



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**

**TEN RENGİ ve YÜZ BULMA TEKNOLOJİSİNE  
DAYALI İNSAN SAYMA SİSTEMİ**

**H. Hakan ÇETİNKAYA**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı**

**Yrd. Doç. Dr. Muammer AKÇAY**

**BİLECİK, 2012**

**Ref. No:444677**

 <p><b>BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ</b> <b>FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ</b> <b>BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI</b></p>	<p><b>YÜKSEK LİSANS</b></p> <p><b>JÜRİ ONAY FORMU</b></p>
---	---

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 28/08/2012 tarih ve 18 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 04/09/2012 tarihinde tez savunma sınavı yapılan H.Hakan ÇETİNKAYA'nın "TEN RENGİ VE YÜZ BULMA TEKNOLOJİSİNE DAYALI İNSAN SAYMA SİSTEMİ" başlıklı tez çalışması Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

### **JÜRİ**

#### **ÜYE**

**(TEZ DANIŞMANI):** Yrd. Doç. Dr. Muammer AKÇAY

**ÜYE:** Yrd. Doç. Dr. Cihan KARAKUZU

**ÜYE:** Yrd. Doç. Dr. Ümit Çiğdem TURHAL

### **ONAY**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... Tarih ve ...../..... sayılı kararı.

**İMZA/MÜHÜR**

## ÖZET

İnsan sayma sistemleri iç ve dış mekanlardaki insanların sayısını otomatik olarak tahmin etmeyi amaçlar. Reklam ve promosyon değerlendirmeleri gibi ticari ortamlarda ve benzeri birçok uygulamada, video gözetim ve taşımacılık yönetim sistemlerinde insan sayma sistemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemi ve ten rengini bularak yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemi olmak üzere 2 sistem geliştirilmiştir. Yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemine (Sistem 1) ten rengi tespit sistemi eklenerek ten rengini bularak yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemi (Sistem 2) oluşturulmuştur. Bu tez, eğitim ortamlarında yer alan bülten panosunu izleyen potansiyel öğrenenlerin sayısını hesaplayan ten rengi tespit ve yüz bulma teknolojisine dayalı bir insan sayma sistem modeli sunmaktadır. Önerilen sistemin yüz bulma sistemi, yüzleri bulmak için Viola-Jones metodunu kullanır. Viola Jones metodu, Haar sınıflandırıcı yöntemiyle çok hızlı bir şekilde insan yüzü tespit edebilir ve bu yöntem yüksek doğruluk oranına sahiptir. Bu sistem, OpenCV kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiştir. Bu tezde ten rengi tespitinde sıklıkla kullanılan HSV ve YCbCr olmak üzere 2 renk uzayı kullanılmıştır. Verilen parametreler doğrultusunda yapılan testlerde, HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminde YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemine oranla daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan testler sonucunda insan sayma sistemlerinin, video gözetim, reklam panosu izleyenlerin sayısının hesaplanması gibi çalışmaların dışında eğitim alanında da kullanılabileceği gösterilmiştir.

### **Anahtar Kelimeler**

İnsan sayma sistemi, İnsan sayımı, Yüz bulma, Ten rengi tespiti, Bülten panosu, Bilgisayarla görü.

## **ABSTRACT**

People counting systems aim at automatically estimating the number of people indoor and outdoor places. They are widely used in commercial environment; determining conversion ratio, advertising and promotional evaluations, and so on, video surveillance and transportation management system. In this thesis, two people counting systems were developed; one is based on face detection and the other is based on skin color and face detection technology. Skin color and face detection technology based people counting system (System 2) was developed by adding skin color detection system to the people counting system based on face detection (System 1). This thesis presents a people counting system model, based on skin color detection and face detection technology, counting the number of potential learners who are watching the bulletin board in educational environment. Face detection system of the proposed system uses Viola-Jones method to detect face. Viola-Jones method can detect human faces very quickly and achieve high detection accuracy by using Haar classifier technique. This system was developed using OpenCV library. Widely used 2 color spaces; HSV and YCbCr color spaces were used for skin color detection in the thesis. Experiments showed that the successful results were obtained from HSV color space instead of YCbCr color space, in accordance with the given parameters. As a result of outcomes of this study, it has shown that people counting systems can also be extended in educational applications in addition to such people counting system studies on video surveillance, calculating the number of readers of billboard, etc...

### **Keywords**

People counting system, People counting, Face detection, Skin color detection, Bulletin board, Computer vision.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda büyük emeği geçen danışmanım, değerli Sayın Yrd.Doç.Dr. Muammer Akçay hocama, lisans eğitimim boyunca motive edici sözleriyle bizi her zaman destekleyen Sayın Öđr.Gör.Dr. Ömer Uysal'a, Erasmus değişim programından bu yana tanıdığım, mühendislik alanında çalışma alanımın belirlenmesinde katkıları olan ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen hocalarım Sayın Dr. Müh. Tomasz Gaciarz'a ve Sayın Dr. Barbara Borowik'e ve bana her zaman güvenen ve beni destekleyen fedakr aileme teşekkürü bir borç bilirim.

H.Hakan ÇETİNKAYA

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ.....</b>	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ.....</b>	<b>viii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....</b>	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. YÜZ BULMA ve TEN RENGİ TESPİT SİSTEMLERİ .....</b>	<b>4</b>
2.1. Yüz Bulma Yöntemleri .....	4
2.1.1. Bilgi tabanlı yöntemler .....	4
2.1.2. Özellik tabanlı yöntemler .....	5
2.1.3. Şablon eşleme tabanlı yöntemleri .....	6
2.1.4. Görünüm tabanlı yöntemler.....	6
2.2. Yüz Bulma Algoritması (Viola-Jones dedektörü).....	8
a) Haar öznitelikleri (Haar features).....	9
b) Toplam görüntü (integral görüntü-integral image):.....	11
c) Haar peş peşe sınıflandırıcılar .....	12
d) AdaBoost yöntemi (Uyarlamalı boosting) .....	13
2.3. Ten Rengi Tespiti.....	14
2.3.1. Ten rengi tespitinde sıklıkla kullanılan renk uzayları .....	15
2.3.2. Ten rengi modelleme yöntemleri .....	17
2.4. OpenCV ve Örnek Kodları.....	20
a) Görüntü yakalama örnek kodu .....	21
b) Yüz tespiti örnek kodu .....	21
c) Ten belirleme: Kullanılan renk uzayları ve dönüşümleri.....	23

<b>3. ÖNERİLEN SİSTEM</b> .....	<b>25</b>
3.1. Genel Sistem Tanıtımı .....	25
3.2. Ten Renk Aralıkları.....	26
3.2.1. HSV renk uzayı ten renk aralığı .....	27
3.2.2. YCbCr renk uzayı ten renk aralığı .....	29
3.3. Morfolojik İşlemler .....	31
3.4. İnsan Sayma İşlemi .....	34
<b>4. UYGULAMA ve DEĞERLENDİRME</b> .....	<b>38</b>
4.1. Sistem 1:Yüz Bulmaya Dayalı İnsan Sayma Sistemi .....	38
4.1.1. Uygulama yeri: Koridor-bülten panosu.....	40
4.1.2. Diğer uygulama yerleri: Kütüphane ve bilgisayar laboratuvarı girişi .....	40
4.1.3. Sistem 1 uygulamalarının değerlendirilmesi .....	41
4.2. Sistem 2: Ten Rengini Bularak Yüz Bulmaya Dayalı İnsan Sayma Sistemi .....	41
4.2.1. Uygulanan morfolojik işlemler .....	45
4.2.2. Uygulama 1 .....	47
4.2.3. Uygulama 2 .....	50
4.2.4. Uygulama 3 .....	53
4.2.5. Uygulama 4 .....	62
4.2.6. Uygulama 5 .....	71
4.2.7. Sistem 2 uygulamalarının değerlendirilmesi .....	81
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>83</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>86</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>93</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Çizelge 2.1:</b> Bilgi tabanlı yüz bulma yönteminin üstün ve zayıf yanları (Sütçüler,2006; Yang, 2004) .....	5
<b>Çizelge 2.2:</b> Özellik tabanlı yüz bulma yönteminin üstün ve zayıf yanları (Sütçüler,2006; Yang, 2004) .....	6
<b>Çizelge 2.3:</b> Şablon eşleme tabanlı yüz bulma yönteminin üstün ve zayıf yanları (Sütçüler, 2006; Yang, 2004) .....	6
<b>Çizelge 2.4:</b> Görünüm tabanlı yüz bulma yönteminin üstün ve zayıf yanları (Sütçüler,2006; Yang, 2004) .....	7
<b>Çizelge 3.1:</b> HSV renk uzayının kullanıldığı testler ve verilen H,S,V değerleri .....	28
<b>Çizelge 3.2:</b> YCbCr renk uzayının kullanıldığı testler ve verilen Y,Cb,Cr değerleri..	30
<b>Çizelge 4.1:</b> Sistem 1:Yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemi ile yapılan testlerin sonuçları .....	40
<b>Çizelge 4.2:</b> Minimum komşu eşiğinin Sistem 1'e etkisi .....	42
<b>Çizelge 4.3:</b> HSV renk uzayının kullanıldığı testler ve verilen H,S,V değerleri .....	45
<b>Çizelge 4.4:</b> YCbCr renk uzayının kullanıldığı testler ve verilen Y,Cb,Cr değerleri..	45
<b>Çizelge 4.5:</b> HSV renk uzayının kullanıldığı çeşitli morfolojik işlem özellikleri .....	46
<b>Çizelge 4.6:</b> YCbCr renk uzayının kullanıldığı çeşitli morfolojik işlem özellikleri....	46
<b>Çizelge 4.7:</b> HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.1) .....	47
<b>Çizelge 4.8:</b> YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.2).....	48
<b>Çizelge 4.9:</b> HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.3) .....	50
<b>Çizelge 4.10:</b> YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.4).....	51
<b>Çizelge 4.11:</b> HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.5) .....	54
<b>Çizelge 4.12:</b> HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.6) .....	55
<b>Çizelge 4.13:</b> YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.7).....	57
<b>Çizelge 4.14:</b> YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.8).....	58
<b>Çizelge 4.15:</b> HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.9) .....	62
<b>Çizelge 4.16:</b> YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.10).....	64
<b>Çizelge 4.17:</b> HSV renk uzayının kullanıldığı çeşitli morfolojik işlem özellikleri .....	72
<b>Çizelge 4.18:</b> HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.11) .....	72



<b>Çizelge 4.19:</b> HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.13) .....	73
<b>Çizelge 4.20:</b> HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.15) .....	74
<b>Çizelge 4.21:</b> HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.17) .....	75
<b>Çizelge 4.22:</b> YCbCr renk uzayının kullanıldığı çeşitli morfolojik işlem özellikleri....	76
<b>Çizelge 4.23:</b> YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.12).....	77
<b>Çizelge 4.24:</b> YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.14).....	78
<b>Çizelge 4.25:</b> YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.16).....	79
<b>Çizelge 4.26:</b> YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.18).....	80
<b>Çizelge 4.27:</b> Uygulama 5 değerlendirmesi (HSV renk uzayı) .....	81
<b>Çizelge 4.28:</b> Uygulama 5 değerlendirmesi (YCbCr renk uzayı).....	81
<b>Çizelge 4.29:</b> Sistem 2 uygulamalarının değerlendirilmesi (HSV renk uzayı).....	82
<b>Çizelge 4.29:</b> Sistem 2 uygulamalarının değerlendirilmesi (YCbCr renk uzayı) .....	82

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Şekil 2.1:</b> Yüz bulma işlem süreci (Rezai, 2011) .....	9
<b>Şekil 2.2:</b> Haar dalgacığı gösterimi (Rezai, 2011).....	10
<b>Şekil 2.3:</b> HPS’de kullanılan Haar öznelikleri (Gökmen vd., 2007) .....	10
<b>Şekil 2.4:</b> Yüz bulma sistemi çalışırken alt bölge tarama işleminden bazı görüntüler (Harvey, t.y.).....	11
<b>Şekil 2.5:</b> Toplam görüntü değeri (Viola ve Jones, 2001) .....	11
<b>Şekil 2.6:</b> Bir geçişte görüntünün toplam görüntü değerinin hesaplanması (Gidofalvi, 2001) .....	12
<b>Şekil 2.7:</b> Toplam görüntü değerinin hesaplanması (Viola ve Jones, 2001) .....	12
<b>Şekil 2.8:</b> 3x3 görüntü ve toplam görüntü gösterimi (Mankar ve Bhojar, 2012)....	12
<b>Şekil 2.9:</b> Kaskat yapısının çalışma diyagramı (Viola ve Jones, 2001).....	13
<b>Şekil 2.10:</b> HSV renk uzayının konik gösterimi (Sobottka ve Pitas, 1998; Taşkın, 2007).....	16
<b>Şekil 2.11:</b> Haar sınıflandırıcı ham tespitlerinin tam listesi (min_neighbors = 0) (Hewitt, 2007).....	22
<b>Şekil 3.1:</b> Sistem 1: Yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminin akış diyagramı. .	25
<b>Şekil 3.2:</b> Sistem 1: Yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminde insan sayma işleminin gösterimi (Test 1.2).....	26
<b>Şekil 3.3:</b> Sistem 2: Ten rengini bularak yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminin akış diyagramı .....	26
<b>Şekil 3.4:</b> Sistem 2’de HSV renk uzayının kullanıldığı testteki insan sayma işleminden bazı görüntüler (Test 2.3).....	29
<b>Şekil 3.5:</b> Sistem 2’de YCbCr renk uzayının kullanıldığı testteki insan sayma işleminden bazı görüntüler (Test 2.3).....	31
<b>Şekil 3.6:</b> Yayma işlemi.....	32
<b>Şekil 3.7:</b> Aşındırma işlemi .....	33
<b>Şekil 3.8:</b> Ortanca filtresi işlemi .....	34
<b>Şekil 3.9:</b> Önerilen insan sayma sistemlerinde sayma işlemi kaba kodu.....	35

<b>Şekil 3.10:</b>	Her bulunan yüz için hareket geçmişine aynı pozisyonda daha küçük oranda dikdörtgen eklenmesi.....	35
<b>Şekil 3.11:</b>	Hareket geçmişinin oluşturulma işlemi (Test 2.9) .....	37
<b>Şekil 4.1:</b>	Sistem 1: Yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminin akış diyagramı. .	39
<b>Şekil 4.2:</b>	Sistem 1: Yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminden bazı sayım görüntüleri .....	41
<b>Şekil 4.3:</b>	Sistem 1’de minimum komşu eşiği değeri: 4 (Test 1.1).....	42
<b>Şekil 4.4:</b>	Sistem 1’de minimum komşu eşiği değeri: 2 (Test 1.2).....	43
<b>Şekil 4.5:</b>	Sistem 2: Ten rengini bularak yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminin akış diyagramı .....	44
<b>Şekil 4.6:</b>	E.4.4 değerleri ile yapılan Test 2.1’den sayım görüntüleri .....	48
<b>Şekil 4.7:</b>	E.4.5 değerleri ile yapılan Test 2.2’den sayım görüntüleri .....	49
<b>Şekil 4.8:</b>	E.4.5 değerleri ile yapılan Test 2.2’de eksik saptama görüntüleri .....	49
<b>Şekil 4.9:</b>	E.4.6 değerleri ile yapılan Test 2.3’ten sayım görüntüleri .....	51
<b>Şekil 4.10:</b>	E.4.7 değerleri ile yapılan Test 2.4’ten sayım görüntüsü .....	51
<b>Şekil 4.11:</b>	E.4.6 değerleri ile yapılan Test 2.3’ten bir süre sonra sayım görüntüleri .....	52
<b>Şekil 4.12:</b>	E.4.7 değerleri ile yapılan Test 2.5’ten eksik ve yanlış saptama görüntüleri .....	53
<b>Şekil 4.13:</b>	E.4.8 değerleri ile yapılan Test 2.5’ten sayım görüntüleri .....	55
<b>Şekil 4.14:</b>	E.4.8 değerleri ile yapılan Test 2.6’dan sayım görüntüleri .....	56
<b>Şekil 4.15:</b>	E.4.9 değerleri ile yapılan Test 2.7’den sayım görüntüleri .....	57
<b>Şekil 4.16:</b>	E.4.9 değerleri ile yapılan Test 2.8’den sayım görüntüleri .....	58
<b>Şekil 4.17:</b>	E.4.8 değerleri ile yapılan Test 2.5’ten yanlış saptama görüntüleri .....	59
<b>Şekil 4.18:</b>	E.4.8 değerleri ile yapılan Test 2.6’dan yanlış saptama görüntüleri .....	60
<b>Şekil 4.19:</b>	E.4.9 değerleri ile yapılan Test 2.7’den eksik saptama görüntüleri .....	61
<b>Şekil 4.20:</b>	E.4.10 değerleri ile yapılan Test 2.9’dan sayım görüntüleri .....	63
<b>Şekil 4.21:</b>	E.4.11 değerleri ile yapılan Test 2.10’dan sayım görüntüleri .....	65
<b>Şekil 4.22:</b>	E.4.10 değerleri ile yapılan Test 2.9’dan eksik saptama görüntüleri .....	66
<b>Şekil 4.23:</b>	E.4.10 değerleri ile yapılan Test 2.9’dan yanlış saptama görüntüleri .....	67
<b>Şekil 4.24:</b>	E.4.10 değerleri ile yapılan Test 2.9’dan diğer yanlış saptama görüntüleri .....	68

<b>Şekil 4.25:</b>	E.4.11 değerleri ile yapılan Test 2.10'dan eksik saptama görüntüleri... ..69
<b>Şekil 4.26:</b>	E.4.11 değerleri ile yapılan Test 2.10'dan yanlış saptama görüntüleri ... 71
<b>Şekil 4.27:</b>	Yayma işlemi 2 iterasyon (3x3) (Test 2.11)..... 73
<b>Şekil 4.28:</b>	Yayma ve ortanca filtresi 2 iterasyon (3x3) (Test 2.13)..... 74
<b>Şekil 4.29:</b>	Yayma, aşındırma ve ortanca filtresi 2 iterasyon (3x3) (Test 2.15)..... 75
<b>Şekil 4.30:</b>	Yayma, ortanca filtresi ve aşındırma iterasyon (5x5) (Test 2.17)..... 76
<b>Şekil 4.31:</b>	Yayma işlemi 2 iterasyon (3x3) (Test 2.12)..... 77
<b>Şekil 4.32:</b>	Yayma ve ortanca filtresi 2 iterasyon (3x3) (Test 2.14)..... 78
<b>Şekil 4.33:</b>	Yayma, aşındırma ve ortanca filtresi 2 iterasyon (3x3) (Test 2.16)..... 79
<b>Şekil 4.34:</b>	Yayma, ortanca filtresi ve aşındırma iterasyon (5x5) (Test 2.18)..... 80

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- AVI** : **A**udio **V**ideo **I**nterleave
- BSD** : **B**erkeley **S**oftware **D**istribution  
(Berkeley Yazılım Dağıtım)
- CIF** : **C**ommon **I**ntermediate **F**ormat
- FPS** : **F**rames **P**er **S**econd  
(Saniyedeki çerçeve sayısı)
- H. 264 / MPEG-4 AVC**: **M**oving **P**icture **E**xperts **G**roup (for **A**dvanced **V**ideo **C**oding)  
MPEG-4 Part 10 /MPEG-4 AVC
- HPS** : Haar Cascade Classifier  
(**H**aar **P**eş **P**eşe **S**ınıflandırıcı)
- HSV** : **H**ue-**S**aturation-**V**alue  
(Renk özü-Doygunluk-Parlaklık)
- MOV** : QuickTime Movie Format  
(QuickTime Film Formatı)
- OpenCV** : **O**pen **S**ource **C**omputer **V**ision **L**ibrary  
(Açık kaynak kodlu bilgisayarla görü kütüphanesi).
- RGB** : **R**ed-**G**reen-**B**lue  
(Kırmızı-Yeşil-Mavi)
- YCbCr** : Luminance-Blue Difference Chroma-Red Difference Chroma  
(Parlaklık-Mavi Renklilik-Kırmızı Renklilik)
- YUV** : Luminance-Blue Luminance Chroma-Red Luminance Chroma  
(Parlaklık-Mavi Renklilik-Kırmızı Renklilik)

# 1. GİRİŞ

İnsan sayma sistemleri iç ve dış mekanlardaki insanların sayısını otomatik olarak tahmin etmeyi amaçlar (Zhao vd., 2009). İnsan sayma sistemleri kullanmanın birçok getirisi vardır. Örneğin, bir alışveriş merkezindeki izleyicilerin sayısını sayma işlemi, alışveriş saatlerini optimize etme ve bunun yanı sıra bazı alışveriş alanlarının veya alışveriş öğelerinin çekiciliğini değerlendirme konusunda bilgiler sağlayabilir (Chen ve Lin, 2009). Dönüşüm oranının (conversion ratio) tespiti, reklam ve promosyon değerlendirmeleri gibi ticari ortamlardaki birçok uygulamada insan sayma sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, bu sistemler taşımacılık yönetim sisteminde ve video gözetiminde (surveillance) de kullanılabilirler. Örneğin, Genetec-Global Education Pazar Geliştirme Direktörü Barbara Winkler-Chimbor lise sonrası eğitim kurumlarının, yangınlar veya hava durumu ile ilgili acil durumlar sırasında, stadyumların kapasitelerini değerlendirmek ve tahliye işlemleri planlamak için insan sayma sistemlerine başvurduğunu belirtmiştir (Wang, 2012). Özetle, pek çok gerçek dünya uygulamalarında insan sayma sistemlerinin önemli bir yeri vardır.

Prabakaran'ın (2011) Kamel ve arkadaşlarından (2004) alıntılıdığı gibi insan sayma sistemleri obstrüktif (engelleyen-engel oluşturan) ve non-obstrüktif (engellemeyen-engel oluşturmayan) olmak üzere 2 grupta sınıflandırılmıştır. Turnikeler, paspas anahtarları (mat switches), ayak anahtarları (foot switches) engelleyen insan sayma sistemleri örneklerinden bazılarıdır. Sıklıkla kullanılan engelleyen insan sayma sistemlerinden olan turnikeler; yüksek maliyet, bir yere sabit olma ve geçiş yolunu engelleyebilme özellikleri gibi sakıncılara sahiptir (Liu, 2005). Sabit ve geçiş yoluna engelledikleri için trafik akışına engel olurlar (Hyman, 2003). Çoğu yerde, bu tür engeller pratik değildir, kullanışsızdır ve yüksek yoğunluklu insan akış trafiği varsa, turnikeler zaman kaybına neden olabilir (Velipasalar vd., 2006). Ayrıca, eksik sayma olasılıkları vardır.

