

## Video dosyaları üzerinde yüz ifade analizi için hızlandırılmış bir yaklaşım An accelerated approach for facial expression analysis on video files

Sümeyye BAYRAKDAR<sup>1\*</sup>, Devrim AKGÜN<sup>2</sup>, İbrahim YÜCEDAĞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye.  
sumeyyebayrakdar@duzce.edu.tr, ibrahimyucedag@duzce.edu.tr

<sup>2</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.  
dakgun@sakarya.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 20.03.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 24.10.2016

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.00908

Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Yüz ifadelerinin otomatik olarak analiz edilmesi ve sınıflandırılması; insan-bilgisayar etkileşimi, bilgisayarlı görme ve görüntü işleme gibi birçok alanda çalışılan zorlu bir problemdir. Son zamanlarda özellikle insan-bilgisayar etkileşiminde yaşanan gelişmelerle birlikte, insanlara ait duyguların bilgisayarlar tarafından anlaşılması elzem bir konu haline gelmiştir. Bunun yanında psikoloji, güvenlik, sağlık, oyun ve robotik gibi birçok çalışma alanında da yüz ifadelerinin analizine duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, yüz ifadelerinin hızlı ve doğru bir şekilde analiz edilmesi farklı uygulama alanlarında birçok yazılım sistemi için kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, video dosyalarının hızlandırılmış yüz ifade analizi için bir yaklaşım önerilmiştir. Yüz ifadeleri mutluluk, normal, şaşkınlık ve üzüntü olmak üzere dört sınıfta ele alınmıştır. Analiz edilen toplam video kare sayısı azaltılarak ve paralel iş parçacıkları kullanılarak hızlandırılan ifade analizinin çok-çekirdekli bilgisayar üzerinde başarımlı değerlendirilmesi sunulmuştur. Deneysel sonuçlar Hyper Threading teknolojisine sahip dört-çekirdekli işlemci kullanılarak elde edilmiştir. İşlemci üzerinde 2 iş parçacığı ile yaklaşık 1.8 kat, 4 iş parçacığı ile ise yaklaşık 2.9 kat hızlandırma elde edilirken; 8 iş parçacığı ile hızlandırma oranı yaklaşık olarak 3.5 kata çıkarılmıştır. Ayrıca istatistiksel analiz sonuçları üzerinde hata analizi yapılarak, hatalı olduğu tespit edilen görüntü karelerine ait sonuçlar düzeltilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Çok-Çekirdekli hızlandırma, Haar özellikleri, Kübik Bézier eğrileri, Paralel hesaplama, Yüz ifade analizi

### Abstract

Automatic analysis and classification of facial expressions is a challenging problem which takes the attention of researchers studying in many areas such as human-computer interaction, computer vision and image processing. Currently, especially due to developments in human-computer interaction, the understanding of human emotions by computer has become an indispensable issue. Besides, analysis and recognition of facial expressions has prevailed in various areas like psychology, security, health, entertainment, and robotics. For these reasons, the analyzing of facial expressions quickly and correctly play a critical role for many software systems in different applications. In this study, an approach is proposed for the accelerated facial expression analysis of video files. Facial expressions are considered in four class; happy, normal, confused and sad. By reducing the total number of analyzed video frames and using parallel threads, performance evaluation of the expression analysis accelerated on multi-core computer was presented. Experimental results were obtained using quad-core processor with Hyper Threading technology. According to experimental results, quad core processor using two threads produced about 1.8 fold speed-up and four threads produced about 3 fold speed-up while eight threads produced about 3.5 fold speed-up has been obtained. Additionally, the results of image frames which were found to be incorrect were fixed by performing error analysis on the results of statistical analysis.

**Keywords:** Multi-core acceleration, Haar features, Cubic Bézier curves, Parallel computing, Facial expression analysis

## 1 Giriş

Yüz ifadeleri, kişiler arası iletişimde duygulara anlam bütünlüğü kazandıran evrensel işaretlerdir. Yapılan araştırmalara göre, insanlar arası iletişim bir bütün olarak ele alındığında; yüz ifadelerinin %55, ses tonunun %38, kelimelerin ise sadece %7 oranında etkili olduğu saptanmıştır [1]. Kişiler arası iletişimde önemli bir rol oynayan yüz ifadeleri, aynı zamanda insanların duygu, düşünce ve ruhsal durumları ile ilgili bilgiler de içermektedir.

Yüz ifade analizi ilk kullanılmaya başlandığı zamanlarda daha çok psikologlar için bir araştırma konusu olsa da, teknolojinin gelişmesiyle birlikte bilgisayar biliminde de önemli bir konu haline gelmiştir. Nispeten ucuz hesaplama gücüne ek olarak, yüz algılama ve yüz tanıma ile ilgili çeşitli araştırma alanlarındaki başarılı gelişmeler yüz ifade analizi ile ilgili çalışmalara hız kazandırmıştır [2]. Günümüzde çoğu yüz ifade analiz sistemi, herhangi bir kullanıcı müdahalesine gerek kalmadan, yüz ifadelerini doğrudan temel duygusal kategorilerle eşitleyerek çalışmaktadır.

Yüz ifadeleri, yüzün özellikle belirli bölgelerinde oluşan şekilsel 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 ifadesi tanıma çalışmalarının temelini oluşturmaktadır.

Yüz ifadesi analiz sistemlerinin tamamında, ifadeyi belirli bir duygunun içine sınıflandırmadan önce gerçekleştirilmesi gereken temel aşamalar vardır. Bunlardan ilki, görüntü veya görüntü dizilerinden yüzün belirlenmesi işlemidir. Yüz görüntüleri, yüz algılama aşamasında poz, ölçek ve aydınlatma faktörü gibi istenmeyen durumları ortadan kaldırmak için bazı ön işlemlerden geçirilerek normalize edilebilmektedir [3]. Yüz belirlendikten sonra ise yüz ifadesini oluşturan yüz özneliklerinin 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. Yüz ifade analiz sistemlerinin genel yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Yüz ifade analiz sisteminin temel yapısı.

Yüz belirleme, görüntü üzerinde bir yüzün olup olmadığı ve eğer varsa bu yüz bölgesinin tespit edilmesi, gerekiyorsa konum ve boyut bilgilerinin elde edilmesi ile ilgili olan ilk önemli aşamadır. Yüz belirleme yöntemleri genel olarak bilgi, öznitelik, şablon ve görünüm tabanlı yöntemler olmak üzere dört kategori içinde sınıflandırılmaktadır [4]. 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 ile aralarındaki 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 öznitelikleri belirlenerek, görüntülerde bir yüz olup olmadığını doğrulamak için istatistiksel model oluşturulur. Şablon eşleme tabanlı yöntemler ise genellikle önceden tanımlanmış standart bir ön cephe yüz şablonuna ya da yüz şablonunun bir fonksiyon ile ifade edilmesine dayanmaktadır. Yüz şablonu bir bütün olarak tanımlanabileceği 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 [4].

Yüz ifade analiz sistemlerinde özelliklerin çıkarılması aşamasında, ifadelerinin neden olduğu değişimleri temsil etmek için görüntü veya görüntü dizilerinden yüz özellikleri elde edilir. Yüz ifadelerine ait özelliklerin çıkarılmasında Geometrik özellikler ve Görünüm-tabanlı özellikler olmak üzere kullanılan iki temel yaklaşım vardır [5]. 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. Bu yaklaşıma dayanan yöntemlerde yüz

bileşenleri ya da yüz özellik noktaları, yüz geometrisini temsil eden bir özellik vektörü kullanılarak çıkartılır. Geometrik özelliklerin ölçümü genellikle yüz bölgesinin analizine, özellikle de yüz bölgesindeki önemli noktaları bulunmasına ya da izlemesine bağlıdır. 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. Bu yaklaşıma dayanan yöntemlerde özellik vektörü, yüz görüntülerindeki yüzün tamamından ya da belirli yüz bölgelerinden görünüm özellikleri çıkarılarak oluşturulur.

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. Literatürde yapılan çeşitli çalışmalarda, farklı yüz ifadelerini ortaya çıkaran altı temel duygudan bahsedilmiş ve bu duygular "mutluluk", "üzüntü", "korku", "öfke", "iğrenme" ve "şaşkınlık" olarak tanımlanmıştır [6],[7]. Bu alanda yapılan yeni çalışmalarda ise, hesaplaması kolay, daha az bellek kullanan ve daha hızlı çalışan yeni yöntemlerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Çok çekirdekli işlemci teknolojisinin gelişmesiyle birlikte paralel programlama yaklaşımının kullanımı giderek yaygınlaşmıştır ve yüksek performans gerektiren birçok uygulamada paralel hesaplamalar ile önemli iyileştirmeler sağlanmaktadır [8].

