software for fingerprint identification and verification was developed in Delphi. 100 fingerprint images were used for identification and verification. The system developed in this work achieves the task with high accuracy.

**Keywords:** Biometrics, Automatic Fingerprint Identification and Verification System, Enhancement, Minutiae Extracting, Singular Points, Matching.

## 1. GİRİŞ

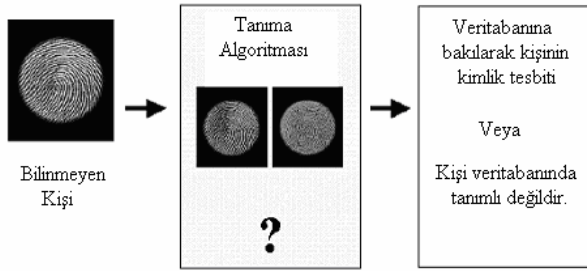
Parmakizi tanıma, retina ve iris tanıma, el geometrisi tanıma, ses tanıma, yüz tanıma, DNA tanıma, imza tanıma gibi tekniklerin tamamını kapsayan biyometri, yüksek seviyede güvenlik gerektiren alanlarda, giriş çıkışlarda kimlik kontrolünün gerektiği otomatik personel devam kontrol sistemleri gibi sistemlerde mükemmel bir çözüm olmakta ve sosyal hayattaki uygulamalarda oldukça sık karşılaşılan çok hızlı gelişen ve benimsenen güvenilir bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır (1-4). Güvenilirliği, sistem performansı,

düşük maliyeti ve kullanım kolaylığıyla dikkat çeken otomatik parmakizi tanıma sistemleri (OPTS), biyometri teknikleri arasında en yaygın kullanılan teknolojidir (1,3,4).

## 2. OTOMATİK PARMAKİZİ TANIMA SİSTEMLERİ (OPTS)

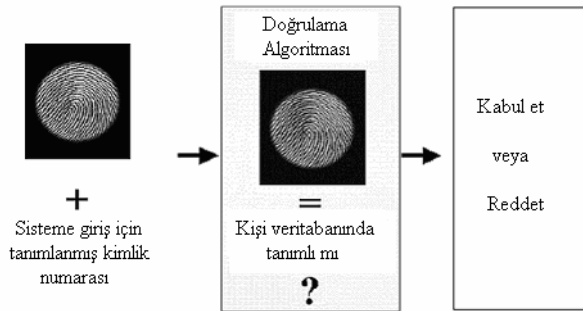
Son zamanlarda bilim ve teknolojideki gelişmelere paralel olarak biyometrik sistemlere ilgi artmış, özellikle otomatik parmakizi tanıma sistemleri sosyal hayatın bir çok alanında kullanım alanı bulmuştur (2-6).

Genel olarak bir biyometrik sistem, tanıma modu (identification mode) ve onaylama/doğrulama modu (verification mode) olmak üzere iki modda çalışır (1,2,4,6,7). Sistem tanıma modunda çalışırken, kişiye ait biyometri bilgileri ve kimlik bilgileri uygun bir formatta tüm sistem veritabanında karşılaştırma yapılabilecek şekilde tanımlanıp veritabanına işlenmiş olmalıdır. Bu modda kullanıcı, sahip olduğu biyometrik özellikler dışında herhangi bir kimlik numarasına sahip değildir. Sisteme girmek isteyen kullanıcının bu biyometri bilgisi alınır, veritabanında bulunan tüm kayıtlarla tek tek karşılaştırma yapılarak kullanıcının sistemde tanımlı bir kullanıcı olup olmadığı araştırılır (1,2,4,6,7). Tanıma modunda bir biyometrik sistemin çalışma prensibi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Biyometrik Sistemin Tanıma Modu

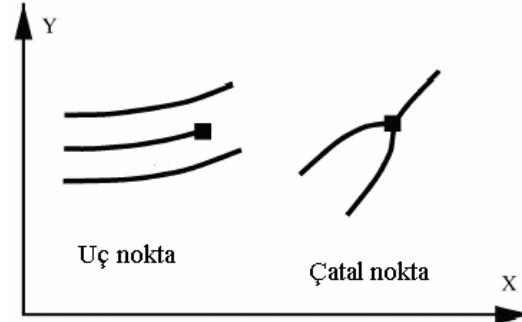
Sistem onaylama/doğrulama modunda çalışırken, kullanıcı, sistemde tanımlı olan ve kendisini temsil eden bir kimlik numarası ile birlikte gelir. Kullanıcıya ait biyometrinin o anki özellikleri ile aynı kullanıcıya ait daha önce alınmış ve veritabanına kaydedilmiş özellikler karşılaştırılarak kişiye verilen hak gereğince sistem cevabı üretilir (1,2,4,6,7). Onaylama/ doğrulama modunda bir biyometrik sistemin çalışma prensibi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Biyometrik Sistemin Onaylama / Doğrulama Modu

Bir OPTS'de parmakizi tanıma genellikle parmakizinde bulunan özellik noktalarının ve bunlara ait parametrelerin karşılaştırılması esasına dayanır (4,8-13). Parmakizine ait bir çok özellik noktası olmasına rağmen, OPTS'lerde parmakizi tanıma ve karşılaştırmada

yalnızca uç ve çatal noktalar kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir (1-4,8,11-13). Günümüzde parmakizi tanıma sistemlerinde kullanılan ve özellik noktaları (minutiae) olarak bilinen uç ve çatal noktalar, parmakizi resminde bulunan hat çizgilerinin aniden sonlanması veya çatallaşması şeklinde oluşurlar (1-4,11-13). OPTS'de kullanılan iki önemli özellik noktası Şekil 3'te verilmektedir.

