Görüntülerde İnsan Kulağı Tespit ve Bölütlemesini Temel Alan Biyometrik Yetkilendirme Üzerine Bir İnceleme

Bahadır KARASULU[1]

[1]Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye.
bahadirkarasulu@comu.edu.tr
(Geliş/Received: 31.10.2015; Kabul/Accepted: 15.02.2016)
DOI: 10.17671/btd.45341

Özet— Günümüzde biyometrik kimlik belirleme ve yetkilendirme, güvenlik isterleri açısından oldukça önemli konulardır. Bu bakış açısıyla, insan yüzü, parmak izi ve diğer insan vücuduna ait bölgelere dair biyometrik bilgileri temel alan çalışmalarda ilgili bilgiye dayanılarak yapılan kişi tanıma ve yetkilendirmede başarımın yüksek olması beklenmektedir. Özellikle insandaki kulak bölgesi, görüntülerde kişiden kişiye ayırt edicilik adına sunduğu biyometrik bilgi nedeniyle araştırmacılar için önem kazanmaktadır. Birçok araştırma faaliyetinde kulak bölgesinin anatomik yapısına dair özellikleri temel alan modeller kullanılmaktadır. Bu nedenle birçok çalışmada, ilk adımda verilen görüntüde öncelikle insan cilt bölgesinin bölütlenmesine ve kulak bölgesinin konumunun tespit edilmesine, sonrasında ise, ikinci adımda görüntü içerisinden bu bölgenin tam olarak elde edilebilmesi için bölütleme yapılmasına başvurulmuştur. Bu aşamalardan sonra doğru bir tanıma ve yetkilendirme gerçekleştirmek mümkün olmaktadır. Çalışmamızda, 2004 ilâ 2015 yılları arasında literatürde yapılmış 37 farklı çalışma incelenerek, bunların karşılaştırılması ve elde edilen bulgular üzerinden değerlendirme yoluna gidilmiştir. Kulak biyometrisinin temel alındığı teknik ve yöntemler sunulmuştur. Bu çalışmalarda sıklıkla kullanılan kulak görüntü veritabanlarının detaylarına değinilmiştir. Elde edilen bulgulara dayanan sonuçlara da çalışmamızda yer verilmektedir.

Anahtar Kelimeler— bilişim sistemleri, kulak biyometrisi, bölütleme, tespit, görüntü işleme.

A Review on the Biometric Authentication based on the Detection and Segmentation of Human Ear in the Images

Abstract— Nowadays, biometric identification and authentication are important issues due to the security requirements. At this point, it is awaited that high performance in person recognition and authentication is achieved in the studies based on biometric information from the human face, finger palm and other body parts. The techniques and methods based on ear biometrics are initially introduced. The ear of human body gains value for researchers that its biometric information is used to distinguish persons in the images. In many research activities, some ear models are used based on the features about ear anatomical structure. In this manner, at first step, the segmentation of the human skin region and the detection of ear region localization from a given image are performed. In the second step, the ear segmentation is applied to a given image to completely extract this region from the image. After that process, it is possible to make a correct recognition and authentication. 37 studieswhich have been published between 2004 and 2015 years in the literature are currently reviewed. In addition, the discussion is made upon the findings and the comparisons.

Keywords— information systems, ear biometrics, segmentation, detection, image processing.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Biyometrik kimlik doğrulama/yetkilendirme (authentication) günümüzde bilişim sistemlerine yetkilendirilmiş girişin kontrol edilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle parmak izi tanıma, retina tanıma ve yüz tanıma konuları makine görüsü (machine vision) alanında üzerinde çokça çalışılan konular olmuşlardır. Bunları hesapsal problemler olarak ele alan araştırmacılar, daha yüksek doğruluk değerlerine sahip tanıma başarımları elde etmek için birçok yöntem ve algoritmayı literatürde önermişlerdir.

Otomatikleştirilmiş biyometrik uygulamaları açısından parmak izi tanıma ve retina tanıma işlemleri için özellikle şablon eşleştirmenin (template matching) sıklıkla

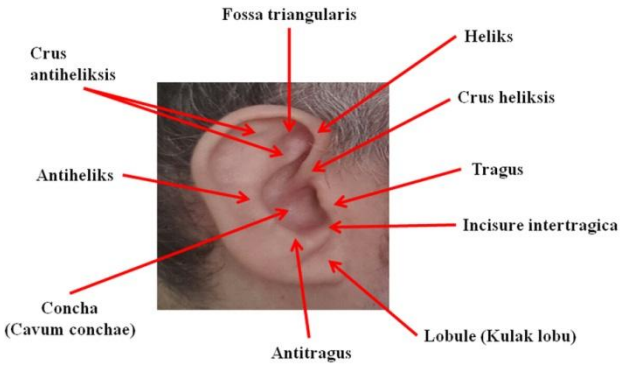
kullanılması tanıma başarımını (performance) düşüren olgular arasında sayılmaktadır. Bunun başlıca nedenlerinden biri, sistemin tanıyabileceği kişileri önceden bir katalog halinde kaydedilmiş bir veri seti içerisinde araması ve eşleştirme sonucunu cevap olarak geri döndürmesidir. Bu işlem hem zaman alan hem de görüntüleme kaynağı ve ortamındaki çevresel değişkenlerin elde edilen görüntünün kalitesinde oluşturduğu değişikliklerden bu işlemin etkilenmesi nedeniyle tanıma başarımını düşürücü bir işlemdir.

Retina tanımada özellikle görüntüleme ile veri elde etme işlemi için oldukça yakın bir mesafeden kişinin retina görüntüsünün elde edilmesi gerekmektedir [1]. Fakat göz iris'inin oldukça küçük oluşu, görüntüleme mesafesinin belirli uzaklıkla sınırlı kalmasını gerektirmektedir. Parmak izi tanımada da benzer bir durum söz konusudur. Daha kaliteli bir görüntüleme yapılması için el ve parmak tabanları, izlerin algılayıcı veya görüntüleyici cihaz tarafından tam olarak okunabilmesi için tam yakından gösterilmek zorundadır.

Yüz tanıma görece daha kolay görüntüleme imkanı sunarken, bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Yüz ifadelerindeki değişiklikler, çevresel ışıklandırmadaki değişimler ve gölge düşmesi, makyaj, sakal, bıyık, saç şekli önemli derecede tanıma başarımına etki etmektedir [1]. İnsan kulağı tespiti, bölütlemesi ve tanıma aşamalarını kullanabilen kimlik doğrulama sistemlerinin oluşturulması günümüzde güncel bir araştırma konusudur. Özellikle insan kulağının yüz bölgesinden ve verilen görüntüde çeşitli örtüşmüş nesnelerden (saç, küpe, saç bağı vb.) ayrıştırılarak tespit edilmesi önemli bir problemdir.

İnsan anatomisinde dış kulak dokuz bölümden oluşur. Her birey için kulak eşsiz kabul edilebilmekte ve diğer bireylerden farklılık arz etmektedir. Kulağın en dış çevritini (contour) oluşturan kısma Heliks halkası (rim) ismi verilir. 1949 yılında A. Iannarelli [2] tarafından oluşturulan ilk sistemde, 12 adet ölçümü temel alarak insan kulağını tarif edebilen bir antropometri tekniği kullanılmıştır. Antropometri, insan vücudunun boyutları ile ilgilenen bir bilim dalıdır. Bahsedilen teknik ile Iannarelli, normalize edilmiş kulak görüntülerini kullanarak otomatik-olmayan (tek tek inceleme yoluyla) bir biyometrik tanıma sistemi oluşturmuştur. Şekil 1'de insan dış kulağındaki anatomik bölgeler gösterilmektedir.

Günümüzde yüz tanıma çalışmaları oldukça iyi sonuçlar elde etmelerine rağmen ön cepheden çekilmiş veya yüzün büyük bir bölümünün göründüğü görüntülere duyduğu ihtiyaç nedeniyle tanıma başarımı oldukça düşüktür. Özellikle hareketli görüntülerde (video) insan kafa kısmının kameraya göre görüş alanında istenilen açılarda olmaması nedeniyle bu başarım düşüşü yaşanmaktadır.



Şekil 1. İnsan dış kulağındaki anatomik bölgeler
(Anatomical regions of human external ear)

Kulak konum tespiti ve kulak tanıma bu açıdan arka cepheden (enseden açılı), alt-üst cepheden (kafa altı veya kafa üstü) veya çeşitli açılardan yan profilden çekilmiş görüntülerde de doğruluk oranı yüksek tanıma başarımı elde edilebilmesine olanak sunmaktadır. Bu göz önüne alındığında kulak biyometri ölçümleri insan tanımada güvenilir bir biyometrik ölçüt olarak öne çıkmaktadır [3].

Otomatik tanıma sistemi oluşturulurken girdi test görüntüsünde kulağın konumlandırılması ve görüntüden uygun bir biçimde kırpılarak sadece kulak bölümüne odaklanılması sıklıkla başvurulan bir yoldur [3]. Bunun yanı sıra hareketli görüntülerden de kulak tespiti yapılabilmektedir. Ayrıca çalışmalarda görüntülerde 2-Boyutlu verilerle çalışılabildiği gibi 3-Boyutlu verilerle de çalışılabilmektedir [4].

Iannarelli insan kulak görüntülerini dört ana kategoriye ayırmıştır: üçgen, yuvarlak, oval ve dikdörtgen. Bunu Heliks halkası ve kulak lobunun oluşturduğu kapalı çevriti (contour) temel alarak oluşturmuştur. İnsan anatomisinde yaşla beraber kulak uzunluğu kulak genişliğinden daha fazla artmaktadır. Bunun yanı sıra yaşlı veya genç insanların kulak görüntülerinden elde edilebilecek özellikler, insan yüzü görüntüsünde elde edilebilecek özelliklere göre daha stabil olabilmektedir.

Literatürde, 2-Boyutlu görüntülerden kulak tanımanın ilk adımları olarak görüntüleme (imaging) ve görüntü elde etme (acquisition), bölütleme (segmentation) ve tespit (detection) işlemleri çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır. Çoğu çalışmada, öncelikle ham görüntüler belirli bir ön işlemden (preprocessing) geçirilerek gerekiyorsa ölçekleri, yönelimleri (orientation) belirli kriterlere göre belirlenmekte ve normalize etme yoluyla en uygun hale getirilmeleri sağlanmaktadır. Sonraki aşamada insan cilt rengine göre belirli bir piksel tabanlı renk kümeleme yapılabilmekte veya eşikleme (thresholding) ile sadece cilt rengi olan bölgeler görüntüde beyaz, diğer yerler siyah piksellerle gösterilecek biçime getirilebilmektedir. Bu adımlardan sonra gerekiyorsa burun ucu tespiti ve böylece kulak tespitine veya farklı yollardan kulak tespitine geçilmektedir. Bu işlemler sırasında kenar tespit algoritmalarının kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur [5],

[6]. Verilen kulak görüntüsünün renkli veya gri-tonlamalı (grayscale) oluşuna göre kullanılan bölütleme yaklaşımı da farklılık gösterebilmektedir. Ayrıca kenar bağlanırlık çizgesinin (edge connectivity graph) oluşturulması kulak tespiti başarımını da oldukça etkilemektedir. İçbükey (concave) ve dışbükey (convex) kenarlar kulak yapısının ortaya konulmasında önemlidir [7].

Bu yaklaşımlar haricinde piksel tabanlı doku özellikleri (textural features) elde etmeye dayalı yaklaşımlar da mevcuttur [8]. Şablon eşleme (template matching) için yapılan çalışmalarda, biçim betimleyicisi (shape descriptor) oluşturulması, mesafe dönüşümü yapılması, bağlı bileşen (connected component) analizine baş vurulması ve çeşitli momentlerin hesaplanılması gibi aşamalar şablonun doğru biçimde oluşturulup verilen girdi test görüntüsünde kulak bölgesinin konumlandırılması için kullanılmıştır [9], [10], [11], [12].

Kulak görüntülerinden elde edilen 3-Boyutlu veriler kullanılarak kulak bölgesinin bölütlenmesi ve bu ayrıştırma kullanılarak kulak konumlandırmasıyla kulak tespiti yapılan çalışmalar literatürde yer almaktadır. Daha öncede bahsedildiği gibi ön işleme, bölütleme ve tespit adımları, hem 2-Boyutlu hem de 3-Boyutlu veri ile yapılan tanıma için kullanılmaktadır. 3-Boyutlu kulak tespiti ve tanıma işlemleri için görüntü çakıştırma (registration), biçim modeli oluşturma, kenar belirleme ve bağlı bileşen etiketleme (labelling) yapılırken [13], [14], elde edilecek doku özelliklerinin çok fazla oluşu nedeniyle, bunların indirgenmesi adına temel bileşen analizi (principle component analysis, PCA) ve benzeri tekniklerin uygulandığı çalışmalar da mevcuttur [15]. Yerel özelliklerin elde edilmesi ardından bunların yerel yüzey ile eşleştirilmesi ve buna dayanılarak biçim endeksleme ve 3-Boyutlu kulak biyometri sistemi oluşturmaya yönelik çalışmalar literatürde görülmektedir [16].