Bu çalışmada, video dosyaları üzerinde yüz görüntüsünün ve yüz ifadesinin belirlenmesinde haar tabanlı özellikler ve kübik Bezier eğrileri kullanılarak yüz ifade analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak sunulmuştur. Analiz işleminin çok çekirdekli bilgisayar üzerinde video karelerinin paralel olarak işlenmesi ile hızlandırılması amaçlanmıştır. Ayrıca işlenen video kare sayısının azaltılmasını temel alan frame-tabanlı yaklaşım ile de işlem sayısı azaltılarak hızlandırma sağlanması hedeflenmiştir. Bu sayede çeşitli video görüntüleri yüz ifadeleri açısından hızlı bir şekilde analiz edilerek, kişinin genel duygusu hakkında fikir sahibi olunabilecektir. Ayrıca analiz sonuçları üzerinde hata düzeltme işlemi gerçekleştirilerek sonuçlar iyileştirilmiştir. Bu çalışma özellikle insan-bilgisayar etkileşimi temelli çalışmalara entegre edilerek farklı uygulamalarda kullanılabilir niteliktedir.

Makalenin izleyen kısmında, konuda literatürde yapılan bazı çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, C# programlama dili ile video dosyaları üzerinde gerçekleştirilen yüz ifade analiz sisteminin, yüz tespiti ve yüz özellikleri çıkarımı gibi temel işlemlerine yer verilerek Bézier eğrileri ile yüz ifadesinin sınıflandırılması ve sonuçların istatistiksel analizi açıklanmıştır. Ayrıca yüz ifade analizinin hızlandırılması için önerilen frame-tabanlı ve çok-çekirdekli hızlandırma algoritmalarına yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, uygulama arayüzü tanımlanarak elde edilen istatistiksel ve paralel başarımlar analiz sonuçları verilmiştir. İstatistiksel analiz sonuçları üzerinde gerçekleştirilen hata düzeltme işlemi açıklanmış ve önerilen algoritmaların başarımlarını performansları değerlendirilmiştir. Son bölümde ise çalışmanın öneminden bahsedilmiş ve literatüre olan katkısı vurgulanmıştır. Ayrıca, gelecekte yapılabilecek çalışmalara değinilmiş ve öneriler sunulmuştur.

## 2 Literatür taraması

Son yıllarda özellikle insan-bilgisayar etkileşimi konusunda önemli araştırma alanlarında biri olan yüz ifade analizi çalışmalarının temeli 19. yüzyıla dayanmaktadır. Geçmişten günümüze kadar yüz ifadesi tanıma problemi için literatürde çok çeşitli özellik çıkarma teknikleri önerilmiş ve farklı sınıflandırma yöntemlerinin kullanıldığı birçok çalışma yapılmıştır. Bu konuda incelenen önemli bazı çalışmalar detaylandırılmıştır.

1971 yılında Ekman ve Friesen yaptıkları çalışmada benzersiz yüz ifadeleri ile her biri kendine özgü içeriğe sahip altı temel duygudan bahsetmişlerdir [6]. 1978 yılında ise yüz ifadelerini belirlemek için, yüzün her bir bağımsız kas aktivitesine karşılık 46 farklı eylem birimi (AUs) tanımlanmıştır. Yüz anatomisine dayanan bu eylem birimlerini kullanarak da yüz eylemlerini kodlama sistemi (FACS) geliştirmişlerdir [9]. FACS, yüz kaslarındaki hareketleri temel olarak çalışan objektif bir yöntemdir ve tanımlanan eylem birimlerinin 7.000'den farklı kombinasyonu gözlemlenmiştir [10].

Yacob ve Davis, görüntü dizilerinden yüz ifadelerini tanımak amacıyla yüz dinamiklerinin gösterimi ve analizi ile ilgili bir yaklaşım sunmuşlardır [11]. Bu yaklaşım, yüzün belirli bölgelerinin nitel olarak izlenmesine ve yüksek yoğunluklu eğitim noktalarındaki akış hesaplamalarına dayanmaktadır. Çalışmalarında, yüz ifadelerinin yüzde neden olduğu değişim hareketlerinin yönünü belirlemek için optik akış hesaplaması kullanılmışlardır.

Cohen ve arkadaşları video görüntülerinden yüz ifadelerinin otomatik olarak bölütlenmesi ve tanınması için yeni bir Saklı Markov Modeli (HMM) mimarisi önermişlerdir [12]. Bu mimarideki yenilik, yüz ifadelerini bölütleme ve tanıma işlemlerinin otomatik olarak çok seviyeli HMM (multilevel HMM) kullanılarak yapılmasıdır. Aynı zamanda çalışmalarında sürekli video görüntülerinde farklı yüz bölgelerindeki değişimler ile ifadeler arasındaki korelasyonu öğrenmek için bir Gaussian Ağacı-Artırımı sınıflandırıcı (Gaussian TAN) kullanmışlardır.

Lajevardi ve Lech, görüntü kareleri dizilerinden yüz tanıma, maksimum uyarılma algılama, özellik çıkarımı, optimum özellikler seçimi ve yüz ifadesi tanıma modüllerine sahip otomatik bir ifade tanıma sistemi önermişlerdir [13]. Önerdikleri sistemde yüz tanıma modülü, haar özelliklerine ve AdaBoost algoritmasına dayanmaktadır. Yüz ifadeleri ise Naive Bayesian (NB) sınıflandırıcı kullanılarak sınıflandırılmıştır.

Khan ve Bhuiyan insan-robot etkileşiminde yüz ifadelerini tanımak için gerçekleştirdikleri çalışmada ilk olarak bulanık sınıflandırmaya dayalı önerdikleri yeni bir renk segmentasyonu algoritması ile yüz algılama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra yüz görüntülerinden çıkardıkları özelliklere üçüncü dereceden Bézier eğrilerini uygulayarak tanımladıkları yüz ifadelerini komut olarak manipülâtör robota göndermişlerdir [14].

Özmen ve Kandemir yaptıkları çalışmada haar dalgacıkları ve geometrik özellikler yaklaşımını birlikte kullanarak yüz görüntülerinden göz ve ağız bölgelerini tespit etmişlerdir. Daha sonra yüz görüntülerinden kesilen göz ve ağız görüntüleri üzerine dört kontrol noktasına sahip kübik Bézier eğrilerini uygulayarak yüz ifadesi tanıma işlemini gerçekleştirmişlerdir [15].

Rai ve Dixit, Bézier eğrisine dayanan bir gülümseme algılama yöntemi sunmuşlardır [16]. Çalışmalarında Viola-Johns algoritması ile yüz tespit edildikten sonra ağız köşe noktaları minimum matris özdeğeri (eigenvalue) kullanılarak Shi ve Tomasi yöntemi ile belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen ağız ilgili noktaları ile Bézier eğrisi oluşturulmuş ve sonuçta türev işlemi ile gülümseme olup olmadığı tespit edilmiştir.

Bao ve Ma, Bézier eğrisine dayalı yeni bir özellik çıkarma yöntemi önermişlerdir [17]. Yerel özelliklerin gösterimine ve Bézier eğrilerine dayanan bu yöntemle birkaç Bézier kontrol noktası kullanılarak yüzün önemli parçaları doğru olarak tasvir edebilmektedir. Bu sayede daha az hesaplama gerektiren bir yöntem kullanılarak ideal bir yüz ifadesi tanıma oranı elde edilmiştir.

Lopes ve arkadaşları yüz görüntüleri üzerinde normalizasyon, sentetik örnek oluşturma, görüntü kırpmaya, alt örnekleme gibi belirli görüntü ön-işleme adımlarıyla birlikte Evrimsel Sinir Ağ (CNN) yapısını kullanarak yüksek ifade tanıma oranı elde etmeyi amaçlamışlardır [18].

Uddin, derin video verilerini kullanarak yüz ifadelerini tanımak için yeni bir yaklaşım önermiştir [19]. Önerilen yaklaşımda Yerel Yön Sapma tabanlı İkili Desen (LD<sup>2</sup>BP) özellikleri derin görüntülerden çıkarıldıktan sonra bu özellikler Genelleştirilmiş Diskriminant Analizi (GDA) ile iyileştirilmiştir. Son olarak zaman sıralı LD<sup>2</sup>BP-GDA özellikleri Saklı Markov Modeli (HMM) ile ifade eğitimi ve tanınması için kullanılmıştır.