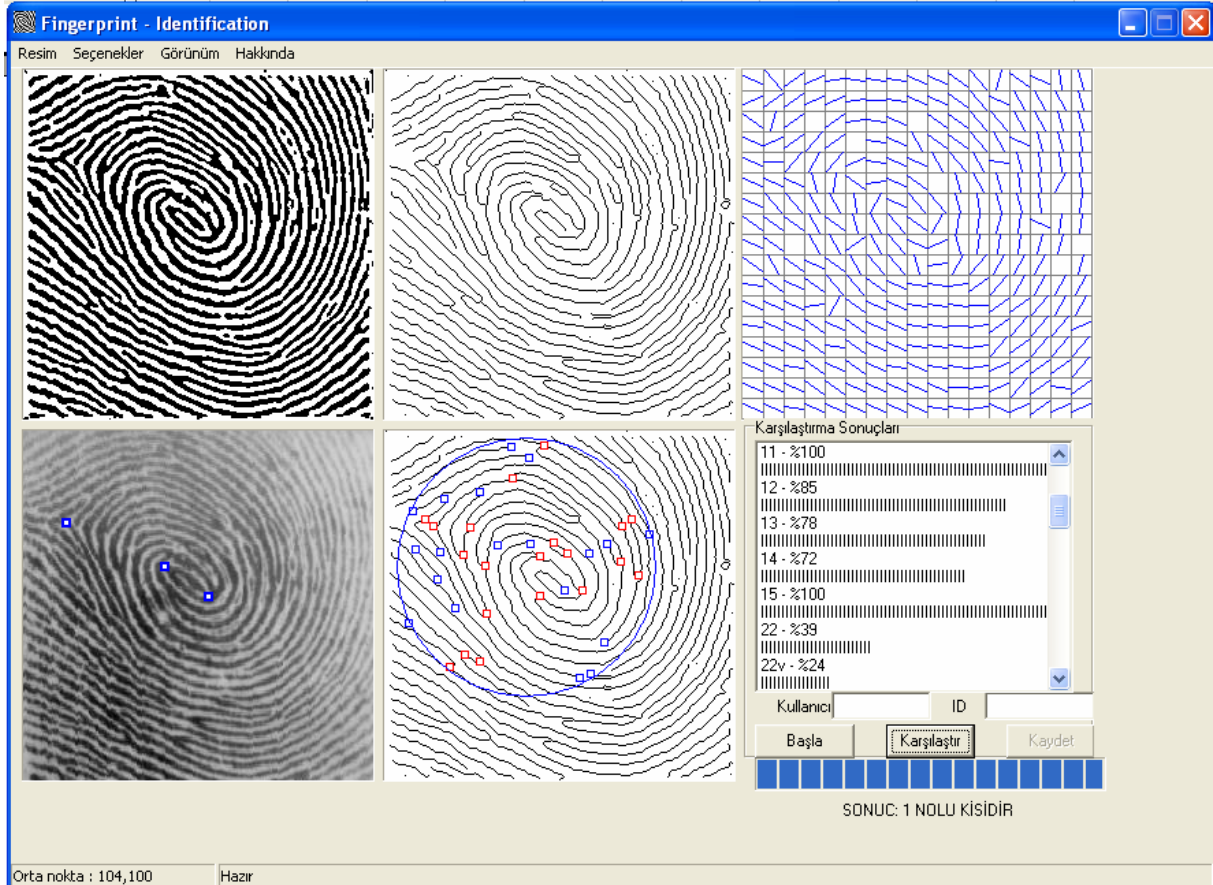


Şekil 3. OPTS'de Kullanılan Özellik Noktaları

### 3. ÖNERİLEN YÖNTEM

Sunulan çalışmada, hem tanıma hem de onaylama/doğrulama modunda çalışabilen, bir otomatik parmakizi tanıma sistemi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Sistem tanıma modunda çalışırken sistem girişi sadece parmakizi bilgisidir. Girilen parmakizi bilgisi tüm sistem veritabanındaki parmakizi bilgileriyle tek tek karşılaştırılarak sistem cevabı üretilir. Onaylama/ doğrulama modunda sistem, kullanıcının kimlik bilgisini ve parmakizi bilgisini sisteme girmesine olanak sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. Sistem girilen parmakizi resmi ile sistem veritabanında o kişiye ait olan parmakizi bilgisini karşılaştırmakta ve kişinin sisteme dahil olabileceği veya olamayacağı şeklinde bir sonuç üretmektedir. Sistemin tanıma modundaki çalışmasını gösteren ekran görüntüsü Şekil 4'te, onaylama/doğrulama modundaki çalışmasını gösteren ekran görüntüsü ise Şekil 5'te verilmektedir.

Gerçekleştirilen sistem temelde 3 parçadan oluşmaktadır. Bunlar, kullanıcı arayüzü, sistem veritabanı ve yönetim modülü olarak sıralanabilir. Kullanıcı arayüzü, sistemin kullanıcılar tarafından amaca uygun şekilde kullanılmasını sağlayan parçasıdır. Tanıma ve onaylama/doğrulama modülü olmak üzere iki alt parçadan oluşur. Sistem veritabanı, sistemde tanımlı olan kişilerin bilgilerinin bulunduğu kayıtlar topluluğudur. Yönetim modülü ise sistem yöneticisinin, kullanıcılar ve kullanıcı hakları konusunda sistemi yönetmesine ve kontrolüne olanak sağlayan kısımdır.



Şekil 4. OPTS'nin Tanıma Modunda Çalışmasını Gösteren Ekran Görüntüsü

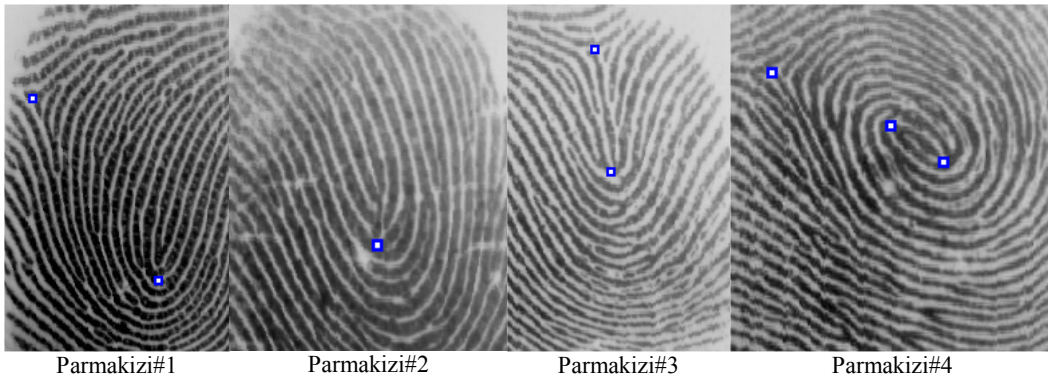


Şekil 5. OPTS'nin Onaylama/Doğrulama Modu

Bu çalışmada OPTS tasarlanırken gerçekleştirilen ilk işlem, parmakizi resminin sayısal olarak elde edilmesi ve arkaplanın ayrılması işlemidir. Referans noktalar olarak da bilinen orta nokta ve delta noktasının tesbiti ise OPTS'nin ikinci işlem adımıdır. Özellik noktalarının kodlanmasında ve parmakizi karşılaştırma işlemlerinde kullanılan referans noktaların

