

ÖZİNİTELİK TABANLI OTOMATİK PARMAKİZİ TANIMA

Kürşat AYAN¹

Yunus Emre DEMİR²

¹Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi
Sakarya Üniversitesi, 54040, Esentepe Kampüsü, Sakarya

²Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği Bölümü
Fen Bilimleri Enstitüsü
Sakarya Üniversitesi, 54040, Esentepe Kampüsü, Sakarya

¹e-posta: kayan@sakarya.edu.tr

²e-posta: demirye@hotmail.com

Anahtar sözcükler: Parmakizi, Parmakizi Tanıma, Örüntü Tanıma

ABSTRACT

Fingerprint-based identification is the most popular biometric technique used in automatic personal identification. Law enforcement agencies use it routinely for criminal identification. New, it is also being used in several other applications such as access control for high security installations, credit card usage verifications and employee identification. In the early twentieth century, finger print identification was formally accepted as a valid personal identification method by law enforcement agencies and became a standart routine in forensics. Fingerprint identification agencies were set worldwide and criminal fingerprint databases were established. This paper presents attribute based automatic fingerprint recognition systems.

1. GİRİŞ

Elektronik bilgi ağlarının yaygınlaşması ile birlikte gerek bilgiye erişim, gerekse bilginin ağ üzerinde taşınması aşamasında bilginin güvenliği büyük önem kazanmıştır. Kesin bilgilerden yola çıkan klasik sorgulama sistemleri günümüzün elektronik işlemlerinin doğruluğunu sağlayamaz. Klasik sorgulama sistemlerinin en önemli dezavantajı yetkili kişilerin kimlik bilgilerinin başka kişilerce ele geçirilebilmesidir. Bunun sonucu olarak, yeni yöntemler için bir takım fiziksel özelliklere dayanma zorunluluğu doğmuştur.

Parmakizi tabanlı tanıma sistemleri, otomatik kimlik saptamada en çok kullanılan biyometrik tekniklerden biridir [1]. Her insanın hatta ikizlerin bile parmakizinin farklı olması ve parmakizi karakteristiklerinin yaşlanma ile değişikliğe uğramaması parmakizlerinin kimlik saptamada yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır [2].

Derinin epidermis tabakasında yer alan tepe ve vadi çizgileri parmakizlerinin temelini oluşturur. Tepe çizgilerinden çıkarılan uç ve çatal noktaları 'öznitelik noktaları' olarak adlandırılır ve bu noktalar her parmakizinde farklı bir şekilde dizilir. Parmakizlerinin ifade edilmesi ve karşılaştırma işlemine hazır hale getirilebilmesi için yüksek seviyeli yapısal özellikler çıkarılmalıdır. Mevcut parmakizi tanıma sistemleri, parmakizi görüntülerinden çıkarılan uç ve çatal noktalarını kullanır. Bu özellikleri kullanan ve 'öznitelik tabanlı' olarak adlandırılan otomatik parmakizi tanıma sistemleri bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

2. GALTON VE HENRY KARAKTERİSTİKLERİ

Parmakizleri, 100 yıldan fazla süredir kimlik belirlemede kullanılmaktadır [3]. Bu alanda öncü çalışmalar Galton ve Henry tarafından yapılmıştır (1828, 1900). Parmakizleri şeklen incelenmiş ve değişik yaşdan insanlardan alınan parmakizleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Galton' un çalışmalarının sonunda elde ettiği iki temel sonuç şunlardır:

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

Galton' un elde ettiği bu sonuçlar daha sonraki çalışmalara temel oluşturmuştur. Galton' un yaklaşımından farklı olarak Henry, parmakizlerinin tam olarak eşlenmesi problemi üzerinde çalışmamıştır. Bununla beraber, parmakizleri üzerinde

gerçekleştirdiği etkin sınıflandırma metodu yaygın olarak kullanılmıştır. Tanımladığı sınıflar sağa yatık çevrim, sola yatık çevrim, sarmal, yay ve kubbedir. Günümüzde çoğu parmakizi tanıma uygulamaları, Galton karakteristiklerinin karşılaştırılması yoluyla yapılan parmakizi tanıma sürecinden önce Henry sınıflandırmasını kullanır [4]. Galton karakteristikleri, parmakizi tepe çizgilerinden çıkarılan detay özelliklerdir [5]. Bir tepe, tek bir eğri parçasıdır. Birçok tepenin kombinasyonu ile bir parmakizi örüntüsü oluşur. Tepe çizgilerinin sonlanması ve keşişmesi ile oluşan özellikler öznitelik olarak adlandırılır. Galton' un tanımladığı bazı karakteristikler; tepe uç noktaları, çatalar, adalar ve kapalı çevrimlerdir. Bir veritabanında yeni bir parmakizi aranırken, tanımanın gerçekleşmesi için yeterli sayıda karakteristik özellik benzeşmelidir. Henry ve Galton' un çalışmalarından sonra parmakizi tanıma çalışması geliştirilmiştir.

