

Yüz ifadelerinin otomatik analizi üzerine bir literatür çalışması

Sümeyye Bayrakdar^{1*}, Devrim Akgün², İbrahim Yücedağ³

21.11.2015 Geliş/Received, 13.06.2016 Kabul/Accepted

ÖZ

Yüz ifadeleri, duygulara kişilerarası iletişimde anlam bütünlüğü kazandıran evrensel işaretlerdir. Aynı zamanda yüz ifadelerindeki değişimler, duygu psikolojisinde en önemli ipuçları olarak kabul edilmektedir. Yüz ifade analizinin; insan davranışlarının analizi, insan-insan etkileşimi ve insan-bilgisayar etkileşimi gibi çok geniş bir uygulama yelpazesi vardır. İnsanlar yüz ifadelerini tanıma ve yorumlamada herhangi bir sorun yaşamazken bu işlem bilgisayarlarda zorlu bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat özellikle insan-bilgisayar etkileşiminde yaşanan gelişmelerle birlikte, insanlara ait duyguların bilgisayarlar tarafından anlaşılması elzem bir konu haline gelmiştir. Bunun yanında güvenlik, psikoloji, sağlık, robotik ve sanal gerçeklik gibi birçok çalışma alanında da yüz ifadelerinin analizi ve tanınması giderek yaygınlaşmıştır. Bu nedenlerden dolayı, yüz ifadelerinin hızlı bir şekilde analiz edilmesi ve analiz edilen yüz ifadelerinin doğru olarak tanınması farklı uygulama alanlarında birçok yazılım sistemi için kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, yüz ifadelerinin tanınması ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelenmiş ve yüz ifadelerinin analizinde kullanılan bazı yöntemlere yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: yüz ifade analizi, yüz ifadesi tanıma, görüntü işleme

A survey on automatic analysis of facial expressions

ABSTRACT

Facial expressions are universal symbols of emotions that provide cohesion to interpersonal communication. At the same time, the changes in facial expressions are considered to be the most important hints in the psychology of emotion. Facial expression analysis has widespread range of application in areas such as analysis of human behaviors, human-human interaction and human-computer interaction. While humans do not have any difficulty for recognizing and interpreting facial expressions, it is challenging problem for the computers. However, especially with advances in human-computer interaction, understanding the human emotions by computer has become an indispensable issue. Furthermore, analysis and recognition of facial expressions has pervaded in various areas such as security, psychology, health, robotics and virtual reality. For these reasons, the analyzing of facial expressions quickly and the recognition of facial expressions correctly according to the analyzed facial expressions play a critical role for many software systems in different applications. In this study, the methods used in the analysis of facial expressions and the studies in the literature on emotion recognition were investigated.

Keywords: facial expression analysis, facial expression recognition, image processing

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Düzce - sumeyyebayrakdar@duzce.edu.tr

2 Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Sakarya - dakgun@sakarya.edu.tr

3 Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Düzce - ibrahimyucedag@duzce.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kişilerarası iletişimde önemli bir rol oynayan yüz ifadeleri, insanların duygu, düşünce ve ruhsal durumları ile ilgili önemli bilgiler içermektedir. 1872’de Charles Darwin, “İnsan ve Hayvanlarda Duyguların İfadesi” adlı kitabında, insanlar ve hayvanlarda doğuştan gelen bazı duyguların yüz ifadeleri şeklinde ortaya çıktığını ve bu ifadelerin bütün dünyada aynı anlamda algılandığını belirterek, yüz ifadelerinin evrensel olduğunu vurgulamıştır [1]. Bu tespit yüz ifadeleri ile ilgili çalışmalarının dayanağını oluşturmuş ve yüz ifade analizi birçok davranış bilimci için yaygın bir araştırma konusu haline gelmiştir. İnsanlar arasında yüz yüze iletişimin temelini oluşturan yüz ifadeleri, iletişimin bütününde %55 etkili olurken; ses tonu %38, kelimeler ise sadece %7’lik etkiye sahiptir [2]. Yapılan araştırmalarda farklı yüz ifadelerini ortaya çıkaran ve “mutluluk”, “üzüntü”, “korku”, “öfke”, “iğrenme” ve “şaşkınlık” olarak tanımlanan altı temel duygudan bahsedilmiştir [3, 4]. Yüz ifade analizi kullanılmaya ilk başlandığı zamanlarda daha çok psikologlar için bir araştırma konusu olsa da, 1978 yılında görüntü dizilerinden otomatik olarak yüz ifade analizi ile ilgili bir inceleme sunulmuştur [5]. Takip eden süreçte ise teknolojinin gelişmesiyle birlikte nispeten ucuz hesaplama gücüne ek olarak, yüz algılama (face detection), yüz izleme (face tracking) ve yüz tanıma (face recognition) ile ilgili araştırma alanlarındaki başarılı gelişmeler, yüz ifade analizi ile ilgili çalışmalara hız kazandırmıştır [6].

Literatürde “yüz ifadesi tanıma” yerine sık sık “duygu tanıma” terimleri kullanılsa da aslında ikisini birbirinden ayırt etmek gerekir. Yüz ifadesi tanıma, tamamen görsel bilgilere dayanan yüz hareketlerinin analizi ve yüzdeki şekilsel değişimlerin sınıflandırılması ile ilgili iken; insan duyguları birçok farklı faktörün sonucudur. Ayrıca insan duyguları jestler, ses, bakışların yönü, poz ve yüz ifadeleri gibi farklı kanallarla ortaya çıkabilir ya da hiç çıkmayabilir [6]. Ayrıca, duygu tanıma, yüz ifadesi tanımanın aksine, bir yorumlama girişimidir ve genellikle tam bağlamsal bilginin kullanılabilirliği ile birlikte belirli bir durumun anlaşılmasını gerektirir [6].

Yüz ifade analizi; ilk olarak yüzün bulunması, daha sonra yüz görüntüsünden yüz ifadelerine ait özniteliklerin çıkartılması ve son olarak da yüz ifadesinin tanınması olmak üzere 3 temel adımdan oluşmaktadır. İlk adımda yüz bulma işlemi; giriş görüntülerinde yüzün tespit edilmesi veya görüntü dizilerinde, ilk karede yüzün algılanarak kalan karelerde yüzün izlenmesi şeklinde olmaktadır. Yüz bulunduktan sonra, yüz ifadesini tanımlayabilmek için yüz ifadelerine ait öznitelikler çıkartılır. Yüz ifadeleri,

yüzün özellikle belirli bölgelerinde oluşan biçimsel değişimler ile ortaya çıkmaktadır. Bir ya da daha fazla yüz kasının kasılmasıyla; kaşlar, göz çevreleri, burun, dudak ve çene bölgeleri ile yüz derisinde oluşan bu geçici değişimlerin belirlenmesi ve ölçülmesi yüz ifadelerini tanıma çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Yüz özniteliklerini belirlemek için geometrik-tabanlı ve görünüm-tabanlı olmak üzere literatürde çoğunlukla kullanılan iki popüler yöntem vardır [7]. Ayrıca geometrik ve görünüm tabanlı yaklaşımların birlikte kullanıldığı hibrit yöntemler de mevcuttur [8, 9]. Yüz ifadesi analiz çalışmalarının son aşamasında, belirlenen yüz ifadesi özniteliklerine göre yüz ifadesi tanıma ya da sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir.

Yüz ifadelerinin incelenmesi; sözlü ve sözsüz iletişim, psikolojik araştırmalar, insan-bilgisayar etkileşimi, tıp, sanal gerçeklik, bilgisayarlı görü ve akıllı sistemler gibi birçok alanda önemli bir yer tutmaktadır. Literatürde; şizofreni hastalarının ruhsal durumlarının belirlenmesinde [10-12], hırsızlara ve kötü niyetli kişilere karşı güvenliği sağlamada [13, 14], yeni doğan bebekler için ağrı tespitinde [15, 16] yüz ifadeleri kullanılmıştır. Ayrıca sürücülerin yorgunluk ve uykulu olma durumlarının algılamasında [17], güvenli sürüş davranışlarının tahmin edilmesinde [18] ve otomatik müzik çalma listesi oluşturmada [19, 20] yüz ifadelerini kullanan çalışmalar vardır. Bu çalışmada, yüz ifade analizi ile ilgili detaylı bir tarama gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 2’de yüz ifadelerinin tanınması ile ilgili literatürde yapılan çalışmalara ayrıntılarıyla yer verilmiştir. Yüz ifadesi analiz sistemlerinin genel yapısından Bölüm 3’te bahsedilmiştir. Bölüm 4’te ifade analiz sistemlerinde en çok kullanılan yüz ifadesi veritabanlarından bazıları tanıtılmıştır. Sonuç bölümünde ise yüz ifade analizinin önemine vurgu yapılarak, kullanım alanlarına değinilmiştir. Çalışmamız, bu alanda yapılabilecek yeni çalışmalara kaynak olabilecek niteliktedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI (RELATED WORKS)

Literatürde, yüz ifadelerinin tanınması konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Tablo 1’de, literatürde yapılan bazı çalışmaların karşılaştırması verilmiştir.

Yüz ifadesi analizi ile ilgili çalışmalar 19. yüzyıla dayanmaktadır. Darwin, 1872 yılında doğuştan bazı duygular olduğunu ile sürerek, yüz ifadelerinin evrenselliğini ve sürekliliğini iddia etmiştir [1]. Ekman ve Friesen, 1971 yılında benzersiz yüz ifadeleri ile birlikte her biri kendine özgü içeriğe sahip altı temel duygu olduğundan bahsetmişlerdir [3]. 1978 yılında ise yüz anatomisine dayalı eylem birimlerini (AUs-Action

Units) kullanarak yüz ifadelerini belirlemek için, yüz eylemlerini kodlama sistemi (FACS-Facial Actions Coding Systems) geliştirmişler ve yüzün her bir bağımsız kas aktivitesine karşılık 46 farklı eylem birimi tanımlamışlardır [21]. FACS, yüz kaslarındaki hareketleri temel alarak çalışan objektif bir yöntemdir ve eylem birimlerinin 7.000'den farklı kombinasyonu gözlemlenmiştir [22].

