

## ÜÇ BOYUTLU YÜZ TANIMA

**Albert Ali Salah**, Boğaziçi Üni. Bilgisayar Müh. 34342-İstanbul, salah@boun.edu.tr  
**Berk Gökberk**, Boğaziçi Üni. Bilgisayar Müh. 34342-İstanbul, gokberk@boun.edu.tr  
**Lale Akarun**, Boğaziçi Üni. Bilgisayar Müh. 34342-İstanbul, akarun@boun.edu.tr

### Özet

Biyometrik sistemler iki şekilde işe yarayabilirler. Günlük hayatımızda gittikçe artan sıklıkta karşılaştığımız teknolojileri daha rahat kullanılabilir hale getirebilir, ezberlemek ve sürekli değiştirmek zorunda kaldığımız onlarca şifrenin yerini alabilirler. Veya suçluların takibini kolaylaştırıp güvenliğin sıkılaştırılmasında kullanılabilirler. Biyometrik sistemler içinde yüz tanıma önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada iki boyutlu ve son yıllarda gittikçe önem kazanan üç boyutlu yüz tanıma sistemlerini inceliyoruz; yüz bulma, çakıştırma ve tanıma konularında özgün çalışmalarımızı ve literatürdeki belli başlı yaklaşımları özetliyoruz.

**Anahtar Kelimeler:** 3B yüz tanıma, biyometrik sistemler, kimlik doğrulama, yüzlerde nirengi noktaları bulma ve çakıştırma

## 3D FACE RECOGNITION

### Abstract

The promise of biometrics is twofold. On the one hand, it has the potential to improve the interaction with the increasing amount of technological interfaces we have to face in everyday life, replacing countless passwords we need to memorize and change all the while. On the other hand it provides ways of increasing the security by facilitating search for criminals. Face recognition is prominent among the many existing biometrics systems. In this paper, we focus on 2D and more recent 3D face recognition systems for biometrics. We summarize our own contributions as well as other existing approaches for face detection, registration and recognition.

**Keywords:** 3D face recognition, biometrics, authentication, facial landmarking and registration

### 1. Giriş

Büyük şehirlerde herkesin birbirini tanıdığı küçük toplulukların yerini aynı apartmanda oturan kişilerin bile birbirlerini tanımadığı, kalabalık ve devinimli topluluklar aldı. Bu şekilde globalleşen dünyada suçluların takip edilmesi de zorlaştı. Kimlik kartları ve pasaport gibi belgelerin sahteleri yapılabiliyor, kredi kartı bilgileri çalınarak zarara uğratılan kişilerin sayısı her yıl milyonlarla ifade ediliyor [17]. Bu problemlerle mücadelenin bir yolu biyometrik sistemlerden geçiyor.

Biyometrik sistemler bireylerin zaman içinde kolay değişmeyen ve taklit edilmesi zor bazı özellikleriyle tanınmalarını amaçlar. Bireyin imzası ve el yazısı bu iş için kullanılan en eski özelliklerdir. Suçlulardan alınan yüz fotoğrafları ve parmak izleri de çok uzun zamandır polis tarafından bu iş için kullanılmaktadır. Günümüzde bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle kişinin sesi, yürüyüşü, retina ve iris görüntüleri, el izi, üç boyutlu yüz verisi de kullanılacak biyometrik özellikler arasına girdi. Şifrenizi unutabilirsiniz, veya birileri şifrenizi öğrenebilir. Güvenlik kartınızı kaybedebilirsiniz, veya çaldırabilirsiniz. Biyometrik özellikler unutulmaz, kaybolmaz, çalınmaz. Değişik ortamlarda, farklı amaçlar için kullanılabilir. Güvenlik sistemlerinde olduğu kadar teknolojik arayüzlerde de önemli faydaları vardır.

Güvenlik uygulamalarında biyometrik sistemlerin temel olarak iki senaryoda kullanıldığını görüyoruz. Kimlik doğrulama (*authentication* yahut *verification*) senaryosunda kişi sisteme kimliğini söyler ve biyometrik özellik bu kimliği doğrulamakta kullanılır. Evinizin kapısını açmak için kullanacağınız bir ses tanıma sistemi, cep telefonunuzun tuş kilidini açmak için parmak izinizin tanınması bu senaryoya örnek gösterilebilir. Kimlik

doğrulama kişinin biyometrik özelliği önceden sistemde saklanır ve doğrulama sırasında alınan özelliklerle karşılaştırılır. Eğer değerler yeterince yakınsa, kişinin kimliği doğrulanır.

İkinci senaryoda kişi kimlik belirtmeden tanınmaya çalışılır (*screening*). Veritabanında bir arama yapılır, ve biyometrik özellik bütün kişilerle karşılaştırılır. Eğer en yakın kişinin özellikleriyle aradaki fark belli bir eşikten küçükse, tanıma gerçekleşir. Havaalanı girişine konan bir kamerayla içeri girenlerin yüzlerinden aranan bir grup suçluyu bulma uygulaması, aynı kişinin ikinci bir ehliyet almasına engel olmak için daha önce verilmiş ehliyetlerdeki yüzleri tarama uygulaması bu senaryonun tipik örnekleridir.