3. PARMAKİZİ ÖZNETELİKLERİ

Parmakizleri üzerinde yapılan araştırmalar tepe ve vadilerin; tepe uç ve çatal noktaları, kısa tepe çizgileri gibi çeşitli oluşumlar gösterdiğini ortaya koymuştur. Tepe uçları ve tepe çataları, gri değerli sayısal parmakizi görüntülerinden çıkarılan yapısal özelliklerdir. Parmakizi içindeki çizgilerin tamamı birbirine bağlı değildir. Bunların içinde, tepe karakteristikleri olarak adlandırılan sonlanma (uç) ve ayrılma (çatal) noktaları gibi oluşumlar yer alır. Bu özelliklerin her biri üç bileşenden meydana gelir. Bunlar x koordinatı, y koordinatı ve yerel tepe doğrultusudur. Parmakizi tanıma probleminde kullanılan birçok özellik, bu üç boyutlu özellik vektöründen türetilir.

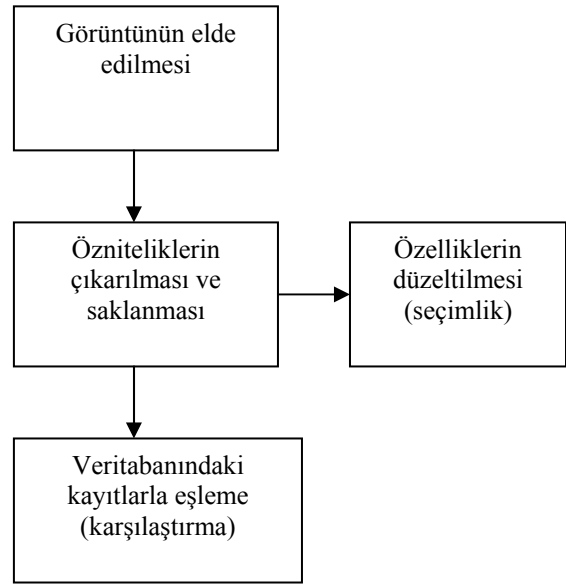
Parmakizleri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, 18 değişik tipte parmakizi özelliği tespit edilmiştir [2, 3]. Bu özellikler öznitelikler olarak adlandırılır. Tepe, uç ve çatal özelliklerinin çeşitli kombinasyonları ile daha karmaşık özellikler elde etmek mümkündür. Örneğin, bir çevrimi iki çatalın birleşmesi yada kısa bir tepeli bir dizi tepe uç noktasının birleşmesi oluşturabilir.

4. OTOMATİK PARMAKİZİ TANIMA SİSTEMLERİ

Bir otomatik parmakizi tanıma sistemi, bir anlamda bir örüntü tanıma sistemidir. Sistem parmakizi görüntülerini elde eder, analiz eder ve sınıflandırır. Bu işlem gözle de yapılabileceği halde, bir otomatik parmakizi tanıma sistemi daha düşük maliyetli, daha hızlı ve güvenilir analiz ve eşleme olanağı sağlar.

Otomatikleşme süreci içinde parmakizlerinin uygun bir şekilde temsil edilmesi gerekir. Öznitelik tabanlı parmakizi tanıma algoritmaları şu temel fonksiyonel bileşenlerden oluşur:

- Görüntü iyileştirme
- Öznitelik çıkarma
- Öznitelik çiftlerini karşılaştırma



Şekil 1. Otomatik parmakizi tanıma sisteminin aşamaları

Parmakizi tanıma sürecinin otomatikleştirilmesine yönelik çalışmalar iki kategoride toplanabilir [2]:

Yarı otomatik: Tepe çizgisi yoğunlukları küçük farklılıklar gösteren parmakizlerine ait Henry formüllerinin benzeşme oranlarının hesaplanmasında bilgisayar devreye girer. Benzer formüllere sahip parmakizleri belirlenir. Çok sayıda kaydın sınıflandırılmasında Henry formüllerinin yetersiz kalması nedeniyle sistem çok popüler değildir.