belirlenmesi, bir OPTS'de en karmaşık ve zor, aynı zamanda en önemli işlemlerden birisidir (1,4,5,7,14). Parmak hangi açıyla ve nasıl basılırsa basılsın parmakizi tanıma işleminin gerçekleşebilmesi için parmakizinin temsil edilmesinde ve karşılaştırılmasında özellik noktalarının değişmeyen belli bir referans noktaya göre durumları incelenmekte ve ilgili parametreler referans

nokta dikkate alınarak hesaplanmaktadır (4,5,7,14). Bu çalışmada referans noktaların tesbiti için gri seviye parmakizi resmi üzerinde maksimum gri seviye değişim yönünü bulan gradyent temelli bir algoritma (14) parmakizi resminin kenar bölgelerinde çalışmasıyla ilgili bazı değişiklikler yapılarak kullanılmış ve parmakizi bilgisinin kimliklendirme için gerekli parametreleri, hat çizgilerinin içe doğru dairesel hareketlerinin en fazla olduğu nokta olarak açıklanabilen orta nokta kullanılarak elde edilmiştir. Algoritma, yerdeğiştirme, döndürme, ve yeniden boyutlandırma gibi üç boyutlu dönüşümlerden etkilenmeden her türlü parmakizinde sorunsuz olarak çalışabilmektedir. Sistemin değişik parmakizi örnekleri için referans noktaların tesbiti işleminde verdiği sonuçlar Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. OPTS'nin Değişik Parmakizi Resimlerinde Referans Noktaları Tespiti

$$I(x,y) = \frac{I(x-1,y-1) + I(x-1,y) + I(x-1,y+1) + I(x,y-1) + I(x,y) + I(x,y+1) + I(x+1,y-1) + I(x+1,y) + I(x+1,y+1)}{9} \quad (1)$$

Resmin bilgi taşımayan gereksiz kısımlarından ve gürültüden arındırılması, OPTS için işlem hızının artması, işlem zamanının kısalması, özellik noktalarının bulunmasında sistem performansının ve güvenilirliğinin artması gibi bir takım üstünlükler sağlar (1,6-10,12). Bu nedenle bir OPTS'de, parmakizi resminin temizlenmesi ve iyileştirilmesi çok önemlidir. Resim ne kadar yüksek kalitede iyileştirilirse OPTS'nin performansı da o kadar artar (6-10,12). Parmakizi temizleme ve iyileştirme için piksel işleme, görüntünün dönüşümlerini hesaplama veya görüntüye maske uygulama tekniklerine dayalı algoritmalar kullanılabilir (7-10,12,15). Bir OPTS'de ön işlemler olarak tanımlanan parmakizi resmi temizleme ve iyileştirme işlemleri, genellikle nokta uygulamaları, bölgesel işlemler, resmin siyah beyaz renk değerlerinden oluşan ikili resme çevrilmesi ve resmin inceltilmesi gibi işlemlerden oluşmaktadır (15). Parmakizi temizleme ve iyileştirme için resme ait yön bilgilerinden de faydalanılmaktadır (12). Sunulan çalışmada yön bilgileri hesaplanmış ancak temizleme ve iyileştirme işleminde kullanılmamıştır. Resim iyileştirme ve temizleme, resim üzerinde çeşitli etkileri olan farklı maskelerin konvolüsyonundan oluşan bir maske kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu maske, resim üzerinde yüksek frekanslı bileşenlerin sönümlenmesi etkisi gösteren

ortalama değer maskesinin ve kenar bileşenlerinin keskinleştirilmesi ve iyileştirilmesine yönelik işlem yapan, laplacian filtrenin konvolüsyonundan oluşan bir maske dir. Konvolüsyon sonucunda ortalama değer maskesinin sönümlenme etkisi ile laplacian filtrenin kenar bilgilerini vurgulama etkisi birleştirilmiş ve amaca uygun olarak kullanılmıştır. Merkezi piksel değerinin komşu piksellerin gri seviye ortalaması ile yer değiştirilmesiyle gerçekleştirilen ortalama değer Eşitlik 1'de, resmin tüm noktalarındaki laplacian değerinin karesinin toplanması ile ölçülen, hesaplama yükü ve zamanı açısından iyi performans sergileyen ve literatürde çok kullanılan laplacian filtre ise Eşitlik 2'de verilen formüller ile tanımlanabilir (16). Parmakizi resminin temizlenmesi ve iyileştirilmesi için oluşturulan maske Şekil 7'de verilmektedir.

$$\max \sum_x \sum_y (I(x,y+1) - 2I(x,y) - I(x,y-1))^2 \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} -1 & -4 & -10 & -16 & -19 & -16 & -10 & -4 & -1 \\ -4 & -7 & -13 & -10 & -13 & -10 & -13 & -7 & -4 \\ -10 & -13 & -19 & 2 & -1 & 2 & -19 & -13 & -10 \\ -16 & -10 & 2 & 68 & 74 & 68 & 2 & -10 & -16 \\ -19 & -13 & -1 & 74 & 80 & 74 & -1 & -13 & -19 \\ -16 & -10 & 2 & 68 & 74 & 68 & 2 & -10 & -16 \\ -10 & -13 & -19 & 2 & -1 & 2 & -19 & -13 & -10 \\ -4 & -7 & -13 & -10 & -13 & -10 & -13 & -7 & -4 \\ -1 & -4 & -10 & -16 & -19 & -16 & -10 & -4 & -1 \end{bmatrix}$$