Diğer bir insan sayma sistemi olan engel oluşturmayan sistemlerden olan kızılötesi ışınlar veya termal (ısı) sensörleri kullanan sistemler kapıları bloke etmezler, ancak onların da aynı eksik sayma sorunları vardır (Velipasalar vd., 2006). Break-beam sensörleri de insanların geçiş yoluna engel olmaz, ama 2 veya daha fazla kişinin sensörler arasından geçerken birbirini engellemesi (kapatma-oklüzyon (occlusion))

sonucu eksik sayma sorunları vardır. 1’den fazla kişi ile yürürken break-beam kesintiye uğrarsa, bu süre içinde kaç kişi geçtiğini belirlemek için bir yolu yoktur (Hyman, 2003).

Engel oluşturmayan insan sayma sistemlerinden biri olan bilgisayarla görü teknolojisi tabanlı sistemler, diğer sistemlere bir alternatiftir (Hyman, 2003). Bilgisayarla görü teknolojisine dayalı sistemler, diğer insan sayma sistemleriyle karşılaştırıldığında, daha yüksek oranlı doğru sayma işlemine sahiptir, maliyetleri ucuzdur ve geçişlerde engel oluşturmazlar (Wang vd., 2005).

İnsanları sayma işlemi, yüz, kol ve bacaklar, gövde ve/veya baş eğrilik gibi vücut parçalarını tespit ederek yapılabilir (Khemlani, 2004). İnsanlar, ten rengiyle veya doku (texture) analizi yapılarak da tespit edilebilir. Bir başka yaklaşımda ise, bir video dizisinden insan hareketleri incelenerek insan sayma işlemi yapılır. Bu yaklaşımda, insan hareketi ile insan dışı hareketi birbirinden ayırt etmek önemli bir sorundur (Khemlani, 2004).

İnsan sayma sistemlerinde, arka plan kontrolsüz, aydınlatma az ve karmaşık, görüntülerin çözünürlüğü düşük ve video dizisi düşük bir kare hızına sahip (frame rate) olduğu durumlarda insan sayımı daha zordur (Khemlani, 2004).

Literatürde yer alan bilgisayarla görü teknolojilerini kullanan insan sayma sistem çalışmalarından bazıları aşağıda yer almaktadır:

Marcenaro ve arkadaşları (2002), iç mekânlarda hareket eden yayaları izlemek için bir sistem geliştirmiştir. Kullanmış olduğu kenar analiz (contour analysis) tekniği ile sahnedeki insanların sayımını yapmıştır. Geliştirilen sistem, farklı karmaşıklıklarda dinamik oklüzyonlar içeren PETS2002 verilerinde test edilmiştir.

Chen ve Hsu (2003), yayaların bir kapıdan geçerken, otomatik ve çift yönlü olarak, tavana asılan ve doğrudan aşağıyı gösteren kamera kullanarak yayaları sayan, alan bazlı insan sayma yöntemi kullanan bir sistem önermiştir.

Harasse ve arkadaşları (2005), otobüsler gibi halk ulaşım araçlarında insanları saymak için gözetim (surveillance) kameralarının video akışlarından görüntüleri işleyen bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu sistem ten rengi tespit sistemi ve yüzlerin olası şekil modelini (probabilistic shape model) kullanır. Sayma işlemi ise, görüntü uzayında elle tanımlanmış bir bölüm çizilerek izlenen yüzlerin sayımı yapılır.

Snidaro ve arkadaşları (2005), akıllı binaların bir fonksiyonu olarak değerlendirdiği binaya girişlerin sayısını sayma işleminde, kameralar için oklüzyon

sorunları ile başa çıkmada üst kısımdan bir görünüm seçmiştir. Yaptıkları çalışmada, farklı ışıklandırma koşullarındaki iç mekân videolarında test işlemini gerçekleştirmişlerdir.

Zhang ve Chen (2007), hareket tespiti, çoklu insan bölütlemesi ve grup izlemesi içeren gerçek zamanlı insan sayma sistemi geliştirmişlerdir. Video görüntüleri zemin doğrultusunda 45°'den düşük bir açıda yerleştirilen kamera ile kaydedilmiştir. Geliştirilen sistem ana binanın girişi, kütüphane kapısı, oyun sahası ve meydan olmak üzere farklı yerlerden elde edilen 9 video görüntüsü ile test edilmiştir.

Kilambi ve arkadaşları (2008), kalabalık şehir ortamlarını izlemede yardımcı olabilecek olan bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistem, yaya gruplarını saymak için kamera ölçümleme (kalibrasyon) bilgilerinden yararlanır.

Chen ve arkadaşları (2009), sabit kamera ile TV-duvar reklamlarını veya elektronik ilan/reklam panosunu izleyen insanların sayısını sayan bir sistem geliştirmişlerdir. Gerçekte ilanları izleyen kişiler ön yüz bulma teknikleri ile tanımlanır.

Önceki çalışmalar incelendiğinde, insan sayma sistemlerinin reklam panosu izleyenlerin sayısını hesaplama, video gözetim gibi çalışmalarını dışında farklı bir alan olan eğitim alanında kullanılabilirliğine dair bir çalışma yapılmamıştır.

Bu tez, eğitim ortamlarında yer alan bülten panosunu izleyen potansiyel öğrenenlerin sayısını hesaplayan ten rengi tespit ve yüz bulma teknolojisine dayalı bir insan sayma sistem modeli sunmaktadır. Ten rengi tespitinde HSV ve YCbCr olmak üzere 2 renk uzayı incelenmiş ve en uygun renk uzayı belirlenmeye çalışılmıştır.

Birinci bölümde, insan sayma sistemlerinin tanımı yapılarak bu çalışmanın önemine, amacına ve literatürde yer alan çalışmalara yer verilmiştir. İkinci bölümde, yüz bulma sistemleri ve ten rengi tespit sistemleri tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde, önerilen sistemin genel tanıtımı yapılarak, ten ve yüz bulma sistemlerinde kullanılan parametreler açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, önerilen sistemin uygulamaları yapılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Tez çalışmasında önerilen sistemin özet bir değerlendirilmesi yapılarak, sistemin geliştirilebilir özellikleri sonuç bölümü olan Beşinci bölümde ifade edilmektedir.



## 2. YÜZ BULMA ve TEN RENGİ TESPİT SİSTEMLERİ

Bu bölümde, literatürde yer alan çeşitli yüz bulma yöntemleri incelenmiş, hızlı büyüyen hesaplama gücü ve veri depolama sayesinde diğer yöntemlere göre üstün performans gösteren görünüm tabanlı yöntemleri kullanan Viola Jones dedektörü detaylı olarak açıklanmıştır. Ayrıca, ten rengi tespitinde sıklıkla kullanılan renk uzaylarından olan HSV ve YCbCr renk uzaylarının, ten rengi modelleme yöntemlerinin ve ten rengi ve yüz bulma teknolojisine dayalı insan sayma sistemini geliştirmek için kullanılan OpenCV kütüphanesinin açıklamaları ve bu kütüphanenin örnek kodları yer almaktadır.

### 2.1. Yüz Bulma Yöntemleri

Yüz bulma sistemi geliştirmek için ilk önemli adım yüz bulmada hangi yöntemin seçileceğidir. Literatürde çeşitli yüz bulma yöntemleri mevcuttur. Yang ve arkadaşları (2002) çeşitli yüz bulma yöntemlerini; bilgi tabanlı yöntemler, özellik tabanlı yöntemler, şablon eşleme yöntemleri ve görünüm tabanlı yöntemler olmak üzere dört kategoride gruplandırmıştır.

#### 2.1.1. Bilgi tabanlı yöntemler

Bu yöntem, karmaşık bir çevre içindeki bir yüzün değişmeyen özellikleriyle yüzü belirlemeyi amaçlar. Gözlerin simetri özelliği, gözler ve ağız arasında bulunan geometrik özellik gibi çeşitli kuralların oluşturulması ile ortaya atılan yaklaşımdır (Güvensan ve Haberdar, 2007). Yüzün değişmeyen özellikleri arasındaki ilişkiler bir görüntüde insan yüzünün yer alıp almadığını belirlemeye yardımcı olur (Chen ve Lin, 2007). Bu kural tabanlı yöntem, özellikle yüz yerini belirlemek için tasarlanmıştır (Verma vd., 2010). Bilgi tabanlı yöntem, ön yüz içeren görüntülerde (frontal face images) iyi sonuç verir (Berbar, 1993), hesaplama maliyetini (computational cost) büyük oranda azaltabilir, fakat bu yöntem, yön bağımlıdır (rotation-dependent), farklı pozlarda iyi sonuç vermez (Hu vd., 2011). Bu yöntemlerin üstün ve zayıf yanları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Bilgi tabanlı yüz bulma yönteminin üstün ve zayıf yanları (Sütçüler, 2006; Yang, 2004).

Üstün Yanları	Zayıf Yanları
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüze ait özellikleri ve bu özelliklere ait ilişkileri tanımlayacak kuralları bulmak kolaydır.</li> <li>• Kodlanmış kurallar temel alınarak, bir test resmi içerisindeki yüze ait özellikleri çıkarmak ve yüz adaylarını tanımlamak oldukça basit bir yöntemdir.</li> <li>• Karmaşık olmayan arka planlarda oldukça başarılı sonuçlar alınabilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• İnsan bilgisini kurallara dönüştürmek zordur. Çok detaylı kurallar koyulduğunda yüzleri bulmak mümkün olmayabilir ve daha az detaylı kural durumunda hatalı pozitif sonuçlar alınabilir.</li> <li>• Farklı pozlardaki resimlerde yüzleri bulmak zordur.</li> </ul>

### 2.1.2. Özellik tabanlı yöntemler

Yüzün ışık, poz ve diğer farklı özelliklerinin değişiminden etkilenmeyen özelliklerinin kullanılmasıyla gerçekleşir (Güvensan ve Haberdar, 2007). Bu yöntemde, ayırıt/kenar bulucular (edge detector) kullanılarak, gözlerin, ağzın, kulakların, burnun, saç çizgisi gibi yüz özellikleri çıkartılır ve özellik tespitinde kullanılır (Kim, Shim vd., 2003; Sajó, 2008). Genellikle yüz özellikleri ve bulunan yüzlerin varlığı arasındaki ilişkileri tanımlamak için bir istatistik modeli oluşturulur (Chen ve Lin, 2007). Bu yöntem, yüz özelliklerinin poz, yüz/kamera doğrultusu, şekil, kenar, renk çeşitliliği, renk yoğunluğu ve desen gibi çevresel faktörlerden bağımsız olarak elde edilmesine olanak sağlar (Sütçüler, 2006). Hu ve arkadaşları (2011), Yang ve arkadaşlarından (2002) alıntı yaparak ten renginin, hesaplama maliyetini (computational cost) büyük oranda azaltabildiğini belirtmiştir. Bu yöntem, ölçekten bağımsız (scale-independent), yönden bağımsız (rotation-independent) ve hızlıdır. Özellik tabanlı yüz bulma yöntemlerinin üstün ve zayıf yanları Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Özellik tabanlı yüz bulma yönteminin üstün ve zayıf yanları (Sütçüler, 2006; Yang, 2004).

Üstün Yanları	Zayıf Yanları
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüze ait özellikler, poz doğrultusu ve aydınlanma koşullarından bağımsızdır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aydınlanma (illumination), resimlerdeki gürültüler ve oklüzyon (occlusion) yüzlerdeki özelliklerin bulunmasını zorlaştırır.</li> <li>• Karmaşık arka planlarda özelliklerin bulunması zordur.</li> </ul>

### 2.1.3. Şablon eşleme tabanlı yöntemleri

Bu yöntemler, değiştirilebilir yüz şablonlarına dayanmaktadır. Yüz bölgelerini ve kenarlarını şablon olarak kullanan, uygulanması oldukça basit yöntemlerdir (Sütçüler, 2006). Değiştirilebilir şablonlar, gerçek zamanlı görüntü ile önceden saklanan görüntüleri arasındaki ilişkiyi (korelasyonu) hesaplar (Anonim, t.y.). Kısaca, bu yöntemde girdi resmi ile şablon arasındaki benzerlik kullanılır. Bu yöntemler ölçek (scale-dependent) ve yön bağımlıdır (rotation-dependent). Poz, şekil ve boyut değişimlerinde verimli sonuçlar veremezler (Güvensan ve Haberdar, 2007). Ayrıca, hesaplama maliyeti yüksektir (Hu vd., 2011). Şablon eşleme tabanlı yüz bulma yöntemlerinin üstün ve zayıf yanları Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Şablon eşleme tabanlı yüz bulma yönteminin üstün ve zayıf yanları (Sütçüler, 2006; Yang, 2004).

Üstün Yanları	Zayıf Yanları
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uygulaması basit yöntemlerdir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Şablonlar yüze yakın bölgelerden itibaren test resimleri üzerinde taranamazlarsa yüzün bulunması çok maliyetli olabilir.</li> <li>• Farklı poz doğrultuları için şablon yüzlerinin bulunması ve doğru bir şekilde uygulanması zor bir işlemdir.</li> </ul>

### 2.1.4. Görünüm tabanlı yöntemler

Yüze ait özellikleri çeşitli istatistiksel sınıflandırma ve makine öğrenmesi yöntemleriyle bulup çıkararak yöntemlerdir (Sütçüler, 2006). Makine öğrenmesi tabanlı yöntemler, yüzleri tespit etmek için yüz ve yüz olmayan eğitim örnekleri kullanır. Bu

yöntemler yüksek doğruluk oranlı yüz tespitine sahiptir, fakat bunların doğruluğu eğitim örneklerine bağlıdır. Görünüm tabanlı yüz bulma yöntemlerin çoğu ön yüzlere veya sabit yönelimli yüzlere odaklanır (Hu vd., 2011). Sütçüler (2006), iyi bilinen ve başarılı bazı sınıflandırma algoritmalarını aşağıdaki gibi listelemiştir:

1. Temel bileşen analizi
2. Destek vektör makinesi
3. Yapay sinir ağları
4. İstatistiksel dağılım tabanlı metodlar
5. Naive Bayes sınıflandırıcısı
6. Gizli Markov Modeli
7. Seyrek Ağ Analizi (SNOW-Sparse Network of Windows)
8. Kullback ilişkisel bilgilendirme sistemi
9. Tümevarımsal öğrenme
10. Adaboost

Görünüm tabanlı yüz bulma yöntemlerinin üstün ve zayıf yanları Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Görünüm tabanlı yüz bulma yönteminin üstün ve zayıf yanları (Sütçüler, 2006; Yang, 2004).

Üstün Yanları	Zayıf Yanları
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Başarılı ve gürbüz makine öğrenmesi algoritmalarını kullanır.</li> <li>• Başarılı deneysel sonuçlar vermiştir.</li> <li>• Hızlı çalışırlar.</li> <li>• Farklı boyutlardaki ve doğrultulardaki yüz resimleri için de başarıyla çalışırlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Genellikle resim üzerinde tarama işlemi gerektirir.</li> <li>• Sınıflandırma algoritmalarını eğitmek için birçok pozitif ve negatif örnek gerektirirler.</li> </ul>

Genel olarak, görünüm tabanlı yöntemler, hızlı büyüyen hesaplama gücü ve veri depolama sayesinde diğer yüz bulma yöntemlerine göre üstün performans gösteren yöntemler olmuşlardır (Zhang ve Zhang, 2010).

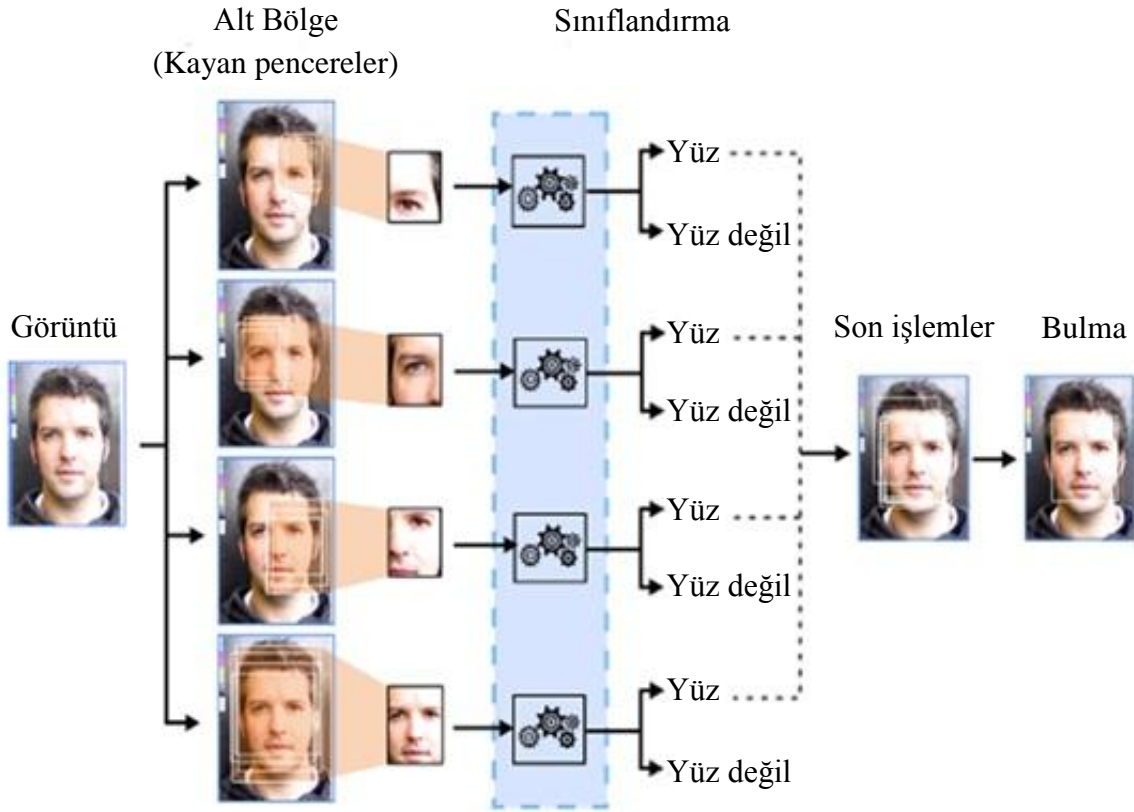
## 2.2. Yüz Bulma Algoritması (Viola-Jones dedektörü)

Jain ve Miller (2011) çalışmasında da belirttiği gibi yüz bulmada görünüm tabanlı yöntem kullanan Viola-Jones dedektörü, Paul A. Viola ve Michael J. Jones tarafından 2004 yılında sunulmasından bu yana yüz bulma konusunda hem doğruluk ve hem de hız açısından en iyisi olarak durumunu korumuştur. Bu tezde temel yüz dedektörü olarak kullanılan Viola-Jones dedektörünün detaylı açıklaması aşağıda verilmiştir:

### Viola-Jones dedektörü

Viola-Jones yüz bulma algoritması, hızlı ve gürbüz bir şekilde yüz bulma sağlayan AdaBoost algoritmasının bir türüdür (Mirzaei, 2011). Bu algoritma, insan yüzünün belirli Haar özelliklerini (özniteliklerini) arar. *Alt bölge (alt pencere, sub-window)* olarak adlandırılan orijinal görüntünün dikdörtgen bölümüne *yüz adayı (face-candidate)* denir. Bu alt bölgeler, genellikle  $24 \times 24$  piksel sabit bir boyuta sahiptirler. Farklı boyutlardaki çeşitli yüzleri elde etmek için, bu alt bölgelerin boyutu ölçeklendirilir. Bu algoritma, bu alt bölge ile tüm görüntüyü tarar ve her ilgili bölümde bir yüz adayı gösterir (Mankar ve Bhoyar, 2012).

Viola-Jones yüz bulma algoritması, bir yüz adayının sabit bir zaman aralığında Haar özelliklerini işlemek için toplam görüntüyü (integral image) ve yüz adayı olmayanları (non-face candidates) hızlı bir şekilde elemek için de peş peşe (kaskat) yapıyı kullanır. Bu özelliklerden biri bulunduğu zaman, algoritma, yüz adayının yüz tespitinin sonraki aşamasına geçmesine izin verir. Eğer yüz adayı tüm aşamaları geçerse, *yüz* olarak adlandırılır. Bu sürecin gösterimi temel olarak Şekil 2.1'de verilmiştir.

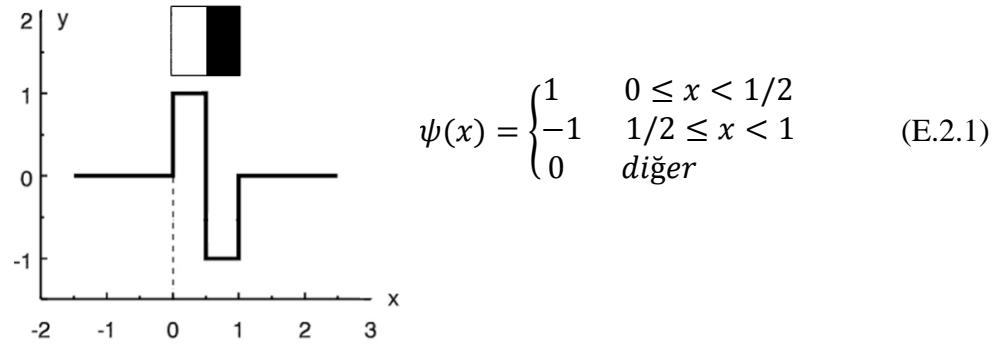


Şekil 2.1. Yüz bulma işlem süreci (Rezaei, 2011).

Viola-Jones yüz bulma algoritmasında yer alan terimler aşağıda maddeler halinde ayrıntılı olarak ele alınmıştır:

#### a) Haar öznelikleri (Haar features)

Viola ve Jones (2001), Haar dalgacıklarına (Haar wavelets) dayalı öznelikler kullanır. Haar özneliklerin ismi, özneliklerin Haar dalga dönüşümleri katsayılarına benzer şekilde hesaplanmalarından kaynaklanmaktadır (Yazıcı, 2008). Haar dalgacığı  $[0,1/2]$  aralığında 1,  $[1/2,1)$  aralığında -1 değerine sahip dalgacıktır (E.2.1). Haar dalgacığının gösterimi Şekil 2.2’de verilmiştir. Haar dalgacığı tek dalgaboyu uzunluklu kare dalgalardır. 2 boyutlu düzlemde, bir kare dalgası bitişik bir açık (beyaz), bir koyu (siyah) dikdörtgen çiftinden oluşmaktadır. Haar özneliğinin varlığı ortalama koyu bölge piksel değerinden ortalama açık bölge piksel değerinin çıkartılmasıyla belirlenir (Kurukulasooriya ve Dharmarathne, 2011).