Otomatik: Sayısal parmakizi görüntülerinden özniteliklerin otomatik olarak çıkarılması için bir görüntü işleme sistemi kullanılır. Sorgulanan parmakizinin, parmakizlerinden elde edilen özniteliklerin tutulduğu bir veritabanı içinde benzerleri araştırılır. Sorgulanan parmakizinin veritabanında karşılaştırılacağı kayıt sayısı çok fazladır ($>10^6$). Yüksek işlem gereksinimi, parmakizi görüntülerinin kayıplı oluşundan ve veritabanının büyüklüğünden kaynaklanır.

5. OTOMATİK PARMAKİZİ TANIMA SİSTEMİNİN AŞAMALARI

Sistemin ilk aşaması giriş aşamasıdır. Gri renk değerli sayısal bir parmakizi görüntüsü, bir tarayıcı veya kamera yardımı ile elde edilir. Son zamanlarda parmakizi görüntüsünün elde edilmesi, mürekkepsiz yöntemlerle gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Yine de görüntü başka işlemlere uğramadan önce iyileştirme işlemine tabi tutulmalıdır. İyileştirme süreci, görüntüdeki gürültüyü en aza indirmek ve

görüntünün kontrastını düzeltmek için bazı görüntü işleme tekniklerini gerektirir.

Öznitelik çıkarma aşaması, iyileştirilmiş görüntü üzerinde öznitelik noktalarını saptar. Bu noktaların gürültülü bir görüntüden elde edilmesi çok güçtür. Bu durumda bir uzmanın öznitelik noktalarının konumlarının doğruluğunu kontrol edip, gerekirse güncellemesi gerekir. Öznitelik noktaları kümesi tanıma işlemine sokulur. Karşılaştırma süreci, veritabanındaki parmakizi özniteliklerini okur ve sorgulanan parmakizi ile benzerliğini araştırır. Sürecin çıkışı, benzerlik derecesine bağlı olasılıkların listesidir. Sistemin çıkışı, sorgulanan her parmakizi için son karar alınmak üzere bir uzmanın onayına bırakılır.

Parmakizlerinin öznitelik noktaları ile ifade edilmesi, veritabanı üzerinde nokta karşılaştırma problemini azaltır. Tanıma problemi, sorgulanan parmakizi ile referans parmakizi öznitelik kümesi arasındaki benzerliğin derecesinin bulunması şeklinde tanımlanabilir. Öznitelik noktaları çeşitli teknikler kullanılarak karşılaştırılabilir [3].

- Nokta kümesi karşılaştırma
- Graf karşılaştırma
- Alt-graf izomorfizmi

Karşılaştırma işleminin büyük çapta hesaplama gereksinimi şu üç faktöre bağlıdır:

- Sorgulanan parmakizi kalitesi
- Sorgulama yapılan veritabanının büyüklüğü
- Parmakizi görüntülerinin yapısal bozulmalarına karşı algoritmanın etkinliği

6. SINIFLANDIRMA ALGORİTMASI

Parmakizlerinin sınıflandırılması, bir parmakizi görüntüsünün 6 sınıftan (yay, kubbe, sarmal, sola yatık çevrim, sağa yatık çevrim, çift sarmal) birine dahil edilmesi problemidir. Bu sınıflandırma işlemi bir operatör tarafından daha kolay bir biçimde gerçekleştirilebilir. Otomatik bir sistemde bu, daha karmaşık bir problem olarak ortaya çıkar. Çünkü sistemin global tepe yönleri ile birlikte lokal bağlantılara da önem vermesi gerekir. Algoritmada üç ana aşama vardır:

- Blok doğrultularının hesaplanması
- Yönlendirme görüntüsünün düzeltilmesi
- Tekil noktaların konumlarının saptanması

Çalışmada kullanılan tekil noktalar çekirdek ve deltalardır. Sınıflandırma algoritmasının girişi 64x64'lük tepe doğrultu görüntüsüdür. Doğrultular vektör şeklinde verilir. Her bir nokta için doğrultu, α derece olarak hesaplanır, ardından 2 ile çarpılarak bu doğrultudaki birim vektör

$$v = (\cos 2\alpha, \sin 2\alpha) \quad (1)$$

şeklinde bulunur. Tekil noktaların saptanmasından sonra, bu noktaların sayısı ve konumuna bağlı olarak parmakizi görüntüsü sınıflandırılır. Örneğin, yay biçiminde bir parmakizi görüntüsü tekil nokta içermezken, kubbe biçiminde bir parmakizi görüntüsü bir çekirdek ve bir delta nokta içerir [3].