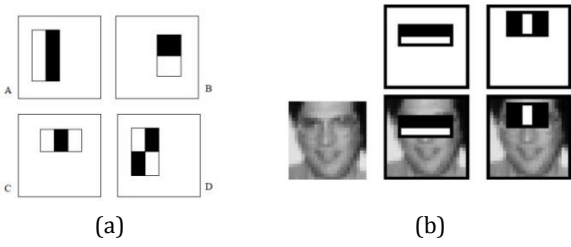
## 3 İstatiksel yüz ifadesi analiz sistemi

### 3.1 Temel işlemler

Yüz ifadesi analiz sistemlerinde, yüz ifadesinin sınıflandırılması için yüzün tespit edilmesi ve ifade tanıma kullanılacak özelliklerin belirlenmesi gibi temel işlemler öncelikli olarak gerçekleştirilmelidir. Bu çalışmada yüz ve gözlerin tespit edilmesinde Viola ve Jones tarafından önerilen haar tabanlı özellikler kullanılmıştır. Ağız tespiti için de Santana ve arkadaşları tarafından oluşturulan haar özelliklerine dayanan dedektör kullanılmıştır. Yüz ifadesinin belirlenmesi için ise göz ve ağız bölgelerinden kübik Bézier eğrileri oluşturularak ifadelerle ait özellikler çıkarılmıştır.

#### 3.1.1 Yüz tespiti

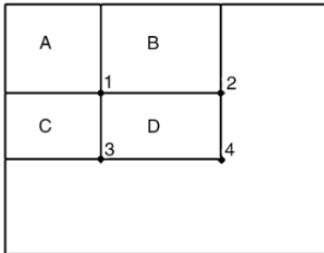
Yüz ifadesi analiz sistemlerinde bir yüz ifadesinin sınıflandırılabilmesi için öncelikle yüz bölgesinin bulunması gerekmektedir ve yüz ifadesinin belirlenmesi görüntülerdeki yüzün doğru olarak tespit edilebilmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bundan dolayı kullanılan yüz belirleme algoritmaları en az ifade sınıflandırmada kullanılan yöntemler kadar önem taşımaktadır. 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 [20]. Şekil 2'de çalışmalarında kullandıkları iki-dikdörtgen, üç-dikdörtgen ve dört-dikdörtgen özelliklerine ait alt pencereler ve dikdörtgen özelliklerin yüz görüntüsü üzerinde kullanımı gösterilmektedir.



Şekil 2: Dikdörtgen özellikleri ve bu özelliklerin yüz görüntüsüne uygulanması [20].

Şekil 2(a)'da (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 toplamlarının merkezdeki dikdörtgen içindeki piksellerin toplamından çıkarılmasıyla elde edilir. (D) alt pencerelerinde gösterilen dört-dikdörtgen özelliğinin değeri ise çapraz dikdörtgen çiftleri arasındaki fark kullanılarak hesaplanır [20].

Viola ve Jones, dikdörtgen özelliklerini çok hızlı bir şekilde hesaplamak için "integral görüntü" olarak adlandırdıkları bir ara görüntü temsili tanımlamışlardır [20]. İntegral görüntüyü kullanarak geliştirdikleri yöntem görüntüdeki piksel değerlerinin toplamına dayanmaktadır. Şekil 3'te bir integral görüntünün hesaplanması gösterilmiştir. Elde edilen integral görüntüdeki her bir piksel, kendisinin solunda ve yukarısında bulunan tüm piksel değerlerinin toplamından oluşmaktadır. Örneğin 1 konumundaki integral görüntünün değeri A bölgesindeki piksellerin toplam değerine eşit olurken, 2 konumundaki integral görüntünün değeri A ve B bölgelerindeki piksellerin toplam değerine eşit olmaktadır. Benzer şekilde 3 konumundaki integral görüntünün değeri A ve C bölgelerindeki toplam piksel değerine, 4 konumundaki integral görüntünün değeri ise A, B, C ve D bölgelerindeki toplam piksel değerine eşittir.



Şekil 3: İntegral görüntünün oluşturulması [20].

Viola-Jones algoritmasında, yeni bir görüntü gösterimi olan integral görüntü hesaplandıktan sonra, potansiyel özelliklerin çok geniş bir kümesinden daha az sayıda olan önemli görsel özellikleri seçmek için AdaBoost öğrenme algoritması kullanılarak basit ve etkili bir sınıflandırıcı inşa edilmiştir. 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 [21]. Viola-Jones algoritmasının bir sonraki aşamasında ise sınıflayıcıları art arda birleştiren "kaskat" bir yapı kullanılır. Bu yapı, görüntünün arka planının çıkarılarak yüz olması muhtemel bölgelerde daha fazla hesaplama yapılmasına olanak sağlar ve bu sayede görüntüde yüz olma olasılığı yüksek olan bölgelere odaklanan detektörün hızı ciddi bir şekilde artırılmış olur. Viola ve Jones haar-benzeri özellikleri ve kaskat hızlandırmayı birlikte kullanarak yüz belirleme çalışmalarında önemli bir aşama kaydetmişlerdir.

Yüz belirleme işlemi için, araştırmacılar ve geliştiriciler için sunulan açık kaynak kodlu kütüphaneler mevcuttur. Bu kütüphanelerden en çok kullanılan iki tanesinden biri OpenCV [22], diğeri ise OpenCV kütüphanesinin C# programlama dili ve .Net platformu için uyarlanmış hali olan EmguCV [23] kütüphaneleridir. Bu çalışmada yüz tespiti için EmguCV Kütüphanesi kullanılmıştır. EmguCV kütüphaneleri için gerekli referanslar uygulamaya dahil edildikten sonra "haarcascade\_frontalface\_default.xml" dosyası yüz algılama işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te bir video karesi üzerinde gerçekleştirilen yüz tespiti gösterilmektedir. OpenCV ve EmguCV'de yer alan yüz dedektörü haar özelliklerine ve AdaBoost algoritmasına dayanmaktadır [24].



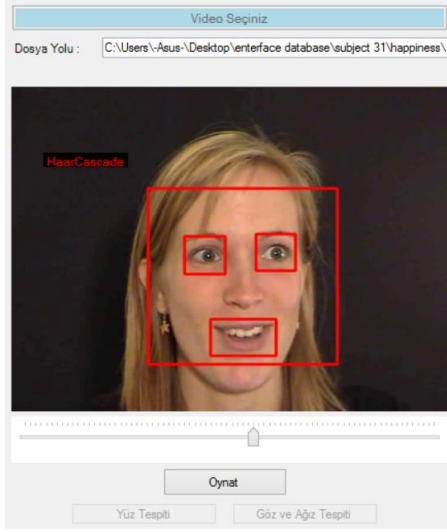
Şekil 4: Bir video karesi üzerinde yüz tespiti.

### 3.1.2 Göz ve ağız tespiti

Yüz görüntüleri büyük miktarda veri içerdiğinden, yüz ifadelerine ait bilgilerin çıkarılması için öncelikli olarak bir arama bölgesi belirlenmelidir. Bu çalışmada, yüz ifadelerine ait özelliklerin elde edilmesinde göz ve ağız bölgeleri dikkate alınmıştır. Çünkü yüz ifadesinin belirlenmesinde ifadenin yüzde neden olduğu değişimlerin en belirgin görüldüğü bölgeler, ifadenin doğru olarak tanınmasında oldukça önemlidir. Bu yüzden özellikle gözlerin ve ağız çevresinin doğru olarak belirlenmesi gerekir.

Bu çalışmada, yüz tespiti başarılı bir şekilde gerçekleştirildikten sonra farklı desen ve haarcascade sınıflandırıcıları ile Viola-Jones algoritmasını temel alan nesne dedektörleri gözleri ve ağız tespit etmek için yüz bölgesi üzerinde çalıştırılmıştır. Bu sayede gözleri ve ağız bölgesini belirlemek için kullanılan yöntem, arama bölgesi sadece bir önceki aşamada tespit edilen yüz bölgesi ile sınırlandırılarak iyileştirilmiştir. Göz tespiti için EmguCV kütüphanesinin "haarcascade\_eye.xml" dosyası, ağız tespiti için Santana ve arkadaşları tarafından oluşturulan "Mouth.xml" dosyası

kullanılmıştır [25]-[27]. Şekil 5'te farklı bir video karesinde gerçekleştirilen yüz, göz ve ağız tespiti gösterilmektedir.