Şekil 7. Parmakizi Temizlemede Kullanılan Maske

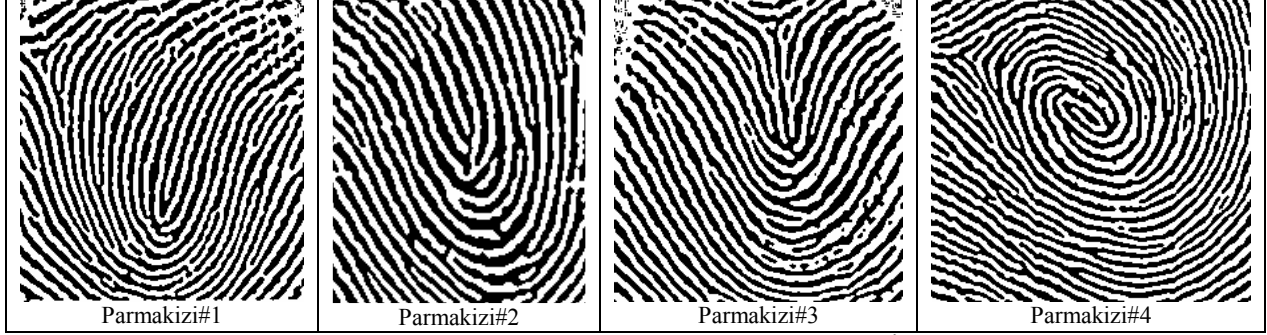
Resim üzerine maske uygulandıktan sonra elde edilen resme bölgesel ikili dönüşüm uygulanmıştır. Bölgesel ikili dönüşüm algoritması Eşitlik 3'te verilmektedir.

$$I_{yeni}(n_1, n_2) = \begin{cases} 1 & I_{eski}(n_1, n_2) \geq \text{Ortalama} \\ 0 & \text{Farklı durumlar} \end{cases} \quad (3)$$

Geliştirilen OPTS'ye giriş olarak Şekil 6'da verilen gri seviye parmakizi resimleri uygulandığında sis-

temin parmakizi temizleme ve iyileştirme adımı sonrasında elde edilen sonuçlar Şekil 8'de gösterilmektedir.

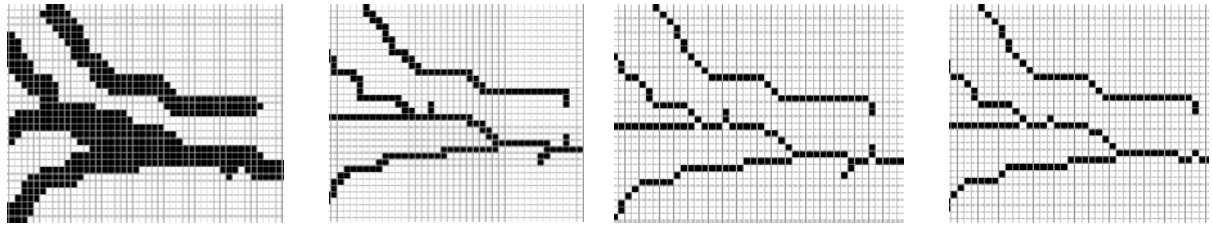
yahtan beyaza geçiş ve beyazdan siyaha geçiş sayısı D ile ifade edilsin. S ve D'nin aldığı değerler gözönünde



Şekil 8. OPTS'nin Değişik Parmakizi Resimlerini Temizleme ve İyileştirme

Sunulan çalışmada OPTS'nin gerçekleştirdiği bir sonraki işlem, temizlenip iyileştirilen parmakizi resimlerinin inceltilmesi ve inceltilen resmin iyileştirilmesidir. İnceltme, parmakizi resmi üzerinde bulunan her bir hat çizgisi genişliğinin daraltılarak 1 piksel ile ifade edilmesi şeklinde tanımlanabilir (1,6-8,15). Bu çalışmada parmakizi resminin inceltilmesi için öncelikle literatürde varolan inceltme algoritmaları gerçekleştirilmiş (15,17-19), bu algoritmalarından bazılarının eksikleri giderilmiş ancak sonuçta istenilen kalitede inceltilmiş resim elde edilememiş ve incelenen metotlarla kıyaslandığında daha iyi sonuç veren adaptif bir inceltme algoritması geliştirilmiştir (7). İnceltme algoritması,

bulundurulacak bazı noktalar silinir. Silinecek noktaların belirlenmesinde (( $S > 2$ ) ve ( $D = 2$ )) ise P pikseli silinmelidir şeklinde tanımlanan kurallar kullanılmaktadır. Bu işlem resmin sol üst köşesinden sağ alt köşesine doğru yapılarak işlem devam edilir ve silinecek noktalar aynı resim üzerinden silinir. Böylece komşu siyah nokta sayısı hiçbir zaman 8 olmayacak ve inceltilen resim üzerinde kapalı bir çizgi oluşmayacaktır. İnceltilen parmakizi resminden özellik noktalarının doğru bir şekilde elde edilebilmesi için bu resimde yalancı özellik noktaları oluşturabilecek kısımların düzeltilmesi gerekmektedir (7,13,17). Bu yüzden inceltilen resim tekrar gözden geçirilerek