Bir biyometrik sistemi değerlendirirken çeşitli ölçütler kullanılır. Sistemin etik ve hukuksal problemler yaratmaması, doğru çalışması, ucuz olması, kolay kullanılması, gelişime açık olması, diğer sistemlerle uyumlu çalışması beklenir. Bunun ötesinde kimlik doğrulama için taklitçilere karşı sakınlı olması, kimlik belirtmeden tanıma için de kimlik gizlenmesine karşı dayanıklı olması gereklidir. Biyometrik sistemler kullanılan biyometrik özelliğe göre farklılık gösterir. Örneğin iris imgesinden kimlik doğrulama yüksek doğruluk oranı ile çalışır, ama pahalı ve kullanımı zor bir sistemdir. İmza ile kimlik doğrulama ucuzdur, ama taklitçilere karşı zayıftır. Parmak izi tanıma bir kurumda çalışanları ayırdedecek doğruluk oranına ulaşabilir, ama İstanbul Valiliği İl İnsan Hakları Kurulu, bir şikayet üzerine böyle bir uygulamayla ilgili hukuksal düzenlemenin yetersiz olduğu gerekçesiyle iki kurumda parmak izi ile kimlik doğrulama uygulamasını sonlandırmıştır [22].

Yüz tanıma zor, ama üzerinde çok çalışılmış bir örüntü tanıma problemidir. Gerek bilgisayar bilimlerinde, gerekse psikoloji literatüründe iki boyutlu yüz tanıma için birçok teknik geliştirilmiştir [8]. Yüz tanımda en başarılı sistem insan beyni olduğu için biyolojik sistemler bilgisayarda yüz tanıma probleminin çözülmesinde esin kaynağı olmuştur [23], [25]. Yakın zamanda çok kameralı veya lazer tarayıcı sistemler yardımıyla yüzlerden üç boyutlu bilgi alınması ve bu bilginin tanımda tek başına veya fotoğrafları tamamlayıcı bilgi olarak kullanılması yönünde çalışmalar yapılmıştır [6]. Bu şekilde iki boyutlu yüz tanımanın en büyük iki problemi olan ışıklandırma ve poz değişimi sorunlarının çözülmesi amaçlanmaktadır.

Makalenin ikinci bölümünde üç boyutlu yüz tanıma sistemlerinde verinin hazırlanması, işlenmesi ve önemli yüz tanıma sistemlerini özellikle bu konudaki çalışmalarımız bağlamında ayrı ayrı inceliyoruz. Üçüncü bölümde sonuçlarımızı özetliyoruz ve bu konuda gelecekte yapılması düşünülen çalışmalara değiniyoruz.

## 2. Üç Boyutlu Yüz Tanıma

3B yüz tanıma sistemleri ana olarak iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda üç boyutlu görüntüde yüz ve yüz üzerindeki bazı önemli noktalar bulunur. Sonra bulunmuş yüz bölgesi standart bir boy ve poza getirilir. Çeşitli yöntemler kullanılarak 3B yüz betimlenmesi gerçekleştirildikten da sonra yüz tanıma safhasına geçilir.

### 2.1 Verinin Hazırlanması

3B bilgi stereo kameralar, yapılandırılmış ışık (structural light) veya lazer tarayıcı ile alındıktan sonra bir önışlemeden geçirilir. Bu aşamada eksik noktaların aradeğerleme yoluyla hesaplanması, taşma değerlerin (*spike*) düzeltilmesi, düzleştirme, arka plandaki gürültü niteliğindeki değerlerin atılması gerçekleştirilir. Çoğu yüz tanıma algoritması yüzün bulunmuş olduğunu varsayar, ve yüzleri çakıştırarak işe başlar. Tam otomatik bir sistemde ise önce yüzün bulunması gereklidir.

3B yüz bulma problemi 3B algılayıcıdan gelen görüntüden yüz bölgesinin bulunması ve ardından yüz üzerinde önceden seçilmiş önemli noktaların bulunması olarak tanımlanabilir. Şu ana kadar yayınlanan 3B yüz tanıma makalelerinde 3B yüz bulma problemini çözme üzerine geliştirilen yöntemler basittir. Bunun en önemli nedenlerinden birisi 3B görüntü algılama sistemlerinin sınırlı bir algılama uzayına sahip olmaları ve bu algılayıcılarla alınan görüntülerde verinin büyük bir kısmının sadece yüz ve omuzüstü bölgesini içermesidir. 3B yüz tanıma sistemlerinin başarılarını karşılaştırmak için oluşturulmuş 3B yüz kütüphanelerinin çoğu bu şekilde temizlenmiş veri içermektedir. Ama daha genel bir uygulama örneği düşünüldüğünde, algılanan görüntünün içerisinde görüntüsü alınan ortamın büyük bir kısmı bulunabilir. Bu gibi durumlarda, 3B görüntünün içerisindeki yüzlerin bulunması gereklidir. Bu amaçla geliştirilmiş ilk sistemlerden biri kıvrım analizine dayanmaktadır [10]. Yüz bölgesinin bulunması için görüntüde göz çukurları ve burun ucu noktası aranır. Geliştirilen sistemde yüzlerin kıvrım analizinin kullanılış amacı 3B kıvrımların dönmelere karşı değişimsiz olmasıdır. Örneğin, yüz yukarı/aşağı ya da sağa/sola döndüğünde burun ucundan hesaplanan kıvrım değeri değişmemektedir.