Şekil 5: Bir video karesi üzerinde yüz, göz ve ağız tespiti.

### 3.1.3 Yüz özelliklerinin çıkarılması

Yüz ifadesinin belirlenebilmesi için ifadelerle ait özellikler göz ve ağız bölgelerinden kübik Bézier eğrileri oluşturularak elde edilmiştir. Bézier eğrileri özellikler görüntü işleme ve bilgisayar grafikleri alanlarında; geometrik tasarım, gülümseme algılama, el yazısı tanımlama, nesne temsili ve yüz ifadesi tanıma gibi birçok uygulamada kullanılan güçlü bir yöntemdir.

1962 yılında Fransız mühendis Pierre Bézier tarafından kullanılan Bézier eğrileri, bir temel fonksiyon ve kontrol noktaları ile tanımlanmaktadır. Seçilen ilk ve son kontrol noktası aynı zamanda eğrinin başlangıç ve bitiş noktalarını oluşturur. Aradaki diğer noktalar ise eğrinin yapısını belirlemek için kullanılırlar ve genellikle eğrinin üzerinde yer almazlar.

Bézier eğrilerindeki her bir noktanın koordinatı  $P(i)=[x_i \ y_i]$  şeklinde bir vektör ile gösterildiğinde, bu koordinatlar parametrik olarak Denklem (1)'deki gibi ifade edilebilir.

$$P(u) = \begin{cases} x(u), \\ y(u), \end{cases} \quad 0 \leq u \leq 1 \quad (1)$$

$n$ . dereceden bir Bézier polinomu,  $n+1$  nokta ile belirlenir ve Bézier eğrilerine ait  $p_i$  kontrol noktası ile kontrol edilebilen  $P(u)$  polinomu Denklem (2)'de verilmiştir [28].

$$P(u) = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} (1-u)^{n-i} u^i p_i \quad (2)$$

Denklem 2'deki  $\binom{n}{i}$  kombinasyonu Denklem (3)'teki gibidir.

$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!} \quad (3)$$

$P(u)$  denklemi aslında bir Bernstein polinomudur ve Bernstein polinomlarının genel ifadesi Denklem (4)'te verilmiştir [29].

$$B_{i,n}(u) = \frac{n!}{i!(n-i)!} u^i (1-u)^{n-i} \quad (4)$$

$n=3$  için  $p_0, p_1, p_2$  ve  $p_3$  noktalarıyla tanımlanan kübik Bézier eğrileri için Bézier polinomu Denklem (5)'teki gibi ifade edilebilir.

$$P(u) = (1-u)^3 p_0 + 3(1-u)^2 u p_1 + 3(1-u) u^2 p_2 + u^3 p_3 \quad (5)$$

$P(u)$  kübik Bézier eğrisine ait  $x(u)$  ve  $y(u)$  ifadeleri Denklem (6)'da verilmiştir.

$$x(u) = (1-u)^3 x_0 + 3(1-u)^2 u x_1 + 3(1-u) u^2 x_2 + u^3 x_3$$

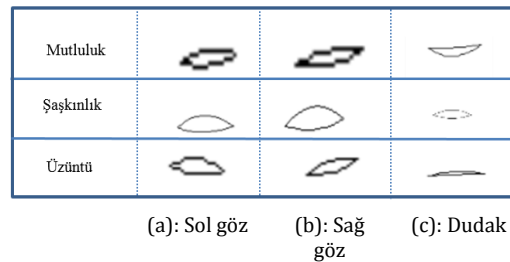
$$y(u) = (1-u)^3 y_0 + 3(1-u)^2 u y_1 + 3(1-u) u^2 y_2 + u^3 y_3 \quad (6)$$

Bézier eğrilerini daha ayrıntılı olarak tanımlamak için daha fazla kontrol noktası kullanmak mümkündür. Fakat Bézier eğrilerinde kontrolün geniş çaplı yapılması gerekmektedir. Ayrıca polinomun derecesi arttıkça matematiksel hesaplamalar karmaşıklaşmaktadır. Bu nedenlerden dolayı kontrol noktalarının sayısının çok fazla olması tercih edilmez ve kübik Bézier eğrileri daha yüksek dereceden Bézier eğrilerine göre daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Kübik Bézier eğrileri kullanılarak normal yüz ifadesine ait göz ve ağız şekillerinin elde edilmesi Şekil 6'da aşamalar halinde gösterilmektedir.



Şekil 6: Göz ve ağız görüntülerinden kübik Bézier eğrilerinin elde edilmesi.

İlk olarak bir önceki aşamada tespit edilen gözleri ve ağız içeren görüntü çerçevelerinde en büyük bağlı bölge bulunarak bu bölgenin yataydaki başlangıç ve bitiş pikselleri bulunur. Daha sonra, bu piksellerden göz ve ağız bölgelerinin üst kısmı ve alt kısmı için kübik Bézier eğrileri çizilir. Her bir kübik Bézier eğrisini tanımlayan dört nokta olduğundan ve bu noktalardan ikisi başlangıç ve bitiş noktaları olup ortak olduğundan toplamda altı nokta ile göz görüntüleri için göz şekli, ağız görüntüleri için ağız şekli elde edilmiş olur [30]. Farklı yüz görüntülerinden mutlu, şaşkın ve üzgün yüz ifadeleri için kübik Bézier eğrileri ile elde edilen göz ve ağız şekilleri Şekil 7'de sunulmuştur.



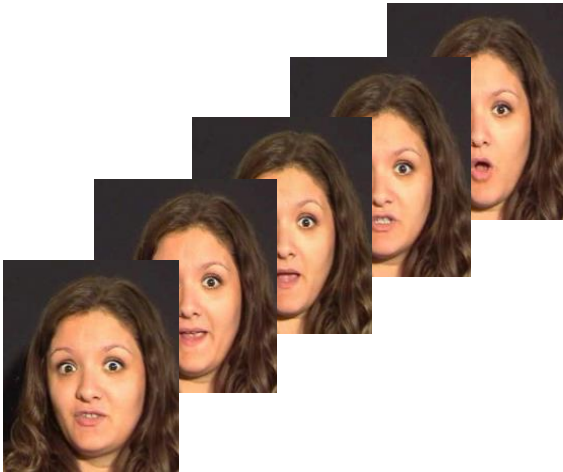
Şekil 7: Kübik Bézier eğrileri ile elde edilen farklı göz ve ağız şekilleri.

### 3.2 Yüz İfadesi tanıma

Yüz ifade analiz sistemlerinde, yüz görüntüsünden ilgili özellikler çıkarıldıktan sonra yüz ifadesini tanıma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada normal, mutlu, şaşkın ve üzgün olmak üzere dört farklı yüz ifadesine ait kübik Bézier eğrileri ile bir veritabanı eğitimi yapılmıştır. Eğitilen veritabanında göz ve ağız eğrilerine ait, eğrileri oluşturan altı nokta bilgisi ile gözlerin ve ağzın genişlik-yükseklik değerleri yer alır. Test sürecinde, elde edilen göz ve ağız Bézier eğrilerine ait veriler veritabanındaki eğitim verileri ile karşılaştırılarak, test verilerine ait en uygun yüz ifadesi belirlenmektedir. Eğer eğitim verileri ile test verisi arasında herhangi bir yakınsayan sonuç bulunamazsa yüz ifadesi "Belirsiz" olarak nitelendirilir. Yüzün ya da yüz özelliklerinin tespit edilememesi ya da hatalı tespit edilmesi gibi durumlarda ise ilgili video karesine ait yüz ifadesi için "Hata" sonucu üretilmektedir.