Yüz ifadeleri kodlama sistemi ilk başlarda öngörülen kurallar kümesi takip edilerek elle yapıldığından, oldukça zaman alıcı işlemlerdi. Ekman ve arkadaşları başka bir çalışmada, yüz eylemlerini algılayarak sınıflandıracak otomatik bir yüz ifade analiz sistemi önermişlerdir [23]. Çalışmalarında 150'nin üzerinde eylem birimini ya da kombinasyonunu kullanan 24 farklı denek ile 1100'den fazla görüntü dizisi içeren bir veritabanı oluşturmuşlar ve görüntülerdeki yüz eylemlerini sınıflandırmak için üç farklı yaklaşımı karşılaştırmışlardır: gri-seviye görüntülerin temel bileşenler tabanlı bütüncül mekânsal analizi (holistic spatial analysis based on principal components of gray level images), kırışıklıklar gibi yerel görüntü özelliklerinin kesin ölçümü (explicit measurement of local image features such as wrinkles) ve hareket akışı alanları ile şablon eşleştirme (template matching with motion flow fields). Sonuç olarak bu metotlar ile 6 farklı eylem birimi ve 20 denek içeren bir veri seti üzerinde, sırasıyla %89, %57 ve %85 başarımla elde etmişlerdir. Bu üç metodu birlikte kullandıklarında ise performansı %92'lere kadar çıkarmayı başarmışlardır.

Yacoob ve Davis, görüntü dizilerinden yüz ifadelerinin tanınması amacıyla yüz dinamiklerinin gösterimi ve analizi ile ilgili başka bir yaklaşım sunmuşlardır [24]. Bu yaklaşım, yüzün başlıca bölgelerinin nitel olarak izlenmesine ve yüksek yoğunluklu eğitim noktalarındaki akış hesaplamalarına dayanmaktadır. Çalışmalarında, yüz ifadelerinin neden olduğu hareketlerin yönünü belirlemek için optik akış hesaplaması kullanılmışlardır. Uzamsal ve zamansal hareket alanlarında orta seviyeli sembolik bir gösterim hesaplanmıştır. Sundukları yaklaşım, tek tek nokta hareketlerini izlemeye değil, yüzün belirlenen bölgelerindeki hareket şekillerinin istatistiksel karakterizasyonuna dayalı olduğundan, yüz özelliklerini içine alan dikdörtgenler için bir bölge izleyici geliştirmişlerdir. Her dikdörtgen, ilgili bir özelliği çevrelediğinden, diğer yüz özelliklerinin hareketleri bölge içindeki akış hesaplamalarına karışmamaktadır.

Tsapatsoulis ve arkadaşları zaman sıralı veriler ile başa çıkmak ve zaman ölçeği değişmezliği sağlamak için Saklı Markov Modeli (HMM-Hidden Markov Model) temelli bir ifade tanıma tekniği önermişlerdir [25]. Önerdikleri teknikte, hareket alanının yönlü

filtrelenmesi ve optik akış çıkarımı için bir özellik vektör dizisi kullanılmıştır. Bilinmeyen özellik vektör dizilerini sınıflandırmada uygun bir seçim yapmak için HMM'nin öğrenme yeteneğinden de faydalanmışlardır. Ayrıca duyguların dinamiklerini ve ifadelerin zamanlama karmaşıklığını çözmek için gözlem bağımlı geçiş matrisiyle HMM'yi geliştirmişlerdir. Bu sayede de, Sinir Ağıyla (NN-Neural Network) gerçekleştirdikleri ifade tanıma sistemi ile yetinmeyip bulanık bir sistem aracılığıyla kararlara açıklık getirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarını deneysel olarak test etmek için ise, 3 erkek denek için yüz ifadelerini içeren, saniyede 30 kare (frame) hızında ve maksimum üç saniyelik videolar elde etmişlerdir. Altı farklı yüz ifadesinin her biri için elde ettikleri 30 videonun 3 tanesi Saklı Markov Modeli parametrelerinin başlatılması için, 12 tanesini eğitim amacıyla ve 15 tanesi de test aşamasında kullanılmıştır. Sonuçta genel olarak %82'lik bir tanıma oranı elde etmişlerdir.

Zhang, yaptığı çalışmalar sonucunda iki katmanlı bir algılayıcı (perceptron) mimari içinde özellik tabanlı yüz ifadesi tanıma sistemini sunmuştur [26]. Yüz görüntülerinden çıkarılan bir dizi özelliklerin referans noktalarının geometrik konumlarını ve bu noktalardaki çok ölçekli ve çok yönelimli Gabor dalgacık katsayıları dizisini kullanarak yüz ifadelerini tanımayı amaçlamıştır. Yüz görüntülerinden çıkarılan özelliklerin bu iki farklı kullanımı birlikte olabileceği gibi birbirinden bağımsız olarak da gerçekleştirilebilir. Farklı türdeki özellikleri tanıma performansı karşılaştırıldığında ise; Gabor dalgacık katsayılarının geometrik pozisyonlara göre çok daha güçlü olduğu görülmüştür.

Cohen ve arkadaşları çalışmalarında, zamansal işaretleri kullanarak gerçek zamanlı giriş videolarından yüz ifadelerini otomatik olarak tanımaya odaklanmışlar ve video görüntülerinden yüz ifadelerinin otomatik olarak bölütlenmesi ve tanınması için yeni bir HMM mimarisi önermişlerdir [27]. Bu mimarideki yenilik, yüz ifadelerini bölütleme ve tanınma işlemlerinin otomatik olarak çok seviyeli HMM (multilevel HMM) kullanılarak yapılmasıdır. Önerilen mimarinin ilk seviyesi, farklı duygular ile ilgili bağımsız HMM'lerden oluşmaktadır. Sonuçta bu HMM'lerin çıkışlarını değerlendirmek yerine, HMM'lerin durum dizisi daha yüksek seviyedeki HMM'lerin girişi olarak kullanılır. Bu işlem aynı zamanda farklı sınıflar arasındaki ayırım gücünü de artırmaktadır. Çalışmanın testleri kişi-bağımlı ve kişi-bağımsız olmak üzere iki farklı şekilde yapılmıştır. Beş kişilik bir veritabanı üzerinde kişi bağımlı test için daha yüksek tanıma oranı elde edilmiştir.

Göktürk ve arkadaşları yüz ifadelerinin tanınması için varsayıma dayalı olmayan, görünüm-bağımsız güçlü bir yöntem önermişlerdir [28]. Daha önceki çalışmalarda yüz ifadesi tanıma sistemlerinin çoğunda kullanıcı kamera karşısına geçtiği zaman sadece 3D kafa pozları değişmediğinde yüksek tanıma oranlarına ulaşılmıştır. Önerdikleri bu yöntemde ifade tanıma sistemi, görüntü dizisinin her karesindeki yüzün şekil ve pozunu eş zamanlı olarak elde etmek için yeni bir 3D model tabanlı izleyici kullanmaktadır. Çalışmanın literatüre en büyük katkısı, baş hareketlerindeki dönme ve ötelemelere rağmen 3D izleme sayesinde 3D bilgilerin çıkarılması ve gürbüz bir yüz ifade tanıma sisteminin gerçekleştirilmesidir. Ayrıca Destek Vektör Makinelerinin (SVM-Support Vector Machine) güçlü bir sınıflandırma için uygun bir metot olduğu görülmüştür. Sonuçta, beş farklı dinamik yüz hareketlerini (normal, ağız açma/kapama, kaş yükseltme, gülümseme) sınıflandırmada %91 gibi yüksek bir tanıma oranı elde edilmiştir.

Silva ve Hui yüz özelliklerinin çıkarımı ve duygu tanıma sisteminin gerçek zamanlı uygulama detayları üzerine çalışmışlardır [29]. Önerdikleri yöntemde, yüz özelliklerinin yerel hareket vektörlerini hesaplamak için kenar sayma ve görüntü korelasyon optik akış teknikleri; insanın duygusal durumunun belirlenmesini için de bir Sinir Ağı kullanılmaktadır. Çalışmanın ana hedefi ise, yüz ifadesi tanıma sisteminin gerçek zamanlı uygulanması olarak vurgulanmıştır. Bu nedenle geleneksel çevrimdışı (off-line) hesaplamalarda kullanılan teknikler, gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılmak üzere iyileştirilmiştir. Web kamera ile 320x240 çözünürlükte saniyede maksimum 11.1 kare işlem hızına ulaşılmıştır.

Feng ve arkadaşları, görüntülerden yüz ifadelerini tanımak için yeni bir yaklaşım önermişlerdir [30]. İlk olarak yüz görüntülerini etkin bir şekilde ifade etmek için Yerel İkili Örüntü (LBP-Local Binary Pattern) operatörünü kullanmışlar, daha sonra Lineer Programlama (LP-Linear Programming) tekniğini yüz ifadelerini sınıflandırmak için uyarlamışlardır. Lineer programlama tekniği esas alınarak 21 sınıflandırıcı ortaya konmuştur ve sınıflandırma bir ikili ağaç turnuva şeması ile gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma yaparken öfkeli, iğrenmiş, korkmuş, mutlu, üzüntülü, şaşkın ve normal olarak yedi farklı yüz ifadesini kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar ile Japon Kadın Yüz İfadesi (JAFFE-Japanese Female Facial Expression) veritabanında ortalama %93.8 doğru tanıma oranı elde edilmiştir.

Lajevardi ve Lech görüntü kareleri dizilerinden yüz tanıma, maksimum uyarılma algılama, özellik çıkarımı, optimum özellikler seçimi ve yüz ifadesi tanıma modüllerine sahip tam otomatik bir ifadesi tanıma

sistemi önermişlerdir [31]. Önerilen sistemde kullanılan yüz tanıma modülü Haar-like özellikleri ve AdaBoost algoritmasına dayanmaktadır. Yüz tanıma işleminden sonra, görüntü kareleri arasındaki karşılıklı bilgi kullanılarak maksimum uyarılma seviyesiyle (duygu yoğunluğu) görüntü karelerinin çıkarılması gerçekleştirilmiştir. Daha sonra seçilen kareler, MIFS (Mutual Information Feature Selection) algoritmasını kullanan optimal bir özellik seçim süreciyle birlikte log-Gabor filtreleme yöntemine dayalı karakteristik özellikleri oluşturmak için işlenir. Son olarak da görüntülerdeki yüz ifadeleri Naive Bayesian (NB) sınıflandırıcı kullanılarak sınıflandırılır. Önerilen sistem öfke, iğrenme, korku, mutluluk, üzüntü ve şaşkınlık gibi altı ifadeyi otomatik olarak tanıyabilmektedir ve Cohn-Kanade veritabanından görüntü dizileri kullanılarak test edilmiştir. Optimize olmayan özellikler için %68.9 olan doğru sınıflandırma yüzdesi, optimize özellikler ile birlikte %79.5'lere çıkmıştır.