Verilen bir görüntüde birden fazla burun ucu ve göz çukuru adayı çıkabilir. Sistem bu şekilde ortaya çıkan burun ucu, sol göz çukuru ve sağ göz çukuru üçlü adaylarını ilk önce yapısal olarak eleyerek, daha düşük sayıda üçlü aday listesine ulaşır. Daha sonra elenmemiş her üçlü adayı için, yüzün göz ve burun kısımlarını

kapsayacak şekilde bir maskeleye yaparak, bu maskenin içerisinde kalan derinlik imgesini ikinci bir işleme tabi tutar. Bu safhada maskelenmiş bölgedeki derinlik nokta değerleri bir vektör haline getirilip temel bileşen analizi (TBA) uygulanır. TBA uzayı daha önceden hazırlanmış eğitim kümesindeki veriler ile oluşturulur. TBA'nın kullanımındaki amaç şudur: eğer maskelenmiş bölge gerçekten yüz merkezini barındırıyorsa TBA analizinden sonra geri çatılan imge baştaki özgün imgeye çok benzer. Eğer yanlış bir bölge bulunmuş ise, bu bölgenin geri çatım hatası yüksek çıkar. Bu prensibe dayanarak, geri çatım hatası az olan bölgeler yüz merkezi olarak bulunmuş sayılır. Önerilen algoritmanın başarımı 150 resimlik küçük bir veri kütüphanesinde denenmiş ve %2 hatalı bulma rapor edilmiştir.

## 2.2 Nirengi Noktalarının Bulunması

3B yüzün resimde bulunmasından sonraki safha ise yüz üzerindeki bazı önemli noktaların (dudak kenarları, ve göz kenarları gibi) doğru bir şekilde bulunmasıdır. Yüz üzerindeki nirengi noktalarının bulunması yüz tanıma sistemlerinin daha sonraki adımları için (ör. çakıştırma için yüzlerin kabaca hizalanması için) gereklidir. Nirengi noktaları genelde ağız ve gözlerin kenarları, burun ucu, burun kanatları, burnun alınla birleştiği yer ve çene ucudur. Bunlar çoğu zaman elle işaretlenir, bu da yüz tanıma sistemini tamamen otomatik olmaktan çıkarır. Otomatik ve güvenilir nirengi noktası bulma, yüz tanıma algoritmalarının işini çok kolaylaştırır. Bu amaçla yaptığımız bir çalışmada Şekil.1.a'da gösterilen 10 nirengi noktasını otomatik olarak bulan bir algoritma önerdik [12]. Algoritma ilk olarak öğrenme kümesindeki yüzleri kullanarak bir *ortalama yüz modeli* (OYM) oluşturur. OYM'yi oluşturduktan sonra nirengi noktaları şu şekilde bulunur:

1. Yüz üzerindeki her 3B nokta için yüzey normalleri, ortalama ve Gauss kıvrım değerleri hesaplanır.
2. Test yüzü ICP algoritması ile OYM'e eşlenir.
3. OYM'deki nirengi noktalarının test yüzüne en yakın noktaları ilk tahmin olarak bulunur.
4. Burun ucu kamera düzlemine en yakın nokta olarak düzeltilir.
5. Yüzün simetri düzlemi bulunur.
6. Burun ucu, simetri düzlemi, kıvrım ve normal bilgilerine göre iyileştirilir.
7. Burun tepesi, burun altı ve çene yine simetri düzlemi, kıvrım ve normal bilgilerine göre iyileştirilir.
8. Göz ve ağız noktaları ilgili düzlemler, normal ve kıvrım bilgileri ile iyileştirilir.

3D\_RMA veri kütüphanesinde [4] yapılan deneyler, önerilen nirengi nokta bulma algoritmasının iyi çalıştığını gösterdi.

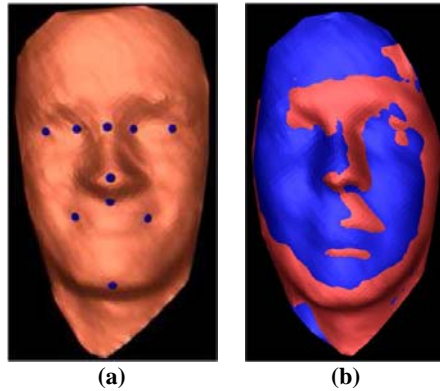
Nirengi noktası bulma konusunda yaptığımız daha sonraki bir dizi çalışmada 2B ve 3B bilgiyi nasıl birlikte kullanabiliriz sorusuna cevap aradık [26], [27], [28]. Bu çalışmalarda sistemi hızlandırmak için önce boyut azaltılmış 2B imgelerde nirengi noktaları kabaca bulundu, sonra da bir yapısal düzeltme metodu ile yanlış bulunan nirengi noktaları düzeltildi. İlk aşamada Gauss karışım modellerinin özel bir hali olan Artırımsal Faktör Analizi Karışım Modeli ile iyi sonuçlar elde ettik [24]. Bu model verinin karmaşık kısımlarına daha çok Gauss bileşeni oturtur, ve gerektiği yerlerde bu bileşenlerdeki parametre sayısını otomatik olarak artırır. İkinci aşamada yüksek boyutlu imgelerde kabaca bulunan nirengi noktalarının etrafına bakarak yüksek başarıyla nirengi noktalarını bulduk. Bu aşama için Gabor dalgacık öznelilikleri, ayrık kosinüs dönüşümü (DCT) ve faktör analizi tekniklerini karşılaştırdık. En iyi sonucu ayrık kosinüs dönüşümü katsayılarıyla eğitilen SVM sınıflandırıcılarından aldık [27]. Bu çalışmalarda 2B bilginin kontrollü ışıklandırma koşullarında faydalı olduğunu, ama bazı nirengi noktalarının (örneğin burun ucu) 3B bilgiyle daha kolay bulunduğunu gözlemledik. Ayrıca arkaplandaki gürültünün temizlenmesinde de 3B bilgisi yardımcı oldu, sistemin çalışma zamanında üç kat iyileştirme sağladı.