### 3.3 İstatiksel analiz

Analiz edilmek videonun bütün kareleri için yüz ifadesi belirlendikten sonra istatiksel analiz sonuçları, Visual Studio 2012 [31] platformunda Visual C# [32] programlama dili ile tasarlanan arayüz üzerinde grafiksel olarak sunulmuştur. Şekil 8 ve Şekil 9'da sırasıyla şaşkınlık ve mutluluk ağırlıklı yüz



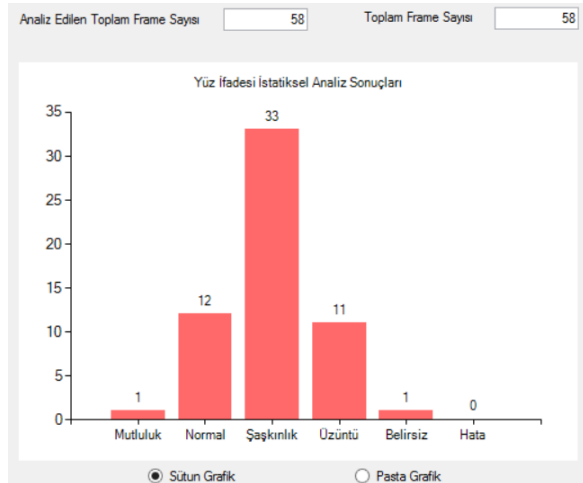
Şekil 8: Şaşkınlık ifadesi ağırlıklı video için istatiksel analiz sonuçlarına ait sütun grafik.

ifadeleri içeren videolara ait istatiksel analiz sonuçlarının sütun ve pasta grafik sunumları gösterilmektedir.

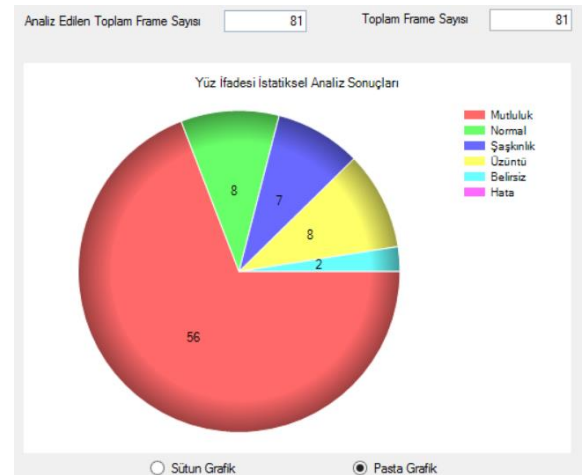
Bu çalışmada korkma, kızgınlık ve iğrenme yüz ifadeleri dikkate alınmamıştır. Çünkü çoğu zaman korkma ifadesinin şaşkınlık ifadesi ile kızgınlık ve iğrenme ifadelerinin de birbirleri ve bazen de üzgün yüz ifadeleri ile karıştırıldığı belirlenmiştir [33],[34]. Bu durum ilgili yüz ifadelerindeki bazı özelliklerin benzerliğinden kaynaklanmaktadır.

### 3.4 Hata düzeltme

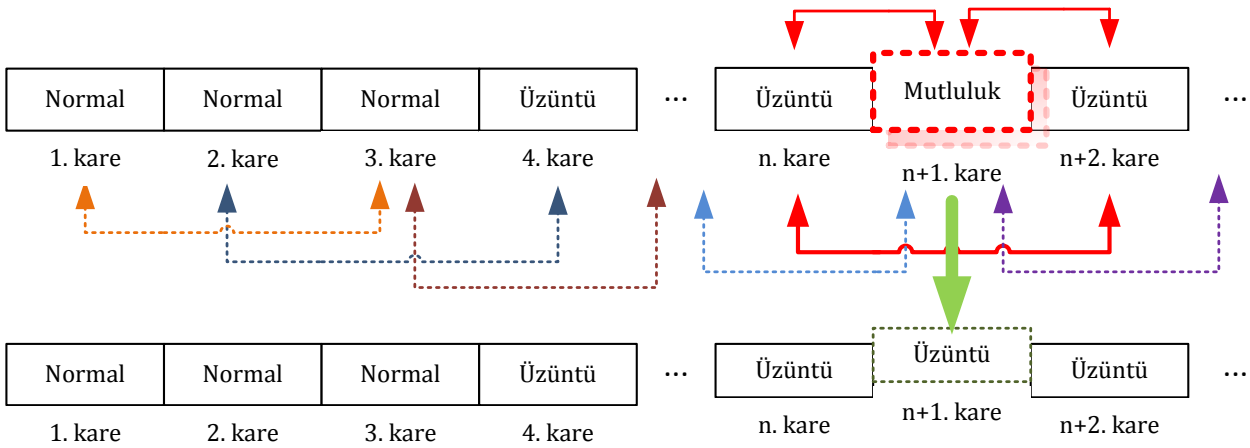
Gerçekleştirilen yüz ifadesi analiz sisteminde test edilmek istenen video dosyası işlenerek yüz ifadelerine ait istatiksel analiz sonuçları elde edilmektedir. Sonuçlar ayrıntılı olarak incelendiğinde bazı video karelerine ait sonuçlarının hatalı olarak tespit edildiği anlaşılmıştır. Hatalı olduğu düşünülen görüntülerin tespit edilmesi ve düzeltilmesi Şekil 10'da özetlenmiştir. Hata analizi işlemi video dosyasındaki görüntü karelerine ait yüz ifadesi sonuçları üzerinde yapılmaktadır. Eğer n. ve (n+2). karede aynı yüz ifadesi bulunuyorsa (n+1). karede de bu yüz ifadesi bulunmalıdır. Aksi durumda ilgili görüntüdeki yüz ifadesi hatalı tespit edilmiştir. Sonuç doğru ifade ile değiştirilir. Tasarlanan arayüz üzerinde, örnek bir test videosu için hata düzeltme işlemi sonrasında ortaya çıkan yeni sonuçlar ve bu sonuçlara ait grafikler Şekil 11'de gösterilmektedir.



Şekil 9: Mutluluk ifadesi ağırlıklı video için istatiksel analiz sonuçlarına ait pasta grafik.



Şekil 9: Mutluluk ifadesi ağırlıklı video için istatiksel analiz sonuçlarına ait pasta grafik.



Şekil 10: İstatistiksel analiz sonuçları üzerinde hata düzeltme.



Şekil 11: Yüz ifade analizinde hata düzeltme işleminin tasarlanan arayüzü üzerinde gerçekleştirilmesi.

#### 4 Yüz ifade analizinin hızlandırılması

Bu çalışmada video dosyaları üzerinde yüz ifade analizinin hızlandırılması için çok-çekirdekli işlemciler ile paralel hesaplama ile gerçekleştirilen ve işlenen video karesi sayısının azaltılmasını temel alan iki farklı algoritma önerilmiştir.

##### 4.1 Çok-Çekirdekli hızlandırma

Çok çekirdekli işlemci teknolojisinin gelişmesiyle birlikte yaygınlaşan paralel programlama yaklaşımı, yüksek performans gerektiren birçok uygulamada önemli iyileştirmeler sağlanmaktadır. Genel anlamda paralel programlama bir işlemin gerçekleştirilmesinde birden fazla işlemcinin aynı anda çalıştırılmasını gerektirir. Gerçekleştirilecek olan işlem, işlemcinin çekirdek sayısı dikkate alınarak iş parçacıklarına ayrılır ve her iş parçacığı farklı bir işlemci üzerinde eş zamanlı çalıştırılır. Çok çekirdekli işlemcilerden yararlanabilmek için paralel program yazılımları kullanılmalıdır. Bu sayede her bir işlemciye düşen iş sayısı azaltılarak çalışma süresini de kısaltmak mümkün olmaktadır.