Literatürde hem 2-Boyutlu veri hem de 3-Boyutlu veri için en sık kullanılan kenar tabanlı bölütleme yaklaşımı olarak aktif çevrit modelleri (active contour models) görülmektedir. Özellikle yılan (snake) yöntemi ve bunun çeşitli varyasyonları kulak Heliks halkası ve iç kısmındaki diğer çevritlerin belirlenmesinde kullanılmıştır [15], [17]. Bu çalışmaların yanı sıra literatürde dalgacık (wavelet) kızılötesi spektrum kullanan kulak tabanlı insan belirleme [18] ve derinlik bilgisine dayalı kategorizasyon yapılan çalışmalar da mevcuttur [19].

Çalışmamız beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde insan kulağı görüntülerinin yer aldığı literatürdeki çalışmalarda sıklıkla kullanılan belli başlı görüntü veritabanları ve veri setlerinin detaylarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde kapsayıcı bir literatür taraması sunulmakta, dördüncü bölümde literatür taraması sonucunda elde edilen bulgular üzerinden yapılan değerlendirme ve tartışmaya yer verilmektedir. Beşinci bölüm çalışmanın ana hatları ile elde ettiği sonuçlara değinmektedir.

2. İNSAN KULAĞI GÖRÜNTÜ VERİTABANLARI (HUMAN EAR IMAGE DATABASES)

Birçok araştırma grubu çeşitli üniversitelerde ve organizasyonlarda biyometri alanında kulak tanıma ve kulak tespiti konularında çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalarda kullanılmak üzere çeşitli görüntü veri setleri ve veritabanları oluşturulmuştur. Bunlar arasında bedava dağıtılan veritabanları bulunduğu gibi izne tabi olarak (lisanslama yoluyla) dağıtım gerçekleştirilenler de mevcuttur. Bu veritabanları kullanılarak yapılan çalışmaların bir çoğu çeşitli başarım ölçümleri ile değerlendirilmekte, elde edilen sonuçlar birçok bilimsel yayınla literatürde yer almaktadır. Bu bölümde en çok kullanılan veritabanlarından bazılarına yer verilmiştir.

UBEAR görüntü veritabanı, kontrolsüz ortamlardan ve kontrolsüz protokoller altında elde edilen 126 konuya dair 4430 görüntüden oluşmaktadır. Bu konular arasında, kafaya takılan başlıklar, mücevherler (kulak bölgesinde), saçla örtülmüş kulak bölgesi ve çeşitli pozlarda çekilmiş kulak bölgesi ile ilgili konular yer almaktadır. Bu görüntülerde, düz olarak ve aşağı, yukarı kamera bakış açısı ile çekilen çeşitli duruş (posture) görüntüler de mevcuttur. Bu veritabanı bedava olarak dağıtılmaktadır [4], [20], [21].

University of Notre Dame (UND) görüntü veritabanı kulak biyometrisi için kullanılabilecek dört adet koleksiyona sahiptir. Bunlar sırasıyla E koleksiyonu, F koleksiyonu, G koleksiyonu ve J2 koleksiyonudur. Bunlarda sırayla, 464 görüntü görünür ışık altında çekilmiş insan yüzünün yan profili, 942, 738 ve 1800 adet görüntü 3-Boyutlu ve bunun 2-Boyutlu karşılığı şeklinde oluşturulmuştur [20], [21], [22].

University of Science and Technology Beijing (USTB) görüntü veritabanı, aynı isimli üniversitedeki ilgili çalışma grubunun kulak tanıma (ear recognition) laboratuvarında kullanılmak üzere üretilen ve bedava dağıtımı yapılan bir veritabanıdır. Dört adet alt veritabanı içermektedir. Bunlar sırasıyla 180 adet sağ kulak, farklı açılarda çekilen 308 kulak ve farklı açılarda çekilen kulak ve yüz görüntülerini içermektedir [20], [21], [23].

Mathematical Analysis of Images (AMI) görüntü veritabanı, Esther Gonzalez'in doktora tezi için yaptığı çalışmalarda kullandığı iç mekanda çekilmiş çeşitli kulak bölgesi görüntüleri içermektedir. 19-65 yaş arası kişilerin her biri için yedi farklı görüntü kaydedilmiştir. Bunların altısı sağ kulak biri sol kulak olacak şekilde çeşitli kamera açıları kullanılarak, arka, ön, yukarı, aşağı, sol, sağ ve yakınlaştırma (zoom) işlemleri ile elde edilen görüntüler halinde seçilmiştir [24].

Indian Institute of Technology Delhi (IIT Delhi) görüntü veritabanı, aynı isimli enstitüde bulunan çalışanlar ve öğrencilerin belirli zaman aralığında çekilmiş kulak bölgesine ait çeşitli görüntüler içermektedir. Bu kişilerin 14 ila 58 yaş aralığında olması

ve veritabanında 421 görüntü bulunması nedeniyle önemli bir veritabanıdır. Bedava olarak araştırmacılara dağıtılmaktadır [20], [21], [25], [26].

Benzer şekilde üretilen **Indian Institute of Technology Kanpur (IIT Kanpur)** görüntü veritabanında iki alt veri seti bulunmaktadır. Birinci alt veri seti 801 görüntünün 190 kişiden, ikinci alt veri seti 801 görüntünün 89 kişiden alındığı çeşitli açılardaki görüntüleri içermektedir [20], [21], [27].

Bahsi geçen bu veritabanları haricinde literatürde birçok veritabanı da bulunmaktadır. Bunların kullanıldığı çalışmalarda birbirlerine oldukça benzer yöntemler, algoritmalar ve teknikler de kullanılmıştır. Bu yöntemlerin, algoritmaların veya tekniklerin detaylarına çalışmamızın ilgili bölümünde yer verilmektedir.

3. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE SURVEY)

Literatürde birçok yöntem, teknik ve algoritmalar kullanılarak kulak tespiti, kulak konumlandırma, kulak tanıma, sınıflandırma, kulak özelliklerini elde etme, şablon eşleme ile kulak bölgesi bulma, gerçek hayat biyometrik uygulaması geliştirme, 3-Boyutlu kulak yapısı kullanımı yoluyla kulak tanıma ve otomatik kulak tanıma sistemi oluşturma çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmalara yakından baktığımızda Prakash ve arkadaşları çalışmasında [3], insan yan yüz (kulak içeren) görüntüleri kullanılarak otomatik kulak tespiti için etkin bir yöntem önerildiği görülmektedir. Önerilen teknik kulağın yapısal detaylarını oraya çıkartmakta, döndürmeye, ölçeğe ve biçime göre değişmez şekilde kulağı tespit etmektedir. Girdi görüntüsü hakkında herhangi bir önsel bilgi kullanmadan veya eğitim yapmadan kulağı tespit edebilmektedir. Kullanılan teknik, görüntünün kenar haritası kullanılarak oluşturulan bir çizgenin bağlı bileşen analizini temel almaktadır. IIT Kanpur veritabanından alınmış 2361 adet yan yüz görüntülerini kullanarak önerilen teknik ilgili çalışmada değerlendirilmiştir. Kulak tespit sonuçları oldukça iyi elde edilerek tekniğin etkin ve gürbüz (robust) olduğunu da göstermiştir.

Ganesh ve arkadaşları çalışmasında [5], insan yüzü görüntülerinden kulak tespitinin kontrolsüz ortamlarda yapılmasında değişken örtüşümler, poz, arkaplan ve ışıklandırma koşullarındaki değişimlerin belirli bir zorluğu da beraberinde getirdiğinden bahsedilmiştir. İlgili çalışmada, Entropik İkili Parçacık Sürüsü Eniyileme (Entropic Binary Particle Swarm Optimization, EBPSO) isimli yeni bir teknik önerilmiştir. Bu teknik bir entropi haritası oluşturarak, yüz görüntüsünde kulağın olduğu bölümü en yüksek değerli bölüm olarak belirlemeye çalışmaktadır. Ayrıca, Çift Ağaç Karmaşık Dalgacık Dönüşümü (Dual Tree Complex Wavelet Transform, DTCWT) kullanılarak kulak haricindeki arkaplanın görüntüden temizlenmesi için çalışılmıştır. Bu temizleme, DTCWT tekniği ile önplandaki güçlü eğrilerin daha belirginleştirilmesi sayesinde gerçekleştirilebilmiştir. Sonuçta ön işlemden geçmiş olan görüntü belirgin yüz özelliklerini içermekte ve kulak tespiti için bir zemin oluşturmaktadır. Entropi tabanlı sınıflandırıcı sayesinde, başarılı bir şekilde kulak bölgesi yüze ait diğer özelliklerden yararlanılarak çizilebilmektedir. Bunun için gözlemlenen entropi örüntüsü temel alınmaktadır. Dört farklı yüz görüntü veritabanı kullanılarak EBPSO kulak tespit başarımına dair deneysel sonuçlar oluşturulmuştur. Böylece önerilen yöntemin, ışıklandırma değişimi ve poz, arkaplan, örtüşüm gibi konularda oldukça başarılı sonuçlar elde ettiği ortaya çıkmıştır.

Prakash ve Gupta'nın çalışmasında [6], insan yan yüz görüntüleri kullanılarak otomatik biçimde kulak bölgesi konumlandırması için etkin bir teknik önerilmiştir. Teknik; döndürmeye, ölçeğe ve biçime göre değişmezdir ve kenar haritalarından elde edilmiş çizge üzerinde bağlı bileşenleri kullanmaktadır. IIT Kanpur veritabanı ve UND veritabanındaki görüntüler kullanılarak deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Prakash ve arkadaşları çalışmasından [3] farklı olarak kulak konumlandırmada kulak şablonu oluşturmak adına Hızlandırılmış Gürbüz Özellikler (Speeded-up Robust Features, SURF) tekniği kullanılarak iyi bir eşleştirme yapıldığı görülmektedir. Hem IIT Kanpur hem de UND veritabanları için deneysel sonuçlar oldukça iyi başarım sonuçları elde edildiğini göstermektedir.

Ansari ve Gupta'nın çalışmasında [7], değişken arkaplana sahip 2-Boyutlu insan yan yüz görüntülerinden kulak bölgesini konumlandırmak için etkin bir yaklaşım önerilmiştir. İlgili çalışmada, bir görüntüde kulağın konumlandırılması için özellik olarak kulağa ait her biri birbirine paralel uzanan dıştaki (outer) Heliks eğrilerinin kullanıldığından bahsedilmiştir. Tüm görüntüden Canny kenar tespit edicisi kullanılarak kenarlar elde edilmiştir. Bu kenarlar, içbükey ve dışbükey kenarlar olarak bölütlenmişlerdir. Kulak bölgesine ait olmayan kenarlar yok edildikten sonra beklenen dıştaki Heliks kenarları bu bölütlenmiş kenarlar kullanılarak belirlenmektedir. Sonuçta kulağın dıştaki Heliks kenarı, beklenen dıştaki Heliks eğrilerinin kullanılması ile oluşturulmuştur. Karar verme işlemi, oluşturulan bir eğrinin kulağın dıştaki Heliksine ait olup olmamasına göre yapılmaktadır. IIT Kanpur veritabanından alınan 700 örnek üzerinden deneyler yapılmış, sonuçlara göre çalışmada %93 doğrulukta kulak konumlandırma başarımı elde edilmiştir.

Kumar ve Dhenakaran çalışmasında [8], görüntü piksellerinden özellik elde etme metodolojisi temel alınarak insan kulak görüntülerinden kulak çevritlerinin (ear contours) oluşturulması hedeflenmiştir. Görüntü piksellerinin geometrik özelliklerinin kullanımıyla 10 adet birbirinden farklı özellik tanımlanmıştır. İlgili çalışmada, etkin bir yönlendirme sayesinde kulak çevrit görüntüsü içerisindeki özellik niceliği artırılmış ve kulak biyometri sisteminin kalitesi iyileştirilmiştir.

Chen ve Bhanu'nun çalışmasında [9], kulak tespiti için basit fakat etkin bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemin iki aşaması vardır. Bunlar çevrimdışı (offline) model şablonu oluşturma ve çevrimiçi (online) tespit etmedir. Model şablonu, biçim endeksinin ortalama histogramı ile sunulmaktadır. Çevrimiçi tespit için dört adımdan oluşan bir süreç işletilmektedir. Bunlar sırasıyla, ilgili adım için kenar tespiti ve eşikleme, görüntü genleştirme (dilation), bağlı bileşen etiketleme ve şablon eşleme adımlarıdır. Gerçek kulak görüntüleri üzerinde yapılan deneylerin sonuçları önerilen yöntemin etkinliğini ortaya koymaktadır. Bunun başlıca iki nedeni bulunmaktadır. İlki, keskin bir adım kenarının kulak sınırı çevresinde bulunuyor ve kolaylıkla tespit ediliyor oluşudur. İkinci neden ise, kulaktaki çıkıntı ve vadi alanlarının oldukça fazla oluşu sebebiyle kulağa dair geometrik bilginin elde edilmesinde biçim endeksinin oldukça iyi bir ölçüm sonucu doğurmasıdır.