Martins ve arkadaşları otomatik yüz ifadesi tanıma için Aktif Görünüm Modeli (AAM-Active Appearance Model) ve Lineer Diskriminant Analizini (LDA-Linear Discriminant Analysis) birleştiren bir sistem sunmuşlardır [32]. Önerdikleri sistemde ilk olarak bir AAM modeli ile insan yüzü tanımlanmaktadır. Daha sonra ise farklı ifade kategorilerini belirtmek için LDA kullanılarak tanımlanan her bir görünüm vektörü Fisher uzayına yansıtılmıştır. Son olarak yüz ifadelerini sınıflandırmada da Malahanobis mesafesi esas alınmıştır. AAM, bir eğitim görüntü setinde ve görüntüler arasındaki korelasyon içinde gözlemlenen şekil ve doku değişimleri temsil eder. LDA ise, sınıflar arasındaki ayırt edilebilirliği en yüksek düzeye çıkaran en belirgin özellikleri elde etmek için yapılır. İki tekniğin birleştirilmesi ile sınıf içi varyans en aza indirilirken sınıflar arası varyans artırılmıştır. Çalışmada, AAM oluşumu sırasında veya LDA süresince ortaya çıkan varyasyon modlarının sınıflandırma performansına etkisi üzerine de testler gerçekleştirilmiştir. Testleri gerçekleştirebilmek için yedi farklı yüz ifadesi gösteren 21 bireyin 640x480 çözünürlüğünde yüz görüntüleri ile bir ifade veritabanı oluşturulmuştur. Öncelikle farklı yüz ifadesine sahip yüz modellerinden elde edilen ayırt edici özelliklerin sayısı değiştirilerek ayırt etme niteliği değerlendirilmiştir. Ayırt etme metrik çıkışı K-Ortalamlar Kümeleme (K-Means Clustering) sonucuna bağlı olduğundan, bu testler 250 kez tekrarlanmıştır. Sonuç olarak en iyi genel sınıflandırmalar %99 AAM varyansında ve 4 LDA modunda elde edilmiştir. Ayrıca sınıflandırma sonuçları incelendiğinde öfke ve iğrenme ile normal ve üzüntülü ifadeler arasında bir karışıklık olduğu görülmüştür. Bu durum, bu iki çift yüz ifadesi arasında bir görünüş ilişkisi olduğunu düşündürmektedir.

Video tabanlı yüz ifadeleri tanıma sisteminde doku özellikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü doku özelliklerinin çıkarılması ile cilt deformasyonu ortaya çıkan görüntü yoğunluk değişiklikleri yakalanabilir. Fakat mevcut doku özelliklerinde, aklık derecesi (albedo) ve aydınlatma varyasyonu ile ilgili sorunlarla karşılaşılabilir. Her iki sorunu da çözmek için Song ve arkadaşları, görüntü oran özellikleri olarak adlandırılan yeni bir doku özelliği önermişlerdir [33]. Ayrıca görüntü oran özelliklerine dayanan yüz ifadesi tanıma doğruluğunu artırmak için, yüz özellik noktalarının geometrik hareketlerini açıklayan yüz animasyon parametrelerini (FAP-Facial Animation Parameter) görüntü oranı özellikleri ile birleştirilmiştir. Önerilen bu yöntemin, yüksek eğitim bileşeni özellikleri gibi daha önce önerilen doku özellikleri ile karşılaştırıldığında, aklık derecesi (albedo) ve aydınlatma varyasyonu ile ilgili sorunlara karşı daha güçlü olduğu vurgulanmıştır. Görüntü oranı özellikleri ve FAPS kombinasyonu da özelliklerin ayrı ayrı kullanımına göre çok daha iyi sonuç vermiş ve ayrıca asimetric yüz ifadeleri işlemede etkili bir yöntem olmuştur. Performans değerlendirmeleri Cohn-Kanade ve JAFFE veritabanları kullanılarak yapılmıştır.

Oliveira ve arkadaşları yüz görüntülerinden özellik çıkarımı için İki Boyutlu Temel Bileşen Analizi (2DPCA-Two Dimensional Principal Component Analysis) yöntemini kullanmışlardır [34]. 2DPCA yönteminde geleneksel Temel Bileşen Analizi (PCA-Principal Component Analysis) yönteminden farklı olarak, tek boyutlu (1D) vektörler yerine iki boyutlu (2D) matrisler kullanılır ve görüntü matrisinin bir vektör içine dönüştürülmesi gerekmez. Ayrıca, 2DPCA ayırt ediciliği çok yüksek özellikler sağlar. Fakat bu durumda çok sayıda gereksiz katsayının maliyeti ortaya çıkmaktadır. Katsayıları analiz ederek gereksiz olanları çıkarmak için bu çalışmada kullanılan çok amaçlı genetik algoritmaya dayalı bir özellik seçim algoritması, katsayıları önemli ölçüde azaltarak aynı zamanda tanıma oranını artırmıştır. Sonuç olarak özellik seçim algoritmasıyla birlikte kullanılan 2DPCA yöntemin etkinliğini göstermek için k-En Yakın Komşular (kNN, k-Nearest Neighbors) ve Destek Vektör Makinesi (SVM, Support Vector Machine) olmak üzere iki farklı sınıflandırıcı kullanılmış ve ifadeleri sınıflandırmada sırasıyla %91 ve %94 başarımlar sağlanmıştır.

Kazmi ve arkadaşları Ayrık Dalgacık Dönüşüm (DWT-Discrete Wavelet Transform) özelliklerini yedi paralel SVM içeren bir bankaya sağlayarak yüz görüntülerinden yüz ifadelerinin otomatik olarak tanınması için bir yöntem önermişlerdir [35]. Bu yöntemde ilk olarak, yüz görüntülerinden ilgili bölge (ROI-Region of Interest) bulunarak üç seviyeli 2D Ayrık Dalgacık ayrıştırması ile özellikler çıkarılır ve temel bileşenler analizi ile

boyut indirgeme yapılır. Veritabanındaki her bir görüntü için özellik seti hesaplanır ve bu özellikler yedi tane SVM'si olan bir bankaya temin edilir. Buradaki her SVM belirli bir yüz ifadesini tanımak için eğitilmiştir. İkili sınıflandırma gerçekleştiren SVM'ler bire-karşı-hepsi (one-against-all) yaklaşımı ile birleştirilerek çoklu sınıflandırma elde edilir. Daha sonra tüm SVM'lerin çıkışı bir maksimum fonksiyonu kullanılarak kombine edilmiştir. Çalışmanın sınıflandırma verimliliği JAFFE veritabanı kullanılarak test edilmiştir. Veritabanındaki 10 farklı kişiye ait toplam 150 yüz görüntüsünden 112 tanesi eğitim kalan 38 tanesi test amaçlı kullanılmıştır. Tüm testler doğru sınıflandırma oranlarını hesaplamak için 100 kere tekrarlanmış ve sonuçlar maksimum, medyan ve ortalama kurallarına göre sıralanmıştır.

Farahani ve arkadaşları farklı yaş gruplarındaki göz ve ağız özelliklerinden duygu tanınması için bulanık tabanlı yeni bir yöntem sunmuşlardır [36]. Farklı renk alanlarının birleşiminden gözleri ve ağız algılandıktan sonra bulanık analizleri için dört parametre seçilmiştir. Bu parametreler gözün açık olması, ağzın açık olması, göz açıklık/genişlik oranı ve ağız genişliği olarak belirlenmiştir. Daha sonra Mamdani yöntemi kullanılarak yüz özellikleri ve onların duygu uzayındaki karşılıkları kodlanmıştır. Bu yöntem ile Ebner'in yüz ifadesi veritabanı üzerinde ortalama %78.8 doğruluk oranı elde edilmiştir. Ayrıca önerilen yöntem, Cohn-Kanade veritabanını kullanılan Yerel İkili Örüntü (LBP-Local Binary Pattern), Destek Vektör Makineleri (SVM-Support Vector Machine), AdaBoost ve Yükseltilmiş LBP (Boosted-LBP) ile karşılaştırılmıştır. Mutluluk, korku ve üzüntü ifadeleri için en iyi sonuçlar önerilen yöntemde elde edilmesine rağmen normal ve iğrenme ifadeleri için sonuçlar diğer yöntemlere kıyasla daha düşük kalmıştır.

Chen ve Cheng yüz ifadesi tanıma için kenar algılama algoritmasına dayalı bir yöntem kullanmışlardır [37]. Bu çalışmada, ten rengi modeli ile bulunan yüz görüntülerindeki gözler ve dudak tespit edilerek işaretlenmiş ve kenar şekil özellikleri çıkarılmıştır. Kenar belirleme için yaygın olarak kullanılan Canny, Laplace, Sobel ve Robert operatörleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Canny operatörü kenar belirlemede karmaşık, Robert operatörü basit, Laplace ve Sobel operatörleri ise belirsizdir. Sistem JAFFE veritabanı kullanılarak seçilen yüz görüntüleri ile eğitilmiş ve test edilmiştir. Mutluluk, normal, üzüntü ve şaşırma ifadelerini tanımak için yapılan test sonuçlarına göre en yüksek değerler Canny operatörü ile elde edilmiştir. Gözlerin ve dudakın ana hatlarının net olarak tespit edilebilmesi, öncelikle yüz bulma doğruluğuyla ilgili olmakla birlikte, hassas ve anti-gürültü yeteneğine sahip iyi bir kenar algılama operatörü seçimiyle de doğrudan ilgilidir.

Neoh ve arkadaşları katmanlı kodlama kaskad optimizasyon modeli ile yüz ifadesi tanıma sistemi üzerinde çalışmışlardır [38]. Etkili bir yüz gösterimi duygu tanıma başarısı için önemli bir aşama olduğundan, çalışmalarında ilk olarak geliştirilmiş Yerel Gabor İkili Desen (Local Gabor Binary Pattern) operatörünü yüz temsili elde etmek için kullanmışlardır. Ayrıca sistemlerindeki katmanlı kaskad modeli altında, özellik optimizasyonu için evrimsel algoritmalar olan Doğrudan Benzerlik ve Pareto-Tabanlı Özellik Seçimi algoritmalarını önermişlerdir. Doğrudan Benzerlik özellik seçimi, minimum sınıf içi varyasyonunu veren aynı duygu kategorisi içindeki özellikleri göz önünde bulundurur. Pareto-tabanlı özellik optimizasyonunda ise her bir ifade kategorisini en iyi şekilde temsil eden ve aynı zamanda diğer ifadeler ile en belirgin farkları ortaya koyan özellikler üzerinde durur. Seçilen optimize özelliklere dayalı yedi farklı yüz ifadesinin tanınması için hem Sinir Ağı, hem

de ağırlıklı oy çokluğu ile topluluk sınıflandırıcı (ensemble classifier with weighted majority vote) teknikleri kullanılmıştır. Topluluk modeli aynı zamanda verilerdeki en son kavramlar ile kendini güncellemektedir. Cohn-Kanade veritabanı ile değerlendirilen sistem; doğrudan benzerlik tabanlı optimizasyon için %96,8, Pareto-tabanlı özellik seçimi için %97,4 doğruluk oranları ile literatürdeki diğer araştırmaları geride bırakmıştır. Ayrıca sistem verimliliğini kanıtlamak için MMI veritabanından ön cepheden alınan yüz görüntüleri ile çapraz veritabanı değerlendirmesi yapılmıştır. MMI veritabanı ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, Pareto-tabanlı yaklaşım için %97,5, doğrudan benzerlik tabanlı özellik seçimi için %90,7 doğrulukta ifade tanıma oranları görülmektedir. MMI veritabanındaki videolardan çıkartılan 90° yandan görünüm yüz görüntüleri için ise, her iki optimizasyon algoritmasında da %80'in üzerinde doğruluk ile üstün performans elde edilmiştir.