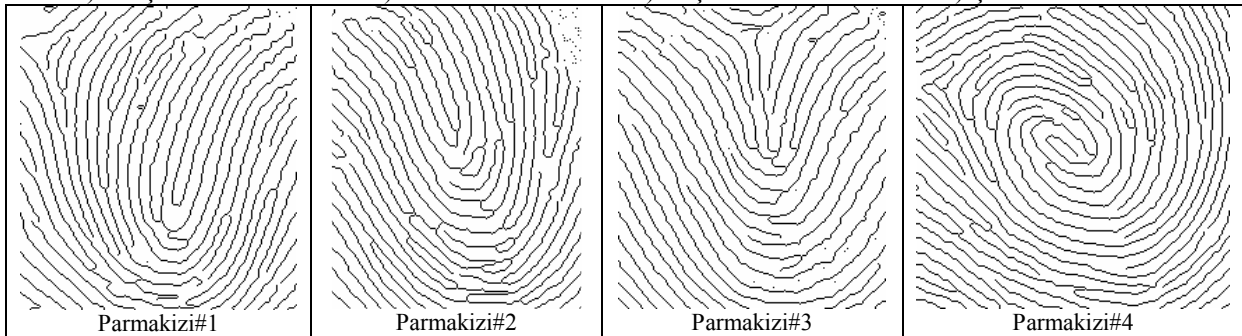


1) Giriş Resmi

2) İnceltme Sonrası

3) Köşelerin Düzeltilmesi

4) Çıktıların Giderilmesi



Şekil 10. OPTS'nin Değişik Parmakizi Resimlerini İnceltip İyileştirme

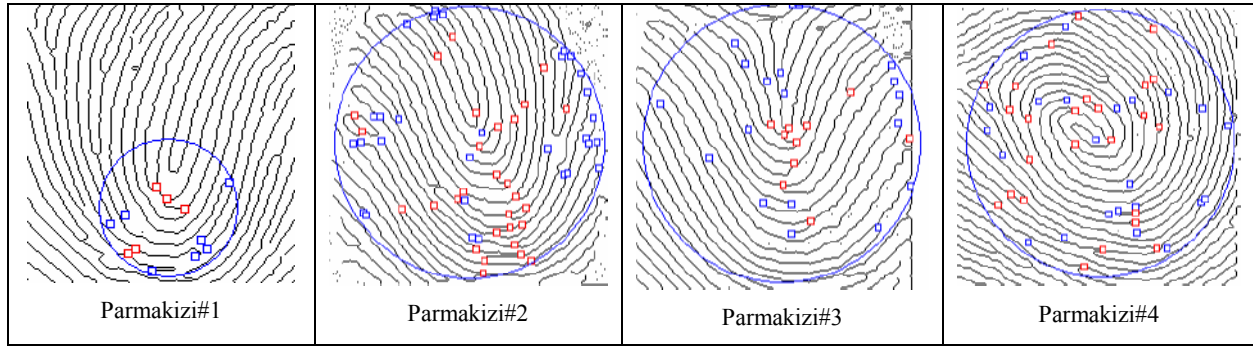
parmakizi resmini inceltirken aynı zamanda özellik noktalarını standartlaştırarak özellik noktalarının bulunması işlemini basitleştirmekte ve sistem hızını arttırmaktadır. İnceltme işlemi için gerçekleştirilen algoritmada 3x3 boyutunda bir maske kullanılmıştır. Maskenin merkezinde bulunan nokta, üzerinde işlem yapılmaktadır. Merkezde bulunan siyah piksel etrafındaki siyah noktaların sayısı S ve yine bu nokta etrafında si-

onarılır. Bu onarıma işlemi parmakizindeki sahte elementlerin kaldırılması, istenmeyen sivri uçların giderilmesi, özellik noktalarının standartlaştırılması, yönleri aynı olan birbirine yakın kırık çizgilerin birleştirilmesi, köşelerin tanımlanıp düzeltilmesi, inceltilmiş resim üzerinde bulunan hat çizgilerinin düzleştirilmesi, hat çizgileri kenarlarında oluşan ufak çıkıntı şeklindeki yapıların ve özellik noktaların

bulunmasını zorlaştıran ayrıntıların giderilmesi şeklinde sıralanabilir. Parmakizi resminin inceltilmesiyle ve onarılmasıyla ilgili algoritmanın işlem adımlarının sonuçları sırasıyla Şekil 9'da, OPTS Şekil 6'da verilen parmakizi örnekleri ile çalıştırıldığında inceltme işlemi sonrasında elde edilen sonuçlar ise Şekil 10'da verilmektedir.

Her insanın parmakizinin teklifi, parmakizinde bulunan hat çizgisi karakteristiklerine ve bunların birbirleriyle olan ilişkilerine bağlıdır (1,4,7,8-13). Parmakizi resmi üzerinde bu karakteristik ve ilişkinin tesbit edilmesi işlemi, özellik noktaları ve bunlarla ilgili parametrelerin bulunması olarak adlandırılır (11,13). Resim inceltme ve inceltile resim iyileştirme işlemi tamamlandığında resim özellik noktalarının bulunması için hazır hale gelir (4,7,13,17). Sistem, özellikle düşük kaliteli ve gürültülü resimlerle çalışırken, iyileştirilmiş

Parmakizi tanıma işleminin başarıyla gerçekleştirilebilmesi için sisteme giriş olarak verilen parmakizi ile veritabanında kayıtlı bulunan parmakizi resimlerinin aynı bölgeleri üzerinde çalışılması gerekmektedir. Bu nedenle geliştirilen OPTS özellik noktalarını ve bunlarla ilgili parametreleri bulurken parmakizine ait belli bir bölge üzerinde işlem yapmaktadır. Bu, sistemin güvenilirliği, performansı ve hızı açısından önemlidir. Sistem çalışılacak bölgeyi hesaplarken her iki parmakizinin referans noktalarından kenarlara olan uzaklıklarına bakar ve minimum uzaklığı gözönünde bulundurarak referans nokta etrafında dairesel bir alan belirler. OPTS Şekil 6'da verilen parmakizi örnekleri ile çalıştırıldığında üzerinde işlem yapılacak alanın belirlenmesi ve özellik noktalarının bulunması işlemleri sonrasında elde edilen sonuçlar Şekil 11'de verilmektedir.



Şekil 11. OPTS'nin Çalışılacak Alanı Belirlemesi ve Özellik Noktalarını Bulması

ince resim üzerinde çalışmasına rağmen özellik noktalarının tespit edilmesi sırasında yalancı özellik noktaları bulabilmektedir. Yalancı özellik noktaları genellikle hat çizgileri üzerinde görülen bağlantı kopuklukları ve yanlış bağlantı yapıları olarak karşımıza çıkmaktadır. Yalancı özellik noktalarının gerçek özellik noktalarından ayrılması gerekmektedir. Böylece sistemin oluşturduğu özellik listesi güvenilir, hızlı ve kolay işlenir şekilde olacaktır (17). Bu çalışmada yalancı özellik noktalarının elimine edilmesinde iki kural gözönünde bulundurulmuştur. Bunlar, küçük bir alan içerisinde kümelenmiş halde bir çok özellik noktası bulunursa, alan merkezine en yakın konumlanmış özellik noktası dışındaki tüm özellik noktaları kaldırılmalıdır ve iki özellik noktası, yönleri birbirine bakar şekilde ve birbirlerine çok yakın olarak konumlanmışlarsa her iki özellik noktası da kaldırılmalıdır şeklinde tanımlanabilir. Gerçek özellik noktaları elde edildikten sonra, bu noktalarla ilgili karşılaştırma işleminde kullanılacak olan parametreler bulunur ve kaydedilir. Bu parametreler, her özellik noktası için, özellik noktasının tipi, orta noktaya göre açıları, yerel yön değerleri, orta nokta ile aralarındaki uzaklık ve aradan geçen hat çizgisi sayısı olarak sıralanabilir.