Şekil 2.2. Haar dalgacı gösterimi (Rezai, 2011).

Öznitelikler elde edilirken belirli kısımları siyah, diğer kısımları beyaz olan 2, 3 veya 4 dikdörtgen filtre kullanılır. Bu dikdörtgenler görüntüde yüzün olup olmadığının tespiti için test edilmek istenen bölgenin üstüne yerleştirilir. Siyah ve beyaz bölgelerin alanları kendi ağırlıklarıyla çarpılır ve Haar öznitelik değerini elde etmek için toplanırlar (Mankar ve Bhoyar, 2012). Bir başka deyişle, siyah bölgelerin altında kalan piksellerin toplamından beyaz bölgelerin altında kalan piksellerin toplamı çıkartılır (Atasoy, 2012). Bu değer, sınıflandırıcı dizisinde sırası gelmiş Haar sınıflandırıcısının eşik değeri ile karşılaştırılır. Eğer bölge, eşik değere eşit veya eşik değerinin üstünde bir fark değeri döndürüyorsa, o sınıflandırıcıdan geçer (Atasoy, 2012).

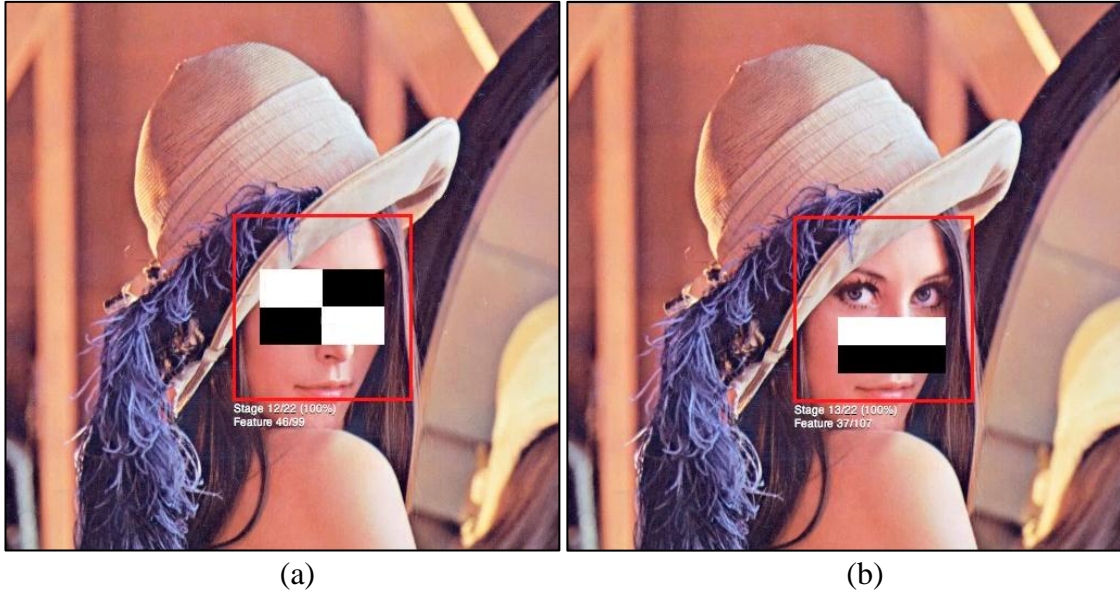
Haar peş peşe sınıflandırıcıda kullanılan bazı öznitelik çeşitleri Şekil 2.3'de verilmiştir.

Haar ayrıt öznitelikleri	
Haar çizgi öznitelikleri	
Haar merkez öznitelikleri	

Şekil 2.3. HPS'de kullanılan Haar öznitelikleri (Gökmen vd., 2007).

Haar öznitelikler, görüntü üzerinde ilgi bölgelerine ait öznitelik kümelerinin değerlerini, tespit modülüne kodlayarak ilgili sınıfın tespit işleminin yapılmasını kolaylaştırmakta ve sistem veriminin arttırılmasını sağlamaktadır.

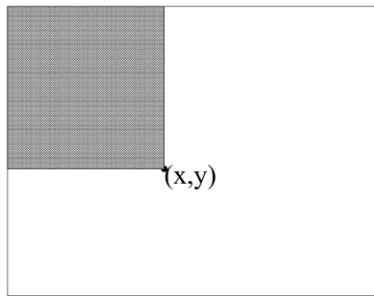
OpenCV kütüphanesi kullanıldığı bir yüz bulma sistemi bir resim üzerinde çalışırken alt bölge tarama işleminden bazı görüntüler Şekil 2.4'te verilmiştir. Siyah ve beyaz bölgelerin alanları kendi ağırlıklarıyla çarpılır ve Haar öznitelik değerini elde etmek için toplanırlar (Mankar ve Bhoyar, 2012).



Şekil 2.4. Yüz bulma sistemi çalışırken alt bölge tarama işleminden bazı görüntüler (Harvey, t.y.).

#### b) Toplam görüntü (integral görüntü-integral image):

Toplam görüntü, büyüklüğü orijinal görüntü kadar olan ve her bir elemanı aynı indisteki pikselin solunda ve üzerinde kalan piksellerin toplamına eşit olan bir matristir (Albayrak vd., 2012). Bir  $(x, y)$  noktasındaki toplam görüntünün değeri  $ii(x, y)$ , orijinal görüntüde  $i(x, y)$  noktasının sol üstündeki piksellerle sınırlanan alan içerisindeki piksellerin toplamıdır (Cho vd., 2009) (Şekil 2.5). Bu eşitlik E.2.2’de verilmiştir.



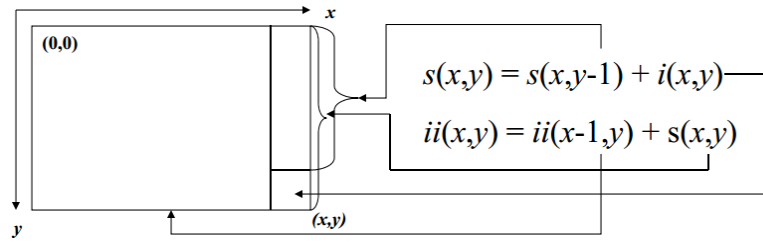
$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y') \quad (\text{E. 2.2})$$

Şekil 2.5. Toplam görüntü (Viola ve Jones, 2001).

Toplam görüntü değerinin çeşitli hesaplamaları aşağıda gösterilmektedir:

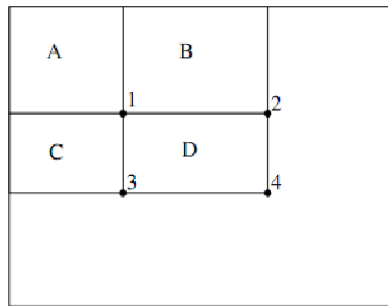
Şekil 2.6’da, bir geçişte görüntünün toplam görüntü değeri hesaplanmasını gösterilmiştir. Belirli bir noktadaki orijinal görüntünün piksel değeri  $i(x, y)$ , kümülatif (birikimli) sütun toplamı (cumulative column sum)  $s(x, y)$  olarak verilmiştir (Gidofalvi, 2001).





Şekil 2.6. Bir geçişte görüntünün toplam görüntü değerinin hesaplanması (Gidofalvi, 2001).

Şekil 2.7’de toplam görüntü değerinin hesaplanması gösterilmektedir. 1 noktasının toplam görüntü değeri A bölgesindeki piksellerin toplamıdır. 2 noktasında A+B, 3 noktasında A+C, 4 noktasında A+B+C+D’dir. D bölgesindeki piksellerin toplamı, hesaplanan toplam görüntü değerleri yardımıyla  $4+1-[(2+3)]$  formülüyle hesaplanır (Viola ve Jones, 2001). Bu eşitlik E.2.3’de verilmiştir.



$$D \text{ bölgesi} = ii(4) + ii(1) - ii(2) - ii(3) \quad (E.2.3)$$

Şekil 2.7. Toplam görüntü değerinin hesaplanması (Viola ve Jones, 2001).

Şekil 2.8’de 3x3 görüntü ve bu görüntünün toplam görüntü gösterimi verilmiştir.

1	1	1
1	1	1
1	1	1

⇒

1	2	3
2	4	6
3	6	9

(a) 3x3 görüntü                      (b) Toplam görüntü

Şekil 2.8. 3x3 görüntü ve toplam görüntü gösterimi (Mankar ve Bhojar, 2012).

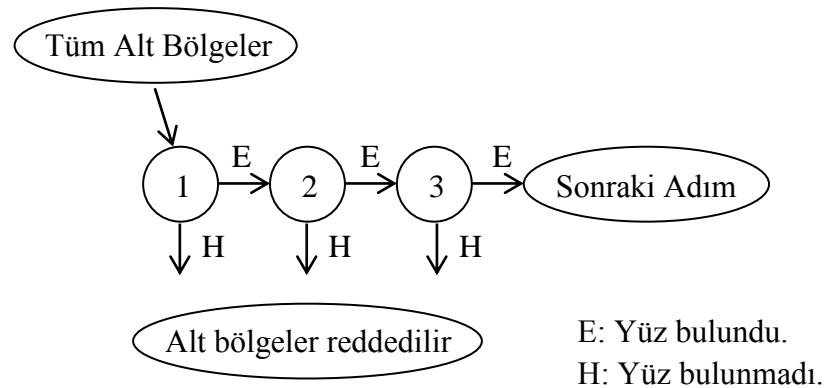
Toplam görüntü, görüntü üzerindeki alt bölgeler içerisindeki piksellerin çok hızlı bir şekilde toplanmasını sağlar ve böylece Viola-Jones yönteminin hızlı olmasını sağlayan faktörlerden biridir.

### c) Haar peş peşe sınıflandırıcılar

Basit yapılı birden fazla sınıflandırıcının bir araya gelerek karmaşık bir yapı meydana getirdiğini göstermek amacı ile sınıflandırıcının isminde “peş peşe” kelimesi kullanılmaktadır (Gökmen vd., 2007).

Sınıflandırıcı, *pozitif örnekler* denilen insan yüzüne ait bölgelerden alınmış, aynı ölçekteki resimlerle ve *negatif örnekler* denilen insan yüzü içermeyen diğer bölgelerden alınmış aynı ölçekteki (örn: 20x20) resimler kullanılarak eğitilir (Kahraman vd., 2005). Eğitimden geçmiş sınıflandırıcıya, insan yüzü içeren bir görüntü giriş olarak verildiğinde insan yüzünün bulunduğu bölge için sınıflandırıcı “1” çıkışını diğer bölgeler için “0” çıkışını üretmektedir (Gökmen vd., 2007).

Sınıflandırıcılar, herhangi bir sınıflandırıcı katmanı ret (reject) vermediği sürece tüm katmanlar geçilene kadar giriş resmine peş peşe uygulanır. Yapı içerisindeki her sınıflandırıcı katmanı öznelik uzayında farklı bir bölgeyi taramaktadır (Gökmen vd., 2007). Yüz adayları, tüm aşamalarından geçer veya herhangi bir aşamasında başarısız olursa peş peşe (kaskat) yapısından çıkar. Bu süreç, Şekil 2.9’da gösterilmiştir. Peş peşe yapıyı kullanan Viola ve Jones’un yüz bulma algoritması yüz olmayan adayları hızlı bir şekilde ortadan kaldırır. Eğer bir yüz adayı tüm aşamaları geçerse yüz olarak algılanır (Aşamalar aşağıda 1,2,3 olarak gösterilmiştir).



Şekil 2.9. Kaskat yapısının çalışma diyagramı (Viola ve Jones, 2001).

Görüntüdeki değişik boyutlardaki yüzleri bulabilmek için sınıflandırıcıyı yeniden boyutlandırarak farklı ölçeklerde birçok tarama yapılır (Arar vd., 2011).

#### d) AdaBoost yöntemi (Uyarlamalı boosting)

Viola ve Jones, elde ettikleri peş peşe zayıf sınıflandırıcıları eğitmek için AdaBoost (Uyarlamalı boosting-Adaptive boost) yöntemini kullanmıştır. *AdaBoost*, güçlü bir sınıflandırıcı oluşturmak için yalnızca bir eğitim seti ve zayıf öğrenme algoritması kullanan iteratif (yinelemeli) bir öğrenme algoritmasıdır. *Boosting* basitçe orta düzeyde başarılı zayıf hipotezleri birleştirerek yüksek başarılı bir hipotez oluşturma

metodu olarak tanımlanır (Ar, 2009). Freund ve Schapire'nin (1995) önerdiği bir boosting algoritması olan Adaboost algoritması, her bir Haar özneteliği için zayıf bir sınıflandırıcı eğitir. Her iterasyondaki öğrenme algoritması tarafından, minimum sınıflandırma hatasına sahip bir zayıf sınıflandırıcı seçilir (Ali, 2009). Daha sonra seçilen zayıf sınıflandırıcılar bir araya getirilerek güçlü bir sınıflandırıcı meydana getirilir (Gökmen vd., 2007). Her bir sınıflandırıcı eğitiminin ardından yanlış sınıflandırılan örneklerin ağırlıkları artırılırken doğru sınıflanan örneklerin ağırlıkları da azaltılmaktadır. Böylece her bir zayıf sınıflandırıcı eğitildikten sonra bu ağırlıklar kullanılarak genel hata hesaplanır ve bir sonraki öznetelik için yeni bir sınıflandırıcı eğitilirken bu hata dikkate alınır (Gökmen vd., 2007).

### 2.3. Ten Rengi Tespiti

Ten rengi tespiti, yüz izleme, yüz tanıma, video gözetim, insan-bilgisayar etkileşimi (HCI) gibi görüntü işleme konularında ve birçok biyometrik sistem uygulamasında kullanılmaktadır.

Ten rengi tespitinde, çeşitli nedenlerden dolayı zorluklar bulunmaktadır (Singh vd., 2003). Ten rengi tespitinde ilk zorluk, bir görüntü yakalandığında aydınlatma koşulları nedeniyle oluşan ten rengi görünümdeki değişimlerdir. Işık kaynağının dağıtımdaki ve aydınlatma düzeyindeki değişimler (açık ve kapalı ortamlar, parlak noktalar (highlights), gölgeler, beyaz olmayan ışıklar) bir görüntüdeki tenin renginde değişiklik oluşturur. Diğer bir zorluk, gerçek dünyada, ahşap, deri, ten rengi elbise, saç, kum, vb. birçok nesnenin ten tonlu renklere sahip olabilmesidir (Kondela ve Jun, 2011). Bu nedenden dolayı, geliştirilen ten algılayıcısı, çevre koşulları kontrollü değilse, arka planda birçok yanlış tespitler/algılamalar oluşturabilir. Ayrıca, kullanılan kamera özellikleri de ten rengi tespitinde bir sorun oluşturabilir. Bir kişinin ten rengi dağılımı, aynı aydınlatma altında olmasına rağmen, kamera sensörü özelliklerine bağlı olarak, bir kameradan diğer kameraya göre farklılık gösterebilir. Ten tespiti üzerine yapılan çalışmaların çoğu, sadece sınırlı birtakım aydınlatma koşulları ve ten tipleri için iyi bir performans sergilemektedir.

İnsan yüzü kendine özgü rengi ile renk uzayında belli bir aralıkta temsil edilebilmektedir (Varlık ve Çorumluoğlu, 2011). Bu durum imgeler üzerinde de sadece ışıktan kaynaklanan bir yoğunluk değişimi göstermektedir. Ayrıca, insan teni ayırt edilebilir bir dokusal doygunluğa sahiptir (Öztekin vd., 2001).

Yüz bulmada ten rengi tespit sistemi kullanan bir sistem oluştururken, hangi renk uzayını seçileceği ve hangi ten rengi dağılım modelinin kullanılacağı dikkate alınır.

### **2.3.1. Ten rengi tespitinde sıklıkla kullanılan renk uzayları**

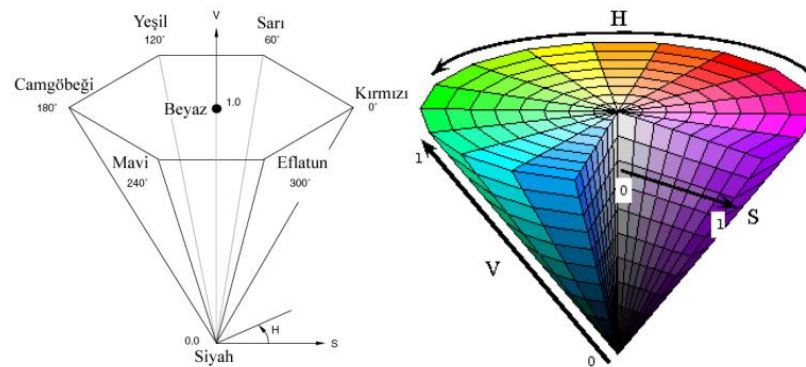
Renkli görüntüde ten rengi bulabilmek için yapılması gereken en önemli adım renk uzaylarından doğru olanı seçebilmektir (Varlık ve Çorumluoğlu, 2011).

Ten rengine dayalı yüz bulma sistemleri çalışmalarında çeşitli renk uzayları kullanılmaktadır (Çelebi vd., 2008). Ten rengi, RGB (Kırmızı-Yeşil-Mavi), YCbCr (Parlaklık-Mavi Renklilik-Kırmızı Renklilik), HSV (Renk özü-Doygunluk-Parlaklık), YUV (Parlaklık-Mavi Renklilik-Kırmızı Renklilik) ve istatistiksel modeller gibi her renk alanlarında modellenir (Gürel, 2011).

RGB renk uzayı, dijital resim verilerinin işlenmesi ve depolanması için en yaygın olarak kullanılan renk uzaylarından biridir. Ancak, RGB renk uzayı, kanallar arasında yüksek bir korelasyon olması, renklilik (chrominance) ve parlaklık (luminance) verilerinin karıştırılması, renk analizi ve renk tabanlı tanıma algoritmaları açısından çok uygun olmayan bir seçimdir. Bu renk uzayı, aydınlatma, renk ve ışık yoğunluk değişikliklerine duyarlıdır. Görüntülerde yoğunluk değişimlerine karşı toleransı artırmanın bir yolu, RGB görüntüyü, yoğunluğu (intensity) ve kromatikliği (chromaticity) ayrı ve algılama için sadece kromatiklik parçasını kullanan bir renk uzayına dönüştürmektir (Martinkauppi vd., 2001). RGB renk uzayının bu dezavantajlarının aksine, YCbCr ve HSV renk uzayları ayrı yoğunluk ve renk kanalına sahip olmalarından dolayı hafif aydınlatma değişikliklerinden etkilenmezler (Gürel, 2011). Bir sonraki alt bölümlerde ten tespitinde en sık kullanılan renk uzaylarından HSV ve YCbCr renk uzayı incelenmiştir.

#### **2.3.1.1. HSV renk uzayı**

HSV renk uzayı 1978 yılında Alvy Ray Smith tarafından sunulmuştur. HSV renk uzayında  $H \rightarrow$  Hue (Renk özü-tonu),  $S \rightarrow$  Saturation (Doygunluk) ve  $V \rightarrow$  Value (Parlaklık) değerini belirtmektedir. HSV renk uzayının konik gösterimi Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. HSV renk uzayının konik gösterimi (Sobottka ve Pitas, 1998;Taşkın, 2007).

RGB renk uzayından HSV renk uzayına dönüşümü, beyaz ışıklarda yüksek yoğunluk, ortam ışığı ve dolayısıyla ışık kaynağına göre ve yüzey yönelimleri yüksek yoğunluğu değişmeyen, ten bulma yöntemleri için çok iyi bir seçim oluşturabilir (Kondela ve Jun, 2011). RGB renk uzayından HSV renk uzayına dönüşümü (Zhao vd., 2008) E.2.3'de verilmiştir.

$$\text{maks} = \text{maks}(R, G, B) ; \text{min} = \text{min}(R, G, B) \quad (\text{E.2.3})$$

$$\text{if maks} = \text{min}, S = V = 0$$

else

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{açı} = 0, c1 = G, c2 = R \text{ if } B = \text{min} \\ \text{açı} = 120, c1 = B, c2 = G \text{ if } R = \text{min} \\ \text{açı} = 240, c1 = R, c2 = B \text{ if } G = \text{min} \\ H = \frac{256}{360} \left( 120 \frac{c1 - \text{min}}{c1 + c2 - 2\text{min}} + \text{açı} \right) + \frac{1}{2} \\ S = 255 \frac{\text{max} - \text{min}}{\text{max}} \\ V = \text{max} \end{array} \right.$$

HSV renk uzayı, Brown ve arkadaşları (2001), Garcia ve Tziritas (1999), Kondela ve Jun (2011), McKenna (1998), Saxe ve Foulds (1996), Sobottka ve Pitas (1998), Thu ve arkadaşları (2002), Wang ve Yuan (2001), Zhu ve arkadaşları (2004), tarafından ten rengi ayırmada kullanılmıştır. Fleck tarafından tanıtılan, Fleck HS adı verilen HS bileşenlerinin bir logaritmik transformasyon kullanılarak yapılan varyasyonu Zarit ve arkadaşları (1999) tarafından kullanılmıştır (Kakumanu vd., 2007).

### **2.3.1.2. YCbCr renk uzayı**

YCbCr renk uzayında, Y değeri imgenin parlaklık değerini, Cb ve Cr bileşenleri ise renk bilgilerini; Cb imgenin mavi renklilik değerini, Cr ise imgenin kırmızı renklilik değerini temsil etmektedir (Peker ve Zengin, 2011);

YCbCr dijital videoda yaygın olarak kullanılan bir model haline gelmiştir. Tenin ton rengi, lineer olmayan bir şekilde parlaklığa (luminance) bağlı olduğundan renk kümesini luma'dan bağımsız yapmak için imgeyi RGB renk uzayından YCbCr renk uzayına dönüştürmek, koyu ve açık ten ton renklerinin gürbüz bir şekilde tespitini sağlar. Bu nedenle, YCbCr renk uzayı, RGB renk uzayı ile karşılaştırıldığında değişen aydınlatma koşulları altında daha iyi performans sağlar (Bükün ve Ekinci, 2006; Huang vd., 2011). RGB renk uzayından YCbCr renk uzayına dönüşümü E.2.4'de gösterilmiştir.

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B \quad (\text{Vezhnevets vd., 2003}) \quad (\text{E.2.4})$$

$$Cb = B - Y$$

$$Cr = R - Y$$

RGB renk uzayı E.2.5'de belirtilen denklem ile de YCbCr renk uzayına dönüştürülebilir (Peker ve Zengin, 2011).