Prakash ve arkadaşları çalışmasında [10], insan yan yüz görüntüsünden otomatik olarak kulak konumlandırmak için etkin bir mesafe dönüşümü ve şablon tabanlı yöntem önerilmiştir. Kullanılan teknik öncelikle yüzdeki insan cildi (skin) ve cilt-olmayan (non-skin) bölgeleri bölütlemektedir. Daha sonra, cilt bölgesi içerisinde kulağın konumunu belirlemek için şablon tabanlı yaklaşım kullanılmaktadır. İlgili çalışmada, ilk önce cilt bölgelerinin kenar haritası oluşturulmakta, sonrasında uzunluk ve eğrilik kriterlerine bakılarak yanıltıcı kenarların elenmesi için işlem yapılmaktadır. Temiz bir kenar haritasının elde edilmesinden sonra kulak konumlandırma sürecinin işletilmesiyle mesafe dönüşümü elde edilmektedir. Çalışmada oluşturulan çevrimdışı kulak şablonunun kenar haritasının mesafe dönüşümü yoluyla elde edilen görüntüsü kulak konumlandırma için kullanılmaktadır. Biçim betimleyici kullanılan çalışmada, bu betimleyici Zernike momentini temel almakta ve kulak tespitlerini doğrulamakta kullanılmıştır. IIT Kanpur kulak görüntü veritabanı ile yapılan deneyler sonucunda %95,2 doğruluk düzeyinde başarım ilgili çalışmada elde edilmiştir.

Prakash ve arkadaşları çalışmasında [11], insan yan yüz görüntüsünde otomatik kulak tespiti için şablon ve insan cilt rengi tabanlı bir teknik önerilmiştir. Önerilen teknik önce cilt-olmayan bölgelerin cilt bölgelerinden ayrılmasını, daha sonra da cilt bölgesindeki kulak bölümünün araştırılmasını sağlamaktadır. Kulak tespit süreci üç ana adım içermektedir. İlk adımda, tüm cilt-olmayan piksellerin görüntüden elenmesi, ikinci adımda kulak konumlandırmasının şablon eşleme yaklaşımıyla yapılmasıdır. Üçüncü adımda, Zernike momentleri tabanlı biçim betimleyici (shape descriptor) kullanılarak kulağın doğru tespit edilip edilmediği doğrulanmaktadır. İlgili çalışmada, çeşitli biçim ve büyüklüklerde kulak tespiti için kulağın üçgen, yuvarlak, oval ve dikdörtgen biçimlerinden birinde olduğunu göz önüne alarak kulak şablonu oluşturulmuş, tespit için uygun bir büyüklüğe ayarlanmıştır.

Joshi ve Chauhan çalışmasında [12], 2-Boyutlu insan yan yüz görüntülerinden kulak tespiti için iki yaklaşım önerilmiştir. Bunlardan ilki, kenar tespiti tabanlı yöntem, ikincisi şablon eşleme yöntemidir. Her iki yöntemde de, kulak tespitinin doğru olup olmadığı destek vektör makinesi (support vector machine, SVM) kullanılarak belirlenmiştir. Şablon eşleme yöntemi için ise Öklid mesafesi ile doğrulama yapılmıştır.

Passalis ve arkadaşları çalışmasında [13], 3-Boyutlu veri kullanımının biyometri alanında gittikçe önemli bir hal aldığından bahsedilerek, yüz ve kulak tanımada da kullanıldığı ifade edilmiştir. İlgili çalışmada, her bir kulak veritabanına uyacak ve görüntü çakıştırma (register) için genel bir etiketlenmiş kulak modeli kullanabilecek yeni bir kulak tanıma yöntemi önerilmiştir. Bunun yanı sıra, 3-Boyutlu bilgiyi tutan özlü (compact) bir biyometrik imza elde edilmiştir. Önerilen yöntem halka açık 3-Boyutlu veritabanları yanı sıra çalışma için oluşturulan 3-Boyutlu algılayıcı verisi içeren veritabanı ile de çeşitli deneylerle sınanmıştır. Bu yolla, önerilen yöntemin algılayıcı ile değişmez olduğu, gürbüz ve doğru sonuç verir olduğu, gerçek dünyada kullanılabilir bir uygulamaya uygun olduğu sonucuna ilgili çalışmada varılmıştır. Bu açıdan bakıldığında, genel etiketlenmiş model kullanımı eşleme boyunca değilse de her bir veri seti için sadece bir kez görüntü çakıştırma adımına imkan sunmaktadır. Bu sayede oldukça büyük veritabanı kullanılsa bile etkinlik ve başarım oldukça tatmin edici olmaktadır.

Chen ve Bhanu'nun çalışmasında [14], insan yan yüzünün bulunduğu görüntülerde insan kulağının konumlandırılması için bir biçim modeli tabanlı teknik önerilmiştir. Kulak biçim modeli, kulağın Heliks ve Anti-Heliks bölümleriyle alakalı ayrık 3-Boyutlu köşelerin bir kümesiyle sunulmaktadır. Verilen görüntülerden adım kenarlarının kulak Heliks bölümü etrafındaki güçlü kenarlar (belirgin) olmaları nedeniyle bunlar göz önüne alınarak kenar yerleşimlerinin elde edildikleri, böylece bu kenarların potansiyel olarak kulağı içeren bölgeler şeklinde farklı kümelerde gruplandırıldıklarına ve kenarların inceltilip genişletilerek kenar bölümlerinin belirlendiğine ilgili çalışmada değinilmiştir. Her bir küme için kulak biçim modeli kenarlar kullanılarak görüntü üzerinde çakıştırılmıştır. Kulak Heliks ve Anti-Heliks bölümleri belirlendiğinde, görüntüde minimum ortalama çakıştırma hatasına sahip bölge kulak bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Çalışmada yapılan deneyler çok sayıda gerçek insan yüzü görüntüsü üzerinden yapılmış, böylece önerilen tekniğin etkinliği ortaya konulmuştur.

Yan ve Bowyer'ın çalışmasında [15], kapsamlı bir kulak biyometri sistemi önerilmiştir. Bu sistem, kişilerin profilden (yan yüz) çekilmiş görüntülerinden otomatik olarak kulak bölgesinin bölütlemesini ve kulak tanıma için 3-Boyutlu biçim eşlemeyi kullanmaktadır. 2007 yılında yayımlanan çalışmadaki sistem için yapılan deneysel çalışmaların o yıla kadar yapılan biyometrideki en geniş çalışmalardan biri olduğu belirtilmiştir. Sistemin başarımının değerlendirilmesine göre %97,8 oranında

tanıma başarımına belirlenmiş senaryo için ulaştığı, bunun yanı sıra denk hata oranı'nın (equal error rate) %1,2 olarak doğrulama senaryosuna göre elde edildiği ifade edilmiştir. Oldukça büyük bir veritabanı ile yapılan bu deneyler, tam otomatik olan sistemin, ön işlem idaresini, kırparak kulak bölgesini elde etmeyi ve eşlemeyi rahatlıkla ve başarıyla yapabildiğini göstermiştir.

Zhou ve arkadaşları çalışmasında [16], yerel ve bütünsel özelliklerin bir araya getirilmesiyle bir 3-Boyutlu kulak tanıma sistemi oluşturulmuştur. Bu sistem, dört temel bileşenden oluşmaktadır. İlk bileşen, kulak görüntü bölütlemesidir. İkinci bileşen, yerel özellik elde etme ve eşlemedir. Üçüncü bileşen, bütünsel özellik elde etme ve eşlemedir. Dördüncü bileşen ise, eşleşme skoru seviyesinde bütünsel ve yerel özelliklerin bir araya getirilmesi için bir füzyon çatısıdır. Bölütleme bileşeni için, yeni bir biçim-tabanlı özellik kümesi sunularak, kulağı içeren dikdörtgen bölgenin konumlandırılması sağlanmıştır. Bunun için endekslenmiş biçimlerin histogramları kullanılmaktadır. Yerel özellik elde etme ve sunum bileşeni için, bu histogramların özellik betimleyicisi bir nesne-merkezli 3-Boyutlu biçim betimleyicisi için genişletilmiştir. Buna endekslenmiş biçimlerin yüzey yama histogramı denilmektedir. Bu histogram, yerel kulak yüzeyi sunumu ve eşleme için kullanılmaktadır. Bütünsel eşleme bileşeni için, 3-Boyutlu piksel (voxel) oluşturma şeması kullanılarak bütünsel kulak sunumu yapılmıştır. Böylece 3-Boyutlu pikselleri taban alan çiftler arası karşılaştırma ilgili çalışmada yapılmıştır. Eşleme skorları, hem yerel hem de bütünsel eşleşmiş bileşenlerin tümleştirilmesi ile oluşturulan son eşleşme skorlarından elde edilmiştir. Önerilen sistem için deneysel sonuçlar 3-Boyutlu kulak biçimi eşleşme yaklaşımının doğruluk oranını ve etkinliğini göstermiştir. Buna göre, tanıma oranı %98,3 olurken, denk hata oranı'nın %1,7 'de kaldığı görülmektedir. Bunun yanı sıra sistemin hesapsal olarak etkinliği oldukça yüksektir.

Yan ve Bowyer'in diğer bir çalışmasında [17], insan kulak görüntüsünden kulak bölgesinin otomatik bir şekilde kırpılarak elde edilmesi için yeni bir çözüm ortaya konulmuştur. Bu çözüm, uçtan-uca biyometrik tanıma için kullanılmıştır. İlgili çalışmada önerilen otomatik tanıma süreci büyük bir veritabanı kullanılarak sınanmış, %97,6 oranında tanıma başarımı elde edilmiştir. Buna göre hem 2-Boyutlu hem de 3-Boyutlu bilgiyi kullanan tam otomatik kulak tanıma sistemi, insan yüzü profilinden (yandan) çekilmiş görüntülerden kulağı kırparak elde edebilmekte ve kulağı saç, küpe gibi diğer nesnelerden ayrıştırabilmektedir. Fakat sistemin kullandığı aktif çevrit yöntemi ne renkli ne de derinlik görüntüsünde gradyan değişiklikler olmadığı sürece başarılı olamamaktadır. Sistemin bu açıdan daha iyi hale getirilmesi bölütleme başarımının iyileştirilmesi adına gereklidir.

Abaza ve Bourlai'nin çalışmasında [18], orta-dalga kızılberisi (infrared) spektrumunda insan kulağı tanıma problemi, kulak tabanlı biyometrinin avantaj ve dezavantajlarının gösterilmesi adına ele alınmıştır. İlgili çalışmanın öne çıkan iki ana katkısı vardır. Bunlardan ilki, veritabanının iki bantlı oluşudur. Bu bantlar görünür (temel) ve orta-dalga kızılberisi olacak şekilde sol ve sağ insan yüzünün profilden çekilmiş görüntüleridir. Bu görüntüler uygun yüksek çözünürlüklü bir kamera ile elde edilmiştir. Bu kamera insan cildinin termal izlerini de elde edebilmektedir. İkinci katkı ise, gerçek zamanlı insan belirleme için tam otomatik termal görüntüleme tabanlı bir sistem tasarlanıp kullanılmış olmasıdır. Önerilen sistem birkaç özellik elde etme yöntemiyle sınanmıştır. Bunlar, bağımsız bileşen analizi (independent component analysis, ICA), PCA, doğrusal ayırtaç analizi (linear discriminant analysis, LDA), ölçekle değişmez özellik dönüşümü (scale invariant feature transform, SIFT), yerel ikili örüntüler (local binary patterns, LBP) ve yerel üçlü örüntüler (local ternary patterns, LTP) yöntemleridir. Deneysel sonuçlar kulak bölgesinin tespit ve bölütleme başarımının oldukça yüksek olarak elde edildiğini göstermektedir. Bu açıdan, otomatik tanıma sistemlerinin tasarlanmasında rahatlıkla kullanılabilecek sonuçlar ortaya konulmuştur.

Maity ve Abdel-Mottaleb çalışmasında [19], zamansal olarak etkin bir 3-Boyutlu kulak biyometri sistemi önerilmiştir. Bunun sınanması için büyük bir veritabanı kullanılmıştır. Önerilen sistemin iki bileşeni vardır. Bunlardan ilki, otomatik 3-Boyutlu kulak bölütlemesini yaparken, ikincisi 3-Boyutlu kulak veritabanının sıradüzensel (hierarchical) kategorizasyonunu yapmak için biçim bilgisi ve yüzey derinlik bilgisini kullanır. 3-Boyutlu insan yüzünün profilden çekilmiş görüntülerindeki kulak bölgesinin bölütlenmesi için bir ağaç yapısındaki çizge ile birlikte bir aktif çevrit modeli ilgili çalışmada kullanılmıştır. Bölütlenmiş 3-Boyutlu kulak veritabanı kulak biçimine göre hesaplanılmış geometrik özellik değerleri temel alınarak kategorize edilmiştir. Bu biçimler oval, yuvarlak, dikdörtgen ve üçgen olarak belirtilmiştir. Derinlik bilgisine dayanan kategorizasyon için özellik uzayı ağaç-tabanlı endeksleme tekniği kullanılarak bölümlenmiştir. Bölümleme (partitioning) için dengelenmiş bölüm (k-boyutlu ağaç) ve dengelenmemiş bölüm (piramit ağacı) veri yapıları kullanılmıştır. Bunlar veritabanının kategorize edilmesinde ayrı ayrı kullanılarak, deneyler sonucunda bilgi elde etme başarımı değerlendirilmiştir. Sorgu başına ortalama hesaplama süresinin sıradüzensel kategorizasyon yaparak tanıma için belirlenerek, sıralı arama (sequential search) ile tanıma yapmada geçen ortalama hesaplama süresiyle karşılaştırıldığı çalışmada deneysel sonuçlar UND veritabanının J2 veri seti için %98,5 kulak tanıma oranında başarım elde edildiğini göstermektedir. Bunun yanı sıra endeksleme tekniğiyle de oldukça yüksek başarım değerleri ilgili çalışmada elde edilmiştir.