Tablo 1. Literatürdeki çalışmaların karşılaştırılması (Comparison of related works)

Yıl (Year)	Yazarlar (Authors)	Özellik Çıkarımı (Features Extraction)	Sınıflandırma (Classification)
1996	Y. Yacoob, L. S. Davis [24]	Optik akış hesaplama (Optical flow computation)	İstatistiksel karakterizasyon (Statistical characterization)
1998	N. Tsapatsoulis, M. Leonidou, S. Kollias [25]	Yüz bölütleme, hareket alanının yönlü filtrelenmesi, hareket vektörlerinin enerjisi (Face segmentation, directional filtering of the motion field and energy of motion vectors)	Gözlem bağımlı geçiş matrisiyle geliştirilmiş Saklı Markov Modeli (Enhanced HMM with an observation dependent transition matrix)
1999	Z. Zhang [26]	Geometrik konumlar ve çok ölçekli, çok yönelimli Gabor dalgacık katsayıları (Geometric positions and multi-scale and multi-orientation Gabor wavelet coefficients)	2-katmanlı algılayıcı (Two-layer perceptron)
2000	I. Cohen, A. Garg, T. S. Huang [27]	Yüz izleme ve Eylem Birimi ölçümleri (Face tracking and AUs measurements)	Çok seviyeli Saklı Markov Modeli (Multilevel HMM)
2002	S. B. Gokturk, J. Bouguet, C. Tomasi, B. Girod [28]	3D model tabanlı izleyici (3D model-based tracker)	Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine-SVM)
2003	L. C De Silva, S. C. Hui [29]	Kenar belirleme ve görüntü-korelasyon optik akış (Edge detection and image-correlation optical flow)	Sinir Ağı (Neural Network-NN)
2005	X. Feng, M. Pietikäinen, A. Hadid [30]	Yerel İkili Örüntü operatörü (Local Binary Pattern operator-LBP)	Lineer Programla tekniği (Linear Programming technique-LP)
2008	S. M. Lajevardi, M. Lech [31]	MIFS	Naive Bayesian (NB)
2008	P. Martins, J. Sampaio, J. Batista [32]	Aktif Görünüm Modeli (Active Appearance Model-AAM)	Lineer Diskriminant Analizi ve En Yakın Komşu Algoritması (Linear Discriminant Analysis-LDA and Nearest-Neighborhood Algorithm)

2010	M. Song, D. Tao, Z. Liu, X. Li, M. Zhou [33]	Görüntü oran özellikleri ve yüz animasyon parametreleri (Image ratio features and Facial Animation Parameters-FAPs)	Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine-SVM)
2011	L. S. Oliveira, A. L. Koerich, M. Mansano, A. S. Britto [34]	İki Boyutlu Temel Bileşen Analizi (Two Dimensional Principal Component Analysis-2DPCA)	K-En Yakın Komşular ve Destek Vektör Makinesi (k-Nearest Neighbors-kNN and SVM)
2011	S. B. Kazmi, Q. Ain, M. A. Jaffar [35]	3 seviyeli 2D Ayrık Dalgacık Dönüşümü (3-level 2D Discrete Wavelet Transform-DWT)	Destek Vektör Makinesi Bankası (SVM Bank)
2013	F.S. Farahani, M. Sheikhan, A. Farrokhi [36]	Kenar belirleme ve morfolojik işlemler (Edge detection and morphological operations)	Mamdani Bulanık-tabanlı metot (Mamdani Fuzzy-based method)
2015	X. Chen, W. Cheng [37]	Kenar belirleme (Edge detection)	Veri tabanındaki ifadelerle karşılaştırma (Comparing with the expressions in the database)
2015	S. C. Neoh, L. Zhang, K. Mistry, M. A. Hossain, C. P. Lim, N. Aslam, P. Kinghorn [38]	Yerel Gabor İkili Örüntü, doğrudan benzerlik ve Pareto-tabanlı özellik seçimi (Local Gabor Binary Pattern, direct similarity and Pareto-based feature selection)	Sinir Ağı ve topluluk sınıflandırıcı (Neural Network and ensemble classifier)

3. OTOMATİK YÜZ İFADE ANALİZİ (AUTOMATIC FACIAL EXPRESSION ANALYSIS)

Yüz ifadeleri; kozmetik ürünler, sakal-bıyık, saç ve gözlük gibi yüzün bir kısmını kapatan nesnelere ya da cinsiyet, yaş, etnik köken gibi farklılıklardan dolayı kişiden kişiye büyük ölçüde farklılık gösterebileceğinden otomatik yüz ifade analizi karmaşık bir işlemdir. Ayrıca yüzler, çoğu zaman poz ve aydınlatma farklılıkları nedeniyle de olduğundan daha başka görünebilir. Bununla birlikte görüntünün elde edilmesi, boyut ve çözünürlük gibi problemler de yüz ifadelerinin tanınmasını zorlaştırabilmektedir. Bu gibi çeşitli varyasyonların otomatik yüz ifade analizi sisteminin değişik aşamalarında ele alınması gerekmektedir [6].

Bütün yüz ifade analizi sistemlerinde, ifadeyi belirli bir duygunun içine sınıflandırmadan önce gerçekleştirilmesi gereken temel adımlar vardır. Bunlardan ilki, görüntü veya görüntü dizilerinden yüzün belirlenmesi veya izlenmesi işlemidir [39]. Yüz görüntüleri, yüz analizi sırasında poz, ölçek ve aydınlatma faktörü gibi istenmeyen durumları ortadan kaldırmak için bazı ön işlemlerden geçirilerek normalize edilir [40]. Yüz belirlendikten sonra ise yüz ifadesini oluşturan yüz özniteliklerinin çıkarılması ya da yüzdeki kas veya görünüm değişimlerinin izlenmesi ve bu değişimlerin ifade edilmesi gerekmektedir. Son olarak da yüz görüntülerinden elde edilen özellik seti yüz

ifadelerini tanımlamak için uygun algoritmalar kullanılarak sınıflandırılır [39]. Yüz ifade analizinin genel yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Yüz ifade analizi sisteminin temel yapısı (Basic structure of facial expression analysis)

Yüz ifade analizi sistemlerinde yüz görüntüsü çeşitli şekillerde ifade edilebilir. Eğer yüz görüntüsü bir bütün olarak temsil ediliyorsa bütünsel gösterim (holistic representation), bir dizi olarak temsil ediliyorsa analitik gösterim (analytic representation) olarak adlandırılır. Hibrit yaklaşım olarak da yüz, bütünsel ve analitik gösterimin bir kombinasyonu olarak temsil edilebilmektedir [41]. Yüz ifadeleri; ağız, burun, gözler ve kaşlar gibi yüz ifadesini oluşturan belirgin yüz özelliklerinin geçici değişimleri (deformation) ile oluşmaktadır. Statik yüz görüntülerinden yüz ifade bilgilerini çıkarma işlemi yüzün ve yüz özelliklerinin yerinin belirlenmesi ile başlarken görüntü dizilerinde bu işlem yüz ve yüz özelliklerinin belirlendikten sonra izlenmesi ile ilgilidir. Sonuç olarak yüz ifade analizi sistemlerinde yüz gösterimi ve giriş görüntülerinin türü yüz ifade bilgilerinin otomatik olarak elde edilmesi için kullanılacak mekanizmaların seçimini belirlemektedir.

3.1. Yüz Belirleme ve İzleme (Face Detection and Tracking)

Yüz belirleme, giriş görüntülerinden otomatik olarak yüz bölgesinin bulunması için gerçekleştirilen bir işlem aşamasıdır. Yüz izleme ise görüntü dizilerinin ilk karesinde yüzün tespit edilmesine ve kalan diğer görüntü karelerinde de yüzün izlenmesine dayanmaktadır. Yüz ifade analiz sistemlerinde ifadelerinin sınıflandırılabilmesi, görüntülerdeki yüz bölgesinin doğru olarak tespit edilebilmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu yüzden kullanılan yüz belirleme ya da izleme algoritmaları en az ifade sınıflandırmada kullanılan yöntemler kadar önem taşımaktadır. Literatürde yüz tespiti üzerine farklı algoritma ve yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır [42-49]. Yüz belirleme yöntemleri genel olarak bilgi, öznitelik, şablon ve görünüm tabanlı yöntemler olmak üzere dört kategori içinde sınıflandırılmaktadır [50].

Bilgi tabanlı yöntemler; yüz bilgisinin kodlanmasındaki kurallara dayanmaktadır. Bu kurallar genellikle yüz özellikleri arasındaki ilişkiler ele alınarak oluşturulur. Örneğin bir yüz görüntüsü en genel ifadesiyle birbirine simetrik olan iki göz, iki gözün ortasında kalan bir burun ve ağız olarak ifade edilebilir. Gözler, burun ve ağız konumları ve arasındaki mesafeler yüzü tespit etmek için kodlanacak ilişkiler olarak kullanılabilir.

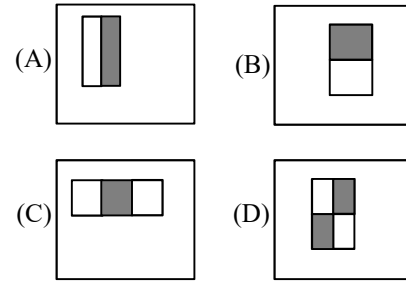
Öznitelik tabanlı yöntemler; yüz görüntülerindeki poz, bakış açısı ya da aydınlatma koşulları değişse bile değişmeyen yapısal özellikleri bulmayı amaçlamaktadır. Değişmeyen yüz özniteliklerini belirleyerek görüntüde yüz olup olmadığı hakkında çıkarım yapmak için çok sayıda yöntem ileri sürülmüştür. Bazı yöntemlerde kaşlar, gözler, burun, ağız ve saç çizgisi gibi yüz nitelikleri kenar algılayıcılar kullanılarak çıkarılır. Daha sonra çıkarılan özellikler arasındaki ilişkiyi tanımlamak ve bir yüz olup olmadığını doğrulamak için istatistiksel model oluşturulur. Bazı yöntemlerde ten rengi de özellik olarak kullanılmıştır.