Gri renk değerli parmakizi görüntüsü eşik değer saptanarak siyah/beyaz forma getirilir. Siyah ve beyaz renk değerleri taşıyan görüntüdeki tepe çizgileri inceltirilir ve oluşan iskelet görüntü filtrelerle iyileştirilir. Öznitelik çıkarma aşamasında inceltirilmiş ve iyileştirilmiş görüntüye bazı maskeler uygular. Çıkarılan öznitelik noktaları içinde gürültü nedeniyle hatalı olarak saptanmış olanlar silinir. Tüm süreç üç ana bölümde toplanabilir:

- Ön-işleme ve bölümleme
- İnceltme ve özellik çıkarma
- Son-işleme

Ön işleme ve bölümlemenin amacı, gri renk değerli parmakizi görüntüsünden, tepelerin 'I' (beyaz), vadilerin 'O' (siyah) renk değerini taşıdığı ikili görünümünün elde edilmesidir. İkili görüntü dört adımda elde edilir:

- Yönlendirme alanının belirlenmesi
- Ön ve arka planların ayrılması
- Tepe çizgilerinin çıkarılması
- Tepe çizgilerinin yumuşatılması

7. PARMAKİZLERİNİN ÖRTÜŞTÜRÜLMESİ

Parmakizlerinin karşılaştırılması aşamasından önce, gerekli öznitelik noktaları çıkarılır. Aynı parmaktan farklı zamanlarda alınmış izler ötelenmiş ya da dönmüş olabilir. İki görüntünün karşılaştırılabilmesi için, örtüştürülmesi gerekir. Bu işlem, bir parmakizinin diğerinin konumuna gelebilmesi için döndürülmesi ve ötelenmesi şeklinde gerçekleştirilebilir.

Döndürme, ölçekleme ve öteleme bilgileri bilinmeyen iki nokta kümesinin karşılaştırılabilmesi için, her iki kümenin birbirine göre ifade edilmesi ve bu şekilde saklanması gerekir. Dönme, ölçekleme ve öteleme parametreleri genelleştirilmiş Hough dönüşümü kullanılarak bulunabilir.

Örtüştürme işleminin girişi, iki parmakizi görüntüsünden çıkarılmış olan öznitelik nokta kümeleri olan P ve Q' dur [3].

$$P = \{(p_x^1, p_y^1, \alpha^1), \dots, (p_x^P, p_y^P, \alpha^P)\} \\ Q = \{(q_x^1, q_y^1, \beta^1), \dots, (q_x^Q, q_y^Q, \beta^Q)\} \quad (2)$$

(p_x^i, q_x^i, α^i) terimi, P kümesinin i. elemanının konum ve açılı bilgisini içeren vektördür. Veritabanındaki parmakizlerinin, sorgulanan parmakizine bir dönüşüm uygulanarak elde edilebileceği varsayımı yapılır. Veritabanı parmakizine ait nokta kümesi Q, sorgulanan parmakizine ait nokta kümesi P' nin döndürülmüş, belirli bir ölçekte küçültülmüş veya büyütülmüş ve ötelenmiş bir versiyonudur. Parmakizlerinin örtüştürülmesi sürecinde amaç, iki parmakizi görüntüsü arasında var olan bir dönüşümü bulmaktır. İki görüntünün aynı parmakizine ait olup olmadığı bilinmediğinden, en iyi dönüşümün bulunması amaçlanır; öyle ki, bu dönüşüm P nokta kümesine uygulandığında, Q nokta kümesinde bulunan mümkün olduğunca çok nokta ile çakışır. Çakışan bu noktaların açıları da aynı ise parmakizlerinin benzerliğinden söz edilebilir. Diğer parmakizine ait nokta kümesindeki hiçbir nokta ile benzeşmeyen noktalarda çıkabilir.