Almisreb ve Jamil'in çalışmasında [28], gürbüz bir kulak kesimleme yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem ardışık adımlardan oluşmaktadır. İlk adımda, yanlı normalize kesitler (biased normalized cuts) yöntemi kulak bölütlemesinin başlatılması için uygulanmaktadır.

Sonrasında bölütleme süreci bazı fonksiyonlar kullanılarak daha iyi hale getirilmektedir. Bu fonksiyonlar, gri-seviyesi dilimleme (slicing), entropi, eşikleme, iskelet elde etme (skeletonization), görüntü doldurma (image filling) ve morfolojik bir işlem olan açma (opening) fonksiyonlarıdır. En son olarak bir yer değiştirme işlemi uygulanmaktadır. Yapılan çalışmada önerilen algoritma çeşitli ışıklandırma koşulları altında elde edilmiş kulak görüntüleri üzerinden sınanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre 10 saniyelik işlem süresinden sonra %95 doğruluk oranında başarım sonucuna ulaşıldığı görülmektedir. İlgili çalışmada otomatik bir yöntem geliştirilmiş oluşu ve işlem sırasında 12 kesit kullanılmış olması öne çıkan konulardır.

Kokila ve Aroquiaraj'ın çalışmasında [29], gri-seviyeli görüntüler için otomatik endeks bölütleme algoritmasında kulak biyometrisi kullanan bir yaklaşım önerilmiştir. Bu algoritmada, Canny kenar tespit edici yöntemi, mesafe ölçütü (orta noktayı bulma), Öklid mesafesi ve Pisagor teoremi kullanılmıştır. İlgili çalışmada, farklı modeller ve önerilen yaklaşım karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, kulak belirleme için girdi veritabanındaki sınırlılıklar ve hatanın izlenerek başarımın nasıl iyileştirilebileceği üzerine yorumlamalarda bulunulmuştur.

Kumar ve arkadaşları çalışmasında [30], çevrimiçi bir biyometrik yetkilendirme uygulaması sunulmuştur. Bu uygulama, gürbüz bir çıkıntısız (engelsiz) görüntü elde etme işini uygun kamera sistemi kullanılarak yapmakta ve kulak çevritlerini temel alarak bu biyometrik sistemi işletmektedir. İlk olarak, kulak görüntülerindeki insan cilt ve cilt-olmayan bölgeleri Gauss sınıflandırıcıları kullanılarak bölütlenmiştir. Daha sonra insan cilt bölgelerindeki kenarların elde edilmesi için Gauss Laplasyeni kullanılmış ve kulağı içeren ilgilenilen bölge (region of interest, ROI) görüntüleri oluşturulmuştur. Kulağı içeren ilgilenilen bölge görüntülerine uygulanan aktif çevrit yöntemi ile kulak belirlenmiş olmaktadır. Sonraki adımda, kulak çevritleri SIFT yöntemiyle elde edilen özellikler ve Log-Gabor tekniği kullanılarak çevrimiçi yetkilendirme (tanıma) yapabilmek adına kullanılmıştır. Deneysel çalışmada 700 adet kulak görüntüsü ile sınanan uygulamanın elde ettiği sonuçlara göre, özellik dönüşüm yöntemi Log-Gabor tekniğine göre daha başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlamakta, böyle bir sistemin gerçek hayatta insan tanıma ve bunu baz alan yetkilendirmeyi yüksek bir başarımla yapabileceğini de ortaya koymaktadır.

Abaza ve arkadaşları çalışmasında [31], kulak tespitini gerçek zamanlı olarak yapabilen bir sistem önerilmiştir. Bu iş için öncelikle kulak görüntüsünden kulak bölgesinin ilgili biyometriye uygun şekilde gerçek zamanlı olarak bölütlenmesi gerekmektedir. Önerilen yaklaşım, kademeli (cascaded) Adaboost sınıflandırıcısında sıralanmış Haar özelliklerini temel almaktadır. Bu yöntem sıklıkla, insan yüzü tespitinde de kullanılan Viola-Jones yöntemi olarak bilinir ve oldukça uzun eğitim sürelerine ihtiyaç duymaktadır. İlgili çalışmada, bu eğitim süresini oldukça kısaltacak modifiye edilmiş etkin bir eğitimle öğrenme yapan yöntem oluşturulmuştur. Bu yöntem, orijinal yönteme göre 80 kez daha hızlı eğitim yapılabilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, %95 doğruluk oranı ile dört farklı veri sınama seti üzerinden yüksek bir başarım elde edilmiştir. Bu veri setleri yaklaşık 450 kişinin 2000 adet profilden çekilmiş görüntülerinden oluşmaktadır. Önerilen sistem, kısmi örtüşme (cisimlerin kulağı örtmesi), gürültü ve birden çok cisim (kulak vb.) olduğu durumlarda da başarılı olabilecek bir yapıdadır.

Wagner ve arkadaşları çalışmasında [32], yüz karakteristiklerine dair tanıma işleminde yüzün kısmen veya sadece bazı durumlarda tamamen istenilen bilgiyi verebildiğinden, bunun yanı sıra kulak tabanlı tanımanın ise çalışmalarda istenilen bilgiyi daha çok vererek araştırmacılar açısından ilgi çekici bir hale geldiğinden bahsedilerek, bu tanımanın yapıldığı ortamı gözetleyen kameradan gelen görüntünün düşük kalitede olabileceği, termal gürültü veya benzeri nedenlerden ötürü buna dair sinyal azalması olabileceği, bu nedenlerin ise otomatik kulak tanıma için yapılan kulak bölütleme üzerine etkilerinin neler olabileceği araştırılmıştır. İlgili çalışmadaki veri seti üzerinden böyle bir ortamdan (sinyal azalması olan) gerçekçi bir görüntü elde etme senaryosu oluşturularak deneylerde farklı kulak tespiti algoritmaları denenmiştir. Deneysel sonuçlar sinyal azalmasının kulak bölütleme başarımı üzerine olan etkilerini göstermektedir.

Kisku ve arkadaşları çalışmasında [33], renkli bir kulak görüntüsündeki kulaktan dilimli bölgeler halinde bölütlenmiş olan bölümlerin SIFT tekniğiyle elde edilen özelliklerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş gürbüz bir kulak belirleme sistemi önerilmiştir. Kullback-Leibler ıraksaması ve vektör nicemleme algoritması kullanan Gauss karışımı (mixture of Gaussian) ile oluşturulmuş bir kulak modeli (Gauss karışım modeli sayesinde), kulak denek görüntüsü ve referans kulak görüntüsü arasındaki renk benzerliğinin karşılaştırılması için kullanılmıştır. Burada belirlenen aralıktaki benzerlik değerlerinin kaydedilmesi bu yolla sağlanmıştır. SIFT tekniğinin elde ettiği anahtar noktalar, bitiştirme (concatenation) yaklaşımı ve Dempster-Shafer teorisi yaklaşımı temel alınarak her bir yaklaşıma göre ayrı ayrı birleştirilmiştir. Sonuçta, bireylerin belirlenmesinde kullanılabilecek iki adet birbirinden bağımsız artırılmış özellik vektörleri oluşturulmuştur. Önerilen teknik IIT Kanpur kulak görüntüsü veritabanı üzerinden sınanmış, deneysel sonuçlara göre %98,25 oranında belirleme doğruluğu başarımı elde edilmiştir. Bu sonuca göre, güvenlik uygulamaları için oluşturulan sistemin gerçek hayatta da kullanılabileceği ortaya çıkmıştır.

Lei ve arkadaşları çalışmasında [34], 3-Boyutlu insan yüzünün profilden çekilmiş görüntü verisinden kulak pozunun sınıflandırılması, kulak bölütleme ve köşe taşlarının (landmarks) konumlandırılması için etkin ve gürbüz bir sistem önerilmiştir. Kulaktaki 18 adet köşe taşı belirlendikten sonra 3-Boyutlu olarak kulağı ifade etmek için yeni bir ağaç-yapısında çizge ilgili çalışmada

önerilmiştir. Otomatik olarak bu köşe taşlarını konumlandırmak için esnek bir karışım modeli oluşturulmuş ve bunun üzerine tüm köşe taşlarını içerecek bir minimum dikdörtgen belirlenerek kulak bölgesi elde edilmiştir. Kulak Heliksindeki köşe taşlarının aralarındaki dönüm açıları hesap edilerek, ilgili kulak sağ veya sol kulak olarak sınıflandırılmıştır. Deneyler UND veritabanının F koleksiyonu ve J2 koleksiyonu üzerinden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen tekniğin etkinliğini ortaya koymaktadır.

Cadavid ve Abdel-Mottaleb çalışmasında [35], iki farklı 3-Boyutlu kulak tanıma sistemi incelenmiş, kulak bölütlemesi video görüntüsü üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu iki tanıma sisteminden ilki, hareketten yapı oluşturulması (structure from motion) yaklaşımı, diğeri ise gölgelendirmeden biçim oluşturma (shape from shading) yaklaşımını kullanmaktadır. Video görüntüsünün her bir çerçevesinde (video frame) tanımlı tepeler (ridges) ve geçitlerin (ravines) enterpolasyonu kullanılarak kulak bölgesi bölütlenmektedir. Hareketten yapı oluşturulan sistemde, belirgin özellikler video boyunca izlenmektedir. Böylece 3-Boyutlu noktalar oluşturularak geçerli kulak bölgesi içerisinde konumlandırılmakta ve kulak modeli bu bilgiye dayanarak oluşturulup depolanmaktadır. Deneylerde 48 ayrı konuda video içeren bir veri seti kullanılmıştır. İlgili çalışmada, Hausdorff mesafesinin minimum oluşuna bakılarak yapılan bir geometrik dönüşüm kombinasyonu sayesinde veritabanı modellerine her bir sınama modeli en uygun şekilde ayarlanmaktadır. Gölgelendirmeden biçim oluşturmayı taban alan sistemde sahnedeki yansıma ve ışıklandırma özellikleri kullanılarak kulak yapısı elde edilmekte ve iteratif en yakın noktanın kullanımıyla biçim eşleştirme yapılmaktadır. Deneysel sonuçlara göre, bahsi geçen her iki sistem de videoda 3-Boyutlu kulak tanıma için kullanılabilir sistemlerdir.

Pflug ve arkadaşları çalışmasında [36], gerçekçi koşullar altında kategorize edilmiş biçimlerin histogramları dedektörünün tespit oranı ile değerlendirilen başarım ölçülerinin kapsamının daha da genişletilmesi ve döndürmeye karşın daha gürbüz bir dedektör oluşturulması hedeflenmiştir. Bu iş için bir dairesel tespit penceresi kullanımının önerildiği çalışmada, dönmeye karşı değişmezlik elde etmede dönme için simetrik olan bu pencerenin kullanımı oldukça uygundur. Deneylerde UND veritabanının J2 koleksiyonu kullanılmış, dairesel dedektör penceresinin dikdörtgen dedektör penceresine göre oldukça iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür. Biçim endeks histogramları farklı yarıçaplarda elde edilmiş, böylece daire içerisinde kalan kısımlar dikkatlice incelenmiştir. İki farklı veri seti üzerinden yapılan sınamalar ile başarım değerlendirilmiştir.

Jamil ve arkadaşları çalışmasında [37], biyometrik kimlik yetkilendirmeye dair yöntemler kullanılarak ışıklandırma ile değişmez (illumination-invariant) şekilde oluşturulmuş insan kulağını temel alan bir yetkilendirme yaklaşımı önerilmiştir. Yanlı normalize kesitler ve morfolojik işlemler kullanılarak insan yüzünün yan tarafını içeren görüntülerden ilk aşamada kulak bölgeleri bölütlenmektedir. Daha sonra biçim özellikleri Log-Gabor filtresini baz alan teknik kullanılarak elde edilmektedir. Yetkilendirmenin sınanması adına yapılan deneylerde karşılaştırma işleminde Hamming mesafesi temel alınmıştır. Ortalama olarak %92,66 doğruluk oranıyla önerilen yöntem oldukça yeterli bir başarım sergilemiş, gürbüz bir şekilde eşleştirme yapabilen bir yaklaşım ortaya konulmuştur.