3B yüzlerde nirengi noktası bulmak için yapılan diğer çalışmalarda da 2B bilgisinin kullanıldığını görüyoruz [5], [9]. Boehnen ve Russ, 3B bilgiyi nirengi noktalarının aralarındaki gerçek uzaklık bilgisini kullanmak için değerlendiriyorlar, ve bizim çalışmamızda olduğu gibi arkaplandaki gürültüyü 3B bilgisiyile atıyorlar [5]. 3B bilgisinin özellikle ışıklandırma koşullarının kötü olması nedeniyle 2B bilgisinin yeterli olmadığı durumlarda faydalı olduğu görülüyor. Colbry ve diğerleri ise 2B imgelerde Harris operatörüyle köşeleri bulup, bu bilgiyle 3B biçim göstergelerini birleştiriyorlar [9]. Bu çalışmada öncelikle burun ucu bulunuyor, ve diğer nirengi noktaları sadece burun etrafında belli bazı bölgelerde aranıyor. Bu yöntemin doğru çalışması burnun hatasız olarak bulunmasına bağlı.

## 2.3 Çakıştırma

3B yüzler bulunduktan sonra, çıkartılacak özneliklerin benzer anlamlar ifade etmesi için yüzler çakıştırılır; yani aynı yer, boyut, ve poza getirilir. Çakıştırma, kütle merkezi, burun ucu, veya gözlerin belirlenmiş bir noktaya çekilmesi ile başlar. Daha sonra üç boyutlu yüzler birbirleriyle aynı poza sahip olacak şekilde çakıştırılır. Bu iş için iki temel yol kullanılır. Birinci yol yüzlerde tanımlanan bazı kontrol noktalarının tamamen çakışmasını sağlayacak deformasyon (veya bükülme) modelidir [13]. Bu şekilde deforme edilen yüzler ortalama yüze deformasyon oranında benzedikleri için tanınmayı sağlayan özellikler yavaş yavaş kaybolur. İkinci yol yüzleri deforme etmeden çakıştırmaktır. Bu iş için en sık kullanılan teknik ICP algoritmasıdır [3]. Bu algoritmada iki nokta kümesi arasında bire bir ilişkiler bulunur ve noktaların karşılık geldikleri noktalarla aralarındaki uzaklıkların toplamının eniyilemesine çalışılır.

[12]'de önerdiğimiz yüz tanıma sisteminde, 3B şekil verisine sahip yüzlerin tanınması için yüzey bükülmelerine izin veren yoğun denkleştirme algoritmasını kullandık. İlk olarak yüzler üzerindeki nirengi noktalarını Bölüm 3.2'de açıkladığımız şekilde bulduk. 3B yüz yüzeyleri nirengi noktalarının 3B koordinatları kullanılarak ince levha dönüştürme algoritması (*thin plate spline*) ile ortalama yüz modeline en iyi uyacak şekilde büküldü. Bükülme sonucunda oluşan yüzeydeki her nokta için OYM'deki noktalara yoğun eşleştirme yapıldı. Bu şekilde, test yüzlerindeki her noktanın OYM'deki karşılığı bulundu. Yoğun denkleştirme sonucunda verilen herhangi iki yüz arasındaki eşleme kolaylıkla bulunabilir. Şekil.1.b'de aynı kişiye ait iki farklı yüzün eşleştirilmiş halleri üst üste çizilmiştir. Bu şekilde hizalanmış yüzler arasında tanımlanabilecek benzerlik ölçütlerinden biri iki yüzey arasındaki hacimdir. Bu hacim yaklaşık olarak 3B nokta koordinatlarının farkının toplamı olarak ifade edilebilir.



Şekil 1: (a) Nirengi noktaları, (b) TPS yöntemiyle bükülmüş ve çakıştırılmış yüzler.

Bir diğer çakıştırma metodu da ortalama bir yüzü test imgesiyle çakıştırmak, ve ortaya çıkan yoğun denkleştirme yardımıyla yüzlerdeki noktaları birbirleriyle eşlemektir [19]. Bu yöntemde bizim izlediğimiz tam tersi bir yol izlenir, test imgesi değil, ortalama model dönüştürülür. Fakat ortaya çıkan yeni imge kullanılmaz, sadece test imgesinin noktalarının nerelere karşılık geldiğini belirlemeye yarar. Bu şekilde deformasyon olmadan bölütleme yapmak mümkün olur.

## 2.4 Tanıma

Üç boyutlu yüz tanıma algoritmalarını kullandıkları gösterimlere göre sınıflandırıyoruz. Bu bölümde kıvrımlar, yüzey nitelikleri, nokta kümeleri, örgüler, derinlik imgeleri ve profil setleri gibi değişik gösterimler kullanan sınıflandırıcılara ve bunların birleştirmelerine değiniyoruz. Daha detaylı bir literatür özeti [2] ve [6]'da bulunabilir.