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B \quad (\text{E.2.5})$$

$$Cb = - 0,169R - 0,332G + 0,500B$$

$$Cr = 0,500R - 0,419G - 0,081B$$

Dönüşüm sadeliği (basitliği) ve parlaklık (luminance) ile renklilik (chrominance) bileşenlerinin açık ayrımı, ten rengi modellemede YCbCr renk uzayını cazip hale getirmektedir (Vezhnevets vd., 2003).

### **2.3.2. Ten rengi modelleme yöntemleri**

Renk uzayı seçildikten sonra bir sonraki adım ten renginin nasıl modelleneceğidir. Ten rengi modelleme yöntemleri 3 sınıfta kategorize edilir:

- Açıkça tanımlanmış ten modeli (Explicitly defined skin model),
- Parametrik olmayan ten dağılım modeli (Nonparametric skin distribution model),
- Parametrik ten dağılım modeli (Parametric skin distribution model) (Kim, Park vd., 2005).

### **2.3.2.1. Açıkça tanımlanmış ten modeli (Explicitly defined skin model)**

Açıkça tanımlanmış ten modelinde, ten bilgileri renk uzayının belirli bir aralığında açıklanmaktadır (Kim, Park vd., 2005). Açıkça tanımlanmış ten bölgelerinde, karar kuralları (ten bölgesinin sınırları) deneysel olarak bulunur (Mostafa ve Abdelazeem, 2005).

Örneğin RGB renk uzayında;

$R > 95, G > 40, B > 20$  ve

$\max \{R, G, B\} - \min \{R, G, B\} > 15$  ve

$|R - G| > 15$  ve  $R > G$  ve  $R > B$  olduğunda ten rengi olarak sınıflandırılır (Kovac, 2003).

Uygun renk uzayını ve yüksek tespit oranlarını elde eden basit bir karar kuralı bulmak için makine öğrenme algoritmalarını kullanan bir yöntem öne sürülmüştür (Gomez ve Morales, 2002). Bu yöntemin uygulamaları, Gomez ve Morales (2002), Phung ve diğerleri (2005), Girgis ve diğerleri (2005) ve Peer ve diğerlerinde (2003) görülebilir (Kondela ve Jun, 2011).

- **Avantajları**

Bu yöntemin en belirgin avantajı, çok hızlı yüz bulma işlemine yol açan ten sınıflandırma kurallarının basitliği ve hızıdır (Aldasouqi ve Hassan, 2010; Hashem, 2009; Kim, Park vd., 2005; Vezhnevets vd., 2003).

- **Zorlukları**

Bu yöntemde, yüksek tespit oranları başarmadaki temel zorluk, deneysel olarak uygun renk uzayını ve karar kurallarını bulmaktır (Aldasouqi ve Hassan, 2010; Hashem, 2009; Kim, Park vd., 2005; Vezhnevets vd., 2003). Bu yöntem ile yüksek tanıma hızı elde etmek için iyi bir renk uzayı ve uygun bir karar kuralları seçmek çok önemlidir (Vezhnevets vd., 2003).

### **2.3.2.2. Parametrik olmayan ten dağılım modeli (Nonparametric skin distribution model)**

Parametrik olmayan ten modelleme yöntemlerinde temel düşünce, ten rengini açık bir modelden sağlamaksızın, eğitim verilerinden ten renk dağılımını tahmin etmektir (Hashem, 2009; Kim, Park vd., 2005; Vezhnevets vd., 2003). Bu yöntemlerin sonucu, ten olasılık haritasının yapımı/oluşumu (Skin probability map-SPM) olarak da adlandırılır (Vezhnevets vd., 2003). Normalleştirilmiş look up tablosu (normalized look

up table), Bayes sınıflandırıcı ve kendi kendine organize olan haritalar (Self Organizing Maps-SOM) en sık kullanılan yöntemlerdir (Aldasouqi ve Hassan, 2010).

- **Avantajları**

Parametrik olmayan yöntemler, eğitim ve sınıflandırma açısından hızlıdır. Bu yöntem, dağılım şekline bağımsız ve dolayısıyla renk uzayı seçiminden de bağımsızdır (Aldasouqi ve Hassan, 2010; Hashem, 2009; Kim, Park vd., 2005; Vezhnevets vd., 2003).

- **Zorlukları**

Geniş depolama alanı gerekmektedir ve eksik eğitim verilerini genelleştirme veya enterpole etmede yetersizdir (Aldasouqi ve Hassan, 2010; Hashem, 2009; Kim, Park vd., 2005; Vezhnevets vd., 2003). En sık kullanılan histogram tabanlı parametrik olmayan ten modelleri, büyük boyutta depolama alanı gerektirir ve başarımı, doğrudan eğitim görüntüleri kümesine bağlıdır.

### **2.3.2.3. Parametrik ten dağılım modeli (Parametric skin distribution model)**

Parametrik ten rengi modelleme, daha yoğun (kompakt) ten modeli temsil için yeterli gereksinimi karşılamak için geliştirilmiştir. Bunun yanı sıra, eğitimi yaygınlaştırılma/genelleştirme ve enterpolasyon yapma özelliğine sahip bir model gereksinimi, bu modelin gelişmesine yol açmıştır (Aldasouqi ve Hassan, 2010; Kondela ve Jun, 2011; Liu ve Peng, 2010).

Tek Gauss (single Gaussian), Gauss karışımı (mixture of Gaussians), çoklu Gauss kümeleri (multiple Gaussian clusters) ve eliptik sınır modeli (elliptic boundary model) gibi çeşitli modelleri vardır (Aldasouqi ve Hassan, 2010).

- **Avantajları**

Parametrik yöntemler de hızlı olabilir (Hashem, 2009; Vezhnevets vd., 2003). Eksik eğitim verilerini genelleştirme ve enterpolasyon yetenekleri vardır. Az sayıda parametreler ile ifade edilirler ve çok az depolama alanı ihtiyacına sahiptirler (Vezhnevets vd., 2003).

- **Zorlukları**

Uyumun iyiliği/başarısı dağılım şekline daha bağımlı olduğu, bu nedenle modelin performansı renk uzayından renk uzayına önemli ölçüde değişir (Aldasouqi ve Hassan, 2010). Parametrik ten dağılım modelleri renk uzayının renklilik düzleminde



(chrominance plane) çalışır, parlaklık (luminance) bilgilerini göz ardı eder ve ten dağılım modeli seçmek ve tanımlamak kolay değildir (Kim, Park vd., 2005).

Ancak, hem eğitim ve hem de çalışması çok yavaş olabilir (Gauss karışımı gibi) ve başarımı ten dağılım şekline bağlıdır. Ayrıca, çoğu parametrik ten modelleme yöntemleri, ten rengi olmayan istatistikleri göz ardı eder /önemsemez (Vezhnevets vd., 2003).

#### 2.4. OpenCV ve Örnek Kodları

OpenCV kütüphanesi (Open Source Computer Vision Library), bir resim ya da video içindeki anlamlı bilgileri çıkarıp işleyebilmek için INTEL tarafından C ve C++ dilleri kullanılarak geliştirilmiş, açık kaynak kodlu bir bilgisayarla görü kütüphanesidir (Erişti, 2010). OpenCV kütüphanesinin temel bileşenlerinin kısaca tanımları aşağıda yapılmıştır:

- **CV (Computer Vision) bileşeni:** Temel görüntü işleme ve kamera kalibrasyonu metotlarını içerir. Ayrıca, sayısal geometrik fonksiyonları da içerir (Suciu, 2012).
- **HighGUI bileşeni:** Form, kaydırıcı (slider) gibi nesnelere oluşturmayı sağlayan grafik ara birimidir. Resim ve videoları görüntülemek, kaydetmek, hafızadan silmek için temel giriş/çıkış (I/O) fonksiyonlarını da içeren bir bileşendir (Suciu, 2012).
- **CXCore bileşeni,** OpenCV'ye ait IplImage, cvPoint, cvSize, cvMat, cvHistogram gibi veri yapılarını bünyesinde barındıran, XML desteği de sağlayan bir kütüphanedir (Erişti, 2010). Ayrıca lineer cebir (linear algebra) ve istatistik yöntemleri ve hata işleyicileri içerir (Suciu, 2012).
- **MLL (Machine Learning) bileşeni,** Makina öğrenmesi arayüzünü içerir (Suciu,2012). Makine öğrenmesi için istatistiksel sınıflandırıcı ve kümeleme araçlarını içeren bir bileşendir (Sert vd., 2012).
- **CvAux bileşeni,** şablon eşleştirme (template-matching), yüz tanıma (face-recognition), vücut hareketlerini tanıma (gesture recognition) gibi pek çok deneysel algoritmaları içerir (Erişti, 2010).

OpenCV kütüphanesi, BSD lisansı ile lisanslanmıştır, her türlü kullanım özgürlüğüne sahiptir ve ücretsizdir. Windows, Linux, MacOS X gibi farklı platformlarda kullanılabilir. Gerçek zamanlı uygulamalar hedef alınarak geliştirilen

OpenCV kütüphanesi hızlı ve başarılı sonuçlar vermektedir (Erişti, 2010; Sert vd., 2012).

Yüz bulma sisteminde kullanılan önemli OpenCV örnek kodları aşağıda maddeler halinde ayrıntılı olarak ele alınmıştır:

#### a) Görüntü yakalama örnek kodu

- Aşağıdaki komut kullanılarak kameradan resim alınır.  
*CvCapture\* capture = cvCreateCameraCapture(0);*
- Video görüntüsünden resim alınmak istenirse;  
*CvCapture\* capture = cvCaptureFromAVI("örnek.avi");* kodu kullanılır.

#### b) Yüz tespiti örnek kodu

Yüz tespiti için kullanılan Haar sınıflandırıcısı (Viola-Jones dedektörü), OpenCV kütüphanesinde *cvHaarDetectObjects* fonksiyonu olarak yer almaktadır.

Görüntüdeki hedefi (nesneleri, yüzleri, vb.) bulmak için OpenCV'nin *cvHaarDetectObjects* fonksiyonu kullanılır. *cvHaarDetectObjects* fonksiyonu nesneleri bulmak için Haar benzeri özellikleri kullanan bir nesne bulma/algılama algoritmasıdır. Bu fonksiyon, bir tespit penceresi (alt bölge-alt pencere) ile tüm görüntüyü tarar ve her pozisyonda tespit penceresinde bir yüz içerip içermediğini değerlendirir. Bu tarama işlemi bittiğinde, tespit penceresinin boyutunda bir artış olur ve bu işlem tekrarlanır. Tespit penceresinin boyutu, görüntü boyutundan büyük olduğunda, bu fonksiyon sonlanır. *cvHaarDetectObjects* fonksiyonunun parametreleri aşağıda gösterilmiştir:

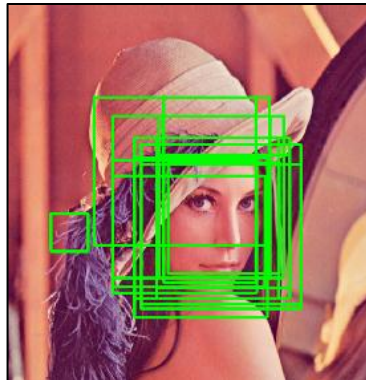
```
CvSeq* cvHaarDetectObjects(const CvArr* image, CvHaarClassifierCascade* cascade, CvMemStorage* storage, double scale_factor=1.1, int min_neighbors=3, int flags=0, CvSize min_size=cvSize(0,0) );
```

Parametrelerin detaylı açıklamaları aşağıda gösterilmiştir.

- *image* (Görüntü işaretçisi-Image pointer): Girdi dosyasıdır.
- *cascade* (Sınıflandırıcı-Classifer): Programın başında belirtilen peş peşe sınıflandırıcıyı (kaskat) tanımlar.
- *storage* (Tampon bellek-Buffer): Yüz tespit sürecini işlemek için önceden tanımlanan tampon bellektir.
- *scale\_factor* (Ölçek arttırma oranı-Scale increase rate): Bir resmin üzerinde, her geçişte yüz tespitleri için alt bölgenin ne kadar hızlı ölçek arttırma işlemi

yapılacağını belirtir. Parametrenin varsayılan değeri 1.1'dir. Bu parametrenin alabileceği değerler; 1.1, 1.2, 1.3 ve 1.4'tür. 1.1 değeri, ölçeğin her geçişte (%10) oranında arttırılacağını gösterir. Bu parametre değerinin yüksek ayarlanması (örneğin 1.4), dedektörün daha az geçiş işlemi yaparak daha hızlı çalışmasını sağlar, ama görüntüde yer alan yüzleri atlama olasılığı vardır. Daha düşük değer verildiğinde, Haar dedektörü daha ayrıntılı bir tarama yaparak daha fazla zaman harcayıp görüntüde yüz olup olmadığını kontrol edecektir.

- *min\_neighbors* (*Minimum komşu eşiği-Minimum neighbors threshold*): Minimum komşu eşiği parametresi, yüz olup olmadığına göre dikdörtgen grupları tutan veya atan bir eşik seviyesi parametresidir. Bu parametre değeri 0 ile 4 arasında değişmektedir. Varsayılan değer 3'tür. Eğer yüz dedektörü, birçok insanı eksik sayıda tespit ettiğinde, 2 veya 1'e düşürülebilir. Eğer parametre 0 olarak ayarlanırsa, OpenCV, Haar sınıflandırıcı ham tespitlerinin tam listesini gösterecektir. Minimum komşu eşiğinin 0 olarak alındığındaki algılamalar Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Haar sınıflandırıcı ham tespitlerinin tam listesi ( $min\_neighbors = 0$ ) (Hewitt, 2007).

Yüz bölgesinin kendisi, dikdörtgenlerin en büyük kümesini oluşturur. Dikdörtgenler büyük oranda üst üste gelmiştir. Fakat izleyicinin solunda küçük bir tespit ve ana yüz kümesinin sol üstünde iki büyük tespit de vardır. Dikdörtgenlerden yoğun olduğu yerden uzak olan tespitler ile büyük gruplar arasında, küçük gruplar halinde yüzler ya da yanlış algılamalar olabilir.

- *flags* (*Bayrak değişkeni-Flag*): Bayrak değişkeni 0 olarak ayarlandığında, görüntüde herhangi bir değişiklik olmaz. *CV\_HAAR\_DO\_CANNY\_PRUNING* seçildiğinde ise, Canny kenar dedektörü çalıştırılır, dedektör muhtemel bir yüz içermeyen düz görüntü (no edge) bölgelerini atlar. Böylece genel hesaplama

süresini azaltılır ve bazı yanlış saptamalar ortadan kaldırılabilir. Fakat uygulamaya bağlı olarak bazı yüzlerin tespiti yapılamayabilir.

- *min\_size* (*Minimum tespit ölçeği-Minimum detection scale*): *cvSize* (*G, Y*) parametresi, görüntü içinde aranacak en küçük yüz boyutunu tanımlar. Aslında, bu başlangıçta (ilk) kayan pencerenin (alt bölge) boyutudur. Varsayılan boyut *G* (*genişlik*) = 24, *Y* (*yükseklik*) = 24'tür. Ancak giriş görüntüsüne bağlı olarak, 24x24 boyutlarında bir alt bölge (pencere), bir yüz olarak anlamlı olmayabilir. Bu durumda ilk arama pencerelerinin boyutları arttırılabilir (Örn: 100x100).

Yüz tespiti için OpenCV'de yer alan diğer önemli fonksiyon ise *cvLoad("haarcascade\_frontal\_alt.xml")* fonksiyonudur. Bu fonksiyon OpenCV içerisine gömülmüş eğitilmiş Haar sınıflandırıcılarını içeren *haarcascade\_frontal\_alt.xml* dosyasını yükler.

OpenCV, gözler, ön yüzler, profil yüzleri, bedenin alt (lower body), üst (upper body) ve tamamı (full body) için XML dosyaları formatında önceden eğitilen sınıflandırıcıları içerir (Harvey, 2009). OpenCV içerisinde bulunan, ön yüzler için önceden eğitilen haar sınıflandırıcıları içeren XML dosyaları maddeler halinde aşağıda yer almaktadır:

- *haarcascade\_frontalface\_default*,
- *haarcascade\_frontalface\_alt*,
- *haarcascade\_frontalface\_alt\_tree*,
- *haarcascade\_frontalface\_alt2*.

### c) Ten belirleme: Kullanılan renk uzayları ve dönüşümleri

Renk uzayı dönüşümü için OpenCV kütüphanesinde yer alan *cvCvtColor* kullanılır. Renk uzayı dönüşümü, video kamerası tarafından görüntü yakalandıktan hemen sonra yapılır. Yakalanan RGB görüntü, *cvCvtColor* fonksiyonu kullanılarak HSV ve YCbCr renk uzaylarına dönüştürülmüştür. RGB renk uzayından HSV renk uzayına dönüşümü gösteren örnek aşağıda belirtilmiştir.

```
cvCvtColor(img, hsv_img, CV_BGR2HSV);
```

*cvCvtColor* fonksiyonunda, *img* parametresi kaynak görüntüyü, *hsv\_img* hedef görüntüyü ve *CV\_BGR2HSV* parametresi de hangi renk uzayından hangi renk uzayına dönüşüm yapılacağını göstermektedir. Burada, RGB renk uzayından HSV renk uzayına dönüşüm yapılmaktadır.

*cvCvtColor* fonksiyonunda kullanılan bazı renk uzaylarına dönüşüm parametreleri aşağıda listelenmiştir:

- *CV\_BGR2HSV*
- *CV\_BGR2YCrCb*
- *CV\_BGR2GRAY*
- *CV\_BGR2HLS*
- *CV\_BGR2Luv*

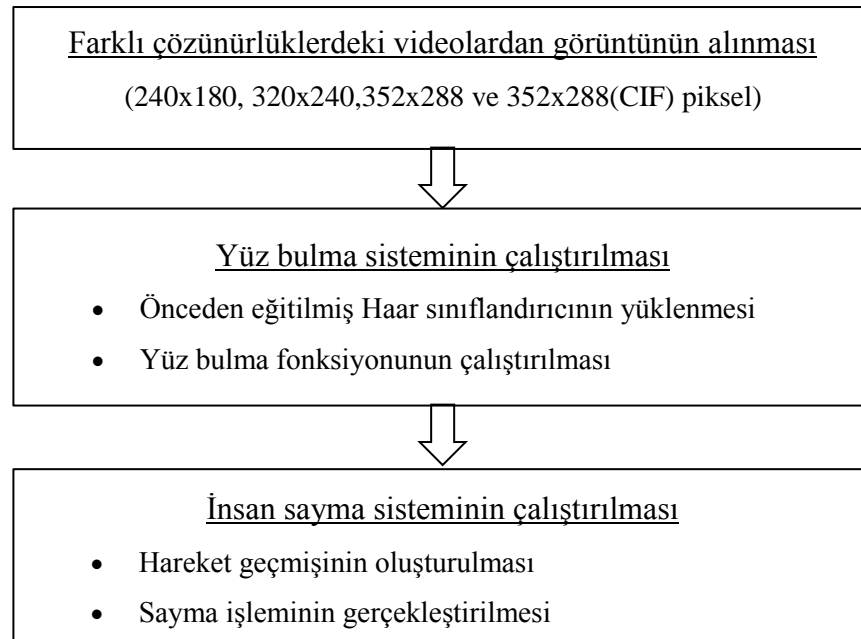
### 3. ÖNERİLEN SİSTEM

#### 3.1. Genel Sistem Tanıtımı

Bu tez kapsamında, yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemi (Sistem 1) ve bu sisteme ten rengi tespit algoritması eklenmesiyle oluşturulan sistem (Sistem 2) olmak üzere 2 insan sayma sistemi geliştirilmiştir. Engellemeyen insan sayma sistemlerinden biri olan bilgisayarla görü teknolojisi tabanlı bu sistemler, yakalanan görüntülerden kişilerin yüzlerini tespit edip sayma işlemi yapmaktadır.

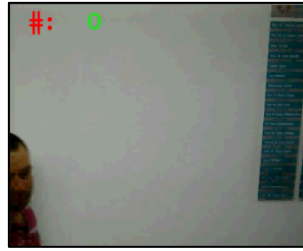
Önerilen insan sayma sistemleri OpenCV (2.4) kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiştir. OpenCV yüz dedektörü olarak, yüz bulmada çok etkili bir metot olan Viola-Jones metodunu kullanır (Kozlowski ve Królak, 2009; Kurukulasooriya ve Dharmarathne, 2011).

İnsanların video görüntülerinden yüzlerinin tespit edilip sayma işleminin yapıldığı yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminin (Sistem 1) akış diyagramı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Sistem 1: Yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminin akış diyagramı.

Önerilen Sistem 1: Yüz Bulmaya Dayalı İnsan Sayma Sistemi’nde insan sayma işleminin gösterimi Şekil 3.2’de verilmiştir. “#:” simgesi sistemin çalışırken toplam saydığı kişilerin sayısını göstermektedir.



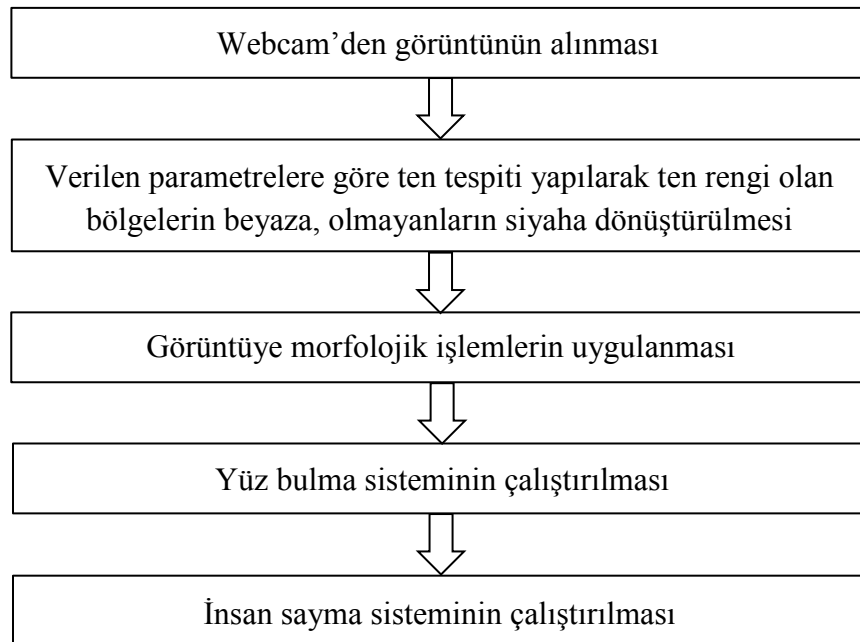
(a) 00:00:19 (#: 0)



(b) 00:00:22 (#: 1, Sayıldı)

Şekil 3.2. Sistem 1: Yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminde insan sayma işleminin gösterimi (Test 1.2).