Mamta Bansal ve Hanmadlu çalışmasında [38], PCA tekniğine bir genişletme olarak yerel temel bağımsız bileşenler tekniği kullanılarak insan kulağını temel alan bir yetkilendirme yaklaşımı önerilmiştir. PCA tekniğinin tüm piksellerin parlaklıklarını (intensity) göz önüne alan genel bir yaklaşım olarak ele alındığı çalışmada, bunun yetersiz kalacağı düşünülerek daha ince detaylara ulaşmak için bilgi kümeleri kavramı kullanılmasıyla yerel bilgi elde edilmesi yoluna gidilmiştir. Bu kümeler, kulak görüntüsünün pencereler biçimindeki tanelere (granül) bölünmesi yoluyla oluşturulmuştur. Bu kümeleri temel alan özellikler, yerel bilgiyi değiştirebilme imkanı sunmaktadır. Böylece bu yerel bilgi, yerel temel bağımsız bileşenler tekniği için girdi olarak kullanılabilmiştir. Bu teknik ile ayrıca özelliklerin boyutları da indirgenebilmektedir. Bu sayede ayrık bilgiler şeklinde kulaktan; etkin bilgi, enerji özelliği, sigmoid özelliği, çoklu karesel özellik gibi birçok özellik elde edilmiştir. Dahili çarpan sınıflandırıcı kullanılarak bu özellikler sınıflandırılmıştır. Kısıtlanmış ve kısıtlanmamış veritabanları üzerinden yapılan deneylerin sonuçlarına göre önerilen yaklaşım hem ideal koşullarda hem de kısıtlanmış ortamlarda etkin olarak çalışabilmektedir.

Kumar ve Chan'ın çalışmasında [39], sivil ve hukuki uygulamalara kadar olan geniş bir alanda kulak görüntülerinden kulak bölgesinin belirlenerek kişilerin otomatik bir biçimde tanımlanabildiğinden bahsedilmiş, ilgili çalışmada ise daha doğru bir kulak tanıma ve doğrulama için yerel gri-seviyesi yönelimleri'nin (orientation) ayrık sunumunun kullanıldığı belirtilmiştir. Daha gürbüz bir kulak biçimi sunumu için yerelleştirilmiş Radon dönüşümünün kullanıldığı çalışmada Hessian tabanlı özellik sunumu kullanan yerel eğrilik kodlaması'nın (curvature encoding) etkinliği araştırılmıştır. İlgili çalışmada, dışbükey eniyileme yaklaşımı kullanılarak hesaplanan bir çözüme sahip çok-yönelimli Radon dönüşüm sözlüğünü temel alan ayrık kodlama çözümü olarak kulak sunum problemi ele alınmıştır. Düzenlenmiş eniyileme problemindeki sınırlılıkları ele alarak negatif olmayan problemlere eğilmek üzere ilgili çalışmada yerelleştirilmiş kulak özellikleri incelenmiş, Log-Gabor filtresi tekniğini temel alan yaklaşım ve özellik sunumunu temel alan yerelleştirilmiş Radon dönüşümü ise önerilen yaklaşımın etkinliğini anlamak için temel bir algoritma olarak kullanılmıştır. Deneyler için UND ve IIT Delhi kulak görüntüsü veritabanları kullanılmış, tanıma problemi ve yetkilendirme problemi için başarımda büyük bir

iyileştirme sağlandığı deneysel sonuçlardan görülmüştür. Radon dönüşümü sayesinde ilgili çalışmada daha basit hesaplama yapılabilmekte ve şablon büyüklüğü azaltılabilmektedir.

Xiaoyun ve Weiqi çalışmasında [40], blok bölütlemeyi temel alan bir insan kulağı tanıma yaklaşımı önerilmiştir. Bu yaklaşımda kullanılan yöntemde orijinal bir kulak görüntüsü birkaç küçük alt-görüntüye bölümlenmekte, sonrasında ise bu alt-görüntülerden özellikler elde edilmektedir. Daha düşük boyutlu uzayın özellikleri orijinal görüntüyle yer değiştirilmektedir. En son aşamada, en yakın komşuluk sınıflandırıcısı ile gerçekleştirilebilen örüntü sınıflandırma kullanılmıştır. Dört adet özellik elde etme yöntemi ele alınarak bunlarla çeşitli deneyler yapılmış, böylece blok bölütlemenin etkinliği doğrulanmıştır. İlgili çalışmada, algoritmaları sınamak için USTB insan kulağı görüntü veritabanı kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar insan tanıma oranlarının büyük miktarda artış gösterdiğini ortaya koymaktadır. İlgili çalışmadaki deneylerde, moment değişmezleriyle %100 tanıma oranına blok bölütleme ile ulaşılmıştır. İstatistiksel özellik elde etme hem kolayca uygulanabilmiş hem de tanıma işlemini hesapsal olarak hızlıca yapmaya imkan sunmuştur. Ayrıca frekans bölgesindeki yapılan dönüşümlerle de tanıma doğrulanmıştır.

Said ve arkadaşları çalışmasında [41], kulak biyometrisi bağlamında tamamen otomatik görüntü bölütleme problemi ele alınmıştır. İlgili çalışmada üç farklı veri seti kullanılarak 376 kişiye ait 3750 insan yüzü görüntüsü ile deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda çalışmada önerilen bölütleme yaklaşımı %90 doğruluk oranında başarım elde etmiştir. Bunun yanı sıra ilgili çalışmada, bölütlenmiş görüntülerin kalitesinin otomatik olarak değerlendirilmesi için bir yaklaşım da önerilmiştir. Bu yaklaşıma göre, bölütleme sonucunun düzgün veya düzgün olmadığının belirlenmesi için öğrenme yaklaşımı ve düşük hesapsal maliyetli görünüm özelliklerini temel alan Bayesçi sınıflandırıcı kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar önerilen şemanın oldukça iyi bölütleme sonuçları oluşturduğunu göstermiştir. Böylece, yüksek başarımla doğru bölütlemeyi tespit eden bir yapı ortaya konulmuştur.

Almisreb ve arkadaşları çalışmasında [42], iyileştirilmiş bir tanıma doğruluğu oranı elde etmek için geliştirilmiş bir kulak bölütleme tekniği önerilmiştir. Önerilen yöntem, çekirdek çizge kesme (kernel graph cut) yaklaşımını uygulamakta ve çeşitli ışıklandırma koşulları altında bölütleme yapabilmektedir. Deneyler iki veritabanı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, %100 doğruluk oranına ulaşabilmiştir. Gerekli işlem süresi, her bir kulak görüntüsü başına 0,3 saniye ortalama süre olmaktadır. Bu sonuçlara göre oldukça iyi bir başarım elde edildiği görülmektedir.

Dong ve Guo'nun çalışmasında [43], 3-Boyutlu insan kulağı tanıma için yeni bir algoritma önerilmiştir. Çalışmadaki temel fikir, her bir bireyin kulak bölgesini ifade eden her bir 3-Boyutlu nokta bulutunun *x*, *y* ve *z* ekseni etrafında döndürülmesi yoluyla, her bir döndürme adımında birden çok 2,5-Boyutlu görüntüyü elde etmektir. Daha sonraki aşamada SIFT betimleyicileri kullanılarak insan kulağı özellikleri elde edilmekte ve tanımlanmaktadır. Yeni bir ağırlıklandırılmış anahtar nokta (keypoint) eşleme algoritması uygulanarak test kulak görüntülerinde tanıma gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar önerilen yöntemin doğru ve etkin olduğunu göstermektedir.

Zhou ve arkadaşları çalışmasında [44], renkleri göz önüne alan SIFT tekniği ile elde edilmiş özelliklerin kullanıldığı 2-Boyutlu kulak tanıma için gürbüz bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde, parlaklık kanalı *kırmızı-yeşil-mavi* (*R*, *G*, *B*) renk kanallarına genişletilerek gürbüzlük artırılmış, böylece daha etkin bir özellik betimleyici oluşturulmuştur. Farklı renk kanallarından elde edilen özelliklerin birleştirilmesiyle oluşturulan bir kulak tanıma için özellik eşleştirme algoritması önerilmiştir. Deneyler iki farklı veritabanı üzerinde gerçekleştirilmiş, deneysel sonuçlara göre oldukça iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Kisku ve arkadaşları çalışmasında [45], kulak görüntülerinin yapısal sunumu için özellik betimleyicisi olarak SIFT tekniğini kullanan etkin ve gürbüz bir kulak tanıma sistemi önerilmiştir. Değişmez özelliklerin elde edilmesinde, sadece belirli bir aralıktaki renk olasılıklarına sahip bölgelerin göz önüne alınmasıyla daha gürbüz bir yetkilendirme sistemi oluşturulmuştur. Kullback-Leibler ıraksaması renk tutarlılığının korunmasında kullanılmış, her bir insan cilt renk modeli ise Gauss karışım modeli ile biçimlendirilmiştir. Bu sayede, renk karşılaştırmasını belirli bir aralıkta yapmak mümkün olmuştur. Denek (probe) kulak görüntüsü ile referans modelin birbirleri ile karşılaştırılmasında özelliklerin eşleştirilmesi kullanılmıştır. Önerilen teknik IIT Kanpur kulak görüntü veritabanı üzerinden sınanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar, tanıma doğruluk oranının oldukça iyileştirildiğini göstermektedir.

Sun ve arkadaşları çalışmasında [46], yeni bir 3-Boyutlu kulak biçimi eşleştirme ve tanıma sistemi önerilmiştir. 3-Boyutlu kulak nokta bulutundaki her bir noktanın belirginlik değerini hesaplamak için yeni bir yöntem ortaya konulmuştur. Ana eğriliğin Gauss-ağırlıklandırılmış ortalamasının temel alındığı nokta bulutu kullanılarak ve ilgili yöntem sayesinde anahtar noktalar sıralanmıştır. Belirgin anahtar noktaların en uygun seçiminin *Poisson Disk* örneklemesiyle yapıldığı çalışmada, yapılan deneylerin sonucuna göre kulak biçim eşleştirme sonuçları benzer yöntemlere göre oldukça yüksek kulak tanıma oranlarının elde edilebilmesini sağlamıştır.

Pflug ve arkadaşları çalışmasında [47], kulak görüntülerinin birden çok sınıfa (kümeye) bölümlemek için danışmansız bir kümeleme şeması kullanılmıştır. Buna göre her bir sınıf, bir prototip veya merkez noktası

ile ifade edilmektedir. Ele alınan kulak görüntüsü sınıf etiketlerine (küme indisleri) atanmakta, böylece hangi kümenin merkez noktasına daha yakınsa onunla ilişkili olarak belirlenmektedir. İlgili çalışmada üç farklı doku (texture) betimleyicisinin sınıflandırma başarımı karşılaştırılmıştır. Bunlar; yönlü gradyenlerin histogramları, tekdüze LBP'ler ve yerel faz nicemlendirme'dir. Genişletilmiş deneyler üç farklı kulak görüntüsü veritabanı üzerinde gerçekleştirilmiştir. PCA sayesinde yapılan veri boyutu indirgeme yanı sıra yerel faz nicemlendirme doku betimleme şeması kullanılarak elde edilen sonuçlar %96,89 başarım oranını, hit oranı veya doğru pozitif oranı (true positive rate, TPR) olarak vermiştir. Ayrıca, çoklu-küme arama stratejisi uygulandığında bu oran %99,01 değerine çıkmıştır.

Lu ve arkadaşları çalışmasında [48], kulak biçiminin elde edilmesi için aktif biçim modelleri (active shape models) kullanılarak, insan kulağının istatistiksel olarak yerel görünümü ve biçimini modelleyebilecek, kulak biçim özelliklerine dayanan tanıma yapabilecek bir yaklaşım önerilmiştir. Buna göre, aktif biçim modellerinin öncesinde kulak görüntüsünden yönetilebilir özellikler elde edilmekte ve yerel yapısal doku bilgisi bu sayede oluşturulabilmektedir. Böylece biçim yerleşimi için doğru bir yol gösterici elde edilmiş olmaktadır. Kulak özbiçimi (eigen ear shape) kullanılarak son sınıflandırma yapılmış, bunun için *n* adet biçimin kullanıldığı bir amaç fonksiyonunu enküçükleyen bir yaklaşım uygulanmıştır. Kulak görüntü veritabanı oluşturulmuş ve bunun üzerinde yapılan deneylerde başarım sınamaları yapılarak değerlendirme sonuçları elde edilmiştir. Tanıma için çiftler halinde kulak görüntüleri bir araya getirilmiş olduğu bazı deneyler de yapılarak, tek kulak görüntüsüne göre daha iyi sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir.

Literatürdeki bu çalışmalardan görülebileceği gibi kulak biyometrisi ve buna dayanan tanıma ve yetkilendirme konuları oldukça popüler araştırma alanlarıdır.

4. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME(DISCUSSION AND EVALUATION)

İnsan doğası gereği birçok biyometrik ipucunu vücudunun çeşitli bölgelerinde barındırmaktadır. Özellikle yüz bölgesi içerdiği farklı öğeler nedeniyle belirleme, tanıma ve yetkilendirme uygulamalarında oldukça sık kullanılmaktadır. Yüz bölgesinde yaşla değişebilen özellikler, farklı ışıklandırma ve yüze dair ek nesnelerin (bıyık, sakal, gözlük vb.) mevcut oluşu nedeniyle belirleme ve tanıma işleminin doğruluk başarımı da oldukça düşebilmektedir. Bu sebeplerle, kulak bölgesinin otomatik tanıma sistemlerinde kullanımı, bu bölgenin destekleyici bilgi içermesi ve her insanda eşsiz sayılabilecek, ayırt edilebilmeyi sağlayacak özellikler sunuyor olması nedeniyle oldukça önemlidir. Genel anlamda kimlik doğrulama (yetkilendirme) için oluşturulmuş bir kulak biyometrik sistemi Şekil 2'deki gibi adımları işletebilmektedir [21].