### 2.4.1 Kıvrım ve Yüzey Nitelikleri

Literatürdeki en eski 3B yüz tanıma sistemlerinden birinde Gordon silindirik bir koordinat sisteminde yüzün kıvrımlarını kullanan bir tanıma sistemi önerdi [14]. Kıvrımlar gürültüye karşı son derece hassas olduğu için bu çalışmada uyarlanır Gauss filtresi ile düzeltme yapılmış. Daha sonraki bir çalışma kıvrım ve yüz çizgilerinin alana dayalı özneliklerden daha iyi sonuç verdiğini gösterdi [20]. Nokta kümeleri, yüzey normalleri, biçim göstergeleri (*shape index*), derinlik imgeleri ve yüz profil kesitlerini karşılaştırdığımız bir çalışmada biz de yüzey

normallerinin diğer gösterimlerden daha iyi sınıf ayrımı yapabildiğini, özellikle de doğrusal ayırtaç analizi (*linear discriminant analysis*) ile iyi çalıştığını gösterdik [2].

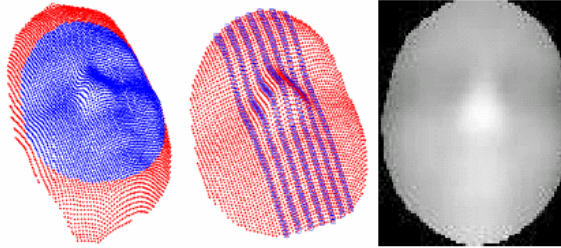
#### 2.4.2 Nokta Kümeleri ve Örgüler

Nokta kümeleri 3B yüzler için kullanılacak basit gösterimlerdir. Achermann ve Bunke iki nokta kümesi arasında Hausdorff uzaklığı hesaplayarak tanıma yapmayı önerdiler, ama böyle bir yöntem çok fazla hesap gerektirir [1]. Nokta kümeleri ile hesap yaparken ICP algoritması ile karşılaştırma yaygın olarak kullanılır [3]. Bu yöntemde A kümesindeki her nokta için B kümesinde bir en yakın nokta bulunur, ve bu noktalar arasındaki toplam uzaklık eniyelenir. Bu yöntemde en yakın noktayı bulmak için uzaklığa bakılabileceği gibi, noktaların bazı özneliklerini de dikkate almak mümkündür. ICP yöntemi ile karşılaştırma gerçekleştirildiğinde, otomatik olarak yüzeyler arası uzaklık da hesaplanmış olur. Bu şekilde kolayca tanıma gerçekleştirilebilir. Fakat test imgesinin veritabanındaki bütün imgelerle ayrı ayrı karşılaştırılması düşünülemez. Bu yüzden karşılaştırma bir ortalama yüz ile test imgesi arasında olur.

[12] çalışmasında yaptığımız deneylerde karşılaştırılmış nokta kümeleri arasındaki uzaklığı tanıma ölçütü olarak aldık, 3D\_RMA 3B yüz kütüphanesinin hatadan arındırılmış ilk oturumunu veritabanı olarak kullandık ve ortalama %96.7 tanıma başarısı elde ettik. Kütüphanede 30 kişinin üçer adet stereo görme ve yapısal ışıklandırma tekniği ile oluşturulmuş yüz verisi vardır. Her biri yaklaşık olarak 4.000 üç boyutlu nokta içerir ve arkaplan temizlenmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar bu veritabanı üzerinde elde edilen pek çok sonuçtan daha yüksektir. Bunun devamı sayılabilecek bir çalışmada deformasyonlu karşılaştırmanın tanıma üzerindeki etkisini inceledik ve deformasyon bilgisinin kullanılmadığı durumda tanıma yüzdesinin düştüğünü saptadık [15].

#### 2.4.3 Derinlik İmgesi

Derinlik imgeleri aslında iki boyutlu imgelerdir; fakat her pikselde renk yerine derinlik bilgisi saklıdır (Bkz. Şekil 2.c). Bu yüzden 2B yüz tanıma metodlarının çoğu derinlik imgeleriyle de uyumludur. Derinlik imgesini oluşturmak için bir görüş açısı seçilir ve bu açıdan görünen derinlik değerleri düzleştirilir. Ortalama, medyan ve Gauss süzgeçleri bu düzleştirmede sıkça kullanılan yöntemlerdir. Eğer yüzler farklı pozlarda ise, 3B bilgi daha iyi bir karşılaştırma sağlayabilir. Yüzün dönmesi ile ortaya çıkacak yeni bölgelerdeki eksik bilgi yüzün simetrisi kullanılarak bir ölçüde tamamlanabilir.



Şekil 2 (a) Yüzün merkezi bölgesi (mavi) (b) Yedi profil eğrisi (c) Derinlik imgesi

[11]'de temel bileşenler analizi (TBA) ve bağımsız bileşenler analizi (BBA) metodları derinlik imgelerinin sınıflandırılmasında karşılaştırılmıştır. Bu çalışmaya göre BBA sonuçları daha iyidir, ama eğitim kümesi küçüldükçe TBA'daki hata oranı daha az etkilenmiştir.