OPTS ile ilgili yukarıda verilen işlem adımları başarıyla tamamlandıktan sonra sistem karşılaştırma işlemi için hazır hale gelmiştir. Tüm resim işleme ve tanıma uygulamalarında olduğu gibi geliştirilen OPTS'de de karşılaştırma işlemi, sistemin en önemli parçalarından biridir (1,4,7,11). Çünkü tam sonuç veren düzgün bir karşılaştırma yapılamazsa o adıma kadar yapılan işlemler amaca uygun kullanılamamış olacaktır. Karşılaştırma işleminin doğru bir şekilde yapılabilmesi için öncelikle sistemde sabit kalan değerlerin ve bu değerlerin hangi şartlar altında sabit kaldığının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada parmakizlerinin karşılaştırılmasında resmin yerdeğiştirmesi, döndürülmesi ve yeniden boyutlandırılması gibi üç boyutlu dönüşümlerin etkisine rağmen sabit kalacak özellikler kullanılmıştır. Bunlar, özellik noktalarının tipleri, orta noktaya göre açıları, yönleri, orta noktaya olan uzaklıkları ve orta nokta ile aralarından geçen hat çizgisi sayısı gibi özelliklerdir. Bu değerlerin doğru olarak hesaplanması, sistem performansı ve güvenilirliği açısından önemlidir (3,10,14-17). Sistemin parmakizi tanıma işleminde kullandığı parametreler Şekil 12'de verilmektedir.

Ridge	Mesafe	Açı	Tür	Yön
24	107	0	C	167
20	89	0	C	174
24	97	0	C	204
26	102	278	U	211
27	109	281	U	141
20	86	83	U	156
16	75	267	U	191
13	59	75	U	184
12	58	263	U	187
12	57	278	U	203
24	106	0	C	118
25	96	85	U	239
18	85	0	C	124
24	95	264	U	242
20	93	0	C	116
8	37	288	U	211
12	67	0	C	99
20	88	119	U	95
4	29	0	C	84
0	0	171	U	50

Şekil 12. OPTS'nin Kimliklendirme için Kullandığı Parametreler

Karşılaştırma işlemi yapılırken çalışılan alan içerisinde iki parmakizinde benzer parametrelere sahip özellik noktaları birebir karşılaştırılır ve diğer özellik noktalarının benzerlik oranları hesaplanır. En yüksek benzerlik oranına sahip durum ilgili iki parmakizi resmi için benzerlik oranını temsil etmektedir. Tüm benzerlik oranları gözönünde bulundurularak en yüksek benzerlik oranına sahip ve aynı kullanıcıya ait parmakizleri sistem cevabını oluşturmaktadır. Sistemin karşılaştırma işlemini nasıl yaptığının daha kolay anlaşılabilmesi ve görülebilmesi açısından elde edilen benzerlik oranları kullanıcı arayüzünün sağ alt köşesinde ekrana getirilmiştir (bakınız Şekil 4). Sonuçların görüntülenmesinde sistem yöneticisinin belirlediği bir eşik değeri ile karşılaştırılarak, eşik değerinden büyük sonuçlar listelenmiştir. Ayrıca, sistemin değişen çevre şartlarından etkilenmeden, düşük kaliteli ve gürültülü resimlerle işlem yaparken de sorunsuz çalışabilmesi ve doğru sonuç vermesi için uygun tolerans değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada hat çizgisi sayısı için tolerans değeri 1 çizgi, iki nokta arası uzaklık için tolerans değeri 5 piksel, yerel yön ve merkezle yapılan açı için tolerans değeri de 5 derece olarak belirlenmiştir. Tolerans değerlerinin çevre şartlarına göre değiştirilebilmesi için sistem bu konuda gerekli esnekliğe sahiptir. Ayrıca, yazılım OPTS'nin çalışması ve işlem basamakları ile ilgili olarak bir çok ayarın değiştirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu özellik sayesinde yazılım, parmakizi ile ilgili gerçekleştirilecek başka çalışmalarda da kullanılabilir. Yazılımın ayarlar menüsü Şekil 13'te verilmektedir.

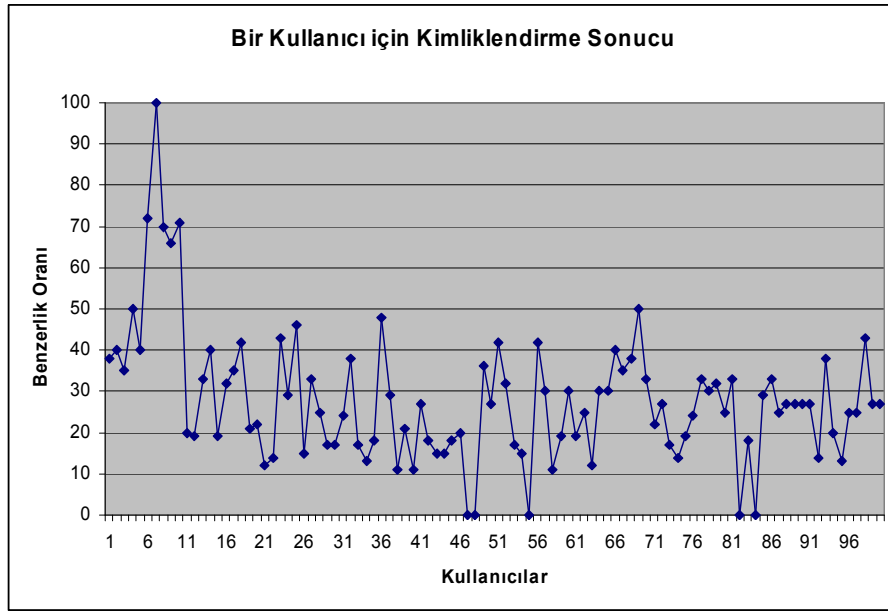
Yön Haritası		Binarileştirme	
Blok genişliği	15	Blok genişliği	8
Uç ve Çatalların Gösterimi			
<input checked="" type="radio"/> Nokta biçiminde		<input type="radio"/> Açı biçiminde	
Identification / Verification			
Verification için kabul edilebilir oran (%)	90		
Referans nokta için tolerans	5		
Benzer noktalar için tolerans	10		
Bu oran altındaki sonuçları gösterme (%)	50		
<input checked="" type="checkbox"/> Yön haritası için sınır koy			
<input type="checkbox"/> Otomatik olarak belirle			
Core noktasından uzaklık (piksel)	75		