Webcam görüntülerinden ten rengi olan bölgelerin tespit edilerek insanların yüz bulma işlemleri ve sayılma işlemlerinin yapıldığı insan sayma sisteminin (Sistem 2: ten rengini bularak yüz bulmaya dayalı) akış diyagramı ise Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Sistem 2: Ten rengini bularak yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminin akış diyagramı.

### 3.2. Ten Renk Aralıkları

Renk uzayı dönüşümü yapıldıktan sonra, HSV veya YCbCr renk uzayında olan görüntüde, ten tespiti yapılabilmesi için uygun ten rengi aralığı tanımlamak gereklidir. Ten renk aralığını tanımlamak için, renk değerini tam sayı olarak belirleyecek olan OpenCV'nin *cvScalar* fonksiyonu kullanılır.

Görüntüde ten rengi aralığı tanımladıktan sonra, ten rengi aralığında olan görüntü parçaları beyaz piksele ve geri kalanı ise siyah piksellere dönüşür. Böylece ten bölgesi olan görüntülerin ikili imgesi (binary image) sağlanır (Park, 2008).

Tezde kullanılan renk uzayları için literatürde yapılan bazı çalışmalarda kullanılan ten renk aralıkları ve bu tez çalışmasında yapılan testlerde kullanılan ten renk aralıkları aşağıda listelenmiştir:

### 3.2.1. HSV renk uzayı ten renk aralığı

Literatürde, HSV renk uzayı kullanılarak yapılmış birçok ten tespit çalışma mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıda listelenmiştir:

- Sobottka ve Pitas'ın (1998) yapmış olduğu çalışmada H (Renk özü-Hue) ve (Doygunluk-Saturation) değerleri E.3.1'de verilmiştir.

$$0^{\circ} \leq H \leq 50^{\circ} \quad (\text{E.3.1})$$

$$0.23 \leq S \leq 0.68$$

- Tsekeridou ve Pitas'ın (1998) çalışmasında kullanılan H, S ve V değerleri E.3.2'de verilmiştir.

$$0^{\circ} \leq H \leq 25^{\circ} \text{ or } 335^{\circ} \leq H \leq 360^{\circ} \quad (\text{E.3.2})$$

$$0.2 \leq S \leq 0.6$$

$$V \geq 40$$

- Wang ve Yuan'ın (2001) yapmış olduğu çalışmada yüz tespitinde normalize edilmiş RGB renk uzayı ile HSV renk uzayını kullanmıştır. Deney sonuçları bu iki renk uzayının ayrı ayrı kullanılmasının yerine birlikte kullanılmasının daha iyi tespit sonucu verdiğini göstermiştir. Ten rengi benzeri pikseller için kullanılan değer aralıkları E.3.3'te verilmiştir.

$$0.36 \leq r \leq 0.465, 0.28 \leq g \leq 0.363 \quad (\text{E.3.3})$$

$$0 \leq H \leq 50, 0.20 \leq S \leq 0.68, 0.35 \leq V \leq 1.0$$

- Zhao ve arkadaşlarının (2008) yapmış olduğu çalışmada, E.3.4'te verilen değerler alındığında, karmaşık bir arka planda, insan tenine oldukça benzeyen büyük miktarda benzer piksel olmaksızın doğru ten segmentasyon oranı % 90 olarak sağlanabileceğini belirtilmiştir.

$$10 \leq H \leq 40 \quad (\text{E.3.4})$$

$$30 \leq S \leq 190$$

- Kondela ve Jun'un (2011) çalışmasında, H [0, 55] ve S [0.20,0.70] değerleri kullanıldığında yeterli oranda ten rengi pikselleri tespit edilmiştir.
- Chitra ve Balakrishnan (2012), H ve S değerlerinin aydınma değişiklikleri gerçekleştiğinde değişmeyeceğini belirtmiş ve sıklıkla kullanılan YCbCr renk



uzayındaki  $C_b$  ve  $C_r$  değerleri ile  $H$  ve  $S$  değerlerini birleştirerek yapmış olduğu çalışmada aydınma (illumination) değişikliklerinde daha iyi sonuç verdiğini belirtmiştir.

$$0 \leq H \leq 0.25 \quad (\text{E.3.5})$$

$$0.15 \leq S \leq 0.9,$$

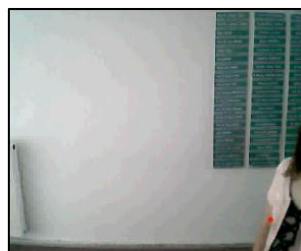
$$140 \leq C_r \leq 165; 140 \leq C_b \leq 195;$$

Sistem 2’de HSV renk uzayı kullanılarak ten rengi tespitinin yapıldığı testlerde ten modelleme yöntemi olarak açıkça tanımlanmış ten modelleme yöntemi kullanılmış, ten rengi sınırları deneysel olarak bulunmuştur. Daha iyi başarımlar sağlayan ten rengi sınırlarının belirlenmesi için çeşitli durumlarda kişilerin bülten panosuna baktığı 5 test yapılmıştır (Test 2.1, Test 2.3, Test 2.5, Test 2.6, Test 2.9). Yapılan bu testlerde kullanılan ten rengi sınırları Çizelge 3.1’de listelenmiştir:  $H; S; V = [0; 255]$ .

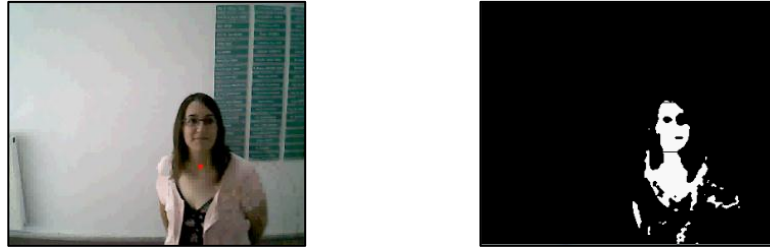
Çizelge 3.1. HSV renk uzayının kullanıldığı testler ve verilen H,S,V değerleri.

Test Adı	H	S	V
Test 2.1	$0 \leq H \leq 50$	$90 \leq S \leq 255$	$80 \leq V \leq 255$
Test 2.3	$0 \leq H \leq 50$	$60 \leq S \leq 175$	$75 \leq V \leq 255$
Test 2.5	$0 \leq H \leq 50$	$60 \leq S \leq 175$	$80 \leq V \leq 255$
Test 2.6	$0 \leq H \leq 50$	$60 \leq S \leq 175$	$80 \leq V \leq 255$
Test 2.9	$0 \leq H \leq 50$	$60 \leq S \leq 190$	$70 \leq V \leq 255$

Sistem 2’de HSV renk uzayının kullanıldığı testlerdeki insan sayma işleminden bazı görüntüler Şekil 3.4’te verilmiştir. Sistem 2’de soldaki görüntüler RGB renk uzayındaki orijinal görüntülerdir. Sağdaki görüntüler ise RGB renk uzayından HSV renk uzayına dönüşümü yapılan ve ten renk bölgeleri belirlenmiş (ten renk bölgeleri beyaz, diğer bölgeler siyah) görüntülerdir. Görüntülerde yüz bölgesinde yer alan çerçeve (dikdörtgen) yüz bulma işlemi sonucu oluşmuştur.



(a) 00:00:09 (#: 0)



(b) 00:00:10 (#: 1)

Şekil 3.4. Sistem 2’de HSV renk uzayının kullanıldığı testteki insan sayma işleminden bazı görüntüler (Test 2.3).

### 3.2.2. YCbCr renk uzayı ten renk aralığı

Literatürde, YCbCr renk uzayı kullanılarak yapılmış ten tespit çalışmasından bazıları aşağıda listelenmiştir:

- Chai ve Ngan (1999) test etmiş oldukları görüntülerde Cb ve Cr değerlerini;  $77 \leq Cb \leq 127$  ve  $133 \leq Cr \leq 173$  şeklinde alarak farklı tip ten renklerine karşı gürbüz ten tespiti yapılabildiğini kanıtlamışlardır.
- Kukharev ve Nowosielski (2004) farklı ırklardaki (siyah ten renkli insanların yüzleri olmaksızın) 25 yüz örneğini temel aldığı ten rengi dedektöründe ten rengi tespiti için kullandığı Y, Cb ve Cr değerleri E.3.6’da verilmiştir.

$$Y > 80 \quad (E.3.6)$$

$$85 < Cb < 135$$

$$135 < Cr < 180$$

$$Y, Cb, Cr = [0; 255].$$

- Park (2008) çalışmasında kullanmış olduğu ten renk aralığı E.3.7’de verilmiştir.

$$0 < Y < 255 \quad (E.3.7)$$

$$77 < Cb < 127$$

$$133 < Cr < 173$$

- Huang ve arkadaşları (2011), E.3.8’de verilen Y, Cb ve Cr değerlerini ten pikselleri olarak sınıflandırmıştır.

$$60 \leq Y \leq 255 \quad (E.3.8)$$

$$100 \leq Cb \leq 125$$

$$135 < Cr \leq 170$$

$$Y; Cb; Cr = [0; 255]$$

- Chitra ve Balakrishnan (2012), sıklıkla kullanılan YCbCr renk uzayındaki Cb ve Cr değerleri ile H ve S değerlerini birleştirerek yapmış olduğu çalışmada, ten rengi aralığını E.3.9’da verilen değerleri kullanarak belirtmiştir.

$$0 \leq H \leq 0.25 \quad (\text{E.3.9})$$

$$0.15 \leq S \leq 0.9,$$

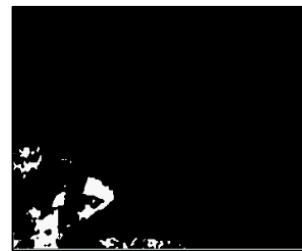
$$140 \leq Cr \leq 165; 140 \leq Cb \leq 195;$$

Sistem 2’de YCbCr renk uzayı kullanılarak ten rengi tespiti için yapıldığı testlerde ten modelleme yöntemi olarak açıkça tanımlanmış ten modelleme yöntemi kullanılmış, ten rengi sınırları deneysel olarak bulunmuştur. Daha iyi başarımlar sağlayan ten rengi sınırlarının belirlenmesi için çeşitli durumlarda kişilerin bütten panosuna baktığı 5 test yapılmıştır (Test 2.2, Test 2.4 Test 2.7, Test 2.8, Test 2.10). Yapılan bu testlerde kullanılan ten rengi sınırları Çizelge 3.2’de listelenmiştir:  $Y; Cb; Cr = [0; 255]$ .

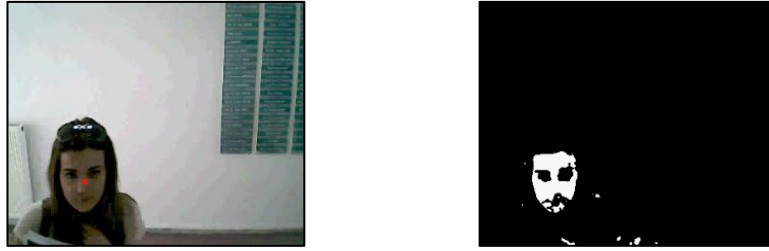
Çizelge 3.2. YCbCr renk uzayının kullanıldığı testler ve verilen Y,Cb,Cr değerleri.

Test Adı	Y	Cb	Cr
Test 2.2	$67 \leq Y \leq 255$	$103 \leq Cb \leq 190$	$139 \leq Cr \leq 206$
Test 2.4	$60 \leq Y \leq 255$	$100 \leq Cb \leq 175$	$137 \leq Cr \leq 170$
Test 2.7	$60 \leq Y \leq 255$	$105 \leq Cb \leq 125$	$139 \leq Cr \leq 170$
Test 2.8	$60 \leq Y \leq 255$	$105 \leq Cb \leq 125$	$139 \leq Cr \leq 170$
Test 2.10	$60 \leq Y \leq 255$	$90 \leq Cb \leq 130$	$139 \leq Cr \leq 170$

Sistem 2’de kullanılan diğer bir renk uzayı olan YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminden bazı görüntüler Şekil 3.5’te verilmiştir. Sistem 2’de soldaki görüntüler RGB renk uzayındaki orijinal görüntülerdir. Sağdaki görüntüler ise RGB renk uzayından YCbCr renk uzayına dönüşümü yapılan ve ten renk bölgeleri belirlenmiş (ten renk bölgeleri beyaz, diğer bölgeler siyah) görüntülerdir.



(a) 00:02:15 (#: 12)



(b) 00:02:19 (#: 13)

Şekil 3.5. Sistem 2’de YCbCr renk uzayının kullanıldığı testteki insan sayma işleminden bazı görüntüler (Test 2.3).

### 3.3. Morfolojik İşlemler

Morfolojik işlem düzeltmeleri sonucunda yüz bölgesi büyük ölçüde tespit edileceğinden, morfolojik işlemler yüz alanını elde etmek için anahtar adımdır. Öncelikle ten renk bölgeleri beyaz, diğer bölgeler siyah renge dönüştürülen görüntüye yayma (genleşme-dilation) işlemi uygulanarak yüz bölgesindeki siyah yerlerin ortadan kaldırılması sağlanır. Yayma işlemi sonucu, yüz alanı bir miktar genişler. Bu sorun aşındırma (kemirme-erosion) işlemi yapılarak genişletilmiş yüzün orijinal boyutuna küçültülmesiyle aşılır. Yayma işlemi takip eden aşındırma işlemine *kapama* (*kapanma-closing*) denir. Daha sonra görüntüye yumuşatma (ortanca filtre) uygulanarak görüntüdeki gürültüler temizlenir. Belirtilen morfolojik işlemlerin detaylı açıklaması aşağıda verilmiştir:

- **Yayma (Genleşme-Dilate):**

Temel olarak yayma işlemi görüntüdeki nesnelere büyütme ve içlerindeki boşlukları doldurmak için kullanılır.

Yayma işlemi için OpenCv’nin *cvDilate* fonksiyonu kullanılır. Bu fonksiyonun söz dizimi (syntax) aşağıdaki gösterilmiştir:

```
void cvDilate(const CvArr* src, CvArr* dst, IplConvKernel* element=NULL,
int iterations=1)
```

Bu fonksiyondaki 4 parametrenin açıklamaları maddeler halinde aşağıda verilmiştir:

- *src*: Yayma işlemi uygulanacak görüntü.
- *dst*: Yayma işlemi uygulanan görüntünün tutulacağı/saklanacağı yer.
- *element* (*opsiyonel*): Yapı elementi-Yapıtacı elemanı (structuring element). Eğer belirtilmemişse, 3×3 dörtgen yapı kullanılır. İstenilen özelliklerde yapı elementi oluşturmak için *cvCreateStructuringElementEx* fonksiyonu kullanılır.

- *iterations (opsiyonel)*: Yayma işlemini gerçekleştirmek istediğimiz görüntüye kaç kez (iterasyon) yayma işlemi uygulanacağını sayıdır. Belirtilmemişse, 1 kez uygulanır.

### Çalışma Mantığı:

Yapıtışı elemanı görüntü üzerinde dolaşırken, yapıtışı elemanının merkezi ile obje çakıştığı anda yapıtışı elemanı kadar genişleme olduğu gözlemlenir. Böylece her bir piksel yapıtışı elemanı kadar büyür. Sonuç olarak arka plan küçülmüş ve obje büyümüştür. Sistem 2’de HSV renk uzayının kullanıldığı testte yayma işlemi Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



(a) Orjinal görüntü

(b) 3x3, iterasyon sayısı:1

(c) 3x3, iterasyon sayısı:2

Şekil 3.6. Yayma işlemi.

- **Aşındırma (Kemirme-Erosion)**

Aşındırma işleminde, belirlenen sayıdan az sayıda piksele sahip nesnelere veya gürültüler yok edilir. Ayrıca, birbirine değen nesnelere varsa bu nesnelere incelterek birbirinden ayırmaktır.

Aşındırma işlemi için OpenCv’nin *cvErode* fonksiyonu kullanılır. Bu fonksiyonun söz dizimi aşağıdaki gösterilmiştir.

```
void cvErode(const CvArr* src, CvArr* dst, IplConvKernel* element=NULL,
int iterations=1) (E.3.13)
```

Bu fonksiyondaki 4 parametrenin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

- *src*: Aşındırma işlemi uygulanacak görüntü.
- *dst*: Aşındırma işlemi uygulanan görüntünün tutulacağı/saklanacağı yer.
- *element (opsiyonel)*: Yapı elementi-Yapıtışı elemanı (structuring element) (Oluşturmak için *cvCreateStructuringElementEx* fonksiyonu kullanılır). Eğer belirtilmemişse, 3×3 dörtgen yapı kullanılır.

- *iterations (opsiyonel)*: Aşındırma işlemini gerçekleştirmek istediğimiz görüntüye kaç kez aşındırma işlemi uygulanacağını sayıdır. Belirtilmemişse, 1 kez uygulanır.

### Çalışma Mantığı:

Aşınma işleminde, yapıtaşı elemanının görüntü üzerindeki kısım ile tamamen uyuşması durumunda, yapıtaşı elemanının merkez noktası dışındaki yerler arka plan haline dönüşür. Objede bir aşınma medana gelir. Sistem 2’de HSV renk uzayının kullanıldığı teste aşındırma işlemi Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



(a) Orjinal görüntü

(b) 3x3, iterasyon sayısı:1

(c) 3x3, iterasyon sayısı:2

Şekil 3.7. Aşındırma işlemi.

- **Yumuşatma: Ortanca Filtre (CV\_SMOOTH (Median Filter))**

Gürültü temizlemek için kullanılan yöntemlerden biri olan ortanca filtre, genelde tuz ve biber (salt & pepper) gürültü tipinde etkin olan doğrusal olmayan filtre çeşididir. Aykırı değerlerde daha az hassasiyet gösterdiğinden Ortalama veya Gaussian filtrelerine göre, görüntü netliğini azaltmaksızın daha iyi sonuç verir. Amaç belirli bir pencere aralığındaki sayıların ortancasını (median) alarak aşırı büyük atlamaları kaldırmaktır. Görüntüde bulunan ve komşularından belirgin şekilde ayrılan piksellerin tespit edilerek temizlenmesi sağlar.

Ortanca filtre kullanılarak yumuşatma (smooth) işlemi için OpenCv’nin *cvSmooth* fonksiyonu kullanılır. Bu fonksiyonun söz dizimi aşağıdaki gösterilmiştir.

```
void cvSmooth(const CvArr* src, CvArr* dst,int smoothtype=CV_MEDIAN,int param1=3 , int param2=0, double param3=0, double param4=0)
```

Bu fonksiyondaki 4 parametrenin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

- *src*: Ortanca filtresi uygulanacak görüntü.

- *dst*: Ortanca filtresi uygulanan görüntünün tutulacağı/saklanacağı yer.
- *smoothtype*: Yumuşatma tipi. *CV\_BLUR* (mean filter), *CV\_MEDIAN* (median value), *CV\_BLUR\_NO\_SCALE* (summation), *CV\_GAUSSIAN* (Gaussian filter) and *CV\_BILATERAL* (bilateral 3x3) olmak üzere 5 farklı yumuşatma tipi vardır. Param1, param2, param3 ve param4 parametrelerinin anlamı yumuşatma tipinin değerine göre değişir.

### Çalışma Mantığı:

Görüntü değerleri, komşuluk bölgesi üzerinden her piksel için kaydırılmasıyla hesaplanır. Merkez piksel seçildikten sonra komşuluk bölgesinde bulunan piksellerle birlikte sıralanır ve sıralanan piksellerden ortadaki değer, çıkış piksel değeri olarak, görüntüde işlenen giriş piksel değerinde atanır (Korkmaz, 2008). Sistem 2’de HSV renk uzayının kullanıldığı testte ortanca filtresi işlemi Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



(a) Orjinal görüntü

(b) 3x3, iterasyon sayısı:1

(c) 3x3, iterasyon sayısı:2

Şekil 3.8. Ortanca filtresi işlemi.

### 3.4. İnsan Sayma İşlemi

Önerilen sistemde, farklı çerçevelerde (frame) aynı yüzü tanımlamak için, tespit edilen yüzlerin hareket geçmişi kullanılmıştır. Tespit edilen aynı yüzlerin konumları, farklı çerçeveler arasında birbirine oldukça yakın olabilirse, hareket geçmişinde aynı bağlı bileşende (connected component) olabileceği öngörülür (Tu, 2006).

Önerilen insan sayma sistemlerinde sayma işlemi kaba kodu (sözde kodu-pseudo code) Şekil 3.9’da verilmiştir.

```

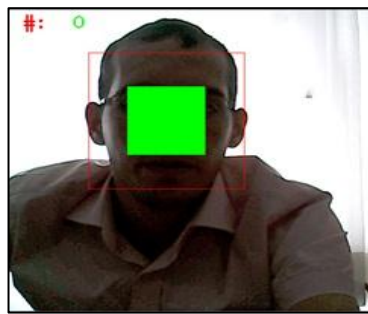
for her bulunan yüz
    do aynı pozisyonda daha küçük oranda dikdörtgen
for her bağlı bileşen (connected component)
begin
    if ilk kez yüz tespiti then yeni id ver
    else// önceden tespit edilen
    begin
        güncel tespit edilen yüze önceden tespit edilmiş yüzün id'sini ver
    if id görünme numarası==eşik numarası then yüzü say
    end
end

```

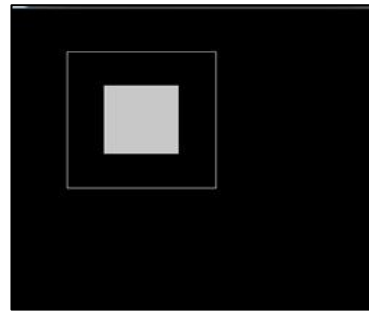
Şekil 3.9. Önerilen insan sayma sistemlerinde sayma işlemi kaba kodu.

Hareket geçmişinin (motion history) belirli bir süresi içinde, her algılanan yüz dörtgeni için, aynı konumda daha küçük boyutlarda bir dikdörtgen çizilir. Sonra, her bağlı bileşende, yüz ilk kez tespit edilirse, yeni bir id (kimlik) verilir. Daha sonra, önceden tespit edilen yüz varsa, daha önceden tespit edilmiş yüzün id'si, güncel tespit edilen yüze verilir. Aynı bağlantılı bileşendeki tespit edilen yüzlerin sayısı, sayılmadan kaynaklanabilecek gürültüden korumak için tanımlanan eşik numarasından fazla ise, yüzler sayılır (Tu, 2006).

Hareket geçmişi oluştururken, her bulunan yüz için aynı pozisyonda daha küçük oranda dikdörtgen eklenmesinin örnek gösterimi Şekil 3.10'da verilmiştir (Sistem 1). Kırmızı ile gösterilen bölge yüz bölgesini, yeşil ile gösterilen bölge hareket geçmişinin oluşturulmasında kullanılan aynı pozisyonda daha küçük oranda dikdörtgendir.