Şekil 2. Yetkilendirme için kulak biyometrik sistemi.
(Ear biometric system for authentication)

Şekil 2'de görülen kulak bölgesi tespiti adımında, eğer kulak bölgesi tam olarak bulunur (görünür) halde değilse, örtüşen nesneler nedeniyle tespit sonucu etkileneceği için sonraki adımlardaki işlemlerin sonuçlarına da olumsuz yönde etki etmektedir. Doğru biçimde kulak merkezinin konumu ve çevritleri (örneğin dıştaki Heliks halkası) tespit edildikten sonra bölütleme adımına geçilebilir. Bölütleme adımında renk dağılımı ve belirgin özelliklere göre bölge (piksel) veya kenar (çevrit) tabanlı bölütleme yapılabilmektedir.

Böyle bir biyometrik sistemin normalizasyon ve iyileştirme adımında, sonraki adımlarda gerçekleştirilecek olan özellik elde etme ve eşleştirme işlemleri için bir önceki adımda bölütlenmiş olan görüntüyü daha uygun bir hale getirmek adına gerek renk kanalları gerekse histogram yapısı temel alınarak bazı ayarlamalar yapılabilmektedir. Özellik elde etme adımında sıklıkla bir özellik vektörü oluşturularak kulağa ait özellikler bir sonraki eşleştirme adımındaki tekniğe girdi olarak sunulmaktadır. Bu tarz bir sistemin uygulandığı bir çalışmayı göz önüne alacak olursak, tercih edilen eşleştirme tekniğine bağlı olarak girdi görüntüsünün ilgili veritabanındaki önceden kaydedilerek depolanmış görüntüler arasından birisi olup olmadığı bir önceki özellik elde etme adımında oluşturulan özellik vektöründeki özellikler kullanılarak varsa bir eşleştirme yapılması için değerlendirilmektedir. Son adımda elde edilen sonuçlar bir karar aşamasından geçirilerek denek (probe) olarak verilen kulak görüntüsünün veritabanındaki ilgili kişiyle en iyi şekilde eşleştiği onaylanmaktadır. Bu sayede yetkilendirme ile ilgili işlemleri içeren en son adım işletilmektedir.

Tablo 1. Yayınların 2004 ilâ 2011 arasındaki dağılımı
(Distribution of publications between 2004 and 2011 years)

Yayın	Yayın özellikleri			
	Yıl	*Teknik/Yöntem*	*Başarım ölçütü*	*Yayın mecrası*
Chen ve Bhanu [9]	2004	Kulak model şablonu oluşturma, kenar tespiti ve bağlı bileşen etiketleme	Doğruluk oranı = %91,5 , Yanlış alarm oranı = %2,52	Uluslararası Konferans
Chen ve Bhanu [14]	2005	Kulak biçim modeli ve kenar tabanlı görüntü çakıştırma (register)	Tespit oranı = %92,6	Uluslararası Konferans
Yan ve Bowyer [17]	2006	Aktif çevrit modeli	Tanıma oranı = %97,6	Uluslararası Sempozyum
Lu ve ark. [48]	2006	Aktif biçim modelleri ve kulak öz biçimi	Tanıma oranı = %95,1	Uluslararası Konferans
Ansari ve Gupta [7]	2007	Canny kenar tespiti yöntemi	Konumlandırma doğruluğu oranı = %93,34	Uluslararası Konferans
Passalis ve ark. [13]	2007	Kulak modeli kullanan görüntü çakıştırma (register)	Sıra-1 tanıma oranı = %94,4	Uluslararası Konferans
Yan ve Bowyer [15]	2007	3-Boyutlu biçim eşleme	Tanıma oranı = %97,8	Uluslararası Dergi
Cadavid ve Abdel-Mottaleb [35]	2007	Video için hareketten yapı oluşturma ve gölgelendirmeden biçim oluşturma, 3-Boyutlu kulak modeli	Tanıma oranı (ilk seçim) = %84, Tanıma oranı (ikinci seçim) = %96, Tanıma oranı (üçüncü seçim) = %100	Uluslararası Konferans
Prakash ve ark. [10]	2008	Cilt bölgeleri kenar haritaları ve kulak şablonu, biçim betimleyici	Doğruluk oranı = %95,2	Uluslararası Çalıştay
Said ve ark. [41]	2008	Bayesçi sınıflandırıcı	Doğruluk oranı = %90	Uluslararası Sempozyum
Prakash ve ark. [3]	2009	Kenar haritalarını kullanan çizgenin bağlı bileşen analizi	Doğruluk oranı = % 94,01 (set 1), %93,20 (set 2), %90,52 (set 3)	Uluslararası Konferans
Prakash ve ark. [11]	2009	Cilt bölgeleri için renk tabanlı yaklaşım, kulak tespiti için şablon oluşturma, Zernike momentleri ile biçim betimleyici	IIT Kanpur veritabanı için doğruluk oranı = %94	Uluslararası Konferans
Xiaoyun ve Weiqi [40]	2009	Özellik elde etme, en yakın komşuluk sınıflandırıcısı	Tanıma oranı = %100	Uluslararası Konferans
Kisku ve ark. [45]	2009	SIFT, Kullback-Leibler ıraksaması, Gauss Karışım Modeli	Renk bölütlemesi öncesi doğruluk oranı = %93,01 , Renk bölütlemesi sonrası doğruluk oranı = %96,93	Uluslararası Konferans
Abaza ve ark. [31]	2010	Kademeli Adaboost sınıflandırıcısı, Haar özelliklerini temel alan Viola-Jones yöntemi	Doğruluk oranı = %95	Uluslararası Konferans
Kisku ve ark. [33]	2010	SIFT, Gauss Karışım Modeli, Dempster-Shafer Teorisi	Belirleme doğruluğu = %98,25	Uluslararası Konferans
Joshi ve Chauhan [12]	2011	Kenar tespiti ve şablon eşleme ile kulak tespiti, Destek Vektör Makinesi	Kenar tespiti için doğruluk oranı = %83, şablon eşleme için doğruluk oranı = %78	Uluslararası Konferans
Kumar ve ark. [30]	2011	SIFT, Log-Gabor tekniği, cilt bölgeleri için Gauss sınıflandırıcısı	SIFT için orijinal kabul oranı(Genuine accept rate) = %95, Log-Gabor filtre için orijinal kabul oranı = %85	Uluslararası Konferans
Zhou ve ark. [44]	2011	SIFT özelliklerinin renk kanallarına genişletilmesi, özellik eşleştirme algoritması	Sıra-1 tanıma oranı = %100	Uluslararası Konferans

Literatürde çeşitli görüntüleme kaynaklarından elde edilen görüntüler üzerinde temel matematiksel morfolojik işlemler ve görüntü işleme teknikleri yanı sıra istatistiksel bilgi edinmeye ve geometrik özelliklere dayanan yöntemlerle, hatta belirli dönüşüm işlemleri, belirgin özelliklerin elde edilmesini temel alan yaklaşımlar uygulanmaktadır. İncelenen 37 çalışmanın Tablo 1'de 2004 ilâ 2011 yılları arasında olanları, Tablo 2'de ise 2012 ilâ 2015 yılları arasında olanları için bu çalışmaların literatürdeki yayın mecraları, yapılan çalışmada kullanılan teknik veya yöntem, varsa doğruluk veya tanıma başarım oranı değerleri gibi başarım ölçütleri verilmektedir. İnceleme sırasında kullanılan çalışmalara ait yayınlar Internet üzerinden, Amerikan Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsüne ait websitesi "*http://ieeexplore.ieee.org*", Elsevier yayınevine ait websiteleri olan "*http://www.sciencedirect.com*" ve "*http://www.scopus.com*", ACM (Association of Computing Machinery) kuruluşunun sayısal kütüphanesine ait websitesi "*http://dl.acm.org*" ve benzeri kaynaklarda yapılan aramalar ile elde edilmiştir.

Tablo 2. Yayınların 2012 ilâ 2015 arasındaki dağılımı
(Distribution of publications between 2012 and 2015 years)

Yayın	Yayın özellikleri			
	Yıl	*Teknik/Yöntem*	*Başarım ölçütü*	*Yayın mecrası*
Prakash ve Gupta [6]	2012	Kenar haritalarını kullanan çizgenin bağlı bileşen analizi	IIT Kanpur veritabanı için kulak konumlandırma doğruluğu oranı = %99,25 (veri seti 1),%98,50 (veri seti 2),%95,61 (veri seti 3)	Uluslararası Dergi
Kumar ve Dhenakaran [8]	2012	Özellik elde etme, kulak çevrit oluşturma	Belirtilmemiş	Uluslararası Konferans
Zhou ve ark. [16]	2012	Kulak görüntü bölütleme, yerel/bütünsel özellik elde etme ve eşleme, füzyon.	Tanıma oranı = %98,3	Uluslararası Dergi
Almisreb ve Jamil [28]	2012	Yanlı normalize kesitler yöntemi, Entropi, eşikleme, iskelet elde etme ve morfolojik işlemler	Doğruluk oranı = %95	Uluslararası Çalıştay (Toplantı)
Pflug ve ark. [36]	2012	Biçim histogramları dedektörü, Dairesel dedektör, Biçim endeks histogramları	Görüntü döndürüldüğünde 45 derece için doğru tespit oranı = %70, Görüntü 30 derece döndürüldüğünde doğru tespit oranı = % 55	Uluslararası Konferans
Dong ve Guo [43]	2012	3-Boyutlu nokta bulutu döndürme, SIFT betimleyiciler, anahtar nokta eşleme algoritması	Tanıma oranı = %96,49, Doğruluk oranı = %98,87	Uluslararası Konferans
Abaza ve Bourlai [18]	2013	Bağımsız bileşen analizi, temel bileşen analizi, doğrusal ayırtaç analizi, SIFT, yerel ikili ve üçlü örüntüler (LBP'ler ve LTP'ler)	Füzyon yöntemi için tanıma doğruluğu = %72,73	Uluslararası Dergi
Lei ve ark. [34]	2013	Köşe taşlarını kullanan 3-Boyutlu kulak modeli için çizge oluşturma	Sınıflandırma doğruluğu = %100	Uluslararası Konferans
Mamta Bansal ve Hanmandlu [38]	2013	Yerel temel bağımsız bileşenler tekniği	Tanıma oranı yaklaşık olarak = %90, Orijinal kabul oranı (Genuine accept rate) yaklaşık olarak = %93	Uluslararası Dergi
Kumar ve ark. [39]	2013	Yerelleştirilmiş Radon dönüşümü, Hessian tabanlı özellik sunumu, Log-Gabor filtresi	Test Protokol A için en yüksek denk hata oranı = %5,14 (UND veritabanı), Test Protokol B için = %5,08, Test Protokol A için Sıra-1 tanıma oranı = %97,73, Test Protokol B için = %97,56	Uluslararası Dergi
Almisreb ve ark. [42]	2013	Çekirdek çizge kesme yöntemiyle bölütleme	Doğruluk oranı = %100	Uluslararası Sempozyum
Ganesh ve ark. [5]	2014	Entropik İkili Parçacık Sürüsü Eniyileme, Çift Ağaç Karmaşık Dalgacık Dönüşümü tekniği	Etkinlik oranı = %90,7	Uluslararası Dergi
Kokila ve Aroquiaraj [29]	2014	Canny kenar tespiti yöntemi, otomatik endeks bölütleme	Belirtilmemiş	Uluslararası Dergi
Wagner ve ark. [32]	2014	Haar özellikleri, yerel ikili örüntüler, yönlü gradyenlerin histogramları	Ortalama tepe sinyal gürültü oranı (PSNR) ve tespit hatası	Uluslararası Çalıştay
Jamil ve ark. [37]	2014	Yanlı normalize kesitler, morfolojik işlemler, Log-Gabor filtresi	Doğruluk oranı = %92,66	Uluslararası Dergi
Sun ve ark. [46]	2014	3-Boyutlu kulak nokta bulutunun Gauss-ağırlıklandırılmış ortalamasına dayanan anahtar nokta seçimi için *Poisson Disk* örneklemesi	Ortalama eşleme süresi = 0,232 sn.	Uluslararası Dergi
Pflug ve ark. [47]	2014	Doku betimleyicisi ile sınıflandırma, yönlü gradyenlerin histogramları, tekdüze yerel ikili örüntüler (LBP'ler), yerel faz nicemlendirme	Doğru pozitif oranı = %96,89	Uluslararası Konferans
Maity ve Abdel-Mottaleb [19]	2015	Ağaç yapısındaki çizge ile birlikte aktif çevrit modeli, k-boyutlu ağaç (dengelenmiş) ve piramit ağacı (dengelenmemiş)	Tanıma oranı = %98,5	Uluslararası Dergi

Buna göre, literatürdeki çalışmalarda yapılan yayınların % 29,72'sini uluslararası dergi yayınları oluştururken, diğer kısmını da (%70,27) uluslararası konferans, sempozyum, çalıştay ve diğer toplantılarda yapılan yayınlar oluşturmaktadır. En sık kullanılan yöntemler olarak, SIFT betimleyicileri, ve aktif çevrit modellerinin kullanıldığı Tablo 1 ve Tablo 2'den görülmektedir. Ayrıca incelenen çalışmalara yakından bakıldığında, ICA, PCA, Canny kenar tespit edici, şablon eşleme, Log-Gabor filtreleri, Gauss karışımı ve Kullback-Leibler ıraksamasının sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bunun yanı sıra incelenen 37 çalışmada en sık kullanılan başarım ölçütlerinin başında, tanıma oranı (recognition rate), doğruluk oranı (accuracy rate), orijinal kabul oranı (genuine accept rate, *GAR*) ve denk hata oranı (equal error rate, EER) gelmektedir. *GAR* ve yanlış kabul/alarm oranı (false acceptance/alarm rate, *FAR*) değerlerinin karşılaştırılmasına dayanılarak oluşturulan alıcı işletim eğrisi (receiver operating characteristics, ROC) ve en üstteki *r*-eşleşme (top *r*-matches) arasında doğru cevap bulunduğundaki oluşma yüzdesini veren birikimli eşleme karakteristiği (cumulative matching characteristics, CMC) eğrileri de ilgili biyometri çalışmalarında başarım oranını deneysel sonuçlarla göstermek adına sıklıkla verilmiştir. Bu açıdan Sıra-1 (Rank-one) tanıma oranı, CMC eğrisi, *x* ekseninde sıra (rank) değeri ile *y* ekseninde belirleme doğruluğu oranının (identification rate) birbirine göre değişimini göstermektedir [46].Belirginlik (specificity, *Spec*) ise bir diğer önemli ölçüttür.