#### 2.4.4 Profil

Yüzde burun ucundan geçecek şekilde alın ortasından çeneye kadar uzanan bir kesit alındığında, ortaya çıkan profil eğrisi tanıma için kullanılacak bir diğer 3B bilgi sağlar. Profilin elde edilmesi zordur, genelde önce yüzün simetri eksenini aranır [7], [21]. [21]'de sadece orta dikey profile değil, yatay ve dikey bir çok kesite bakılmıştır. Hatta burun ucunun etrafından yuvarlak kesitler de denenmiştir. Bu kesitler arasında orta dikey profil ve göz kenarlarından geçen yuvarlak profilin en yüksek tanıma sonuçlarını verdiği bulunmuştur. Beumier ve Achery da 3D\_RMA veritabanı üzerinde yaptıkları çalışmada orta dikey profile ek olarak yüzün sağ ve sol yanından birer dikey profili daha kullanmışlardır [4].

Profiller bulunduktan sonra tanıma için değişik yöntemler kullanılabilir. [7] çalışmasında iki profili karşılaştırmak için kıvrım katsayılarına bakılmıştır. Karşılaştırılan eğrilerde ilinti katsayısı (*correlation coefficient*) ve

ortalama Euclid mesafesi tanıma için önerilmiştir. [4]'te ise profil eğrileri arasında kalan alana bakılmıştır. Profillerle yaptığımız bir çalışmada iki profil eğrisinin karşılaştırılması için L1, L2 normları ve Hausdorff uzaklığını karşılaştırdık, ve L1 normunun daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemledik [15].

#### 2.4.5 Sınıflandırıcıların Birleştirilmesi

Yüz tanıma sistemlerinde başarıyı arttırmak için sıkça kullanılan bir yöntem farklı sınıflandırıcıların birleştirilmesidir. Genellikle değişik gösterimler kullanılarak sonucun istatistiksel olarak daha güvenilir olmasına çalışılır. Örneğin [29]'de yüzey normalleri ve renk bilgisi tek bir öznelik vektörü oluşturacak şekilde birleştirilir ve bu vektörün boyutu ayırık bileşenler analizi ile düşürülür. [30] ise 3B veriyi her noktadan alınan ve imza adı verilen bir öznelik fonksiyonu ile gösterir. Bu çalışmada 2B bilgisi Gabor dalgacıkları ile gösterilir ve bu iki bilgi tanıma için birleştirilir.

Öznelik seviyesinde birleştirme dışında sistemleri karar verme aşamasında da birleştirmek mümkündür. Örneğin [18] 2B bilgisiyle doğrusal ayırtaç analizi, 3B bilgisiyle de yüzey-nokta uzaklıkları temelli sınıflandırıcılar eğitmiş, zor örnekler için bunların ağırlıklı bir oylamasına başvurmuştur.

Karar seviyesinde birleştirme öznelik seviyesinde birleştirmeden daha başarılı sonuçlar verir. Biz de bu yüzden farklı özneliklere dayalı 3B yüz sınıflandırıcılarının karar seviyesinde birleştirilmesi üzerine çalışmalar yaptık [15], [16]. Sınıflandırıcı birleştirme, farklı sebeplerle farklı yerlerde hata yapan örüntü sınıflandırıcıların verdikleri kararların bir birleştiren sınıflandırıcı ile biraraya getirilmesi prensibine dayanır. Değişik gösterimleri gösterim seviyesinde birleştirmek daha zor olduğundan ve karmaşık bir karar yüzeyini basit sınıflandırıcıların karışımı ile modellemek genelde daha iyi sonuç verdiği için sınıflandırıcılar karar seviyesinde birleştirilir. Bu yaklaşımda her örüntü sınıflandırıcı bir test örneği verildiğinde en yakın  $k$  sınıfı belirler. Sonra bu  $k$  sınıfın sıralama bilgileri bir birleştiren sınıflandırıcıya verilir, bir birleştirme kuralı çerçevesinde sınıflandırma yapılır. Birleştirme kuralı olarak üç değişik metot kullanılmıştır:

- 1) Onaylaşım oylaması: En çok seçilen sınıf kazanır, sıralama bilgisi kullanılmaz.
- 2) Sıralama yoluyla birleştirme: Sıralamaları dikkate alarak (doğrusal ve doğrusal olmayan bir ağırlık fonksiyonu kullanılabilir) seçilen sınıflar puanlanır.
- 3) En yüksek sıralamaların çoğunluğu: Sadece birinci sıradaki sınıflar arasında onaylaşımına bakılır.

Sınıflandırıcıları paralel ve hiyerarşik olmak üzere iki değişik şekilde birleştirdik. Paralel birleştirmede her sınıflandırıcı en iyi  $N$  sınıfı sıralayarak seçti, bu sıralamalar yukarıda saydığımız yöntemlerle birleştirildiler. Hiyerarşik birleştirmede ise amaç doğru sınıf olma ihtimali düşük olan sınıfları mümkün olduğunca çabuk elemek, ve diğer sınıfları dikkate almaktır. Birinci sınıflandırıcının seçtiği  $N$  sınıfın örnekleri ikinci sınıflandırıcıya verilerek ikinci sıralama bilgisi elde edildi ve sonuç bu iki sıralamanın birleştirilmesiyle bulundu. Birinci sınıflandırıcı olarak nokta kümesi sınıflandırıcısı, ikinci sınıflandırıcı olarak ise benzer sınıflar arasındaki farklılıkları vurgulayan doğrusal ayırtaç analizinden geçmiş derinlik imgeleri kullanıldı. 3D\_RMA verisinde yapılan deneylerde nokta kümelerine, yüzey normallerine, profil eğrilerine ve derinlik imgelerine dayalı bireysel sınıflandırıcıların en iyilerinin tanıma başarımları %95-96 olmasına karşın, doğrusal olmayan ağırlıklı sıralamaya dayalı paralel karar birleştirme %99.07, hiyerarşik sınıflandırıcı birleştirme algoritması ise %98.13 tanıma başarımına ulaştı. Bu sonuçlar sınıflandırıcı birleştirmenin 3B yüz tanımada yararlı olduğunu kanıtlamaktadır.