Şablon eşleme tabanlı yöntemler; genellikle önceden tanımlanmış standart bir ön cephe yüz şablonuna ya da yüz şablonunun bir fonksiyon ile ifade edilmesine dayanmaktadır. Yüz şablonu bir bütün olarak tanımlanabildiği gibi yüz özelliklerinin ayrı ayrı şablonlarda tanımlanması da mümkündür. Yüz tespiti için giriş görüntüsü ile oluşturan şablon ya şablonlar arasındaki korelasyon hesaplanır ve korelasyon değerlerine göre yüz olup olmadığına karar verilir.

Görünüm tabanlı yöntemler; yüz modellerinin görüntü eğitim setlerinden öğrenilmesini esas alarak çalışır. Eğitim setlerinden öğrenilen karakteristikler genellikle

dağılım modelleri ya da diskriminant fonksiyonları şeklinde ifade edilmektedir. Bu aşamada hesaplama verimliliğini artırmak ve yüz algılama etkinliğini sağlamak için boyut azaltma algoritmaları uygulanmaktadır. Yüz olan ve yüz olmayan görüntülerinin ilgili karakteristik özelliklerini bulmak için ise istatistiksel analiz ve makine öğrenmesine dayanan teknikler kullanılır.

Yüz belirleme çalışmalarında literatürde en çok kullanılan yüksek performanslı yöntemlerden birisi Viola-Jones algoritmasıdır. 2004 yılında Viola ve Jones, ön cepheden olan yüz görüntülerini algılamak için Haar dalgacık şablonlarına benzeyen dikdörtgen özellikleri kullanarak, öğrenme algoritması temelli oldukça hızlı sonuç verebilen ve güvenilir bir yüz belirleme yöntemi geliştirmişlerdir [51]. Şekil 2'de çalışmalarında kullandıkları iki-dikdörtgen, üç-dikdörtgen ve dört-dikdörtgen özelliklerine ait alt pencereler gösterilmektedir.



Şekil 2. Dikdörtgen özellikler (Rectangle features) [51]

Şekil 2'nin (A) ve (B) alt pencerelerinde gösterilen iki-dikdörtgen özelliğinin değeri, dikdörtgen bölgelerin kendi içindeki piksellerin toplamı arasındaki farka eşit olurken; (C) alt penceresinde gösterilen üç-dikdörtgen özelliğinin değeri, dıştaki iki dikdörtgen bölgenin piksel toplamının merkezdeki dikdörtgen içindeki piksellerin toplamından çıkarılmasıyla elde edilir. Şekil 2'nin (D) alt pencerelerinde gösterilen dört-dikdörtgen özelliğinin değeri ise çapraz dikdörtgen çiftleri arasındaki fark kullanılarak hesaplanır. Dikdörtgen özelliklerin yüz görüntüsü üzerinde kullanımı Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3. Dikdörtgen özelliklerin yüz görüntülerine uygulanması (Implementation of the rectangular features on facial images) [51]

Viola ve Jones, dikdörtgen özelliklerini çok hızlı bir şekilde hesaplamak için “integral görüntü (integral image)” olarak adlandırdıkları bir ara görüntü temsili tanımlamışlardır [51]. Integral görüntüyü kullanarak geliştirdikleri yöntem görüntüdeki piksel değerlerinin toplamlarına dayanmaktadır. Şekil 4’de bir integral görüntünün hesaplanması gösterilmiştir. Elde edilen integral görüntüdeki her bir piksel, kendisinin solunda ve yukarısında bulunan tüm piksel değerlerinin toplamından oluşmaktadır. Örneğin 1 konumdaki integral görüntünün değeri A bölgesindeki piksellerin toplam değerine eşit olurken 2 konumdaki integral görüntünün değeri A ve B bölgelerindeki piksellerin toplam değerine eşit olmaktadır. Benzer şekilde 3 konumdaki integral görüntünün değeri A ve C bölgelerindeki toplam piksel değerinde, 4 konumdaki integral görüntünün değeri ise A, B, C ve D bölgelerindeki toplam piksel değerine eşittir.

Viola-Jones algoritmasında, yeni bir görüntü gösterimi olan integral görüntü hesaplandıktan sonra, potansiyel özelliklerin çok geniş bir kümesinden daha az sayıda olan en önemli görsel özellikleri seçmek için AdaBoost öğrenme algoritması kullanılarak basit ve etkili bir sınıflandırıcı inşa edilmiştir [51]. AdaBoost algoritmasının amacı, eğitim seti üzerindeki örneklerden hesaplanan bir D dağılımına bağlı olarak, zayıf sınıflandırıcılar oluşturmaktır. D dağılımı algoritmanın eğitim setindeki her bir örneğe karşılık verdiği katsayılar kümesidir. Algoritma her bir eğitim örneği için eşit bir D dağılımı oluşturarak çalışmaya başlar. Her iterasyonda sınıflama performansı göz önüne alınarak en iyi zayıf sınıflayıcı bulunur ve ağırlıklar güncellenerek bir olasılık dağılım fonksiyonu oluşturulur. Sonraki iterasyonlarda aynı işlemler tekrarlanır ve belirli sayıda iterasyon sonucunda bulunan en güçlü zayıf sınıflayıcılar bir araya getirilerek güçlü bir sınıflayıcı oluşturulur [52]. Viola-Jones algoritmasının bir sonraki aşamasında ise sınıflayıcıları art arda birleştiren “kaskat (cascade)” bir yapı kullanılır. Bu yapı, görüntünün arka planının çıkarılarak yüz olması muhtemel bölgelerde daha fazla hesaplama yapılmasına olanak sağlar ve bu sayede de görüntüde yüz olma olasılığı yüksek olan bölgelere odaklanan detektörün hızını ciddi bir şekilde artırılmış olur [51]. Viola ve Jones, Haar-benzeri özellikleri ve kaskat hızlandırmayı birlikte kullanarak yüz belirleme çalışmalarında önemli bir aşama kaydetmişlerdir.

Yüz izleme yöntemleri genel olarak üç kategoriye ayrılabilir [53]. Bunlardan ilki başın izlenmesine (head tracking) dayanan yöntemleri içerir. Baş, çevirme (translations) ve dönme (rotations) hareketlerini gerçekleştirebilen katı (rigid) bir nesne olarak algılanır ve hareket takibi yapılır. Yüz özelliklerinin izlenmesini (facial-feature tracking) içeren ikinci kategoride yüz

anatomi ile sınırlı, katı olmayan (non-rigid) yüzeysel değişimler esas alınır. Yüzeysel değişimlere örnek olarak yüz kaslarının konuşmalardan ya da yüz ifadelerinden kaynaklanan kasılma-gevşeme durumlarındaki değişimler verilebilir. Son kategoride ise baş ve yüz özelliklerinin takibini birleştiren yöntemler yer almaktadır. Video dizilerinden yüz özelliklerinin tespiti ve takibi özellikle bilgisayarlı görü (computer vision) alanında en çok araştırılan konulardan biridir ve bu alanda özellikle son 10 yılda yapılmış çok fazla çalışma vardır [54-60].

3.2. Yüz İfadelerine Ait Özelliklerin Çıkarılması (Extraction of Facial Features)

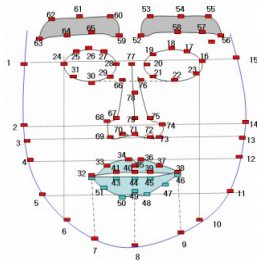
Yüz görüntüleri büyük miktarda veri içerdiğinden, önce bu verileri analiz etmek ve elde edilen somut bilgileri “özellik uzayı (feature space)” olarak adlandırılan veri setleri içine sentezlemek gerekmektedir. Yüz ifade analiz sistemlerinin performansları da oluşturulan özellik uzayı ile doğrudan ilişkilidir. Özellik uzayının amaca yönelik, doğru ve öz verilerden oluşması sistemin performansını iyileştirmekle birlikte güvenilirliğini de artırmaktadır [61].

Yüz ifade analiz sistemlerinde özelliklerin çıkarılma aşamasında, ifadelerinin neden olduğu değişimleri temsil etmek için görüntü veya görüntü dizilerinden yüz özelliklerinin elde edilir. Tek görüntü temelli çalışmalarda, yüz ifadelerine ait karakteristik özellikler belirlenirken; video temelli çalışmalarda bu özellikler ardışık görüntülerde takip edilmekte ve değişimlerin sebep olduğu hareket verileri incelenmektedir [62]. Yüz ifadelerine ait özelliklerin çıkarılmasında Geometrik Özellikler (Geometric Features) ve Görünüm-tabanlı Özellikler (Appearance-based Features) olmak üzere kullanılan 2 temel yaklaşım vardır [63].

Geometrik Özellikler yaklaşımında, yüz ifadelerine ait verileri elde etmek için ağız, göz, kaş ve burun gibi yüz bileşenlerinin şekil ve yer bilgileri kullanılır. Yüz görüntülerinden bu bilgileri elde etmek için ise yüz geometrisinden faydalanılmaktadır. Çünkü ideal bir insan yüzünde, bedeninde olduğu gibi, doğru kabul edilen belirli oranlar vardır. Gözlerin baş yüksekliğinin tam ortasında bulunması; iki göz arasındaki uzaklığın bir gözün uzunluğuna kadar olması ve aynı zamanda bu uzunluğun burun genişliğine eşitliği gibi geometrik oranlar ile yüz yüksekliği/yüz genişliği, ağız uzunluğu/burun genişliği gibi altın oranlar yüz özelliklerinin elde edilmesinde kullanılan oranlardan bazılarıdır [52]. Bu yaklaşıma dayanan yöntemlerde yüz bileşenleri ya da yüz özellik noktaları, yüz geometrisini temsil eden bir özellik vektörü kullanılarak çıkartılır [63]. Geometrik özelliklerin ölçümü genellikle yüz bölgesinin analizine, özellikle de yüz bölgesindeki

önemli noktaları bulunmasına ya da izlemesine bağlıdır ve literatürde bu konuda yapılan çeşitli çalışmalar vardır [64-67]. Yapılan çalışmalarda Aktif Şekil Modeli (ASM-Active Shape Model) [68, 69] ve Optik Akış [70, 71] en çok kullanılan yöntemlerdir.