(a)



(b)

Şekil 3.10. Her bulunan yüz için hareket geçmişine aynı pozisyonda daha küçük oranda dikdörtgen eklenmesi.



Ten rengi ve yüz bulma sisteminin birlikte çalışırken (Sistem 2) hareket geçmişinin oluşturulma işleminin gösterimi Şekil 3.11’de verilmiştir. Soldaki görüntüler RGB renk uzayındaki orijinal görüntüleri, ortadaki görüntüler RGB renk uzayından HSV renk uzayına dönüşümü yapılan ve ten renk bölgeleri belirlenmiş (ten renk bölgeleri beyaz, diğer bölgeler siyah) görüntüleri ve sağdaki görüntüler ise hareket geçmişi oluşturma işlemini göstermektedir.



(a) 00:02:49



(b) 00:02:49



(c) 00:02:50



(d) 00:02:50



(e) 00:02:50

Şekil 3.11. Hareket geçmişinin oluşturulma işlemi (Test 2.9).

## 4. UYGULAMA ve DEĞERLENDİRME

Bu tez kapsamında yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemi (Sistem 1) ve ten rengini bularak yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemi (Sistem 2) olmak üzere 2 sistem geliştirilmiştir. Sistem 1'e ten rengi tespit sistemi eklenerek ten rengini bularak yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemi (Sistem 2) oluşturulmuştur.

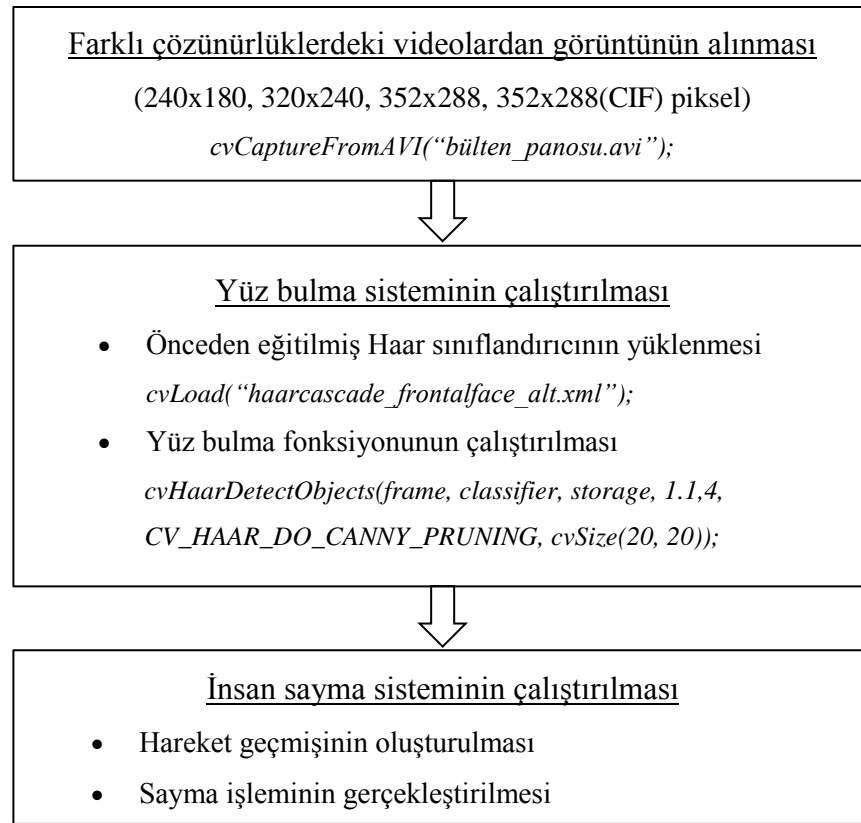
### 4.1. Sistem 1:Yüz Bulmaya Dayalı İnsan Sayma Sistemi

Video görüntülerinden otomatik olarak insan yüzlerini bulmaya dayalı insan sayma sistemi OpenCV (2.4) kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiştir. Yüz tespiti için kullanılan Viola-Jones dedektörü, OpenCV içerisinde *cvHaarDetectObjects* fonksiyonu olarak yer almaktadır.

*cvHaarDetectObjects* fonksiyonunda ölçek arttırma oranı 1.1, minimum komşu eşiği 4, minimum tespit ölçeği 20x20 olarak seçilmiştir. Ayrıca, *CV\_HAAR\_DO\_CANNY\_PRUNING* seçilmiş ve böylece muhtemel yüz içermeyen düz görüntü (no edge) bölgeleri atlanarak genel hesaplama süresi azaltılmıştır.

Önerilen insan sayma sistemini test etmek için, Başkent Üniversitesi kampüsünün çeşitli yerlerine; koridor, kütüphane ve bilgisayar laboratuvarına yerleştirilen 7.2 megapiksel Kodak Easyshare M763 dijital kamerayla yaklaşık 5'er dakikalık MOV formatında görüntüler kaydedilmiştir. Bu video görüntülerini OpenCV'de kullanabilmek için MOV formatını AVI formatına çeviren program (Pazera Free MOV to AVI Converter) kullanılarak görüntüler H.264/MPEG-4 AVC'ye çevrilmiştir. Yüz bulma sisteminin hangi çözünürlükte daha iyi başarımlar sağladığını görmek için 240x180, 320x240, 352x288 ve 352 × 288 (CIF) piksel olmak üzere 4 farklı video çözünürlüğü kullanılmıştır. Videoların çerçeve hızı (frame rate) yaklaşık 15 fps'dir.

Yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminin (Sistem 1) detaylı akış diyagramı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Sistem 1: Yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminin akış diyagramı.

Önerilen insan sayma sisteminin doğruluğu değerlendirmek için E.4.1’deki formül kullanılmıştır.

$$\text{Doğruluk(\%)} = \frac{\text{Doğru Sayılan İnsan Yüzlerin Sayısı}}{\text{Gerçekte İnsan Yüzlerin Sayısı}} \times \%100 \quad (\text{E. 4.1})$$

Bu sistem ile yapılan testin sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. *Gerçek Sayı*, senaryolara göre; yüz bulma sisteminin kurulduğu koridorda yer alan bülten panosunun izleyenlerin, kütüphaneye ve bilgisayar laboratuvarına girenlerin toplam sayısını, *Sayılan*, sistemin toplamda saydığı insan sayısını, *Doğru Sayılan*, sistemin doğru saydığı insanların sayısını göstermektedir. *Yanlış Sayılan* ve *Sayılmayan* sistemin hatalarını gösterir; *Yanlış Sayılan*, insanların hareketleri sonucu 2 kez yüzlerinin sayılması, tişörtün üst kısmını yüz olarak sayılması ya da kütüphaneden çıkarken kamerayı farkedene birinin kameraya bakması sonucu sayılan insanların sayısını,

*Sayılmayan* ise eğik bir kafa ve kısa süreyle bakmaları/giriş yapmaları sonucu (ön yüz görüntüsünün alınamaması) sayılmayan insanların sayısını göstermektedir.

Çizelge 4.1. Sistem 1:Yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemi ile yapılan testlerin sonuçları.

Video Dizisi (RGB Renk Uzayı)	Çözünürlük (piksel)	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor: Bülten Panosu (273 sn)</b>	240x180	14	7	7	0	7	50%
	320x240	14	11	10	1	4	71,42%
	352x288	14	15	12	3	2	85,71%
	352x288 (CIF)	14	14	12	2	2	85,71%
<b>Kütüphane Girişi (311 sn)</b>	240x180	10	8	7	1	3	70%
	320x240	10	15	9	6	1	90%
	352x288	10	13	9	3	1	90%
	352x288 (CIF)	10	15	9	4	1	90%
<b>Bilgisayar Laboratuvarı Girişi (309 sn)</b>	240x180	5	5	5	0	0	100%
	320x240	5	7	5	2	0	100%
	352x288	5	5	5	0	0	100%
	352x288 (CIF)	5	6	5	1	0	100%

#### 4.1.1. Uygulama yeri: Koridor-bülten panosu

Önerilen sistem, ilk olarak koridorda yer alan bülten panosunu izleyenlerin sayımında test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda, en iyi sonuçlar 352x288 piksel (CIF) video görüntülerinden alınmıştır. Doğruluk oranı %85,71 olarak hesaplanmıştır. Bu senaryodaki hatalar, kişilerin bülten panosuna eğik bir kafa (ön yüz görüntüsü alınamamıştır) ile kısa süreyle bakmalarından ve kişilerin ani hareketleri sonucu, yüz tespitleri sonucu oluşturulan hareket geçmişlerinin yok olup tekrardan tespit edilen yüz için yeniden sayma işleminden (aynı yüz 2 kez sayılmıştır) oluşmaktadır.

#### 4.1.2. Diğer uygulama yerleri: Kütüphane ve bilgisayar laboratuvarı girişi

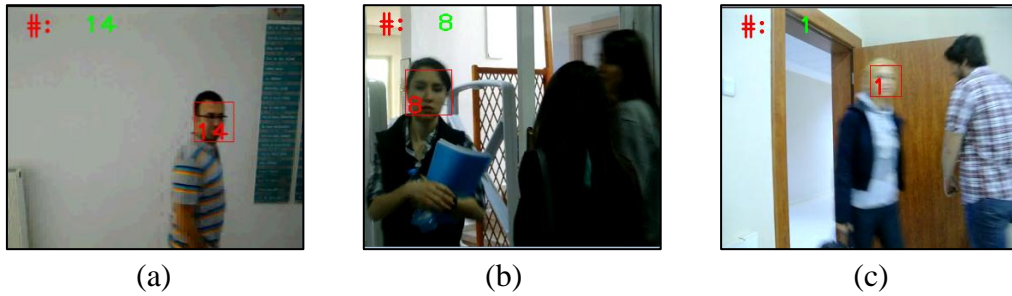
Önerilen insan sayma sistemi kütüphane girişinde 352x288 piksel çözünürlüklü videoda en iyi başarıyı sağlamıştır. Doğruluk oranı %90'dır. Bu video görüntüsünde karşılaşılan hatalar; kişilerin ani hareketleri sonucu, yüz tespitleri sonucu oluşturulan

hareket geçmişlerinin yok olup tekrardan tespit edilen yüz için yeniden sayma işleminden (aynı yüz 2 kez sayılmıştır), eğik bir kafa (başı önde, ön yüz görüntüsü alınamamıştır) ile kütüphaneye giriş yapmalarından ve kütüphaneden çıkarken kamerayı fark eden bir kişinin kameraya bakması sonucu sayılma işleminden kaynaklanmıştır.

Bilgisayar laboratuvarı girişinde ise 352x288 ve 240x180 piksel çözünürlüklü videolarda en iyi sonuç alınmıştır. Doğruluk oranı %100'dür.

#### 4.1.3. Sistem 1 uygulamalarının değerlendirilmesi

Önerilen yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemi, koridorda yer alan bülten panosuna, kütüphane ve bilgisayar laboratuvarı girişlerine yerleştirilen dijital kamerayla yaklaşık 5'er dakikalık kaydedilen görüntüler ile test edilmiştir. Önerilen sistemden bazı sayım görüntüleri Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Sistem 1: Yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminden bazı sayım görüntüleri.

- (a) Koridorda bulunan bülten panosu,
- (b) Kütüphane girişi,
- (c) Bilgisayar laboratuvarı.

Önerilen sistemin insan sayma işleminde, kişilerin ani hareketleri sonucu, yüz tespitleri sonucu oluşturulan hareket geçmişlerinin yok olup tekrardan tespit edilen yüz için yeniden sayma işlemini gerçekleştirmesi sistemin doğruluğunu olumsuz yönde etkilemiştir.

#### 4.2. Sistem 2: Ten Rengini Bularak Yüz Bulmaya Dayalı İnsan Sayma Sistemi

Bu sistem, Sistem 1: Yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemine ten rengi tespit sistemi eklenerek geliştirilmiştir. İnsan sayma sistemlerinin eğitim alanında da kullanılabilir olabileceğini göstermek amacıyla bülten panosu senaryosu temel alınmıştır. Sistem 1'deki testlerin sonuçları (Çizelge 4.1) dikkate alınmış ve çözünürlük olarak önceki çalışmadaki 3 senaryoda genel olarak daha iyi sonuç veren 352x288

piksel seçilmiştir. Kullanılan webcam, 1.3 Megapiksel çözünürlüğe sahip olan A4-TECH PK-636K modelidir ve çerçeve hızı 30 fps'dir.

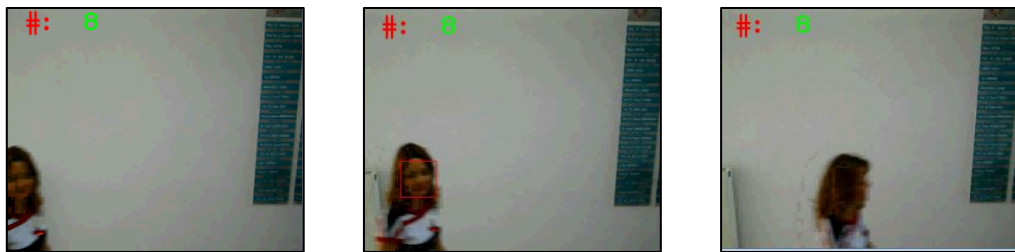
*cvHaarDetectObjects* fonksiyonunda ölçek arttırma oranı 1.1, minimum komşu eşiği 2, minimum tespit ölçeği 20x20 olarak seçilmiştir. Ayrıca, *CV\_HAAR\_DO\_CANNY\_PRUNING* seçilmiş ve böylece muhtemel yüz içermeyen düz görüntü (no edge) bölgeleri atlanarak genel hesaplama süresini azaltılmıştır.

Minimum komşu eşiği değerinin 4 olduğu Sistem 1 ile yapılan testte, bu değere 2 değeri verilerek yapılan testte sayılmayan bir kişi sayılmış ve bu değer önerilen sistemde (Sistem 2) varsayılan değer olarak değiştirilmiştir. Bu testin sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Minimum komşu eşiğinin Sistem 1'e etkisi.

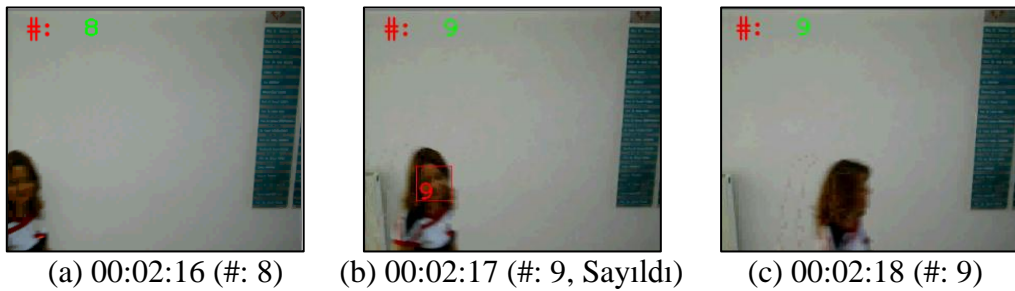
Senaryo	Minimum Komşu Eşiği (Minimum Neighbors Threshold)											
	4					2						
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu</b>	14	15	12	3	2	85,71%	14	15	13	2	1	93,33%

Sistem 1 ile yapılan çalışmada sayılmayan bir kişinin, *cvHaarDetectObjects* fonksiyonunda yer alan minimum komşu eşiğinin değiştirilerek sayıldığı görüntüler Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de verilmiştir.



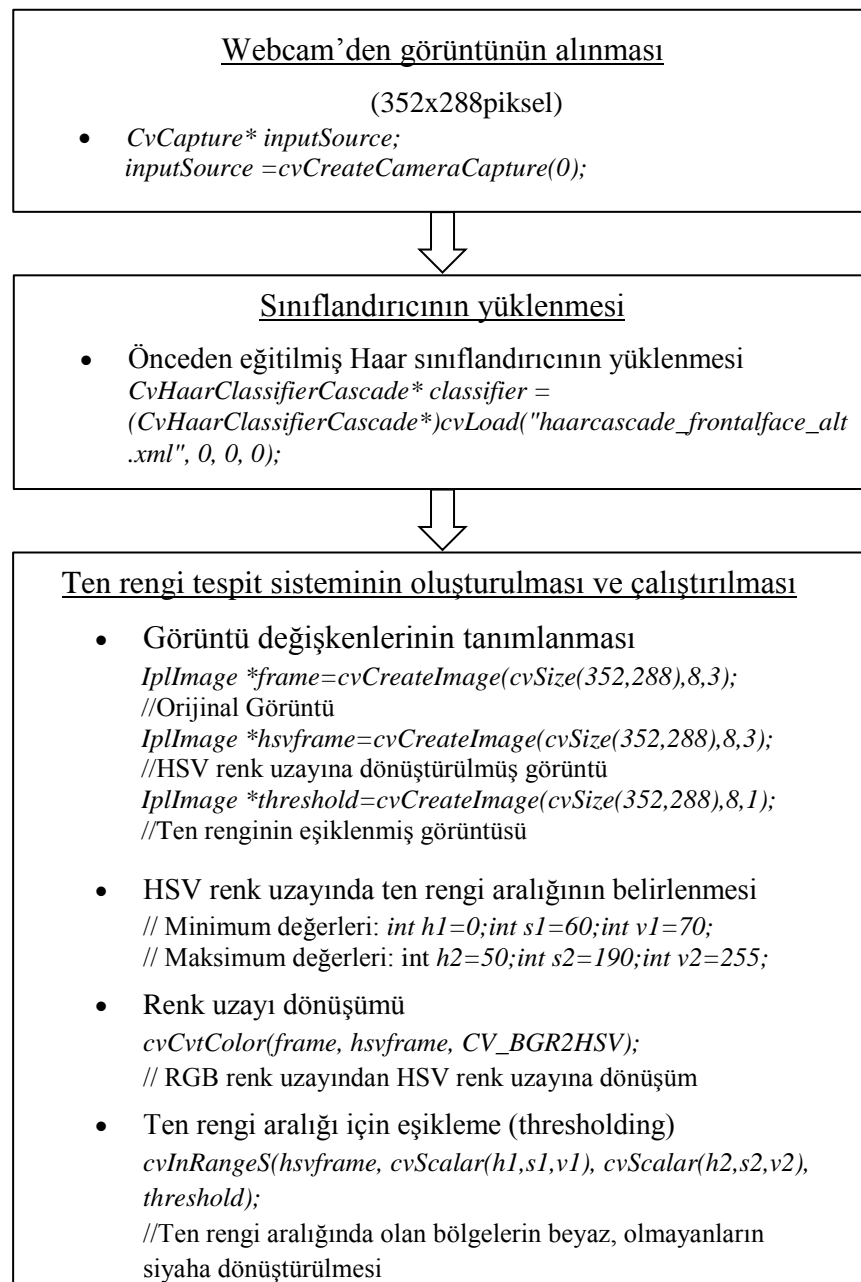
(a) 00:02:16 (#: 8) (b) 00:02:17 (#: 8, Sayılmadı) (c) 00:02:18 (#: 8)

Şekil 4.3. Sistem 1'de minimum komşu eşiği değeri: 4 (Test 1.1).

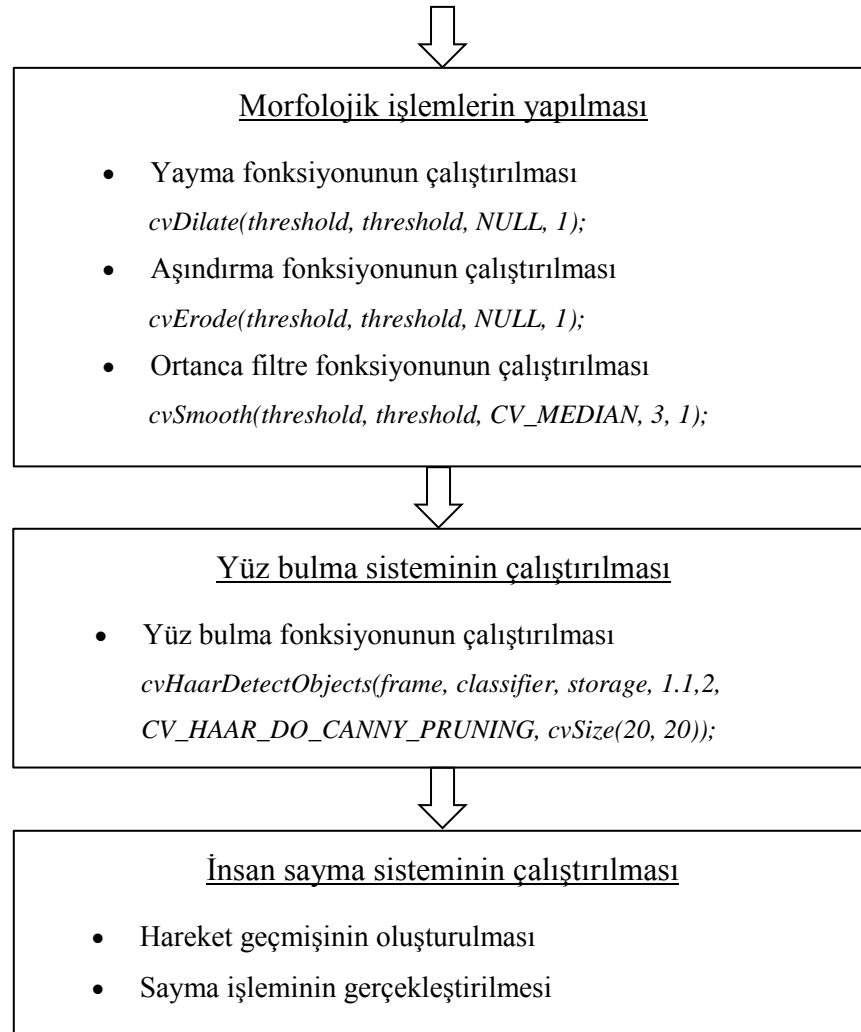


Şekil 4.4. Sistem 1’de minimum komşu eşiği değeri: 2 (Test 1.2).

Ten rengini bularak yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminin (Sistem 2) akış diyagramı Şekil 4.5’te gösterilmiştir.







Şekil 4.5. Sistem 2: Ten rengini bularak yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminin akış diyagramı.