Bu başarım ölçütlerinin en sık kullanılanlarının yayınlarda kullanılma yüzdelik oranlarını gösteren grafik Şekil 3'te verilmektedir. Bu ölçütlerde sıklıkla kullanılan doğru pozitif (true positive, *TP*), doğru negatif (true negative, *TN*), yanlış pozitif (false positive, *FP*) ve yanlış negatif (false negative, *FN*) ölçüleri doğruluk oranının ve tanıma oranının hesaplanılmasında da kullanılmaktadır. Buna göre, bir sınıflandırma problemi için ikili (binary) bir sınıflandırıcı varsa ve bununla eldeki örnekler mevcut sınıflara gelecek şekilde sınıflandırma yapılıyorsa, *TP* ölçüsü pozitif sınıfla ilgili doğru tahmin edilen örneklerin sayısını göstermektedir. *TN* ölçüsü, negatif sınıfa ait doğru tahmin edilmiş örneklerin sayısını gösterir. *FP* ölçüsü, negatif sınıfa ait örneklerden pozitif sınıfa ait olarak tahmin edilenlerin sayısını gösterir. *FN* ölçüsü ise, doğru sınıfı pozitif olan örneklerin negatif sınıfa ait olarak tahmin edilenlerinin sayısını göstermektedir. Kulak belirleme veya bölütlemesinde piksellerin kulak bölgesine ait olup olmaması, kulağın ilgili kişiye ait olup olmadığının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu açıdan yukarıda bahsi geçen bu dört ölçü (*TP, TN, FP, FN*) baz alınarak çeşitli çalışmalarda kullanılan yöntemler üzerinden bilgi elde etme (information retrieval) yapılmıştır. Çalışmalarda kullanılan doğruluk oranı çoğunlukla aşağıdaki şekilde verilmektedir:

$$Doğruluk = \frac{|TN|+|TP|}{|FN|+|FP|+|TN|+|TP|} \tag{4.1}$$

ROC eğrisi, karar veya skor eşik değerinin (decision/score threshold) bir fonksiyonudur. Böylece, *x* ekseninde *FP* oranı (*FPR*) ile *y* ekseninde *TP* oranını (*TPR*) ele alarak mükemmel olmayan örüntü tanıma sistemlerinin başarımını değerlendirmede kullanılır. Bu yolla, farklı sistemlerin başarımlarını aynı koşullarda karşılaştırmaya veya aynı sistemin başarımını farklı koşullarda karşılaştırmaya imkan sunar. Biyometrik sistemler için ROC eğrisinin olasılık dağılımlarına dayanarak modifiye edilmiş bir hali olan tespit hatası ödünleşimi (detection error trade-off, DET) eğrisi de kullanılmaktadır. Bu eğride, *x* ekseninde yanlış eşleşme oranı (false match rate, FMR) ile *y* ekseninde yanlış eşleşmeme oranı (false non-match rate, FNMR) karşılaştırması yapılmaktadır. FMR ölçütü, bir biyometrik sistemde aynı bireyden gelen iki ayrı bireysel biyometrik sinyali yanlış eşleştirme oranıdır. FNMR ölçütü ise, bir biyometrik eşleyicinin aynı bireyden elde dilen iki farklı bilgiyi sanki farklı bireylerden elde edilmiş gibi kategorize edebilme oranını göstermektedir. FNMR oranı, sıradan bir sınıflandırma algoritması için yanlış reddetme oranı (false reject rate, *FRR*) olarak da düşünülebilir. Bu açıdan hata değerleri üzerinden bir değerlendirme (evaluation) imkanı ortaya çıkmaktadır. Denk hata oranı ise, *FAR* ve *FRR* ölçütlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bunun yanı sıra, bir biyometrik sistemin başarımını gösteren başka bir bakış açısıyla modifiye edilmiş bir ROC eğrisinde, *x* eksenindeki*FRR* ölçütü ile *y* eksenindeki *FAR* ölçütünün karşılaştırması yapılmaktadır [49]. Yukarıda bahsi geçen ROC eğrilerine ait grafikler oluşturulurken çalışmalarda sıklıkla logaritmik eksen ölçeği kullanılmaktadır. CMC eğrisi ise, bir eşleşme sisteminde aranan bireyin farklı büyüklükteki aday listesinde görülebilme olasılığını (belirlenebilmesini) göstermektedir. Ayrıca, Doğruluk ölçütünün, *FAR* ve *FRR* ölçütlerini temel alan bir hesaplama yolu da mevcuttur. Genel itibariyle, ROC eğrisi için yanlış pozitif oranı (*FPR*) ise şöyle ifade edilir:

$$FPR = \frac{|FP|}{|FP|+|TN|} = 1 - Spec \tag{4.2}$$

ROC eğrisi için doğru pozitif oranı (*TPR*) ise aşağıdaki biçimde ifade edilir:

$$TPR = \frac{|TP|}{|TP|+|FN|} = Spec \tag{4.3}$$

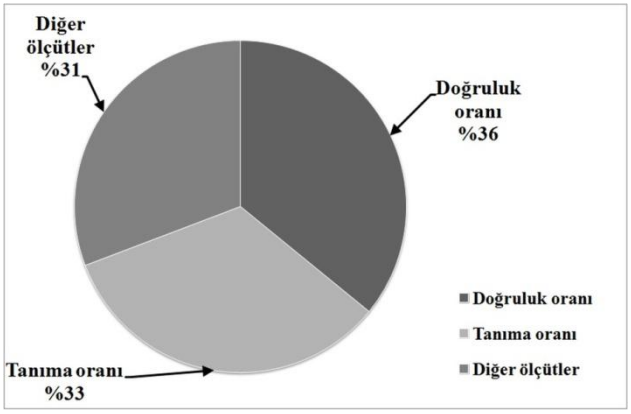
Ayrıca bir biyometrik sistemin yetkilendirme başarımının değerlendirilmesi adına olasılığa dayalı olarak oluşturulan ROC eğrisi için istatistiksel *tip-II hata* olarak da bilinen yanlış kabul oranı (*FAR*) şöyle ifade edilir:

$$FAR = \frac{Yanlışlıkla\ kabul\ edilen\ bireyler}{Toplam\ yanlış\ eşleşme\ miktarı} \tag{4.4}$$

Aynı ROC eğrisi için istatistiksel *tip-Ihata* olarak da bilinen yanlış reddetme oranı (*FRR*) oranı ise aşağıdaki biçimde ifade edilir:

$$FRR = \frac{Yanlışlıkla\ reddedilen\ bireyler}{Toplam\ doğru\ eşleşme\ miktarı} = 1 - GAR \qquad (4.5)$$

FRR, *GAR* ve *FAR* için karar veya skor eşik değeri önemlidir. Bu eşik değeri arttıkça, *FRR* değeri artar. Bu eşik değeri azaldıkça *GAR* ve *FAR* değeri azalır. Hem ROC eğrisi hem de CMC eğrisi için eğrinin *y* eksenindeki yönelimi (ROC için grafiğin sağ üst köşesine, CMC için sol üst köşeye) 1 değerine ne kadar yaklaşırsa, ele alınan biyometrik sistemin o kadar iyi şekilde eşleştirme yapabildiği, aranan bireyi arama listesi içerisinde belirleyebildiği ve bu yolla oldukça başarılı bir biçimde yetkilendirme yapabildiği anlaşılmaktadır. Bu başarım ölçütlerinin yayınlarda kullanılma oranlarını gösteren grafik Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3. Yayınlardaki kullanılan başarım ölçütlerinin dağılım yüzdelik oranları.
(Distribution percentage of performance metrics used in the publications)

Şekil 3'teki grafikte görüldüğü gibi en çok kullanılan başarım ölçütü çalışmaların %36'sında kullanılmış olan doğruluk oranı ölçütüdür. Tanıma oranı ise, çalışmaların %33'ünde, Sıra-1 tanıma oranı olarak CMC eğrilerinden elde edilmektedir. Bu ölçütler sayesinde ilgili yöntemin, tekniğin veya algoritmanın kulak bölgesini ne kadar doğru tespit ettiğini, kulak bölütlemesini ne kadar doğru yaptığını veya ilgili kişiyi ne kadar doğru olarak belirleyebildiği gibi sonuçları yüzdelik oran biçiminde elde etmek mümkün olmaktadır.

5. SONUÇ(CONCLUSION)

Kulak biyometrisine dayanan kimlik doğrulama için önerilen çalışmaların avantajları yanı sıra birçok da dezavantajı bulunmaktadır. Çoğu çalışmada kulak biyometri sistemi, daha önceden büyük bir görüntüden kırpılarak elde edilen kulak bölgesi görüntüsü üzerinde işlem yapmaktadır. Video gibi gerçek zamanlı görüntülerin de bulunabildiği ortamlarda öncelikli olarak büyük bir görüntüde kulak bölgesinin ilgilenilen bölge (ROI) şeklinde belirlenebilmesi, bu yolla ilk adım olarak kulak tespiti, çevritlerin üzerinden veya bölge (piksel) bazlı olarak kulak bölütleme ve tanıma adımları işletilerek sistemin çalıştırılması gerekmektedir. Fakat gerçek zamanlı böyle bir işlemde, kulak bölgesinin tamamen gözükmediği, örtüşen nesnelerden dolayı (saç, saç bandı, gözlük sapı, kulaklık vb.) tespit sürekliliği, bölütleme doğruluğu ve tanıma başarımı düşüşü nedeniyle sistem genel olarak başarısız sonuçlar üretebilmektedir. Durağan görüntüler kullanılmış bile olsa bu nesne örtüşümleri ve diğer sebepler problematik bir yapı ortaya koyabilmektedir.

Birçok çalışmada bir tane kulak görüntüsü ile denek kişinin tanınmasına yoğunlaşılırken, aynı kişinin diğer kulağının görüntüsü kullanıldığında tanıma başarımının arttığı da görülmektedir. Bu açıdan baktığımızda çok modlu biyometrik uygulamalarda kulak biyometrisinin ve buna dayanan yarı-otomatik veya tam-otomatik belirleme, tanıma ve yetkilendirme yaklaşımlarının gelişme sürecinin daha çok başlangıçta olduğu görülmektedir.

Çalışmamızda literatürdeki 37 farklı çalışma incelenerek bunların birbirleri ile olan benzer yanları veya farklılıkları ortaya konulmuştur. Çalışmamızın ana katkısı olarak, literatürdeki çalışmaların sonucunda yapılan yayınların hangi mecralarda dağıldığı (konferans, dergi vb.) ve çalışmalarda uygulanan veya geliştirilen yöntemler, teknikler, algoritmalar ve yaklaşımlar belirlenmiş, bu yolla çalışmaların hangi yönde yoğunlaştığı kategorize edilerek sistematik bir biçimde belirtilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] M. Burge, W. Burger, "Ear biometrics in computer vision",**15th International Conference on Pattern Recognition**, 2, 822-826,Barcelona, İspanya, 03-07 Eylül 2000. Doi: 10.1109/ICPR.2000.906202.

[2] A. Iannarelli, **Ear Identification**, Forensic Identification Series, Paramont Publishing Company, Fremont, California, A.B.D., 1989.