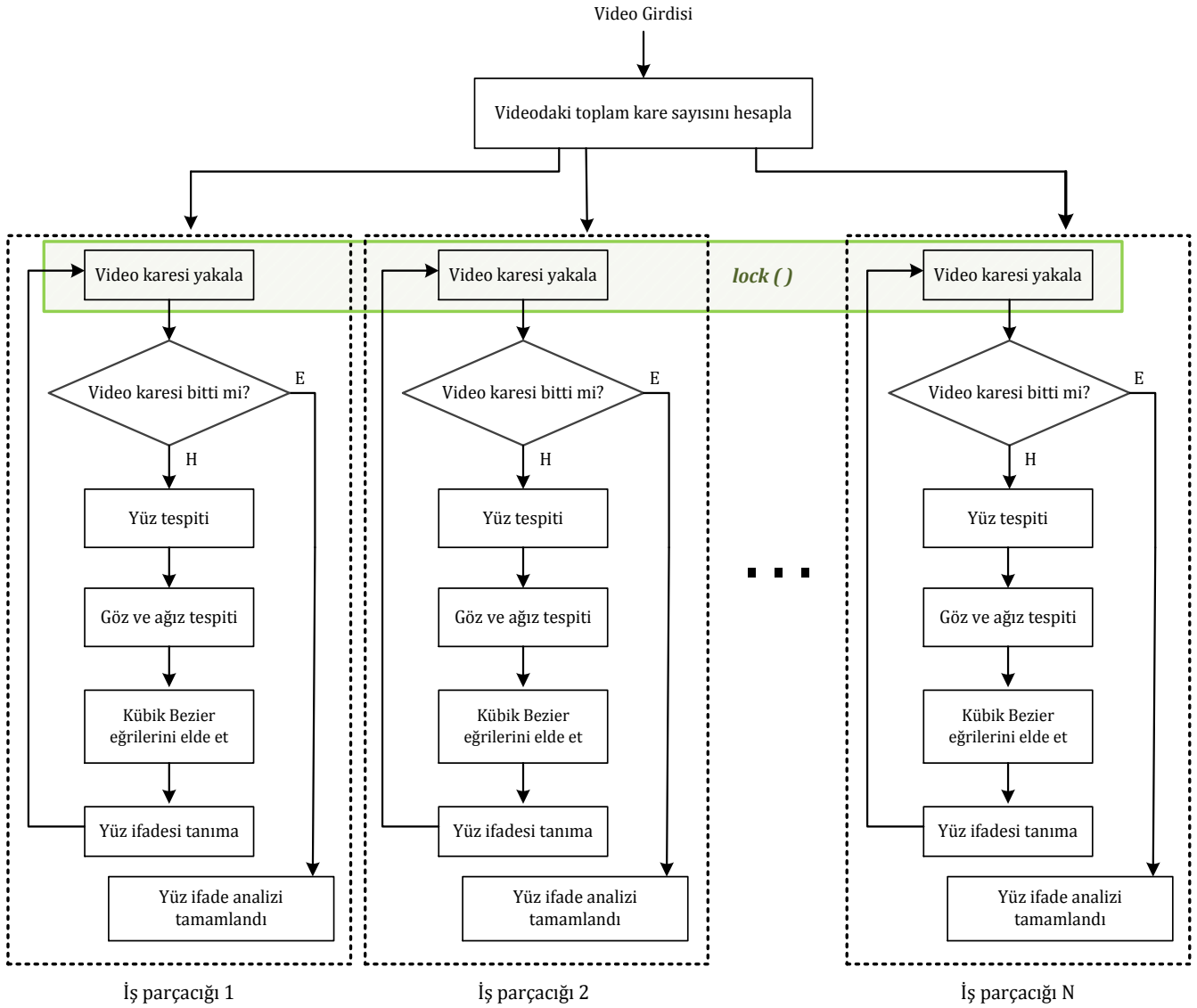
Bu çalışmada yüz ifade analizinin hızlandırılması için kullanılan yaklaşım, C# "Parallel" sınıfının "For" metodu ile

gerçekleştirilmiştir. Bir paralel for döngüsünün kullanımı aşağıdaki gibidir:

```
Parallel.For(0, isSayisi, (i) =>
{
    // işlem kodları
});
```

Normal for yapısına ait işlem kodları "i" değişkeninin değerine bağlı olarak sıra ile çalışırken Parallel.For yapısı "i" değişkeninin farklı değerlerini iş parçacıklarına göndererek, işlemci özelliklerine göre, birden fazla iş parçacığının eş zamanlı olarak çalışmasını sağlamaktadır. Çalıştırılmak istenen paralel işlemci sayısı ise ParallelOptions sınıfının MaxDegreeOfParallelism özelliği kullanılarak belirlenebilir. Yüz ifade analiz sisteminin paralel gerçekleştirme akış diyagramı Şekil 12'de gösterilmektedir.

Yüz ifade analiz sisteminin paralel gerçekleştirilmesinde, video karelerinin yakalanması anında oluşabilecek kilitlenmeyi önlemek amacıyla lock() senkronizasyon mekanizması kullanılmıştır. Bu sayede farklı işlemciler üzerinden aynı video karelerine erişim engellenmiş olmaktadır.



Şekil 12: Yüz ifade analiz sisteminin paralel gerçekleştirme akış diyagramı.

Lock aşamasına ilk gelen iş parçacığı, ilgili bloğun işletim hakkını kazanmış olur. Lock ile bloklanmış olan işlemler bir iş parçacığı üzerinde tamamlanmaya kadar çalışırlar. İlgili blok bu iş parçacığı tarafından tamamlanmadan başka bir iş parçacığı aynı aşamaya geldiğinde, ilk iş parçacığının işini bitirmesini beklemek zorundadır. İlk iş parçacığı lock bloğunun işletimini bitirdiği anda bloğun işletim hakkı bekleyen iş parçacıkları arasında "ilk gelen ilk hizmet alır" mantığıyla diğer bir iş parçacığına geçer. Bu şekilde iş parçacıkları arasında senkronizasyon sağlanmış olup, ortaya çıkabilecek hatalar engellenmiştir.

İfade analiz sisteminin hızlandırılmasına önerilen bu yöntemin *Parallel.For* yapısına ve senkronizasyon işleminde kullanılan *lock()* mekanizmasına ait C# kod bloğu aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir.

```
static object Lock = new object();
Parallel.For(0, toplamVideoKareSayisi,
    new ParallelOptions {
        MaxDegreeOfParallelism =
            (int)numericUpDown1.Value }, i =>
```

```
{
    lock (Lock)
    {
        videoKaresi = capture.QueryFrame();
    }

    // Yüz tespiti ()
    // Göz ve ağız tespiti ()
    // Yüz özellik çıkarımı ()
    // Yüz ifadesi tanıma ()
});
```

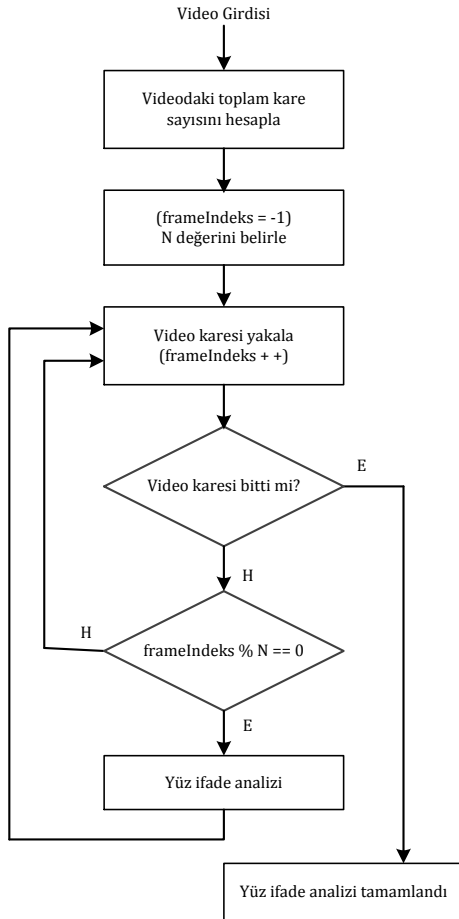
#### 4.2 Frame-Tabanlı hızlandırma

Yüz ifade analizinin hızlandırılması için kullanılan bu yöntem, işlenen video karelerinin sayısını azaltılmasına dayanmaktadır. Çünkü bir videodaki her karede yüz ifadesinin değişmesi mümkün değildir. Bu yaklaşıma dayanarak videonun bütün karelerini işlemek yerine, belirlenen frame sayısına (N) göre her N. karede bir görüntü karesi ifade analiz işlemi için kullanılmıştır. Örneğin N=2 olduğunda her iki kareden biri N=3 olduğunda ise her üç kareden biri analiz



edilmiştir. Bu sayede N değeriyle yaklaşık aynı oranda hızlandırma sağlanmıştır. Fakat N değerinin çok fazla artırılması, analiz edilen görüntü karesi sayısını bir o kadar azaltacağından, videoya ait istatistiksel analiz sonuçlarının doğruluğunu da değiştirecektir.

Yüz ifade analiz sisteminin frame-tabanlı hızlandırılmasına ait algoritmanın akış diyagramı Şekil 13'te gösterilmektedir. Burada yüz ifade analizi; yüz tespiti, göz ve ağız tespiti, yüz özelliklerinin çıkarılması ve ifade tanıma işlemlerini içermektedir.



Şekil 13: Yüz ifade analiz sisteminin frame-tabanlı hızlandırma akış diyagramı.