Doğru bulmada kullanılan Hough dönüşümü, nokta karşılaştırma için genelleştirilebilir. Mümkün olan tüm dönüşümler ve dönüşümlerin benzerlik skorları belirlenir. En yüksek skora sahip dönüşüm doğru dönüşümdür.

$$F_{s,Q,\Delta x,\Delta y} : R^2 \rightarrow R^2 \quad (3)$$

$$F_{s,Q,\Delta x,\Delta y} : R^2 \rightarrow R^2 \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}$$

Burada s terimi ölçeği, θ terimi dönme açısını, Δx ve Δy de öteleme miktarlarını gösterirler. Dönüşümler dizisi 4 boyutlu olup, her bir elemanı (s, θ , Δx , Δy) şeklindedir. Her bir parametre belirli bir bölge içinde değerler alır.

$$s \in \{s_1, \dots, s_K\}, \theta \in \{\theta_1, \dots, \theta_L\}, \quad (4)$$

$$\Delta x \in \{\Delta x_1, \dots, \Delta x_M\}, \Delta y \in \{\Delta y_1, \dots, \Delta y_N\}$$

Dönüşüm skorları bir A dizisinde toplanır. Bu dizinin her bir elemanı, bulunan her bir dönüşüm için bir artar. A dizisi şu şekilde oluşturulur:

P kümesinin her p elemanını, Q kümesinin q elemanına dönüştürecek bir dönüşüm bulunur. A dizisinde ilgili dönüşümün hanesi 1 arttırılır. Her (s_K , θ_1) ikilisi için $F_{s_K, \theta_1, \Delta x, \Delta y}(p) = q$ eşitliğini sağlayacak bir (Δx , Δy) öteleme vektörü vardır ve bu vektör aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = q - s_K \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & \sin \theta_1 \\ -\sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \end{bmatrix} \quad (5)$$

Hough dönüşümü

$$A(k, l, m, n) := 0 \quad k = 1, \dots, K; l = 1, \dots, L; m = 1, \dots, M; n = 1, \dots, N$$

FOR (p_x, p_y, α) \in P DO

FOR (q_x, q_y, β) \in Q DO

FOR $\theta \in \{\theta_1, \dots, \theta_L\}$ DO

IF $\alpha + \theta = \beta$ THEN

FOR $s \in \{s_1, \dots, s_L\}$ DO

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_x \\ q_y \end{bmatrix} - s_K \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & \sin \theta_1 \\ -\sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \end{bmatrix}$$

$F_{s_K, \theta_1, \Delta x, \Delta y}$ dönüşümünün hanesini arttır

END FOR

END IF

END FOR

END FOR

END FOR

END FOR

SONUC := arg max_{k,l,m,n} A(k, l, m, n)

END PROCEDURE

Şekil 2. Örtüştürme algoritması

8. EŞLEME ALGORİTMASI

Sorgulanan parmakizi n-boyutlu $f_q = (f_{1q}, f_{2q}, \dots, f_{nq})$ özellik vektörü ile temsil edilir. Bu vektörün her bileşeni $f_i = (f_i(x), f_i(y), f_i(\theta))$ şeklinde ifade edilebilir. Benzer şekilde sorgulanan parmakizi, veritabanındaki r. referansta m-boyutlu $f_r = (f_{1r}, f_{2r}, \dots, f_{mr})$ vektörü ile temsil edilmiştir. (x_{qt}, y_{qt}) ve (x_{qb}, y_{qb}) sorgulanan parmakizi görüntüsünün çalışma bölgesi sınır koordinatıdır. Sınır koordinatları, tüm öznitelik noktalarını içeren en küçük dikdörtgen üzerinden belirlenir. Eşleme algoritması, sorgulanan parmakizi ile veritabanı parmakizinin öznitelik noktalarının karşılaştırılması ve benzeşenlerin sayısının bulunması esasına dayanır. Eşleme algoritması, hesaplamaları azaltmak için sadece ortak bir çalışma bölgesine düşen öznitelik noktalarını hesaba katar. Ortak çalışma bölgesi, sorgulanan parmakizi ile veritabanı parmakizlerinin çalışma bölgelerinin kesişimi olarak ifade edilebilir.

Sorgulanan bir parmakizi, veritabanında yer alan tüm parmakizleri ile tek tek karşılaştırılır. Örtüştürmenin sonucunda en yüksek olasılığa sahip, başka bir deyişle, karşılaştırılan görüntülere ait maksimum sayıda öznitelik çiftinin arasında var olduğu saptanan dönüşüm bulunur ve uygulanır. Eşleme aşamasında ise, dönüşüm sonucu benzeşen özniteliklerin sayısına bağlı olarak bir eşlenme skoru hesaplanır.