Aktif Şekil Modelleri, görüntülerdeki istatistiksel olarak modellenmiş nesne şekillerinin sınır noktalarını (nirengi) otomatik olarak bulmayı hedeflemektedir. Yüz modelleme yapılırken ilgili sınır noktaları gözler, kaşlar, burun ve dudak gibi yüz özelliklerinin sınırları boyunca oluşmaktadır. ASM'nin eğitim aşamasında, sınır noktaları elle işaretlenmiş görüntülerden oluşan eğitim setleri kullanılır ve istatistiksel yüz modeli oluşturulur [72]. Şekil 5'te, 79 tane nokta ile sınırları belirlenmiş yüz özelliklerini içeren örnek bir yüz nirengi noktaları şeması görülmektedir.

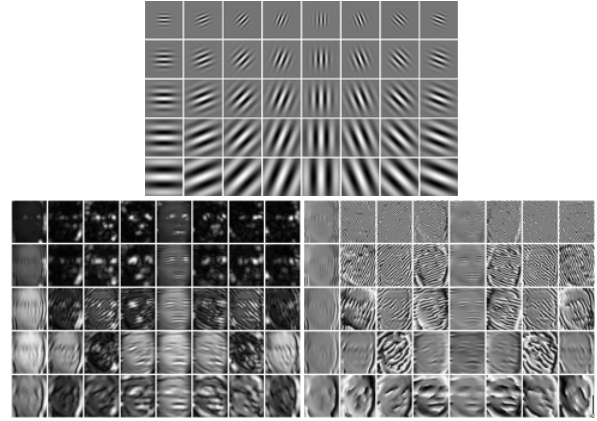


Şekil 4. ASM için örnek yüz nirengi noktaları şeması (Example of face landmarking scheme for ASM) [72]

Görünüm-tabanlı özellikler yaklaşımında, özellikle göz ve ağız çevresinde oluşan izler gibi cilt dokusunda meydana gelen değişimler esas alınır ve yüz dokusu üzerinde görülen bu değişimler ifade sınıflandırma için kullanılır. İlk aşamada yüz görüntülerindeki yüzün tamamından ya da belirli yüz bölgelerinden görünüm özellikleri çıkarılarak bir özellik vektörü oluşturulur [63]. Gabor filtresi [73- 76] veya Yerel İkili Örüntü (LBP) operatörü [30, 38, 77, 78] gibi teknikler yüz görünüm özelliklerini tespit ederek bir özellik vektörü oluşturmak için sıkça kullanılmaktadır. Daha sonra elde edilen özellik vektörü Destek Vektör Makinesi (SVM), Sinir Ağı (NN), Naive Bayesian (NB) gibi sınıflandırma yöntemlerine girdi olarak verilmektedir [79].

Gabor filtreleri görüntü analizinde özellik çıkarımı için kullanılan en önemli tekniklerden biridir. Özellikle yüz ve yüz ifadesi tanıma çalışmalarında yaygın olarak kullanılan Gabor filtreleri bant geçiren bir yapıya sahiptir ve bu filtreler kullanılarak bir görüntü üzerinde belirli bir yöne uzanan ayrıntılar tespit edilebilmektedir. Ayrıca değişik niteliklere sahip özelliklerin elde edilebilmesi için, farklı yönelimlerde (orientation) ve farklı ölçeklerde (scale) çeşitli frekans değerlerine sahip Gabor filtreleriyle bir filtre bankası oluşturulabilir. Bu sayede yüz dokusunun ayrıntılı bir şekilde analiz

edilmesi mümkün olmaktadır [80]. Şekil 5'te sekiz farklı yönelimde, beş farklı ölçekte Gabor filtreleri ve yüz görüntüsü üzerinde uygulanması görülmektedir.



Şekil 5. Gabor filtreleri ve yüz görüntüsüne uygulanması (Gabor Filters and implementation of them on facial image) [81]

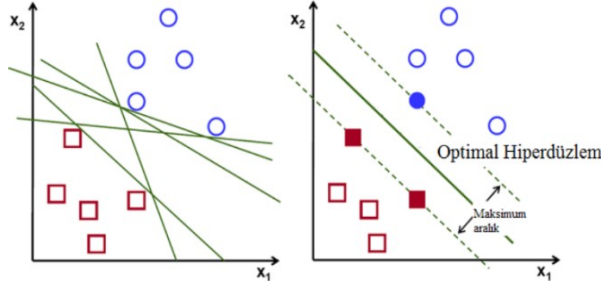
Yüz ifadesi analiz sistemlerinde yüz özelliklerini temsil etmek için, sadece geometrik özellikler ya da sadece görüntüm-tabanlı özellikler kullanılabildiği gibi ikisinin birleşimi olan hibrit özellikler de kullanılabilmektedir [82- 85]. Araştırmalar geometrik özelliklerin ve görünüm-tabanlı özelliklerin birlikte kullanıldığı hibrit özelliklerin özellikle bazı ifadeler için çok daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir [63].

3.3. Yüz İfadelerinin Sınıflandırılması (Classification of Facial Expressions)

Yüz ifade analiz sistemlerinin son işlem bloğunda, yüz ifadelerini tanımlamak için bir önceki aşamada elde edilen yüz ifadelerine ait özellik setleri kullanılır ve özellik verileri arasındaki benzerlikten faydalanarak bir sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir. Destek Vektör Makineleri (SVM), Sinir Ağları (NN), Lineer Diskriminant Analizi (LDA), k-En Yakın Komşular (kNN) ve Saklı Markov Modeli (HMM) gibi çok çeşitli sınıflandırma yöntemleri geliştirilmiştir. Sınıflandırma işlemi denetimli bir eğitim gerektirdiğinden öncelikle etiketli verilerden oluşan bir eğitim seti hazırlanmalıdır. Eğitim seti kullanılarak sınıflandırıcı eğitimi tamamlandıktan sonra sistem, giriş görüntülerindeki yüzlere ifadelerine göre belirli sınıf etiketleri atayarak onları tanımlayabilir [41].

Destek Vektör Makineleri (SVM), istatistiksel öğrenme teorisine dayanan ve sınıflandırma problemlerinde kullanılan en etkili yöntemlerden birisidir. SVM eğitim verilerinin özellik vektörü olarak ifade edilmesiyle çalışmaya başlar. Daha sonra bu özellik vektörlerinin çekirdek fonksiyonları kullanılarak özellik uzayına eşleme yapılır. Son olarak da sınıfları en uygun şekilde birbirinden ayıran n-boyutlu hiperdüzlem oluşturulur.

Ayrıca, sınıfları birbirinden ayırırken olabildiğince geniş bir aralık belirlenerek ayırma işlemi daha doğru bir şekilde gerçekleştirilmektedir [86]. Bu şekilde en uygun hiperdüzlemin belirlenmesiyle test verilerini sınıflandırılma hatası en aza indirilmiş olur. Şekil 6'da SVM'lerin temel çalışma yapısı gösterilmiştir.



Şekil 6. SVM'nin optimal ayırma düzlemi (The optimal separation hyperplane of SVM) [86]

SVM sınıflandırma yöntemi başlangıçta iki sınıflı doğrusal verilerin sınıflandırma problemlerinde kullanılmak üzere tasarlanmış olsa da, daha sonra çok sınıflı ve doğrusal olmayan verilerin sınıflandırma problemleri için geliştirilmiştir ve günümüzde çoklu ifade sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [9, 28, 33-35]. Ayrıca Sinir Ağları [29, 38, 82, 83], Saklı Markov Modeli [25, 27, 64] ve Lineer Diskriminant Analizi [32, 86, 87] ile de çok çeşitli yüz ifadesi sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır.

4. YÜZ İFADE VERİTABANLARI (FACIAL EXPRESSION DATABASES)

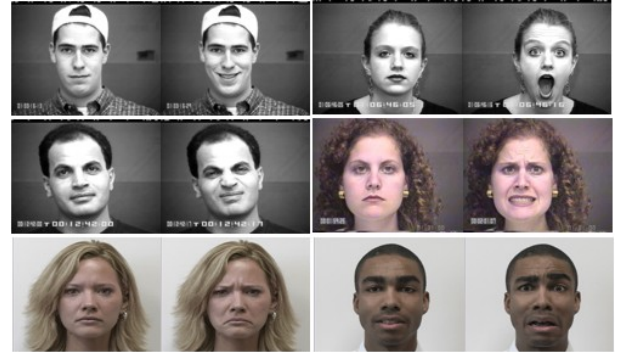
İnsan yüzü şaşırtıcı derecede ifade çeşitliliği gösterebilir ve bu ifade örneklerinin toplanıp anlamlı bir şekilde birleştirilmesi zorlu bir görevdir. Fakat yüz ifade analiz sistemlerinde kullanılan yöntemlerin test edilmesi, performans hesaplamaları ve doğruluk yüzdelerinin karşılaştırılması gibi işlemlerin yapılabilmesi için standart veri setlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla farklı poz ve aydınlatma koşulları altında ve farklı denekler ile gerçekleştirilen çeşitli ifade veritabanları oluşturulmuştur. JAFFE, FEEDTUM, Cohn-Kanade, MMIFACE, FERET, YALE, MMI ve MUG en çok kullanılan yüz ifadesi veritabanlarıdır.

JAFFE veritabanı, 10 Japon kadın deneye ait yarı-yansıtıcı bir ayna önünde elde edilen 219 renksiz yüz görüntüsünden oluşmaktadır [88]. Görüntüler elde edilirken tüm deneklerin saçları yüz ifade bölgelerini açığa çıkaracak şekilde bağlanmış ve her birine ait yüz görüntüleri 3 ya da 4 kez kaydedilmiştir. JAFFE veritabanından öfke, iğrenme, korkma, mutluluk, normal, üzüntü ve şaşkınlık duygularına ait özgün yüz ifadelerini içeren örnek yüz görüntüleri Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. JAFFE veritabanına ait örnek yüz görüntüleri (Examples of face images from the JAFFE database)

Görünüm-tabanlı özellikler yaklaşımında, özellikle göz ve ağız çevresinde oluşan Cohn-Kanade, 97 denek ile hazırlanmış 486 görüntü dizisi içeren ilk versiyonuyla 2000 yılında araştırmacılara sunulmuş bir veritabanıdır [89]. Veritabanındaki her bir görüntü dizisinin ilk karesi doğal bir ifade ile başlar ve ilerleyen karelerde gösterilmek istenen ifade zirvesine ulaşılır. Bu şekilde elde edilen altı temel yüz ifadesine ait 24-bitlik renkli görüntüler 640x480 piksel; 8-bit gri ölçekli görüntüler ise 640x490 piksel çözünürlüğünde kaydedilmiştir. Daha sonra, 26 yeni denek ve onlara ait 107 tane yüz ifade görüntüsü eklenerek genişletilen Cohn-Kanade veritabanı, duygu etiketleri ve yüz takibi bilgileri gibi meta-veriler ile daha kapsamlı bir hale getirilmiştir. Son olarak da 2010 yılında Genişletilmiş Cohn-Kanade veritabanı (CK+, The Extended Cohn-Kanade Dataset) olarak kullanıcılara açılmıştır [90]. Şekil 8'de CK+ veritabanından seçilen bazı yüz ifadelerine ait örnek görüntüler gösterilmiştir.