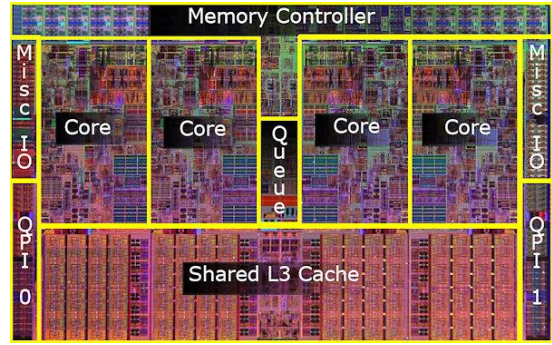
## 5 Deneysel sonuçlar

Bu çalışmada, hızlandırılmış yüz ifade analiz sisteminin gerçekleştirilmesi ve sonuçların gözlemlenmesi için Visual Studio 2012 platformunda, Visual C# programlama dili ile bir arayüz tasarlanmıştır. Ayrıca önerilen hızlandırma algoritmasında paralelleştirme işlemi için .NET Framework 4.5 sürümü kullanılmıştır.

İfade analizi video dosyaları üzerinde normal, mutluluk, üzüntü ve şaşkınlık ifadeleri için gerçekleştirilmiştir. Test aşamasında 14 farklı milletten, %81'i erkek, kalan %19'u da bayan olmak üzere 42 deneye ait 1116 videodan oluşan eINTERFACE'05 veritabanı kullanılmıştır. Videolar oluşturulurken her bir deneye belirli bir duyguyu ortaya çıkarmak için kısa hikâyeler dinletilip istenilen tepkileri hem yüz ifadesi hem de ses tonu ile vermeleri istenmiştir. Video kayıtları yüksek çözünürlüklü dijital kamera ile 720 x 576

Microsoft AVI formatında ve saniyede 25 kare hızında (fps) oluşturulmuştur [35].

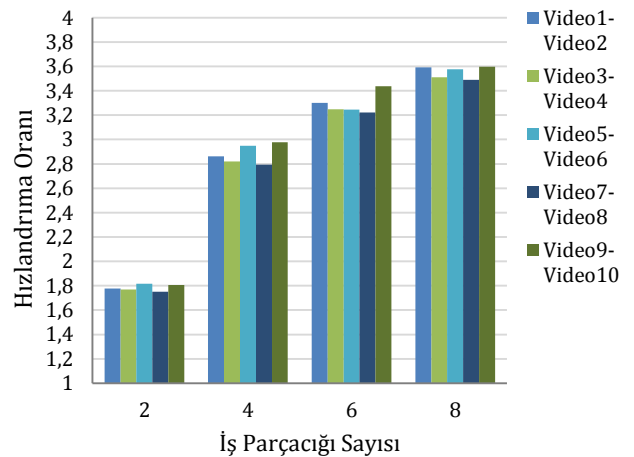
Önerilen çok-çekirdekli hızlandırma mimarisinin paralel başarımların analizi, Intel® Core™ i7-4700HQ işlemci ve 12 GB RAM ile 64-bitlik işletim sistemine sahip bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan Intel i7 işlemcisi 6 MB büyüklüğünde L3 ön belleğe sahip olup dört-çekirdekten oluşmaktadır [36]. Şekil 14'te kullanılan Intel i7 işlemcisinin mimarisi gösterilmektedir. İşlemci üzerinde Hyper-Threading özelliği ile 8 iş parçacığı tanımlanabilmektedir. Deneysel sonuçlardaki dört çekirdekten sonra elde hızlandırma oranlarında, sanal çekirdeklerin paralelleştirmeye olan etkileri gözlemlenmiştir.



Şekil 14: Intel® Core™ i7-4700HQ işlemci mimarisi [37].

Yüz ifade analizinin eINTERFACE'05 veritabanının seçilen 10 farklı test videosu üzerinde seri ve paralel gerçekleştirilmesine ait analiz süreleri ve hızlandırma oranları Tablo 1'de sunulmuştur. Videolar her bir işlem için 5 kez test edilerek ortalama süreleri hesaplanmıştır. Yüz ifade analizinin paralel iş parçacıkları sayısına göre hızlandırılma oranlarına ait grafikler Şekil 15'te verilmiştir. Videolar 2'li olarak gruplanarak ortalama oranları sunulmuştur.

Yüz ifade analizinin hızlandırılması için önerilen frame-tabanlı hızlandırma yönteminde, belirlenen frame sayısına göre 5 farklı video için alınan sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur. Frame sayısı videonun kaç karede bir analiz edildiğini göstermektedir. Analiz işlemi her video için 3 kez tekrarlanarak sonuç değerlerin ortalamaları alınmıştır. Hızlandırma oranları ise bütün video karelerinin seri olarak analiz edildiği durumlara ait süreler temel alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 15: Yüz ifade analiz paralel hızlandırma grafiği.

Tablo 1: Yüz ifade analizinin seri ve paralel gerçekleştirilmesine ait çalışma süreleri (s) ve hızlandırma oranları.

Video	Seri			Paralel İş Parçacıkları					Hızlandırma Oranı
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Video1 (63 kare)	36.6	20.8	15.6	13.1	12.6	11.2	10.5	10.3	3.55
Video2 (110 kare)	69.7	38.8	30.1	23.8	21.5	20.9	19.1	19.2	3.62
Video3 (48 kare)	29.1	16.9	13.5	10.9	10.3	9.5	8.6	8.5	3.40
Video4 (142 kare)	97.5	53.7	40.2	32.8	29.2	28.4	26.8	27.1	3.59
Video5 (72 kare)	42.8	23.8	18.7	14.5	14.1	13.4	12.2	12.0	3.54
Video6 (104 kare)	61.3	33.4	26.1	20.8	19.2	18.6	17.5	17.1	3.57
Video7 (43 kare)	25.4	14.9	11.2	9.5	8.6	7.8	7.4	7.4	3.41
Video8 (81 kare)	47.2	26.3	20.0	16.2	15.0	14.8	13.6	13.3	3.53
Video9 (131 kare)	93.2	50.9	38.8	30.8	28.2	26.9	26.3	25.8	3.61
Video10 (93 kare)	55.9	31.4	23.5	19.1	18.7	16.4	15.9	15.6	3.57

Tablo 2: Frame-tabanlı hızlandırma oranları.

Video	2 Frame		3 Frame		5 Frame	
	Analiz Edilen Kare Sayısı	Hızlandırma Oranı	Analiz Edilen Kare Sayısı	Hızlandırma Oranı	Analiz Edilen Kare Sayısı	Hızlandırma Oranı
Video1 (72 kare)	36	2.00	24	3.01	15	4.78
Video2 (56 kare)	28	2.01	19	2.99	12	4.96
Video3 (87 kare)	44	1.98	29	2.96	18	4.86
Video4 (113 kare)	57	2.01	38	3.02	23	4.97
Video5 (62 kare)	31	2.02	21	2.93	13	4.85

Tablo 1'deki sonuçlar incelendiğinde, sanal çekirdekler ile iş parçacıkları sayısının 7 ve 8'e çıkarılması ile bazı videolar için hızlandırma oranının artmadığı ya da yaklaşık olarak aynı kaldığı görülmüştür. Bu durum artan iş parçacıklarının yönetiminin zorlaşması ve ayrıca iş parçacıklarının video karelerinin yakalanması sırasında birbirini bekleme süresinin artmasıyla (lock senkronizasyon mekanizması) yaşanan zaman kayıpları ile açıklanabilir.

Tablo 2'deki sonuçlar incelendiğinde; iki ve üç video karesi seçilerek elde edilen hızlandırma oranlarda bazılarının beklenen değerin üzerine olduğu görülmektedir. Bu durum video içeriği ile ilgili olup ve her görüntü karesi üzerinde geçen analiz süresinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Beş video karesi seçilerek elde edilen sonuçların beklenenden daha düşük olmasının nedeni ise toplam video kare sayısının seçilen kare sayısının tam katı olamamasından dolayı daha fazla görüntü karesinin analiz edilmesindedir.