[3] S. Prakash, U. Jayaraman, P. Gupta, "Connected component based technique for automatic ear detection", **16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)**, 2741-2744, Cairo, Mısır,7-10 Kasım 2009. Doi: 10.1109/ICIP.2009.5414150.

[4] R.Raposo, E.Hoyle, A.Peixinho, H.Proenca, "UBEAR: A dataset of ear images captured on-the-move in uncontrolled conditions",**IEEE Workshop on Computational Intelligence in Biometrics and Identity Management (CIBIM)**, 84-90, Paris, Fransa, 11-15 Nisan 2011. Doi: 10.1109/CIBIM.2011.5949208.

[5] M. R. Ganesh, R. Krishna, K. Manikantan, S. Ramachandran, "Entropy based Binary Particle Swarm Optimization and classification for ear detection", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 27,115-128, 2014. ISSN: 0952-1976, Doi: 10.1016/j.engappai.2013.07.022.

[6] S. Prakash, P. Gupta, "An efficient ear localization technique", *Image and Vision Computing*, 30(1),38-50, 2012. ISSN: 0262-8856, Doi: 10.1016/j.imavis.2011.11. 005.

[7] S. Ansari, P.Gupta, "Localization of Ear Using Outer Helix Curve of the Ear", **International Conference on Computing: Theory and Applications (ICCTA '07)**,688-692, 5-7 Mart 2007, Kolkota, Hindistan. Doi: 10.1109/ICCTA.2007.82.

[8] P.R. Kumar, S. S.Dhenakaran, "Pixel based feature extraction for ear biometrics",**International Conference on Machine Vision and Image Processing (MVIP),** 40-43, Taipei, Tayvan,14-15 Aralık 2012. Doi: 10.1109/MVIP.2012.6428756.

[9] H. Chen, B. Bhanu, "Human ear detection from side face range images", **17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2004)**, 3,574-577, 23-26 Ağustos 2004, Cambridge, Birleşik Krallık, İngiltere.Doi: 10.1109/ICPR.2004.1334594.

[10] S.Prakash, U.Jayaraman, P. Gupta, "Ear Localization from Side Face Images using Distance Transform and Template Matching",**First Workshops on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA 2008)**, 1-8, Susa, Tunus, 23-26 Kasım 2008. Doi: 10.1109/IPTA.2008.4743786.

[11] S.Prakash, U.Jayaraman, P.Gupta, "A Skin-Color and Template Based Technique for Automatic Ear Detection", **Seventh International Conference on Advances in Pattern Recognition(ICAPR '09)**, 213-216, Kolkota, Hindistan, 4-6 Şubat 2009. Doi: 10.1109/ICAPR.2009.31.

[12] K. V.Joshi, N. C. Chauhan, "Edge Detection and Template Matching Approaches for Human Ear Detection", **International Conference on Intelligent Systems and Data Processing (ICISD 2011)**, 50-55, Gujarat, Hindistan, 24-25 Ocak 2011.

[13] G.Passalis, I.A. Kakadiaris, T.Theoharis, G.Toderici, T., Papaioannou, "Towards fast 3D ear recognition for real-life biometric applications", **IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS 2007)**, 39-44, Londra, İngiltere, 5-7 Eylül 2007. Doi: 10.1109/AVSS.2007.4425283.

[14] H. Chen,B. Bhanu, "Shape Model-Based 3D Ear Detection from Side Face Range Images", **IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2005) Workshops**,122-122, San Diego CA, A.B.D., 25-25 Haziran 2005. Doi: 10.1109/CVPR.2005.525.

[15] P. Yan,K. W.Bowyer, "Biometric Recognition Using 3D Ear Shape", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(8), 1297-1308, 2007. Doi: 10.1109/TPAMI.2007.1067.

[16] J. Zhou,S.Cadavid, M.Abdel-Mottaleb, "An Efficient 3-D Ear Recognition System Employing Local and Holistic Features",*IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 7(3), 978-991, 2012. Doi: 10.1109/TIFS.2012.2189005.

[17] P. Yan,K. W.Bowyer, "An Automatic 3D Ear Recognition System", **Third International Symposium on 3D Data Processing, Visualization, and Transmission**,326-333, Chapel Hill NC, A.B.D., 14-16 Haziran 2006. Doi: 10.1109/3DPVT.2006.25.

[18] A. Abaza, T. Bourlai, "On ear-based human identification in the mid-wave infrared spectrum", *Image and Vision Computing*, 31(9), 640-648, 2013. ISSN: 0262-8856, Doi: 10.1016/j.imavis.2013.06.001.

[19] S.Maity, M.Abdel-Mottaleb, "3D Ear Segmentation and Classification Through Indexing", *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 10(2), 423-435, 2015. Doi: 10.1109/TIFS.2014.2379437.

[20] D. Narayan, S. Dubey, "A Survey Paper on Human Identification using Ear Biometrics", *International Journal of Innovative Science and Modern Engineering (IJISME)*. 2(10), 9-13, 2014. ISSN: 2319-6386.

[21] T. V. Kandgaonkar, R. S. Mente, A. R. Shinde, S. D. Raut,"Ear Biometrics: A Survey on Ear Image Databases and Techniques for Ear Detection and Recognition", *IBMRD's Journal of Management & Research*, 88-103, 2015. Çevrimiçi: <http://www.ibmrdjournal.com/index.php/ibmrd/article/view/60357>. Erişim tarihi: 11 Eylül 2015. Doi:10.17697/ibmrd/2015/v4i1/60357.

[22] Internet: UND-CVRL DATA SETS (University of Notre Dame UND database), 25.10.2015.Çevrimiçi: http://www3.nd.edu/~cvrl/CVRL/Data_Sets.html

[23] Internet: USTB - Ear Recoginition Laboratory(University of science and technology Beijing USTB database). 25.10.2015.Çevrimiçi:http://www1.ustb.edu.cn/resb/en/index.htm

[24] Internet: AMI, Esther Gonzalez AMI Ear Database. 25.10.2015.Çevrimiçi:http://www.ctim.es/research_works/ami_ear_database/

[25] Internet: IIT Delhi - Indian Institute of Technology- Delhi Ear Database. 25.10.2015.Çevrimiçi:http://www4.comp.polyu.edu.hk/~csajaykr/IITD/Database_Ear.htm

[26] A.Kumar,C. Wu,"Automated human identifcation using ear imaging", *Pattern Recognition*, 45(3), 956-968, 2012. Doi: 10.1016/j.patcog.2011.06.005.

[27] S.Prakash,P. Gupta,"An Efficient Ear Recognition Technique Invariant to Illumination and Pose",*Telecommunication Systems Journal - Special Issue on Signal Processing Applications in Human Computer Interaction*,30, 38-50, 2011.

[28] A. A.Almisreb, N. Jamil, "Automated ear segmentation in various illumination conditions", **IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and its Applications (CSPA2012)**, 199-203, Melaka, Malezya, 23-25 Mart 2012. Doi: 10.1109/CSPA.2012.6194718.

[29] K. Kokila, I. L. Aroquiaraj, "Ear Biometrics for Automatic Index Segmentation Using Canny Edge Detection", *International Journal of Computational Intelligence and Informatics*, 4(3), 190-198, 2014.ISSN: 2231-0258.

[30] A.Kumar, M.Hanmandlu, M.Kuldeep, H. M.Gupta, "Automatic Ear Detection for Online Biometric Applications", **Third National Conference on Computer Vision, Pattern Recognition, Image Processing and Graphics (NCVPRIPG 2011)**,146-149, Hubli, Karnataka, Hindistan, 15-17 Aralık 2011. Doi: 10.1109/NCVPRIPG.2011.69.

[31] A.Abaza, C. Hebert, M.A.F. Harrison, "Fast learning ear detection for real-time surveillance", **Fourth IEEE International Conference on Biometrics: Theory Applications and Systems (BTAS 2010)**, 1-6, Washington DC, A.B.D., 27-29 Eylül 2010. Doi: 10.1109/BTAS.2010.5634486.

[32] J.Wagner, A.Pflug, C.Rathgeb, C.Busch, "Effects of severe signal degradation on ear detection", **International Workshop on Biometrics and Forensics (IWBF 2014)**, 1-6, Valletta, Malta, 27-28 Mart 2014. Doi: 10.1109/IWBF.2014.6914255.

[33] D.R. Kisku, S. Gupta, P. Gupta, J. K.Sing, "An Efficient Ear Identification System", **5th International Conference on Future Information Technology (FutureTech 2010)**, 1-6, Busan, Güney Kore, 21-23 Mayıs 2010. Doi: 10.1109/FUTURETECH.2010.5482749.

[34] J. Lei, J. Zhou,M.Abdel-Mottaleb, X. You, "Detection, localization and pose classification of ear in 3D face profile images",**20th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2013)**, 4200-4204, Melbourne, VIC, Avustralya, 15-18 Eylül 2013. Doi: 10.1109/ICIP.2013.6738865.

[35] S.Cadavid, M. Abdel-Mottaleb, "Human Identification based on 3D Ear Models", **First IEEE International Conference on Biometrics: Theory, Applications, and Systems (BTAS 2007)**,1-6, Crystal City, VA, A.B.D., 27-29 Eylül 2007. Doi: 10.1109/BTAS.2007.4401938.

[36] A.Pflug, P. M.Back, C. Busch, "Towards making HCS ear detection robust against rotation", **IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST 2012)**, 90-96, Boston, MA, A.B.D., 15-18 Ekim 2012. Doi: 10.1109/CCST.2012.6393542.

[37] N. Jamil, A. AlMisreb, A. A. Halin, "Illumination-invariant Ear Authentication", *Procedia Computer Science, Medical and Rehabilitation Robotics and Instrumentation (MRRI2013)*, 42, 271-278, 2014.ISSN: 1877-0509. Doi: 10.1016/j.procs.2014.11.062.

[38] B. Mamta, M. Hanmandlu, "Robust ear based authentication using Local Principal Independent Components", *Expert Systems with Applications*, 40(16), 6478-6490, 2013. ISSN: 0957-4174. Doi: 10.1016/j.eswa.2013.05.020.

[39] A. Kumar, T.-S. T. Chan, "Robust ear identification using sparse representation of local texture descriptors", *Pattern Recognition*, 46(1), 73-85, 2013. ISSN: 0031-3203. Doi: 10.1016/j.patcog.2012.06.020.

[40] W.Xiaoyun, Y. Weiqi, "Human ear recognition based on block segmentation", **International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC'09)**,262-266, Zhangjiajie, Hunan, Çin,10-11 Ekim 2009. Doi: 10.1109/CYBERC.2009.5342143.

[41] E.H. Said, A.Abaza, H.Ammar, "Ear segmentation in color facial images using mathematical morphology", **Biometrics Symposium (BSYM'08)**, 29-34, Tampa, FL, A.B.D., 23-25 Eylül 2008. Doi: 10.1109/BSYM.2008.4655519.

[42] A. A.Almisreb, N.M. Tahir, N. Jamil, "Kernel graph cut for robust ear segmentation in various illuminations conditions", **IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA 2013)**, 71-74, Kuching, Malezya, 22-25 Eylül 2013. Doi: 10.1109/ISIEA.2013.6738970.

[43] X. Dong, Y. Guo, "3D Ear Recognition Using SIFT Keypoint Matching", **International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE 2011)**, *International Proceedings of Computer Science and Information Technology*(*IPCSIT)*, 44, 146-151, IACSIT Press, Singapur. ISSN:2010-460X. Doi: 10.7763/IPCSIT.2012.V44.27.

[44] J. Zhou,S. Cadavid, M.Abdel-Mottaleb, "Exploiting color SIFT features for 2D ear recognition", **18th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2011)**,553-556, Brüksel, Belçika, 11-14 Eylül 2011. Doi: 10.1109/ICIP.2011.6116405.

[45] D. R. Kisku, H. Mehrotra, P. Gupta, J. K. Sing, "SIFT-based Ear Recognition by Fusion of Detected Keypoints from Color Similarity Slice Regions", **International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA 2009)**, 380-385,Zouk Mosbeh, Lübnan, 15-17 Temmuz 2009.

[46] X. Sun, G. Wang, L. Wang, H. Sun, X. Wei, "3D ear recognition using local salience and principal manifold", *Graphical Models*,Geometric Modeling and Processing, 76(5), 402-412, 2014. ISSN: 1524-0703. Doi:10.1016/j.gmod.2014.03.003.

[47] A. Pflug, A. Ross, C. Busch, "2D ear classification based on unsupervised clustering", **IEEE International Joint Conference on Biometrics (IJCB 2014)**, 1-8, Clearwater, FL, A.B.D.,29 Eylül- 02 Ekim 2014. Doi: 10.1109/BTAS.2014.6996239

[48] L. Lu, Z. Xiaoxun, Z. Youdong, J. Yunde, "Ear Recognition Based on Statistical Shape Model", **First International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC '06)**, 3,353-356, Pekin, Çin, 30 Ağustos 2006- 01 Eylül 2006. Doi: 10.1109/ICICIC.2006.445.

[49] M. E.Schuckers, **Computational Methods in Biometric Authentication: Statistical Methods for Performance Evaluation**, Springer Verlag London, Londra, İngiltere, 2010, ISBN: 978-1-84996-201-8.