Şekil 8. CK+ veritabanına ait görüntü dizilerinden örnek yüz ifadeleri (Examples of facial expressions of image sequences from the CK+ database)

MUG veritabanı, daha önceki benzer veritabanlarının aydınlatma ve çözünürlük gibi kısıtlamalarını çözmek için düzgün ve eşit bir şekilde aydınlatılmış laboratuvar ortamında yüksek çözünürlüklü, renkli yüz görüntülerden oluşturulmuştur [91]. Yüz ifadesi görüntüleri 20-35 yaş arası 35'i kadın 51'i erkek toplam 86 Kafkas kökenli deneklerden elde edilmiş ve 896x896 piksel çözünürlüğünde, jpg formatında kaydedilmiştir.

MUG veritabanından altı temel yüz ifadesine ait farklı yüz görüntüleri Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Her temel yüz ifadesi için MUG veritabanına ait iki örnek görüntü (Two sample images for each basic expression from the MUG database)

Yüz ifade analiz ile ilgili algoritmaların geliştirilmesi ve değerlendirilmesi için ortak bir zemin sağlayan ifade veritabanlarının amaca uygun olarak seçilmesi gerekir. Örneğin, bir algoritmanın farklı aydınlatma koşulları altında ya da farklı pozlarda nasıl davranacağı test edilmek isteniyorsa, hali hazırda kullanılan çok fazla veritabanı olmasına rağmen, aranan özellikleri içeren en uygun veri setleri kullanılmalıdır.

5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Yüz ifadeleri, insanlar arasındaki sözsüz iletişimin en önemli parçasıdır ve kişinin hem sosyal hem de duygusal durumuyla ilgili birçok bilgi içermektedir. Teknolojik gelişmelerle birlikte eğitim, eğlence, güvenlik ve sağlık gibi birçok alanda ortaya çıkan ihtiyaçların bir sonucu olarak yüz ifade analiz sistemleri geliştirilmiştir. Günümüzde çoğu yüz ifade analiz sistemi, herhangi bir kullanıcı müdahalesine gerek kalmadan, yüz ifadelerini doğrudan temel duygusal kategorilerle eşitleyerek çalışmaktadır. Sistemlerin içyapısı incelendiğinde ise, görüntü ya da görüntü dizileri üzerinde çalışmasına bağlı olarak, yüz belirleme ya da izleme, yüz ifadelerine ait özelliklerin elde edilmesi ya da ifadelerin neden olduğu değişimlerin incelenmesi ve son olarak da sınıflandırma bloklarından oluştuğu görülmektedir. Bu alanda yapılacak olan yeni çalışmalarda, önceki yöntemlere kıyasla hesaplaması kolay, daha az bellek kullanan ve daha hızlı çalışan yeni yöntemler geliştirilebilir. Geliştirilecek olan yöntemler insan-robot etkileşimi çalışmalarında da kullanılabilir. Bu çalışmada, yüz ifadelerinin analizi ile ilgili literatürde yapılan çeşitli çalışmalara yer verilmiştir. Ayrıca, yüz ifade analiz sistemlerinde en çok kullanılan yaklaşımlar incelenerek bu alanda yapılabilecek yeni çalışmalara kaynak oluşturulmuştur.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] C. Darwin, "Expression of the emotions in man and animals", London, John Murray, 1872.
- [2] A. Mehriban, "Communication without words", Psychology Today, cilt 2, no. 4, pp. 53-56, 1968.
- [3] P. Ekman ve W. V. Friesen, "Constants across cultures in the face and emotion", Journal of Personality and Social Psychology, cilt 17, no. 2, pp. 124-129, 1971.
- [4] P. Ekman, "Universals and cultural differences in facial expressions of emotion", Nebraska Symposium on Motivation, Lincoln, 1972.
- [5] M. Suwa, N. Sugie ve K. Fujimora, "A preliminary note on pattern recognition of human emotional expression", Proceedings of the Fourth International Joint Conference on Pattern Recognition, Kyoto, 1978.
- [6] B. Fasel ve J. Luetttin, "Automatic Facial Expression Analysis: A Survey", Pattern Recognition, cilt 36, pp. 259-275, 2003.
- [7] J. Kumaria, R. Rajesh ve K. Poojaa, "Facial expression recognition: A survey", Second International Symposium on Computer Vision and the Internet (VisionNet'15), Kochi, 2015.
- [8] S. K. Gupta, S. Agrwal, Y. K. M. ve N. Nain, "A hybrid method of feature extraction for facial expression recognition", Seventh International Conference on Signal Image Technology & Internet-Based Systems, Dijon, 2011.
- [9] L. Zhang, S. Chen, T. Wang ve Z. Liu, "Automatic facial expression recognition based on hybrid features", International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems, 2012.
- [10] W. Gaebel ve W. Wölwer, "Facial expression and emotional face recognition in schizophrenia and depression", European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience, cilt 242, no. 1, pp. 46-52, 1992.
- [11] M. K. Mandal, R. Pandey ve A. B. Prasad, "Facial expressions of emotions and schizophrenia: A review", Schizophrenia Bulletin, cilt 24, no. 3, pp. 399-412, 1998.
- [12] C. Alvino, C. Kohler, F. Barrett, R. E. Gur, R. C. Gur ve R. Verma, "Computerized measurement of facial expression of emotions in schizophrenia", Journal of Neuroscience Methods, cilt 163, no. 2, pp. 350-361, 2007.
- [13] A. Butalia, M. Ingle ve P. Kulkarni, "Facial expression recognition for security", International Journal of Modern Engineering Research

- (IJMER), cilt 2, no. 4, pp. 1449-1453, 2012.
- [14] A. A. M. Al-modwahi, O. Sebetela, L. N. Batleng, B. Parhizkar ve A. H. Lashkari, "Facial expression recognition intelligent security system for real time surveillance", International Conference on Computer Graphics and Virtual Reality, Las Vegas Nevada, 2012.
- [15] G. Lu, L. Yuan, X. Li ve H. Li, "facial expression recognition of pain in neonates", International Conference on Computer Science and Software Engineering, Wuhan, 2008.
- [16] G. Lu, X. Li ve H. Li, "Facial expression recognition for neonatal pain assessment", International Conference on Neural Networks and Signal Processing, Nanjing, 2008.
- [17] S. Hachisuka, "Human and Vehicle Drowsiness Detection by Facial Expression", International Conference on Biometrics and Kansei Engineering (ICBAKE), Tokyo, 2013.
- [18] M. E. Jabon, J. N. Bailenson, E. Pontikakis, L. Takayama ve C. Nass, "Facial expression analysis for predicting unsafe driving behavior", IEEE Pervasive Computing, cilt 10, no. 4, pp. 84-95, 2011.
- [19] A. Dureha, "An accurate algorithm for generating a music playlist based on facial expressions", International Journal of Computer Applications, cilt 100, no. 9, pp. 33-39, 2014.
- [20] H. Kabani, S. Khan, O. Khan ve S. Tadvi, "Emotion based music player", international journal of engineering research and general science, cilt 3, no. 1, pp. 750-756, 2015.
- [21] P. Ekman ve W. V. Friesen, "Facial action coding system: a technique for the measurement of facial movement", Consulting Psychology Press., 1978.
- [22] K. Scherer ve P. Ekman, "Methods for measuring facial action", Handbook of Methods in Nonverbal Behavior Research, New York, Cambridge University Press, 1982, pp. 45-135.
- [23] M. S. Bartlett, P. A. Viola, T. J. Sejnowski, B. A. Golomb, J. Larsen, J. C. Hager ve P. Ekman, "Classifying facial action", Advances in Neural Information Processing Systems 8, pp. 823-829, 1996.
- [24] Y. Yacoob ve L. S. Davis, "Recognizing human facial expressions from long image sequences using optical flow", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, cilt 18, no. 6, pp. 636-642, 1996.
- [25] N. Tsapatsoulis, M. Leonidou ve S. Kollias, "Facial expression recognition using HMM with observation dependent transition matrix", IEEE Second Workshop on Multimedia Signal Processing, Redondo Beach, 1998.
- [26] Z. Zhang, "Feature-based facial expression recognition: sensitivity analysis and experiments with a multi-layer perceptron", International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, cilt 13, no. 6, pp. 893-911, 1999.
- [27] I. Cohen, A. Garg ve T. S. Huang, "Emotion recognition from facial expressions using multilevel HMM", Neural Information Processing Systems (NIPS), 2000.
- [28] S. B. Gokturk, J. Y. Bouquet, C. Tomasi ve B. Girod, "Model-based face tracking for view-independent facial expression recognition", Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FGR'02), 2002.
- [29] L. C. D. Silva ve S. C. Hui, "Real-time facial feature extraction and emotion recognition", Fourth Pacific Rim Conference on Multimedia, Information, Communications and Signal Processing, Singapore, 2003.
- [30] X. Feng, M. Pietikäinen ve A. Hadid, "Facial expression recognition based on local binary patterns and linear programming", Pattern Recognition and Image Analysis, cilt 15, no. 2, p. 546-548, 2005.
- [31] S. M. Lajevardi ve M. Lech, "facial expression recognition from image sequences using optimized feature selection", 23rd International Conference Image and Vision Computing (IVCNZ), New Zealand, 2008.
- [32] P. Martins, J. Sampaio ve J. Batista, "Facial expression recognition using active appearance models", international conference on computer vision theory and applications (VISAPP), Funchal, 2008.
- [33] M. Song, D. Tao, Z. Liu, X. Li ve M. Zhou, "Image ratio features for facial expression recognition application", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part B: Cybernetics, cilt 40, no. 3, pp. 779-788, 2010.
- [34] L. Oliveira, M. Mansano, A. Koerich ve J. Alceu de Souza Britto, "2D principal component analysis for face and facial-expression recognition", Computing in Science & Engineering, cilt 13, no. 3, pp. 9-13, 2011.
- [35] S. B. Kazmi, Qurat-ul-Ain ve M. A. Jaffar, "Wavelets-based facial expression recognition using a bank of support vector machines", Soft Computing, cilt 16, no. 3, pp. 369-379, 2012.
- [36] F. S. Farahani, M. Sheikhan ve A. Farrokhi, "A fuzzy approach for facial emotion recognition", 13th Iranian Conference on Fuzzy Systems