Şekil 13. OPTS'nin Ayarlar Menüsü

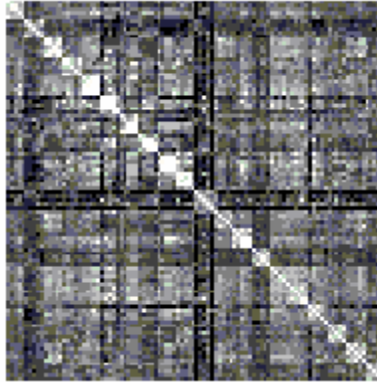
Parmakizi karşılaştırma işleminin de başarıyla tamamlanmasıyla sistem çalışır duruma gelmiştir. Bu aşamadan sonra sistem performansının ve güvenilirliğinin test edilmesi gerekmektedir. Sistemin çalışması ve performansının testi için her parmağa ait 5 farklı resmin bulunduğu 20 kişiye ait 100 parmakizinden oluşan bir veritabanı (21) kullanılmıştır. Veritabanındaki parmakizi resimleri çeşitli kalitede, yönde ve pozisyonadadır. Test sonuçları, uygun parametreler tanımlandığında sistemin hem tanıma modunda hem de onaylama/doğrulama modunda başarılı olduğunu göstermektedir. Girilen bir parmakizi resmi için sistemin elde ettiği sonuç Tablo 1'de sonucun grafiği ise Şekil 14'te verilmektedir. Sisteme giriş olarak verilen parmakizi resmi, sistemde 2 numaralı kullanıcı olarak tanımlanmış 6,7,8,9,10 numaralı parmakizlerinin sahibi olan kişiye aittir. Şekilde görüldüğü gibi sistem en yüksek benzerlik oranlarını ilgili kullanıcının veritabanında kayıtlı parmakizi resimleriyle bulmuş ve doğru sonucu üretmiştir. Sistem performansının tüm veritabanında test edilmesiyle elde edilen sonuçlar ise Şekil 15'te verilmektedir. Sistemin 100 parmakizi resmi için verdiği sonuç 100x100 boyutunda bir matris olduğundan ve bu matrisin burada sayısal olarak ifade edilmesinin güçlüğünden test sonuçları benzerlik haritası çıkarılmak suretiyle sunulmuştur. 100x100 boyutundaki resimde her satır ve her sütun bir parmakizini temsil etmekte, her piksel ilgili satır ve sütun numarasındaki iki parmakizinin benzerlik oranını ifade etmektedir. Bu durumda herhangi bir piksel değerinin açık renkli olması ilgili pikselin sahip olduğu kordinatlardaki iki parmakizi resminin benzerlik oranının yüksek olduğunu, koyu renkli olması ise ilgili pikselin sahip olduğu kordinatlardaki iki parmakizi resminin benzerlik oranının düşük olduğunu göstermektedir. Sistemde bir kişiye ait 5 parmakizi bulunduğundan girilen herhangi bir parmakizi resminin aynı kişiye ait parmakizleriyle oranının yüksek oluşu benzerlik haritasında açık renkli 5x5 boyutunda karesel bir alan oluşturmaktadır. Bu ise sistemin doğru şekilde çalıştığını göstermektedir.

Tablo 1. OPTS'nin Bir Parmakizi için Elde Ettiği Benzerlik oranlar

0,38	0,2	0,12	0,24	0,27	0,42	0,19	0,22	0,33	0,27
0,4	0,19	0,14	0,38	0,18	0,32	0,25	0,27	0	0,14
0,35	0,33	0,43	0,17	0,15	0,17	0,12	0,17	0,18	0,38
0,5	0,4	0,29	0,13	0,15	0,15	0,3	0,14	0	0,2
0,4	0,19	0,46	0,18	0,18	0	0,3	0,19	0,29	0,13
0,72	0,32	0,15	0,48	0,2	0,42	0,4	0,24	0,33	0,25
1	0,35	0,33	0,29	0	0,3	0,35	0,33	0,25	0,25
0,7	0,42	0,25	0,11	0	0,11	0,38	0,3	0,27	0,43
0,66	0,21	0,17	0,21	0,36	0,19	0,5	0,32	0,27	0,27
0,71	0,22	0,17	0,11	0,27	0,3	0,33	0,25	0,27	0,27



Şekil 14. OPTS'nin Bir Parmakizi için Elde Ettiği Test Sonucu



Şekil 15. OPTS'nin Tanıma Modunda Kimliklendirme Test Sonuçları

#### 4. SONUÇ

Sunulan çalışmada, otomatik bir parmakizi tanıma sistemi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Sistemde orta nokta bulma, resim temizleme, iyileştirme, inceltme, inceltilen resmin iyileştirilmesi, özellik noktalarının bulunması ve karşılaştırma işlemi için gerçekleştirilen tüm algoritmalar büyük bir doğrulukla işlevlerini yerine getirmektedirler. Sistem, üniversite bünyesinde

kampüslerde, fakülte, hastane, yemekhane, kütüphane, laboratuvar gibi mekanların giriş-çıkış kapılarında kimlik tesbiti ve benzer güvenlik fonksiyonlarında, bilgisayar ve bilgisayar ağlarında erişim düzeninin sağlanmasında ve kaynakların paylaşımında, ağ güvenliğinin sağlanmasında, fiziksel giriş çıkış kontrol noktalarında, personel devam kontrol sistemlerinde, ticari işlemler ve benzer bir çok alanda, banka güvenliğinde, elektronik fon transferi veya ATM güvenliği gibi işlemlerde, çek ve



kredi kartı işlemlerinde, ulusal kimliklendirme sistemlerinde daha güvenilir ve düzenli kimliklendirme için uygulanabilecek geniş yelpazede çözümler sunabilecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Sistemin esnek bir yapıda olması ise diğer bir özelliğidir.