Giriş: Sorgulanan parmakizi görüntüsü f_q dan çıkarılan n öznitelik noktası ve $f_D = \{f_r\}_{N_r=1}$ veritabanı parmakizlerinden çıkarılan m öznitelik noktası

Çıkış: Eşlenme skoru belirli bir eşik değerinden büyük olan 10 veritabanı parmakizi görüntüsü

Begin
FOR r = 1 TO N DO

1. Sorgulanan parmakizi ile veritabanı parmakizinin öznitelik noktalarını örtüştür.

2. Sorgulanan parmakizi ve veritabanı parmakizleri için ortak bir çalışma bölgesi belirle, öyle ki bu bölge içinde sorgulanan parmakizi nb öznitelik, veritabanı parmakizi ise mb öznitelik içersin.

3. r. veritabanı parmakizi görüntüsüne ilişkin benzeşen nokta sayısı mr' ı sıfırla.

FOR i = 1 TO nb DO

r. veritabanı parmakizi öznitelik vektörü fir de yer alan i. öznitelik noktası için tolerans vektörünü hesapla. İlgili nokta sorgulanan parmakizine ait bir öznitelik noktası ile benzeşiyorsa mr' ı 1 arttır ve sorgulanan noktayı işaretle. (Bir nokta yalnız bir kere eşleşmelidir.)

END FOR

4. Aşağıda verilen MS(q,r) eşleme skorunu hesapla.

$$MS(q, r) = \frac{mr * mr}{nb * mb}$$

5. Skor listesini güncelle.

END FOR

End

Şekil 3. Ardışık eşleme algoritması

10. SONUÇLAR

Öznitelik tabanlı otomatik parmakizi eşleme yöntemi parmakizi tanımadaki yoğun olarak kullanılmasına karşın bu yöntemle ilgili aşağıda değinilen eksiklik ve problemler tespit edilmiştir.

Algoritma gereği ölçek belirli bir aralıkta, belirli bir artımla değiştirilir. Ölçeklemenin hassasiyeti arttırıldığında işlem süresi çok uzar. Ayrıca aynı iki görüntü, ölçeklemenin 0.1' den küçük değerlerinde farklı olarak algılanabilir. Ölçekleme hassasiyetinin yetersizliği nedeniyle, aynı dönüşüm farklı görülüp, dönüşüm ve dolayısıyla eşlemenin skoru düşebilir.

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

Dönme açısının görüntülerdeki öznitelik noktalarının açılarının farkı olarak hesaplanması nedeniyle, nokta açılarının doğruluğu oldukça önemlidir. Ancak

parmakizlerinin alınması ve sayısallaştırılması sırasında görüntülerde oluşan gürültüler ve ikili görüntü elde etme ve inceltme aşamalarındaki problemler nedeniyle, uç ve çatal noktaların açılarının yeterince hassas bulunması güçtür. Bunun sonucu olarak, dönme açısı doğru tespit edilemez. Nokta açıları tek bir değer olarak değil de, bir açı aralığı ya da bölgesi olarak belirlense de, dönme açısı doğru olarak ve görüntüdeki her nokta için aynı bulunamaz.

KAYNAKLAR

- [1] JAIN, A.K., HONG, L., PANKANTI, S., BOLLE, R., An Identity- Authentication System Using Fingerprints, Proceedings Of The IEEE, Vol. 85, No. 9, pp. 1341-1516, September 1997.
- [2] JAIN, A.K., RATHA, N.K., Fingerprint Matching On Splash 2 <http://www.cse.msu.edu/~jain/>
- [3] JAIN, A.K., KARU, K., CHEN, S., RATHA, N.K., A Real Time Matching System For Large Fingerprint Databases, IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, Vol. 18, No. 8, August 1996.
- [4] HALICI, U., ONGUN, G., Fingerprint Classification Through Self-Organizing Feature Maps Modified To Treat Uncertainties, Proceedings Of The IEEE, Vol. 84, No. 10, pp. 1353-1576, October 1996.
- [5] FITZ, A.P., GREEN, R.J., Fingerprint Classification Using Hexagonal Fast Fourier Transform, IEEE Pattern Recognition, Vol. 29, No. 10, pp. 1587-1597, 1996.