### 3. Sonuç

Bu makalede biyometrik sistemler arasında önemli bir yer tutan 3B yüz tanıma algoritmaları hakkında literatürde yapılmış çalışmalara detaylı olarak değinilmiştir. Her ne kadar yüz imgeleri iris ve parmak izi gibi biyometrik sinyaller kadar güvenli olmasa da, yüz tanıma sistemlerini diğerlerinden ayrılan önemli özellikler bulunmaktadır. Bu özelliklerden en önemlisi yüz imgesinin uzaktan da bir kamera yoluyla alınabilmesidir. Bu nedenle yüz tanıma algoritmalarının uygulanabileceği senaryolar çok çeşitlidir.

İki boyutlu ve üç boyutlu yüz tanıma sistemlerinin karşılaştığı en büyük sorun, elde edilen sinyaldeki değişimlerin yarattığı farkların çok yüksek olmasıdır. Aydınlatma, poz ve ifade değişimlerinin aynı yüzde yarattığı değişimler genel olarak farklı kişilerin resimlerinin birbirinden farkından daha büyük olmaktadır. 3B yüz tanıma sistemleri böyle değişimlerden 2B sistemlerden daha az etkilenirler. Örneğin, poz farklılıklarının yarattığı değişimler 3B yüz verisi kullanarak en aza indirgenebilir.

Halen kullanılmakta olan 3B algılayıcılar bazı kısıtlamalara sahiptir. Örneğin, veri alımı süresince kişinin sabit kalması gerekir. Bu süre her ne kadar kısa da olsa, çoğu algılayıcı için gerçek zamanlı bir algılamayı mümkün kılacak kadar az değildir. 2B ve 3B bilginin taramadaki yavaşlık yüzünden tam örtüşmemesi de önemli bir sorundur. En son teknoloji ürünü lazer tarayıcılar, gözbebeği, kaş ve saç gibi bölgelerden veri alamazlar. Bu nedenle bilgi eksikliği olan bölgelerin sonradan doldurulması gerekir. Bütün bu eksiklikler ciddi önleme problemlerine yol açar.

3B yüz tanıma sistemlerinde karşılaşılan diğer önemli bir problem ise yüzlerin veritabanına kayıdır. Yüz ifadelerinden kaynaklanan farklılıklar 3B bilginin her kayıta farklı olmasına sebep olur. Bu nedenle kayıt safhasında sadece boy, poz ve öteleme parametrelerinin bulunması yeterli olmaz. Yüzeylerin bükülmesine dayalı kayıtlama algoritmaları ile bu sorun kısmen çözülebilsede, bu işlem yüzün karakteristik özelliklerinde bilgi kaybını da beraberinde getirir.

Önişlemesi ve kayıtlanması tamamlanmış yüzlerden tanıma safhasına geçilmesi görece daha basit bir işlemdir. 3B özniteliklerden en sıklıkla kullanılanları nokta koordinatları, yüzey normalleri ve derinlik imgeleridir. Sınıflandırıcı olarak da genel olarak en yakın komşu algoritması en iyi performansı vermektedir. 3B yüzlerin doku bilgisi de öznitelik olarak kullanılabilir, şekil ve doku bilgisine dayalı sınıflandırıcılar karar seviyesinde birleştirilebilir.

3B yüz tanıma sistemlerinin gelecekte daha pratik olarak kullanılabilmesi ancak şu konularda yapılacak ilerlemelerle mümkün olacaktır: 1) 3B algılayıcıların daha hızlı çalışıp, statik görüntüler yerine dinamik görüntüler (video gibi) elde etmesi, 2) 3B yüzlerden değişimsiz öznitelikler çıkarılabilmesi, 3) daha iyi eşleştirme/kayıtlama algoritmalarının geliştirilmesi, 4) yüksek miktarda veriyi hızlıca işleyebilecek sistemlerin gerçekleştirilmesi, 5) 2B stereo görüntü tabanlı sistemlerinin 3B gerçatma performansının iyileştirilmesi.