Bu çalışmanın benzer çalışmalardan en büyük farkı tüm detayları ile herkesin istifadesine sunulmuş olmasıdır. Literatürde konuyla ilgili çalışmalar incelendiğinde kullanılan algoritmaların tam olarak vermediği görülmektedir. Çünkü OPTS'ler, algoritmaları gizli, sadece kullanıcı bazlı hizmet veren, çok pahalı olan ve kolayca satın alınamayan ve genellikle ticari amaçla geliştirilen sistemlerdir. Ayrıca konuyla ilgili cihazların pahalılığı ve teknik detaylarına erişimin mümkün olmayışı ülke kaynaklarının dışarıya akmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada ise OPTS için kullanılan algoritmaların çoğu çalışma esnasında geliştirilmiş özel yaklaşımlardır ve konuyla ilgilenen kişilerin istifadesine sunulmuştur. Böylece ülkemizde bu konuyla ilgilenen kişilere ve konuyla ilgili çalışmalara katkıda bulunması amaçlanmaktadır.

Sunulan çalışmada gerçekleştirilen her bir OPTS adımının yapay zeka teknikleriyle gerçekleştirilmesi ve sistemin tamamının yine yapay zeka teknikleriyle optimize edilerek hızlı, esnek ve akıllı sistemler elde edilmesi düşünülmektedir. Ayrıca gerçekleştirilen çalışmanın kriptolama teknikleri ile birleştirilerek askeri alanda ve güvenlik uygulamalarında kullanılabilecek yüksek güvenlik sistemlerine dönüştürülmesi de planlanmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Araştırma Fonunun 02-012-01 nolu projesinin bir parçasıdır, vermiş olduğu katkılardan dolayı Erciyes Üniversitesi Araştırma Fonuna teşekkür ederiz.

## 5. KAYNAKLAR

1. Halici, U.; Jain, L. C.; Hayashi, I.; Lee, S.B.; Tsutsui, T., Intelligent Biometric Techniques in Fingerprint and Face Recognition, CRC press, USA, 1999.
2. Jain, A.K.; Hong, L.; Bolle, R., On-line Fingerprint Verification", IEEE Transactions on PAMI, 19, No. 4, 302-314, 1997.
3. Jain, A.K.; Prabhakar, S.; Hong, L.; Pankanti, S. FingerCode: A Filterbank for Fingerprint Representation and Matching IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2,193-199, 1999.
4. Jain, K.; Hong, L.; Pankanti, S.; Bolle, R., An Identity Authentication System Using Fingerprints, Proceedings of the IEEE, 85, No. 9, 1365-1388, 1997.
5. Hsieh, C.T.; Lu, Z.Y.; Li, T.C.; Mei, K.C., An Effective Method to Extract Fingerprint Singular Point, The Fourth International Conference/ Exhibition on High Performance

6. Computing in the Asia-Pacific Region, Proceedings. 2, 696 -699, 2000.
6. Jin, A.L.H.; Chekima, A.; Dargham, J.A.; Liao, C. F., Fingerprint Identification and Recognition Using Backpropagation Neural Network SCORED. Student Conference on Research and Development, 98-101, 2002.
7. Özkaya, N., Otomatik Parmakizi Tanıma Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2003.
8. Greenberg, S.; Aladjem, M.; Kogan, D.; Dimitrov, I. Fingerprint Image Enhancement Using Filtering Techniques Pattern Recognition, Proceedings. 15th International Conference on , Volume: 3 , Page(s): 322 - 325 vol.3, 2000.
9. Saatci, E.; Tavsanoglu, V., Fingerprint Image Enhancement Using CNN Gabor-type filters, 7th IEEE International Workshop on Cellular Neural Networks and Their Applications, (CNNA 2002), 377-382, 2002.
10. Rusyn, B.; Prudyus, I.; Ostap, V., Fingerprint Image Enhancement Algorithm CADSM, The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, Proceedings of the 6th International Conference, 193-194, 2001.
11. Luo, X. ; Tian, J. ; Wu, Y., A minutiae Matching Algorithm in Fingerprint Verification Proceedings, 15th International Conference on Pattern Recognition, 4, 833 - 836, 2000.
12. Hong, L.; Wan, Y.; Jain, A. K., Fingerprint Image Enhancement: Algorithms and Performance Evaluation, IEEE Transactions on PAMI , 20, No. 8, 777-789, 1998.
13. Espinosa-Duro, V., Minutiae Detection Algorithm for Fingerprint Recognition IEEE Aerospace and Electronics Systems Magazine, 17 ,7-10, 2002.
14. Ramo, P.; Tico, M.; Onnia, V.; Saarinen, J., Optimized Singular Point Detection Algorithm for Fingerprint Images, International Conference on Image Processing, Proceedings. 2, 242 -245, 2001.
15. Alkaya, E., Enhancement and Preprocessing Techniques For Ridge Extraction in Fingerprint Images, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1998.
16. Gonzalez, R.C.; Woods, R.E., Digital Image Processing, Third Edition, Addison-Wesley, Reading, MA. 1992.
17. Xiao, Q.; Raafat, H., Fingerprint Image Post-Processing: A Combined Statistical and Structural Approach, PR (24), No. 10, 985-992, 1991.
18. Ongun, G., An Automatic Fingerprint Identification System based on Self organizing Feature Maps Classifier, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1995.
19. İnandık, Ö., Öznitelik Tabanlı Otomatik Parmakizi Eşleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1998.
20. Karakülah, M., Parmakizi Tanıma ve Akıllı Kart Tabanlı Endüstriyel Uygulamalar, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2003.
21. <http://www.neuroteknologija.com/>