## 6 Sonuç

Yüz ifade analizinin; insan davranışlarının analizi, insan-insan etkileşimi ve insan-bilgisayar etkileşimi gibi çok geniş bir uygulama yelpazesi vardır. Bu çalışmada haar özellikleri ve Bézier eğrileri kullanılarak gerçekleştirilen yüz ifade analiz sisteminin hızlandırılması önerilmiştir. Önerilen yaklaşım eNTERFACE'05 duygu video veritabanı üzerinde test edilmiştir. İstatiksel yüz ifade analiz sonuçları üzerinde gerçekleştirilen hata düzeltme işlemi ile video dosyalarına ait analiz sonuçları iyileştirilmiştir. Önerilen frame-tabanlı hızlandırma yönteminde, beş video karesinden daha büyük aralıklarla gerçekleştirilen analiz işleminde sonuçların doğruluğu azaldığından, beş kareden daha fazla video karesi ile elde edilen test sonuçları değerlendirmeye alınmamıştır. İstatiksel yüz ifade analizinin frame-tabanlı hızlandırılması ve iş parçacığı adedine bağlı olarak paralelleştirilmesi ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Hyper Threading teknolojisine sahip dört-çekirdekli Intel® Core™ i7-4700HQ işlemci üzerinde gerçekleştirilen deneysel testler sonucunda 2 iş parçacığı ile yaklaşık 1.8 kat; 4 iş parçacığı ile yaklaşık 2.9 kat ve 8 iş

parçacığı ile de yaklaşık olarak 3.5 hızlandırma oranları elde edilmiştir.

Bu çalışma özellikle insan-bilgisayar etkileşimi temelli çalışmalara entegre edilerek farklı uygulamalarda kullanılabilir niteliktedir. Çalışmada ele alınan yüz ifade analizi hızlandırma yöntemleri bu alanda yapılabilecek yeni çalışmalara yol göstermesi açısından önemlidir. Bundan sonraki çalışmalarda; birden fazla kişi için yüz ifade analizinin yapılması ve bu işlemlerin grafik işlemci birimi (GPU) ile hızlandırılarak gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılması gerçekleştirilebilir.

## 7 Kaynaklar

- [1] Mehriban A. "Communication without words". *Psychology Today*, 2(4), 53-56, 1968.
- [2] Suwa M, Sugie N, Fujimora K. "A preliminary note on pattern recognition of human emotional expression". *4th International Joint Conference on Pattern Recognition*, Kyoto, Japan, 7-10 November 1978.
- [3] Murtaza M, Sharif M, Raza M, Shah JH. "Analysis of face recognition under varying facial expression: a survey". *The International Arab Journal of Information Technology*, 10(4), 378-388, 2013.
- [4] Yang MH, Kriegman DJ, Ahuja N. "Detecting faces in images: a survey". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(1), 34-58, 2002.
- [5] Tian YL, Kanade T, Cohn JF. *Facial Expression Analysis*. Editors: Li SZ, Jain AK. Handbook of Face Recognition, East Lansing, Michigan, USA, Springer, 2005.
- [6] Ekman P, Friesen WV. "Constants across cultures in the face and emotion". *Journal of Personality and Social Psychology*, 17(2), 124-129, 1971.
- [7] Ekman P. "Universals and cultural differences in facial expressions of emotion". *Nebraska Symposium on Motivation*, Nebraska, USA, 1972.
- [8] Akgun D. "A Practical parallel implementation for TDLMS image filter on multi-core processor". *Journal of Real-Time Image Processing*, 13(2), 249-260, 2017.
- [9] Ekman P, Friesen WV. *Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement*. California, USA, Consulting Psychology Press, 1978.
- [10] Ekman P. *Methods for Measuring Facial Action*. Editors: Scherer K, Ekman P. Handbook of Methods in Nonverbal Behavior Research, 45-135, New York, USA, Cambridge University Press, 1982.
- [11] Yacoob Y, Davis LS. "Recognizing human facial expressions from long image sequences using optical flow". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 18(6), 636-642, 1996.
- [12] Cohen I, Garg A, Huang TS. "Emotion recognition from facial expressions using multilevel HMM". *Neural Information Processing Systems*, 2000.
- [13] Lajevardi SM, Lech M. "Facial expression recognition from image sequences using optimized feature selection". *IEEE 23rd International Conference Image and Vision Computing (IVCNZ)*, Christchurch, New Zealand, 26-28 November 2008.
- [14] Khan MI, Bhuiyan A. "Facial expression recognition for human-robot interface". *International Journal of Computer Science and Network Security*, 9(4), 300-306, 2009.
- [15] Özmen G, Kandemir R. "Haar dalgacıkları ve kübik bezier eğrileri ile yüz ifadesi tespiti". *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, Türkiye, 29 Kasım-01 Aralık 2012.
- [16] Rai P, Dixit M. "Smile detection via bezier curve of mouth interest points". *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 3(7), 802-806, 2013.
- [17] Bao H, Ma T. "Feature extraction and facial expression recognition based on bezier curve". *IEEE International Conference on Computer and Information Technology*, Xi'an, 11-13 September 2014.
- [18] Lopes AT, Aguiar E, Santos TO. "A facial expression recognition system using convolutional networks". *28th Conference on Graphics, Patterns and Images*, Salvador, Brazil, 26-29 September 2015.
- [19] Uddin Z. "A depth video-based facial expression recognition system utilizing generalized local directional deviation-based binary pattern feature discriminant analysis". *Multimedia Tools and Applications*, 75(12), 6871-6886, 2016.
- [20] Viola P, Jones MJ. "Robust real-time face detection". *International Journal of Computer Vision*, 57(2), 137-154, 2004.
- [21] Özmen G. Kübik Bezier Eğrileri ile Yüz İfadesi Tanıma. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2012.
- [22] OpenCV. "OpenCV Library". <http://opencv.org> (02.03.2016).
- [23] EmguCV. "EmguCV: OpenCV in.NET". <http://www.emgu.com> (02.03.2016).
- [24] Cascade Classification. "Haar Özellikleri ve Adaboost". [http://docs.opencv.org/2.4/modules/objdetect/doc/cascade\\_classification.html](http://docs.opencv.org/2.4/modules/objdetect/doc/cascade_classification.html) (02.03.2016).
- [25] Castrillón M, Déniz O, Guerra C, Hernández M. "ENCARA2: real-time detection of multiple faces at different resolutions in video streams". *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 18(2), 130-140, 2007.
- [26] Castrillón M, Déniz O, Lorenzo J, Hernández D. "Using incremental principal component analysis to learn a gender classifier automatically". *Proceedings of the First Spanish Workshop on Biometrics*, Girona, Spain, 2007.
- [27] Castrillón-Santana M, Déniz-Suárez O, Antón-Canalis L, Lorenzo-Navarro J. "Face and facial feature detection evaluation". *3rd International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, Funchal, Madeira, Portugal, 22-25 January 2008.
- [28] Andersson F. Bezier and B-Spline Technology, Scientific Report, 58, 2003.
- [29] Joy KI. "Bernstein Polynomials". University of California, Davis, On-Line Geometric Modeling Notes, 13, 2000.
- [30] Bayrakdar S. Video Üzerinde Yüz İfadelerinin Hızlandırılmış İstatiksel Analizi için Yeni Bir Algoritma. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2016.
- [31] Microsoft Visual Studio. "Visual Studio IDE, Kod Düzenleyicisi, Team Services ve Mobile Center". <https://www.visualstudio.com/tr/> (02.03.2016).
- [32] Microsoft Visual Studio .Net. ".NET Geliştirme | Visual Studio". <https://www.visualstudio.com/vs/net-development/> (02.03.2016).

- [33] Zhang Z. "Feature-based facial expression recognition: sensitivity analysis and experiments with a multi-layer perceptron". *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 13(6), 893-911, 1999.
- [34] Ghimire D, Lee J. "Geometric feature-based facial expression recognition in image sequences using multi-class adaboost and support vector machines". *Sensors*, 13(1), 7714-7734, 2013.
- [35] Martin O, Kotsia I, Macq B, Pitas I. "The eNTERFACE'05 audio-visual emotion database". *22nd International Conference on Data Engineering Workshops (ICDEW'06)*, Atlanta, Georgia, 3-7 April 2006.
- [36] Intel®. "Core™ i7-4700HQ Processor". [http://ark.intel.com/tr/products/75116/Intel-Core-i7-4700HQ-Processor-6M-Cache-up-to-3\\_40GHz#@specifications](http://ark.intel.com/tr/products/75116/Intel-Core-i7-4700HQ-Processor-6M-Cache-up-to-3_40GHz#@specifications) (05.03.2016).
- [37] Intel®. "Core™ i7-4700HQ Processor Architecture". <http://www.intel.com/pressroom/archive/releases/2010/20100330comp> (05.03.2016).