- (IFSC), Qazvin, 2013.
- [37] X. Chen ve W. Cheng, “Facial expression recognition based on edge detection”, *International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES)*, cilt 6, no. 2, pp. 1-9, 2015.
- [38] S. C. Neoh, L. Zhang, K. Mistry, M. A. Hossain, C. P. Lim ve P. K. Nauman Aslam, “Intelligent facial emotion recognition using a layered encoding cascade optimization model”, *Elsevier Applied Soft Computing*, cilt 34, pp. 72-93, 2015.
- [39] D. Ibtesham, “A survey on facial expression recognition”, New Mexico, 2012.
- [40] M. Murtaza, M. Sharif, M. Raza ve J. H. Shah, “Analysis of face recognition under varying facial expression: a survey”, *The International Arab Journal of Information Technology*, cilt 10, no. 4, pp. 378-388, 2013.
- [41] N. N. Khatri, Z. H. Shah ve S. A. Patel, “Facial expression recognition: A survey”, *International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT)*, cilt 5, no. 1, pp. 149-152, 2014.
- [42] H. A. Rowley, S. Baluja ve T. Kanade, “Neural network-based face detection”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, cilt 20, no. 1, pp. 23-38, 1998 .
- [43] Y. Li, S. Gong, J. Sherrah ve H. Liddell, “Multi-view face detection using support vector machines and eigenspace modelling”, *Fourth International Conference on knowledge-Based Intelligent Engineering Systems & Allied Technologies*, Brighton, 2000.
- [44] W. Widjojo ve K. C. Yow, “A color and feature-based approach to human face detection”, *seventh international conference on control, automation, Robotics And Vision (ICARCV'02)*, Singapore, 2002.
- [45] J. Chen, S. Shan, P. Yang, S. Yan, X. Chen ve W. Gao, “Novel face detection method based on gabor features”, *advances in biometric person authentication*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 90-99, 2004.
- [46] L. Lang ve W. Gu, “Study of face detection algorithm for real-time face detection system”, *IEEE Second International Symposium on Electronic Commerce and Security (ISECS'09)*, Nanchang, 2009.
- [47] S. K. Pal, U. Chourasia ve M. Ahirwar, “A method for face detection based on wavelet transform and optimised feature selection using ant colony optimisation in support vector machine”, *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, cilt 1, no. 2, pp. 358-363, 2013.
- [48] H. Bing, H. Xianfeng ve H. Ruizhen, “Research of face detection based on adaboost and ASM”, *The Open Cybernetics & Systemics Journal*, cilt 8, no. 1, pp. 183-190, 2014.
- [49] L. Shuang, “A novel face detection algorithm based on pca and adaboost”, *IEEE Sixth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*, Zhangjiajie, 2014.
- [50] M.-H. Yang, D. J. Kriegman ve N. Ahuja, “Detecting faces in images: A survey”, *EEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, cilt 24, no. 1, pp. 34-58, 2002.
- [51] P. Viola ve M. J. Jones, “Robust real-time face detection”, *International Journal of Computer Vision*, cilt 57, no. 2, pp. 137-154, 2004.
- [52] G. Özmen, “Kübil Bezier Eğrileri ile yüz ifadesi tanıma”, *Edirne, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 2012.
- [53] W. Zhao ve R. Chellappa, “Face processing advanced modeling and methods”, *Elsevier Academic Press*, 2006.
- [54] M. J. Black ve Y. Yacoob, “Tracking and recognizing rigid and non-rigid facial motions using local parametric models of image motion”, *IEEE Fifth International Conference on Computer Vision*, Cambridge, 1995.
- [55] J. G. Ko, K. N. Kim ve R. S. Ramakrishna, “Facial feature tracking for eye-head controlled human computer interface”, *IEEE TENCON'99*, Cheju, 1999.
- [56] R. S. Feris, T. E. d. Campos and R. M. C. Junior, “Detection and Tracking of Facial Features in Video Sequences”, *Mexican International Conference on Artificial Intelligence (MICAI)*, Acapulco, 2000.
- [57] F. Dornaika ve F. Davoine, “Head and facial animation tracking using appearance-adaptive models and particle filters”, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop (CVPRW'04)*, 2004.
- [58] F. Dornaika ve J. Orozco, “Real time 3D face and facial feature tracking”, *Journal of Real-Time Image Processing*, cilt 2, no. 1, p. 35-44, 2007.
- [59] E. R. Gast, “A framework for real-time face and facial feature tracking using optical flow pre-estimation and template tracking”, *Leiden, Leiden University LIACS Master Thesis*, 2010.
- [60] P. R. Borude, S. T. Gandhe, P. A. Dhulekar ve G.

- M. Phade, "Identification and tracking of facial features", *Procedia Computer Science*, cilt 49, no. 1, pp. 2-10, 2015.
- [61] N. U. Khan, "A comparative analysis of facial expression recognition techniques", 3rd IEEE International Advance Computing Conference (IACC), Ghaziabad, 2013.
- [62] İ. O. Sığırıcı, "facial expression recognition system", İstanbul, Fatih University The Graduate School of Sciences and Engineering Master Thesis, 2013.
- [63] Y. L. Tian, T. Kanade ve J. f. Cohn, "Facial expression analysis", *Handbook of Face Recognition*, New York, Springer Science+Business Media, Inc., 2005, pp. 247-275.
- [64] I. Kotsia ve I. Pitas, "Facial expression recognition in image sequences using geometric deformation features and support vector machines", *IEEE Transactions on Image Processing*, cilt 16, no. 1, pp. 172-187, 2007.
- [65] G. L. Libralon ve R. A. F. Romero, "Geometrical facial modeling for emotion recognition", *IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, Dallas, 2013.
- [66] K. Lin, W. Cheng ve J. Li, "Facial expression recognition based on geometric features and geodesic distance", *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, cilt 7, no. 1, pp. 323-330, 2014.
- [67] A. Saeed, A. Al-Hamadi, R. Niese and M. Elzobi, "Frame-based facial expression recognition using geometrical features", *Advances in Human-Computer Interaction*, cilt 2014, no. Article ID: 408953, p. 13 pages.
- [68] R. A. Patil, V. Sahula ve A. S. Mandal, "Facial expression recognition in image sequences using active shape model and SVM", *IEEE Fifth UKSim European Symposium on Computer Modeling and Simulation (EMS)*, Madrid, 2011.
- [69] R. Shbib ve S. Zhou, "Facial expression analysis using active shape model", *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, cilt 8, no. 1, pp. 9-22, 2015.
- [70] C. K. Hsieh, Shang-Hong and Y. C. Chen, "An optical flow-based approach to robust face recognition under expression variations", *IEEE Transactions on Image Processing*, cilt 19, no. 1, pp. 233-240, 2010.
- [71] R. Niese, A. Al-Hamadi, A. Farag, H. Neumann ve B. Michaelis, "Facial expression recognition based on geometric and optical flow features in colour image sequences", *IET Computer Vision*, cilt 6, no. 2, p. 79-89, 2012.
- [72] U. Prabhu ve K. Seshadri, "Facial recognition using active shape models, local patches and support vector machines", [Çevrimiçi]. Available:http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~kshadr/ML_Paper.pdf. [Erişildi: 5 Kasım 2015].
- [73] N. Rose, "Facial expression classification using gabor and log-gabor filters", *IEEE 7th International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FGR'06)*, Southampton, 2006.
- [74] J. Ou, X.-B. Bai, Y. Pei, L. Ma ve W. Liu, "Automatic facial expression recognition using gabor filter", *IEEE Second International Conference on Computer Modeling and Simulation (ICCMS)*, Sanya, 2010.
- [75] T. Wu, M. S. Bartlett ve J. R. Movellan, "Facial expression recognition using gabor motion energy filters", *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, San Francisco, 2010.
- [76] J. Ruan, J. Yin, Q. Chen ve G. Chen, "Facial expression recognition based on gabor wavelet transform and relevance vector machine", *Journal of Information & Computational Science*, cilt 11, no. 1, pp. 295-302, 2014.
- [77] C. Shan, S. Gong ve P. W. McOwan, "Facial expression recognition based on local binary patterns: a comprehensive study", *Image and Vision Computing*, cilt 27, p. 803-816, 2009.
- [78] R. Hablani, N. Chaudhari ve S. Tanwani, "Recognition of facial expressions using local binary patterns of important facial parts", *International Journal of Image Processing (IJIP)*, cilt 7, no. 2, pp. 163-170, 2013.
- [79] Y. M. Wais, "Mood detection according to facial expressions", Ankara, Çankaya University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master Thesis, 2015.
- [80] M. Kılınç, "Yüz resimlerinden yaş bilgisinin tespit edilmesi", Gebze, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [81] "Gabor Dönüşümü için OpenCV Yüz Tanıma Kodu", [Çevrimiçi]. Available: <http://guoming.me/opencv-gabor>. [Erişildi: 5 Kasım 2015].
- [82] A. A. A. Youssif, "Automatic facial expression recognition system based on geometric and appearance features", *Computer and Information Science*, cilt 4, no. 2, pp. 115-124, 2011.
- [83] A. K. K. Bermami, A. Z. Ghalwash ve A. A. A. Youssif, "Automatic facial expression recognition based on hybrid approach", *International Journal*

- of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), cilt 3, no. 11, pp. 102-107, 2012.
- [84] S. Ulukaya ve Ç. E. Erdem, "A hybrid facial expression recognition method based on neutral face shape estimation", IEEE 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Mugla, 2012.
- [85] S. L. Happy ve A. Routray, "Robust facial expression classification using shape and appearance features", IEE Eighth International Conference on Advances in Pattern Recognition (ICAPR), Kolkata, 2015.
- [86] B. S. Akkoca, "Durgun görüntülerden yüz ifadelerinin tanınması", İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [87] T. Kaur ve J. Kaur, "Facial expression recognition with PCA and LDA", International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT), cilt 5, no. 6, pp. 6996-6998, 2014.
- [88] M. Lyons ve S. Akamatsu, "Coding facial expressions with gabor wavelets", IEEE Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, Nara, 1998.
- [89] T. Kanade, J. F. Cohn ve Y. Tian, "Comprehensive database for facial expression analysis", IEEE Fourth International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, Grenoble, 2000.
- [90] P. Lucey, J. F. Cohn, T. Kanade, J. Saragih ve Z. Ambadar, "The extended cohn-kanade dataset (CK+): A complete dataset for action unit", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), San Francisco, 2010.
- [91] N. Aifanti, C. Papachristou ve A. Delopoulos, "The MUG facial expression database", IEEE 11th International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services (WIAMIS), Desenzano del Garda, 2010.