## Kaynaklar

- [1] ACHERMANN, B., BUNKE, H., 2000. Classifying range images of human faces with Hausdorff distance, Proceedings International Conference on Pattern Recognition, pp.809-813.
- [2] AKARUN, L., GÖKBERK, B., SALAH, A. A., 2005. 3D Face Recognition for Biometric Applications, Proceedings of EUSIPCO'05.
- [3] BESL, P., MCKAY, N., 1992. A Method for Registration of 3-D Shapes, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.14(2), pp.239-256.
- [4] BEUMIER, C., ACHEROY, M., 2000. Automatic 3D face authentication, Image and Vision Computing, vol.18(4), pp.315-321.
- [5] BOEHNEN, C., RUSS, T., 2005. A Fast Multi-Modal Approach to Facial Feature Detection, Proceedings 7<sup>th</sup> IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, pp. 135-142.
- [6] BOWYER, K. W., CHANG, K., FLYNN, P., 2006. A survey of approaches and challenges in 3D and multi-modal 3D + 2D face recognition, Computer Vision and Image Understanding, vol. 101, pp. 1-15.
- [7] CARTOUX, J. Y., LAPRESTE, J. T., RICHETIN, M., 1989. Face authentication or recognition by profile extraction from range images, Proceedings of the Workshop on Interpretation of 3D Scenes, pp.194-199.
- [8] CHELLAPPA, R., WILSON, C. L., SIROHEY, S., 1995. Human and machine recognition of faces: a survey, Proceedings of the IEEE, vol.83, no.5.
- [9] COLBRY, D., STOCKMAN, G., JAIN, A. K., 2005. Detection of Anchor Points for 3D Face Verification, in Proc. IEEE Workshop on Advanced 3D Imaging for Safety and Security, A3DISS, San Diego, CA.
- [10] COLOMBO, A., CUSANO, C., SCHETTINI, R., 2006. 3D face detection using curvature analysis, Pattern Recognition, Vol.39(3), pp 444-455.
- [11] HESHER, C., SRIVASTAVA, A., ERLEBACHER, G., 2003. A novel technique for face recognition using range imaging, Proceedings 7<sup>th</sup> International Symposium on Signal Processing and Its Applications, pp.201-204.
- [12] İRFANOĞLU, M. O., GÖKBERK, B., AKARUN, B., Çakıştırılmış Yüzey Benzerliğine Dayalı 3B Şekil Tabanlı Yüz Tanıma, SIU'04.
- [13] İRFANOĞLU, M. O., GÖKBERK, B., AKARUN, L., 2004. 3D Shape-Based Face Recognition Using Automatically Registered Facial Surfaces, Proceedings of 17<sup>th</sup> International Conference of Pattern Recognition, Cambridge, Vol.1, pp. 183-186.
- [14] GORDON, G., 1991. Face recognition based on depth and curvature features, Proceedings SPIE: Geometric Methods in Computer Vision, vol.1570, pp.234-247.

- [15] GÖKBERK, B., SALAH, A. A., AKARUN, L., 2005. Rank-based Decision Fusion for 3D Shape-based Face Recognition, KANADE, T., JAIN, A., RATHA, N. K. (ed.) Lecture Notes in Computer Science, Vol.3546, pp.1019-1028.
- [16] GÖKBERK, B., SALAH, A. A., AKARUN, L., 2005. Üç Boyutlu Şekil Bilgisiyle Yüz Tanımda Sıralamaya Dayalı Karar Birleştirmesi, SIU'05.
- [17] JAIN, A. K., PANKANTI, S., PRABHAKAR, S., HONG, L., ROSS, A., WAYMAN, J. L., 2004. Biometrics: A Grand Challenge, Proceedings of International Conference of Pattern Recognition, Cambridge.
- [18] LU, X., JAIN, A. K., 2005. Integrating Range and Texture Information for 3D Face Recognition, Proceedings IEEE WACV.
- [19] MAO, Z., SIEBERT, J. P., COCKSHOTT, W. P., AYOUB, A. F., 2004. Constructing Dense Correspondences to Analyze 3D Facial Change, Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, Vol.3, pp. 144-148.
- [20] MORENO, A. B., SÀNCHEZ, À., VÉLEZ, J. F., DÌAZ, F. J., 2003. Face recognition using 3D surface-extracted descriptors, Proceedings of Irish Machine Vision and Image Processing Conference.
- [21] NAGAMINE, T., UEMURA, T., MASUDA, I., 1992. 3D facial image analysis for human identification, Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition, pp.324-327.
- [22] PAKKAN, Ş. Parmak İzi Hukuka Uysun, Milliyet, 17.4.2005, <http://www.milliyet.com.tr/2005/04/17/guncell/gun04.html>.
- [23] SALAH, A. A., 2005. İnsan ve Bilgisayarda Yüz Tanıma, Üçüncü Bilgi İşleyen Makina Olarak Beyin Sempozyumu, İstanbul.
- [24] SALAH, A. A., ALPAYDIN, E., Incremental Mixtures of Factor Analyzers, 2004. Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, vol.1, pp. 276-279.
- [25] SALAH, A. A., ALPAYDIN, E., AKARUN, L., 2002. A Selective Attention Based Method for Visual Pattern Recognition with Application to Handwritten Digit Recognition and Face Recognition, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol 24(3), pp.420-425.
- [26] SALAH, A. A., ÇINAR, H., AKARUN, L., SANKUR, B., yayında, Robust Facial Landmarking for Registration, Annals of Telecommunications.
- [27] ÇINAR, H., SALAH, A. A., AKARUN, L., SANKUR, B., 2006. 2D/3D Facial Feature Extraction, Proceedings of SPIE Conference on Image Processing.
- [28] SALAH, A. A., AKARUN, L., 2006. Yüz İmgelerinde Gabor Faktör Analizi İle Nirengi Noktaları Bulunması, SIU'06.
- [29] TSUTSUMI, S., KIKUCHI, S., NAKAJIMA, M., 1998. Face identification using a 3D gray-scale image-a method for lessening restrictions on facial directions, Proceedings. 3rd IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp.306-311.
- [30] WANG, Y., CHUA, C., HO, Y., 2002. Facial feature detection and face recognition from 2D and 3D images, Pattern Recognition Letters, vol.23, pp.1191-1202.