Sistem 2’de ten rengi tespiti için, HSV ve YCbCr renk uzayı olmak üzere 2 renk uzayı test edilmiştir. Sistem 2’de HSV renk uzayı kullanılarak ten rengi tespitinin yapıldığı testlerde ten modelleme yöntemi olarak açıkça tanımlanmış ten modelleme yöntemi kullanılmış, ten rengi sınırları deneysel olarak bulunmuştur. Daha iyi başarımlar sağlayan ten rengi sınırlarının belirlenmesi için çeşitli durumlarda kişilerin bülten panosuna baktığı 5 test yapılmıştır (Test 2.1, Test 2.3, Test 2.5, Test 2.6, Test 2.9). Yapılan bu testlerde kullanılan ten rengi sınırları Çizelge 4.3’te listelenmiştir:

Çizelge 4.3. HSV renk uzayının kullanıldığı testler ve verilen H,S,V değerleri.

Test Adı	H	S	V
Test 2.1	$0 \leq H \leq 50$	$90 \leq S \leq 255$	$80 \leq V \leq 255$
Test 2.3	$0 \leq H \leq 50$	$60 \leq S \leq 175$	$75 \leq V \leq 255$
Test 2.5	$0 \leq H \leq 50$	$60 \leq S \leq 175$	$80 \leq V \leq 255$
Test 2.6	$0 \leq H \leq 50$	$60 \leq S \leq 175$	$80 \leq V \leq 255$
Test 2.9	$0 \leq H \leq 50$	$60 \leq S \leq 190$	$70 \leq V \leq 255$

Sistem 2’de diğer renk uzayı olan YCbCr renk uzayı kullanılarak ten rengi tespitinin yapıldığı testlerde, ten modelleme yöntemi olarak açıkça tanımlanmış ten modelleme yöntemi kullanılmış, ten rengi sınırları deneysel olarak bulunmuştur. Daha iyi başarımlar sağlayan ten rengi sınırlarının belirlenmesi için çeşitli durumlarda kişilerin bülten panosuna baktığı 5 test yapılmıştır (Test 2.2, Test 2.4 Test 2.7, Test 2.8, Test 2.10). Yapılan bu testlerde kullanılan ten rengi sınırları Çizelge 4.4’te listelenmiştir: Y; Cb; Cr = [0; 255].

Çizelge 4.4. YCbCr renk uzayının kullanıldığı testler ve verilen Y,Cb,Cr değerleri.

Test Adı	Y	Cb	Cr
Test 2.2	$67 \leq Y \leq 255$	$103 \leq Cb \leq 190$	$139 \leq Cr \leq 206$
Test 2.4	$60 \leq Y \leq 255$	$100 \leq Cb \leq 175$	$137 \leq Cr \leq 170$
Test 2.7	$60 \leq Y \leq 255$	$105 \leq Cb \leq 125$	$139 \leq Cr \leq 170$
Test 2.8	$60 \leq Y \leq 255$	$105 \leq Cb \leq 125$	$139 \leq Cr \leq 170$
Test 2.10	$60 \leq Y \leq 255$	$90 \leq Cb \leq 130$	$139 \leq Cr \leq 170$

#### 4.2.1. Uygulanan morfolojik işlemler

Öncelikle yüz bölgesindeki siyah yerleri azaltmak için yayma (dilation) işlemi yapılmıştır. Bu işlemde, 3x3 boyutlarında yapı elemanı kullanılmış ve bu işlem 1 kere (iterasyon) uygulanmıştır. Daha sonra genişleyen yüz alanını orijinal boyutuna küçültebilmek için aşındırma (erosion) işlemi yapılmıştır. Bu işlemde, 3x3 boyutlarında yapı elemanı kullanılmış ve aşındırma işlemi 1 kere (iterasyon) uygulanmıştır. Son olarak, görüntüde bulunan ve komşularından belirgin şekilde ayrılan piksellerin tespit edilerek temizlenmesi için ortanca filtre (median filter) kullanılmıştır. Bu işlemde 3x3 boyutlarında yapı elemanı kullanılmıştır ve bu işlem 1 kere (iterasyon) uygulanmıştır.

Ayrıca, çeşitli morfolojik işlemlerin iterasyon sayısı ve yapı elemanı büyüklükleri değiştirilerek yapılan testlerin sonuçları Uygulama 5’te yer almaktadır. HSV renk uzayının kullanıldığı testlerde alınan H,S,V değerleri E.4.2’de gösterilmiştir.

$$0 \leq H \leq 50 \quad (\text{E.4.2})$$

$$60 \leq S \leq 175$$

$$80 \leq V \leq 255$$

$$H; S; V = [0; 255]$$

HSV renk uzayının kullanıldığı testler ve yapılan morfolojik işlem özellikleri Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. HSV renk uzayının kullanıldığı çeşitli morfolojik işlem özellikleri.

Test Adı	Yayma	Aşındırma	Ortanca Filtre
Test 2.11	2 iterasyon (3x3)	-	-
Test 2.13	2 iterasyon (3x3)	-	2 iterasyon (3x3)
Test 2.15	2 iterasyon (3x3)	2 iterasyon (3x3)	2 iterasyon (3x3)
Test 2.17	1 iterasyon (5x5)	1 iterasyon (5x5)	1 iterasyon (5x5)

YCbCr renk uzayının kullanıldığı testlerde alınan Y,Cb,Cr değerleri E.4.3’de gösterilmiştir.

$$60 \leq Y \leq 255 \quad (\text{E.4.3})$$

$$90 \leq Cb \leq 130$$

$$139 \leq Cr \leq 170$$

$$Y; Cb; Cr = [0; 255]$$

YCbCr renk uzayının kullanıldığı testler ve yapılan morfolojik işlem özellikleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. YCbCr renk uzayının kullanıldığı çeşitli morfolojik işlem özellikleri.

Test Adı	Yayma	Aşındırma	Ortanca Filtre
Test 2.12	2 iterasyon (3x3)	-	-
Test 2.14	2 iterasyon (3x3)	-	2 iterasyon (3x3)
Test 2.16	2 iterasyon (3x3)	2 iterasyon (3x3)	2 iterasyon (3x3)
Test 2.18	1 iterasyon (5x5)	1 iterasyon (5x5)	1 iterasyon (5x5)

#### 4.2.2. Uygulama 1

Önerilen sistem için, ten rengi sınırları için incelenen literatür değerleri (Bölüm 3.2.1. HSV renk uzayı ten renk aralığı ve Bölüm 3.2.2. YCbCr renk uzayı ten renk aralığı) göz önünde bulundurularak HSV ve YCbCr renk uzaylarında yer alan H,S,V,Y,Cb ve Cr değerleri bu literatür değerlerine yakın değerler alınarak test edilmiştir.

##### 4.2.2.1. HSV renk uzayında kullanılan ten renk aralıkları

HSV renk uzayı kullanılarak yapılan bu ten tespit çalışmasında alınan H, S ve V değerleri E.4.4'te verilmiştir.

$$0 \leq H \leq 50 \quad (E.4.4)$$

$$90 \leq S \leq 255$$

$$80 \leq V \leq 255$$

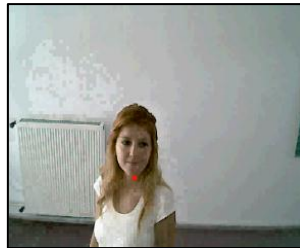
$$H; S; V = [0; 255]$$

Çizelge 4.7'de HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin bu parametrelere göre yapılan testinin sonuçları verilmiştir. Doğruluk oranı %100 olarak hesaplanmıştır.

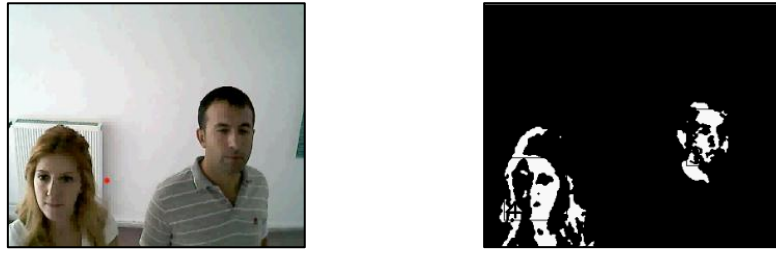
Çizelge 4.7. HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.1).

Senaryo	RENK UZAYI					
	HSV					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (02:45 sn)</b>	5	5	5	0	0	100%

E.4.4'deki değerler ile yapılan testten bazı sayım görüntüleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



(a) 00:00:39 (#: 2)



(b) 00:01:52 (Soldaki #: 3, Sağdaki #: 4)

Şekil 4.6. E.4.4 değerleri ile yapılan Test 2.1'den sayım görüntüleri.

#### **4.2.2.2. YCbCr renk uzayında kullanılan ten renk aralıkları**

YCbCr renk uzayı kullanılarak yapılan bu ten tespit çalışmasında alınan Y, Cb ve Cr değerleri E.4.5'te verilmiştir.

$$67 \leq Y \leq 255 \quad (E.4.5)$$

$$139 \leq Cr \leq 206$$

$$103 \leq Cb \leq 190$$

$$Y; Cr; Cb = [0; 255]$$

YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.5'te yer alan parametrelere göre yapılan testin sonuçları Çizelge 4.8'de gösterilmiştir. Doğruluk oranı %80 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.2).

Senaryo	RENK UZAYI					
	YCbCr					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (02:29 sn)</b>	5	5	4	1	1	80%

E.4.5'deki değerler ile yapılan testten bazı sayım görüntüleri Şekil 4.7'de verilmiştir.



(a) 00:00:07 (#: 1)



(b) 00:00:36 (#: 2)

Şekil 4.7. E.4.5 değerleri ile yapılan Test 2.2'den sayım görüntüleri.

### **4.2.2.3. Uygulama 1 değerlendirmesi**

HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.4'te verilen parametrelere göre yapılan testinin (Test 2.1) görüntüleri incelendiğinde panoya bakan kişilerin, panoya uzun bir süre bakmaları sonrasında yüz tespit işlemlerinin gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Bu testin doğruluk oranı %100 olmasına rağmen, yüz bölgesinde ten rengi olmayan piksellerin oluşturduğu siyah bölgelerin varlığından dolayı yapılacak kapsamlı bir testte eksik ve/veya yanlış saptamaların olabileceği öngörülmüştür. Sistemin doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilecek durumu ortadan kaldırmak için bir sonraki testte ten renk aralıkları (H,S,V değerleri) değiştirilmiştir.

YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.5'te verilen parametrelere göre yapılan testinin (Test 2.2) görüntüleri incelendiğinde panoya bakan kişilerin yüz bölgesinde ten rengi olmayan piksellerin oluşturduğu siyah bölgelerin varlığı sonucunda eksik ve yanlış saptamalar gerçekleşmiş ve sistemin doğruluğu olumsuz yönde etkilenmiştir. E.4.5 değerleri sonucu yapılan Test 2.2'de yüz bölgesindeki siyah bölgelerin oluşturduğu eksik saptamalar Şekil 4.8'de verilmiştir. Bu durumu ortadan kaldırmak için bir sonraki testte ten renk aralıkları (Y,Cb,Cr değerleri) değiştirilmiştir.



00:01:44 (Soldaki #: Sayılmadı, Sağdaki #: 4).

Şekil 4.8. E.4.5 değerleri ile yapılan Test 2.2'de eksik saptama görüntüleri.

### 4.2.3. Uygulama 2

Uygulama 1’de E.4.2 ve E.4.3’te verilen HSV ve YCbCr renk uzaylarındaki H,S,V,Y,Cb ve Cr değerleri, yüz bölgesinde ten rengi olmayan piksellerin oluşturduğu siyah bölgelerin varlığından dolayı, ten tespit sisteminin optimum düzeyde çalışması için bu uygulamada güncellenmiştir.

#### **4.2.3.1. HSV renk uzayında kullanılan ten renk aralıkları**

HSV renk uzayı kullanılarak yapılan bu ten tespit çalışmasını optimum hale getirmek için H, S ve V değerleri için E.4.6’da verilen değerler kullanılmıştır:

$$0 \leq H \leq 50 \quad (E.4.6)$$

$$60 \leq S \leq 175$$

$$75 \leq V \leq 255$$

$$H; S; V = [0; 255]$$

HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.6’da yer alan değerlere göre yapılan testin sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Doğruluk oranı %100 olarak hesaplanmıştır.

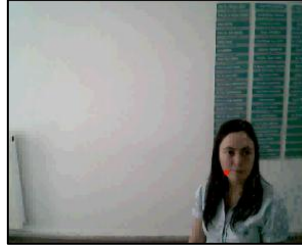
Çizelge 4.9. HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.3).

Senaryo	RENK UZAYI					
	HSV					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (03:02 sn)</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>100%</b>

E.4.6’daki değerler ile yapılan testten bazı sayım görüntüleri Şekil 4.9’da verilmiştir.



(a) 00:00:10 (#: 1)



(b) 00:00:24 (#: 2)

Şekil 4.9. E.4.6 değerleri ile yapılan Test 2.3'ten sayım görüntüleri.

#### **4.2.3.2. YCbCr renk uzayında kullanılan ten renk aralıkları**

YCbCr renk uzayı kullanılarak yapılan bu ten tespit çalışmasının Y, Cb ve Cr değerlerini optimum hale getirmek için E.4.7'de verilen değerler kullanılmıştır:

$$60 \leq Y \leq 255 \quad (\text{E.4.7})$$

$$137 \leq Cr \leq 170$$

$$100 \leq Cb \leq 175$$

$$Y; Cr; Cb = [0; 255]$$

YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.7'de yer alan değerlere göre yapılan testin sonuçları Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Doğruluk oranı %86,66 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.10. YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.4).

Senaryo	RENK UZAYI					
	YCbCr					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (02:47 sn)</b>	15	14	13	1	2	86,66%

E.4.7'deki değerler ile yapılan testten bir sayım görüntüsü Şekil 4.10'da verilmiştir.



00:02:19 (#: 13)

Şekil 4.10. E.4.7 değerleri ile yapılan Test 2.4'ten sayım görüntüsü.

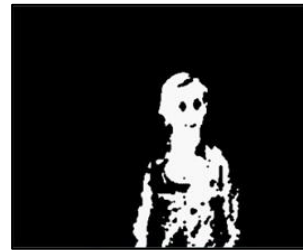


### **4.2.3.3. Uygulama 2 değerlendirmesi**

HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.6'da verilen parametrelere göre yapılan testinin (Test 2.3) görüntüleri incelendiğinde Uygulama 1'e (Test 2.1) göre yüz tespit işleminin daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Fakat görüntülerde panoya bakan kişilerin bazılarının panoya ilk kez bakmalarından sonra tespit edilmeyip, buldukları konumu değiştirdikleri ve bir süre panoya bakmaları sonrası yüz tespit işlemlerinin gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Bu durumun ten renk aralıklarının tam olarak uygun olmamasından ve ortamın aydınlanma değişiminden kaynaklandığı düşünölmektedir. Bu durumu gösteren görüntüler Şekil 4.11'de verilmiştir. Testin doğruluk oranı %100 olmasına rağmen, sistemin doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilecek bu durumu ortadan kaldırmak için sonraki uygulamada farklı ten renk aralıklarıyla sistem test edilmiştir.



(a) 00:01:22 (#: 3, Henüz sayılmadı)



(b) 00:02:03 (#: 4, Henüz sayılmadı)

Şekil 4.11. E.4.6 değerleri ile yapılan Test 2.3'ten bir süre sonra sayım görüntüleri.

YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.7'de verilen parametrelere göre yapılan testinin (Test 2.4) görüntüleri incelendiğinde Uygulama 1'e (Test 2.2) göre yüz tespit işleminin daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bu testin doğruluk oranı %86,66'dır. Testte yer alan bir bölümde, bülten panosuna 2 kişi bakarken öndeki kişinin arkadaki kişiyi engellemesi (oklüzyon) sonucunda sistem yanlış tespit (çoklu sayım) işlemi yapmıştır. Bu durum Şekil 4.12'de (b,c,d) gösterilmiştir. Eksik sayma işlemi ise kişinin bülten panosuna kısa süreli bakmasından dolayı sayma işleminin yapılmamasından kaynaklanmıştır (Şekil 4.12 (a)).



(a) 00:01:39 (Soldaki #: Sayılmadı, Sağdaki #: 8)



(b) 00:01:42 (Sağdaki #: 8)



(c) 00:01:43 (Öndeki #: 9, Arkadaki #: Sayılmadı)



(d) 00:01:44 (#: 10)

Şekil 4.12. E.4.7 değerleri ile yapılan Test 2.4'ten eksik ve yanlış saptama görüntüleri.

#### 4.2.4. Uygulama 3

Yapılan önceki uygulamaların (Uygulama 1 ve Uygulama 2) amacı ten tespit sistemi kullanılarak yüz bulmaya dayalı insan sayma sisteminin optimum düzeyde insan sayma işlemini gerçekleştirdiği ten renk aralıklarını belirlemektir. Önceki testlerin sonuçları dikkate alınarak bu uygulamada sistem daha kapsamlı (daha uzun süreli: 00:35:00 sn) olarak test edilmiştir.

#### **4.2.4.1. HSV renk uzayında kullanılan ten renk aralıkları**

##### **a) Test 2.5**

Ten rengi tespit sisteminde daha iyi sonuç verebileceği düşünülen H, S ve V değerleri E.4.8’de verilmiştir.

$$0 \leq H \leq 50 \quad (E.4.8)$$

$$60 \leq S \leq 175$$

$$80 \leq V \leq 255$$

$$H; S; V = [0; 255]$$

HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.8’de yer alan değerlere göre yapılan testinin sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir. Doğruluk oranı %87,5 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.11. HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.5).

Senaryo	RENK UZAYI					
	HSV					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (35:00 sn)</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>87,5%</b>

E.4.8’deki değerler ile yapılan testten bazı sayım görüntüleri Şekil 4.13’te verilmiştir.



(a) 00:09:27 (#: 2)



(b) 00:14:36 (#: 4)



(c) 00:15:29 (#: 9)

Şekil 4.13. E.4.8 değerleri ile yapılan Test 2.5'ten sayım görüntüleri.

**b) Test 2.6**

Önceki testlerde bülten panosuna bakan kişilerin sayısının az olmasından dolayı farklı durumlarda panoya bakma senaryoları düşünülerek sistem tekrar test edilmiştir.

Çizelge 4.12'de HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.8'de yer alan değerlere göre yapılan testinin sonuçları verilmiştir. Doğruluk oranı %45,91 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.12. HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.6).

Senaryo	RENK UZAYI					
	HSV					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (19:43 sn)</b>	<b>98</b>	<b>50</b>	<b>45</b>	<b>5</b>	<b>48</b>	<b>45,91%</b>

E.4.8'deki değerler ile yapılan testten bazı sayım görüntüleri Şekil 4.14'te verilmiştir.



(a) 00:01:13 (#: 4)



(b) 00:08:21 (#: 23)



(c) 00:16:43 (#: 42)

Şekil 4.14. E.4.8 değerleri ile yapılan Test 2.6'dan sayım görüntüleri.

#### **4.2.4.2. YCbCr renk uzayında kullanılan ten renk aralıkları**

##### **a) Test 2.7**

Ten rengi tespit sisteminde daha iyi sonuç verebileceği düşünülen Y, Cb ve Cr değerleri E.4.9'da verilmiştir.

$$60 \leq Y \leq 255 \quad (\text{E.4.9})$$

$$139 \leq Cr \leq 170$$

$$105 \leq Cb \leq 125$$

$$Y; Cr; Cb = [0; 255]$$

YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.9'da yer alan değerlere göre yapılan testinin sonuçları Çizelge 4.13'te verilmiştir. Doğruluk oranı %33,3 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.13. YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.7).

Senaryo	RENK UZAYI					
	YCbCr					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (35:00 sn)</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>33,3%</b>

E.4.9'daki değerler ile yapılan testten bazı sayım görüntüleri Şekil 4.15'te verilmiştir.



(a) 00:10:06 (#: 1)



(b) 00:22:53 (#: 2)

Şekil 4.15. E.4.9 değerleri ile yapılan Test 2.7'den sayım görüntüleri.

### b) Test 2.8

YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.9'da yer alan değerlere göre farklı bir tarihte tekrar yapılmıştır. Yapılan bu testin sonuçları Çizelge 4.14'te gösterilmiştir. Doğruluk oranı %40 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.14. YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.8).

Senaryo	RENK UZAYI					
	YCbCr					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (35:00 sn)</b>	5	2	2	0	3	40%

E.4.9'daki değerler ile yapılan testten bazı sayım görüntüleri Şekil 4.16'da verilmiştir.



(a) 00:15:44 (#: 1)



(b) 00:28:04 (#:2)

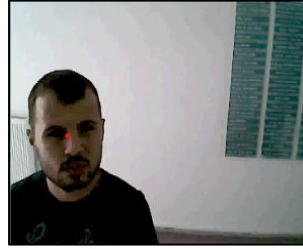
Şekil 4.16. E.4.9 değerleri ile yapılan Test 2.8'den sayım görüntüleri.

#### **4.2.4.3. Uygulama 3 değerlendirmesi**

HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.8'de verilen parametrelere göre yapılan testinin (Test 2.5) görüntüleri incelendiğinde önceki testlere (Test 2.1 ve Test 2.3) göre yüz tespit işleminin daha düşük başarımla sağlandığı gözlemlenmiştir. Panoya bakan kişilerin, ani hareketleri sonucu yüz tespiti sonucu oluşturulan hareket geçmişlerinin yok olup tekrardan tespit edilen yüz için yeniden sayma işlemini gerçekleştirmesidir. Bu durum Şekil 4.17'de gösterilmektedir.



(a) 00:14:45 (#: 5)



(b) 00:14:48 (#: 6, Tekrar sayıldı)



(c) 00:14:51 (#: 7, Tekrar sayıldı)

Şekil 4.17. E.4.8 değerleri ile yapılan Test 2.5'ten yanlış saptama görüntüleri.

Önceki testlerde (Test 2.1, Test 2.3 ve Test 2.5) bülten panosuna bakan kişilerin sayısının az olmasından dolayı farklı durumlarda panoya bakma senaryoları düşünülerek sistem tekrar test edilmiştir. HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.8'de verilen parametrelere göre yapılan test (Test 2.6) önceki testlere (Test 2.1, Test 2.3 ve Test 2.5) göre yüz tespit işleminin daha düşük başarımlı sağladığı gözlemlenmiştir. Yapılan testte doğruluk oranı %45,91'dir. Sistemde oluşan eksik sayma işlemleri, sistemin yanlış sayma işlemlerinde olduğu gibi aydınlatma değişimi (ışıklandırma-light exposure) sonucu yüzlerde oluşan karanlık (siyah) bölgelerden kaynaklanmıştır. Bu durum Şekil 4.18'de gösterilmektedir.





(a) 00:01:12 (#: 3)



(b) 00:01:13 (#: 4, Sayıldı)



(c) 00:01:15 (#: 4)



(d) 00:01:16 (#: 5, Tekrar Sayıldı)

Şekil 4.18. E.4.8 değerleri ile yapılan Test 2.6'dan yanlış saptama görüntüleri.

YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.9'da verilen parametrelere göre farklı günlerde yapılan 2 testi (Test 2.7 ve Test 2.8) de başarısız bir sonuç vermiştir. Doğruluk oranı %33,3 ve %40 olarak saptanmıştır. Bu testlerin görüntüleri incelendiğinde aydınlanmadan ve kişinin bülten panosuna kısa süreli bakmasından dolayı sayma işleminin yapılmaması sonucu sistemin doğruluğunun olumsuz yönde etkilendiği tespit edilmiştir. Sistemin bazı eksik saptamaları Şekil 4.19'da verilmiştir.



(a) 00:03:59 (#: 0)



(b) 00:04:00 (#: 0, Sayılmadı)



(c) 00:04:00 (#: 0)



(d) 00:33:45 (#: 2)



(e) 00:33:47 (#:2, Sayılmadı)

Şekil 4.19. E.4.9 değerleri ile yapılan Test 2.7'den eksik saptama görüntüleri.

Önerilen insan sayma sistemi kişileri saymamasının nedeni YCbCr renk uzayında yer alan Y,Cb ve Cr değerlerinin ten renk değerleriyle uygun olmaması da olabilir.

#### 4.2.5. Uygulama 4

Sistemin doğruluğunu arttırmak için E.4.8 ve E.4.9’da verilen değerler değiştirilmiştir ve önceki testlerde bülten panosuna bakan kişilerin sayısının az olmasından dolayı farklı durumlarda panoya bakma senaryoları düşünülerek sistem test edilmiştir.

##### **4.2.5.1. HSV renk uzayında kullanılan ten renk aralıkları**

H, S ve V değerlerinin daha iyi sonuç verebileceği düşünülen değerler aşağıda belirtilmiştir:

$$0 \leq H \leq 50 \quad (E.4.10)$$

$$60 \leq S \leq 190 \quad H; S; V = [0; 255]$$

$$70 \leq V \leq 255$$

Çizelge 4.15’te HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.10’da yer alan değerlere göre yapılan testinin sonuçları verilmiştir. Doğruluk oranı %91,83 olarak hesaplanmıştır.

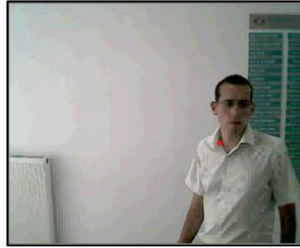
Çizelge 4.15. HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.9).

Senaryo	RENK UZAYI					
	HSV					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (07:41 sn)</b>	<b>49</b>	<b>50</b>	<b>45</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>91,83%</b>

E.4.10’daki değerler ile yapılan testten bazı sayım görüntüleri Şekil 4.20’de verilmiştir.



(a) 00:00:39 (#:6)



(b) 00:01:03 (#:9)



(c) 00:02:12 (#:17)



(d) 00:03:18 (#:23)



(e) 00:04:04 (#:29)

Şekil 4.20. E.4.10 değerleri ile yapılan Test 2.9'dan sayım görüntüleri.

#### 4.2.5.2. YCbCr renk uzayında kullanılan ten renk aralıkları

Y, Cb ve Cr değerlerinin daha iyi sonuç verebileceği düşünülen değerler aşağıda belirtilmiştir:

$$60 \leq Y \leq 255 \quad (\text{E.4.11})$$

$$139 \leq Cr \leq 170$$

$$90 \leq Cb \leq 130$$

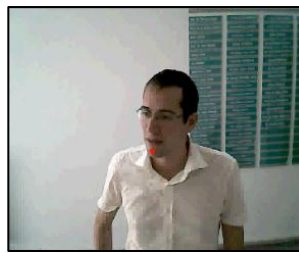
$$Y; Cr; Cb = [0; 255]$$

YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.11’de yer alan değerlere göre yapılan testinin sonuçları Çizelge 4.16’da verilmiştir. Doğruluk oranı % 88,37 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.16. YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.10).

Senaryo	RENK UZAYI					
	YCbCr					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (10:25)</b>	<b>43</b>	<b>50</b>	<b>38</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>%88,37</b>

E.4.11’deki değerler ile yapılan testten bazı sayım görüntüleri Şekil 4.21’de verilmiştir.



(a) 00:00:32 (#:5)



(b) 00:01:49 (#:11)



(c) 00:02:33 (#:14)



(d) 00:03:27 (#:17)



(e) 00:09:40 (#:45)

Şekil 4.21. E.4.11 değerleri ile yapılan Test 2.10'dan sayım görüntüleri.

#### **4.2.5.3. Uygulama 4 değerlendirme**

HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.10'da verilen parametrelere göre yapılan test başarılı sonuç vermiştir. Yapılan testte doğruluk oranı %91,83'tür. Yapılan eksik sayma işlemi, ortamın ışık değişimlerinden veya kişinin panoya uzak bir mesafeden bakması sonucu görüntü içinde aranacak en küçük yüz boyutunu tanımlayan minimum tespit ölçeğinin varsayılan boyutunun o kişiyi bulamamasından kaynaklanabilmektedir. HSV renk uzayında kişinin hareketine bağlı olarak sistemin eksik saptamalarından bazıları Şekil 4.22'de gösterilmektedir.



(a) 00:01:12 (#:9)



(b) 00:01:14 (#:9, Sayılmadı)



(c) 00:04:08 (#:29)



(d) 00:04:08 (#:29, Sayılmadı)



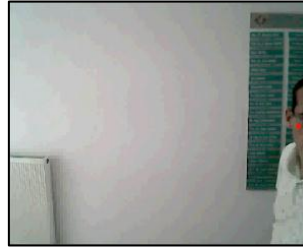
(e) 00:04:09 (#:30)



Şekil 4.22. E.4.10 değerleri ile yapılan Test 2.9'dan eksik saptama görüntüleri.

Şekil 4.22 (b)'de, E.4.10'da verilen değerlere bağlı olarak, kişinin panoya uzak bir mesafeden bakması sonucu görüntü içinde aranacak en küçük yüz boyutunu

tanımlayan minimum tespit ölçeğinin varsayılan boyutunun o kişiyi bulamamasından insan sayım işlemi yapılamamıştır. Yanlış sayma işlemleri ise, panoya bakan kişilerin, ani hareketleri sonucu yüz tespiti sonucu oluşturulan hareket geçmişlerinin yok olup tekrardan tespit edilen yüz için yeniden sayma işlemini gerçekleştirmesidir. Bu durum Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te gösterilmektedir.



(a) 00:01:39 (#:11)



(b) 00:01:41 (#:12, Sayıldı)



(c) 00:01:44 (#:13, Tekrar Sayıldı)



(d) 00:01:47 (#:14, Tekrar Sayıldı)

Şekil 4.23. E.4.10 değerleri ile yapılan Test 2.9'dan yanlış saptama görüntüleri.

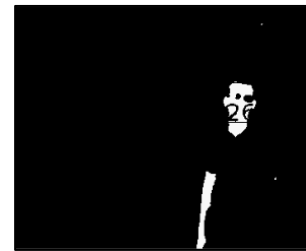
Panoya bakan kişilerin, ani hareketleri sonucu yüz tespiti sonucu oluşturulan hareket geçmişlerinin yok olup tekrardan tespit edilen yüz için yeniden sayma işleminin



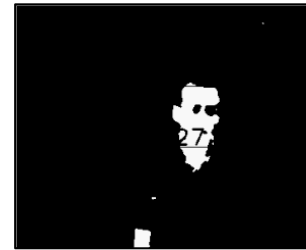
gerçekleştirildiği diğer yanlış saptamalar Şekil 4.24'te verilmiştir. Şekil 4.24'de gösterilen kişinin hareketine bağlı olarak sistemin aynı kişiyi 3 kez sayma işlemidir.



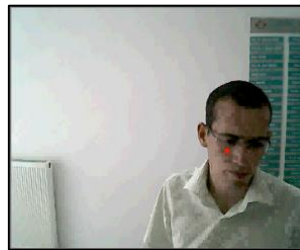
(a) 00:03:46 (#:25)



(b) 00:03:47 (#:26, Sayıldı)



(c) 00:03:49 (#:27, Tekrar Sayıldı)



(d) 00:03:53 (#:28, Tekrar Sayıldı)

Şekil 4.24. E.4.10 değerleri ile yapılan Test 2.9'dan diğer yanlış saptama görüntüleri.

YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.11'de verilen parametrelere göre yapılan testinin (Test 2.10) görüntüleri incelendiğinde panoya bakan kişilerin, ani hareketleri sonucu yüz tespiti sonucu oluşturulan hareket geçmişlerinin yok olup tekrardan tespit edilen yüz için yeniden sayma işleminin gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Bu durum Şekil 4.25'te gösterilmektedir. Yapılan test %88,37 doğruluk oranına sahiptir ve kabul edilebilir bir sonuç vermiştir. Eksik sayma işlemi

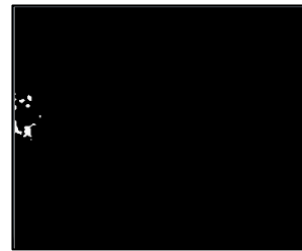
kişinin bülten panosuna kısa süreli bakmasından dolayı sayma işleminin yapılmamasından kaynaklanmıştır.



(a) 00:02:41 (#:14)



(b) 00:02:42 (#:14,Sayılmadı)



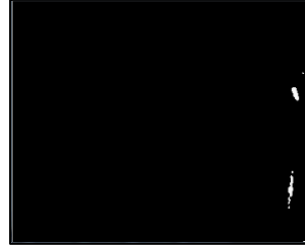
(c) 00:08:16 (#:37)



(d) 00:08:18 (#:37,Sayılmadı)

Şekil 4.25. E.4.11 değerleri ile yapılan Test 2.10'dan eksik saptama görüntüleri.

YCbCr renk uzayında kişinin hareketine bağlı olarak (kişinin hareket geçmişinin tekrardan oluşturulması sonucunda) sistemin yanlış bazı saptamaları Şekil 4.26'da gösterilmektedir.



(a) 00:06:45 (#:29)



(b) 00:06:47 (#:30, Sayıldı)



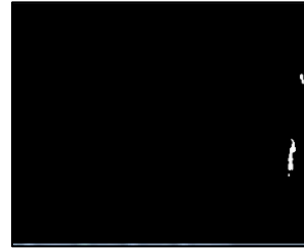
(c) 00:06:50 (#:31, Tekrar Sayıldı)



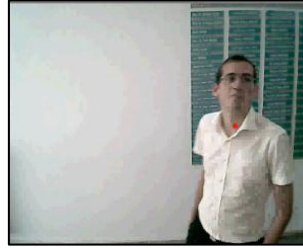
(d) 00:06:52 (#:31)



(e) 00:06:55 (#:32, Tekrar Sayıldı)



(f) 00:09:59 (#:46)



(g) 00:10:00 (#:47, Sayıldı)



(h) 00:10:03 (#:48, Tekrar Sayıldı)



(i) 00:10:05 (#:49, Tekrar Sayıldı)

Şekil 4.26. E.4.11 değerleri ile yapılan Test 2.10'dan yanlış saptama görüntüleri.

#### 4.2.6. Uygulama 5

HSV ve YCbCr renk uzaylarının kullanıldığı sistemlerde en iyi başarımın sağlanması için çeşitli morfolojik işlemlerin iterasyon sayısı ve yapı elemanı büyüklüğü değiştirilerek yapılan testlerin sonuçları aşağıda verilmiştir:

#### **4.2.6.1. HSV renk uzayının kullanıldığı sistemde morfolojik işlem değişiklikleri**

HSV renk uzayı kullanılan sistemde morfolojik işlem değişiklikleri sonucunda sistem doğruluk oranındaki değişimler görmek için yapılan testlerde H, S ve V değerleri için aşağıdaki değerler kullanılmıştır.

$$0 \leq H \leq 50 \quad (E.4.12)$$

$$60 \leq S \leq 175$$

$$80 \leq V \leq 255$$

$$H; S; V = [0; 255]$$

HSV renk uzayının kullanıldığı testler ve yapılan morfolojik işlem özellikleri Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. HSV renk uzayının kullanıldığı çeşitli morfolojik işlem özellikleri.

Test Adı	Yayma	Aşındırma	Ortanca Filtre
Test 2.11	2 iterasyon (3x3)	-	-
Test 2.13	2 iterasyon (3x3)	-	2 iterasyon (3x3)
Test 2.15	2 iterasyon (3x3)	2 iterasyon (3x3)	2 iterasyon (3x3)
Test 2.17	1 iterasyon (5x5)	1 iterasyon (5x5)	1 iterasyon (5x5)

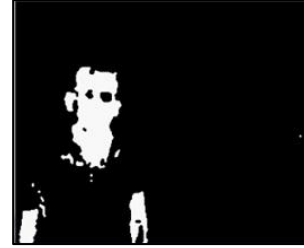
##### **a) Yayma 2 iterasyon sonucu (3x3)**

HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminde yayma işleminin, 3x3 yapıtaş elemanlı 2 iterasyonu ile yapılan testten elde edilen sonuçlar Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18. HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.11).

Senaryo	RENK UZAYI					
	HSV					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
Koridor-Bülten Panosu (12:51)	92	50	47	3	45	51,08%

Yapılan morfolojik değişikler sonucunda sistemin bazı eksik saptamaları Şekil 4.27’de gösterilmiştir.



(a) 00:01:26 (#: 8, Sayılmadı)



(b) 00:02:18 (#: 10, Sayılmadı)

Şekil 4.27. Yayma işlemi 2 iterasyon (3x3) (Test 2.11).

### b) Yayma ve ortanca filtresi 2 iterasyon sonucu (3x3)

HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminde yayma ve ortanca filtre işleminin 3x3 yapıtaş elemanlı 2 iterasyonu ile yapılan testten elde edilen sonuçlar Çizelge 4.19’da verilmiştir.

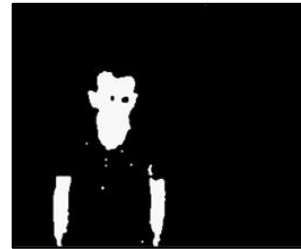
Çizelge 4.19. HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.13).

Senaryo	RENK UZAYI					
	HSV					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (09:20)</b>	87	50	45	5	42	51,72%

Yapılan morfolojik değişikler sonucunda sistemin bazı eksik saptamaları Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



(a) 00:01:39 (#: 8, Sayılmadı)



(b) 00:07:50 (#: 18, Sayılmadı)

Şekil 4.28. Yayma ve ortanca filtresi 2 iterasyon (3x3) (Test 2.13).

**c) Yayma, aşındırma ve ortanca filtresi 2 iterasyon sonucu (3x3)**

HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminde yayma, aşındırma ve ortanca filtre işleminin 3x3 yapıtaşı elemanlı 2 iterasyonu ile yapılan testten elde edilen sonuçlar Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.15).

Senaryo	RENK UZAYI					
	HSV					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
Koridor-Bülten Panosu (11:33)	91	50	47	3	44	51,64%

Yapılan morfolojik değişiklikler sonucunda sistemin bazı eksik saptamaları Şekil 4.29’da gösterilmiştir.



(a) 00:03:30 (#: 16, Sayılmadı)



(b) 00:04:30 (#: 22, Sayılmadı)

Şekil 4.29. Yayma, aşındırma ve ortanca filtresi 2 iterasyon (3x3) (Test 2.15).

#### d) Yayma, ortanca filtresi ve aşındırma iterasyon sonucu (5x5)

HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminde yayma ve ortanca filtre işleminin 5x5 yapıtaşı elemanlı 2 iterasyonu ile yapılan testten elde edilen sonuçlar Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21. HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.17).

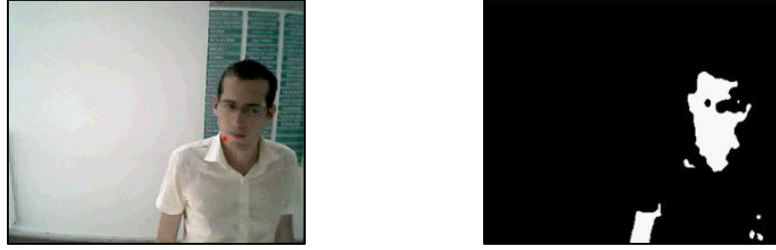
Senaryo	RENK UZAYI					
	HSV					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (09:54)</b>	<b>92</b>	<b>50</b>	<b>48</b>	<b>2</b>	<b>44</b>	<b>52,17%</b>

Yapılan morfolojik değişiklikler sonucunda sistemin bazı eksik saptamaları Şekil 4.30’da gösterilmiştir.



(a) 00:05:54 (#: 17, Sayılmadı)





(b) 00:08:44 (#: 23, Sayılmadı)

Şekil 4.30. Yayma, ortanca filtresi ve aşındırma iterasyonu (5x5) (Test 2.17).

#### **4.2.6.2. YCbCr renk uzayının kullanıldığı sistemde morfolojik işlem değişiklikleri**

YCbCr renk uzayı kullanılan sistemde morfolojik işlem değişiklikleri sonucunda sistem doğruluk oranındaki değişimler görmek için yapılan testlerde Y, Cb ve Cr değerleri için aşağıdaki değerler kullanılmıştır.

$$60 \leq Y \leq 255 \quad (\text{E.4.13})$$

$$90 \leq Cb \leq 130$$

$$139 \leq Cr \leq 170$$

$$Y; Cb; Cr = [0; 255]$$

YCbCr renk uzayının kullanıldığı testler ve yapılan morfolojik işlem özellikleri Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Çizelge 4.22. YCbCr renk uzayının kullanıldığı çeşitli morfolojik işlem özellikleri.

Test Adı	Yayma	Aşındırma	Ortanca Filtre
Test 2.12	2 iterasyon (3x3)	-	-
Test 2.14	2 iterasyon (3x3)	-	2 iterasyon (3x3)
Test 2.16	2 iterasyon (3x3)	2 iterasyon (3x3)	2 iterasyon (3x3)
Test 2.18	1 iterasyon (5x5)	1 iterasyon (5x5)	1 iterasyon (5x5)

##### **a) Yayma 2 iterasyon sonucu (3x3)**

YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminde yayma işleminin 3x3 yapıtaş elemanlı 2 iterasyonu ile yapılan testten elde edilen sonuçlar Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.23. YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.12).

Senaryo	RENK UZAYI					
	YCbCr					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (09:29)</b>	<b>52</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>76,92%</b>

Yapılan morfolojik değişiklikler sonucunda sistemin bazı eksik saptamaları Şekil 4.31’de gösterilmiştir.



(a) 00:03:40 (#: 19, Sayılmadı)



(b) 00:05:32 (#: 28, Sayılmadı)

Şekil 4.31. Yayma işlemi 2 iterasyon (3x3) (Test 2.12).

### b) Yayma ve ortanca filtresi 2 iterasyon sonucu (3x3)

YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminde yayma ve ortanca filtre işleminin 3x3 yapıtaş elemanlı 2 iterasyonu ile yapılan testten elde edilen sonuçlar Çizelge 4.24’te verilmiştir.

Çizelge 4.24. YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.14).

Senaryo	RENK UZAYI					
	YCbCr					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (09:20)</b>	<b>53</b>	<b>51</b>	<b>43</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>81,13%</b>

Yapılan morfolojik değişiklikler sonucunda sistemin bazı eksik saptamaları Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



(a) 00:03:48 (#: 18, Sayılmadı)



(b) 00:05:28 (#: 28, Sayılmadı)

Şekil 4.32. Yayma ve ortanca filtresi 2 iterasyon (3x3) (Test 2.14).

### c) Yayma, ortanca filtresi ve aşındırma 2 iterasyon sonucu (3x3)

YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminde yayma, aşındırma ve ortanca filtre işleminin 3x3 yapıtaşı elemanlı 2 iterasyonu ile yapılan testten elde edilen sonuçlar Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.25. YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.16).

Senaryo	RENK UZAYI					
	YCbCr					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (11:33)</b>	<b>75</b>	<b>50</b>	<b>47</b>	<b>3</b>	<b>28</b>	<b>62,66%</b>

Yapılan morfolojik değişiklikler sonucunda sistemin bazı eksik saptamaları Şekil 4.33'te gösterilmiştir.



(a) 00:00:08 (#: 0, Sayılmadı)



(b) 00:05:17 (#:23, Sayılmadı)

Şekil 4.33. Yayma, aşındırma ve ortanca filtresi 2 iterasyon (3x3) (Test 2.16).

#### d) Yayma, ortanca filtresi ve aşındırma iterasyon sonucu (5x5)

YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminde yayma ve ortanca filtre işleminin 5x5 yapıtaş elemanlı 2 iterasyonu ile yapılan testten elde edilen sonuçlar Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.26. YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sistemi (Test 2.18).

Senaryo	RENK UZAYI					
	YCbCr					
	Gerçek Sayı	Sayılan	Doğru Sayılan	Yanlış Sayılan	Sayılmayan	Doğruluk
<b>Koridor-Bülten Panosu (09:54)</b>	77	50	48	2	29	62,33%

Yapılan morfolojik değişiklikler sonucunda sistemin bazı eksik saptamaları Şekil 4.34'te gösterilmiştir.



(a) 00:01:19 (#: 9, Sayılmadı)



(b) 00:06:30 (#: 31, Sayılmadı)

Şekil 4.34. Yayıma, ortanca filtresi ve aşındırma iterasyonu (5x5) (Test 2.18).

#### **4.2.6.3. Uygulama 5 değerlendirilmesi**

HSV renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.12'de verilen parametrelere göre yapılan testlerin sonuçları Çizelge 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Uygulama 5 değerlendirmesi (HSV renk uzayı).

Test Adı	Yayma	Aşındırma	Ortanca Filtre	Doğruluk
Test 2.11	2 iterasyon (3x3)	-	-	51,08%
Test 2.13	2 iterasyon (3x3)	-	2 iterasyon (3x3)	51,72%
Test 2.15	2 iterasyon (3x3)	2 iterasyon (3x3)	2 iterasyon (3x3)	51,64%
Test 2.17	1 iterasyon (5x5)	1 iterasyon (5x5)	1 iterasyon (5x5)	52,17%

YCbCr renk uzayının kullanıldığı insan sayma sisteminin E.4.13'te verilen parametrelere göre yapılan testlerin sonuçları Çizelge 4.28'de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Uygulama 5 değerlendirmesi (YCbCr renk uzayı).

Test Adı	Yayma	Aşındırma	Ortanca Filtre	Doğruluk
Test 2.12	2 iterasyon (3x3)	-	-	76,92%
Test 2.14	2 iterasyon (3x3)	-	2 iterasyon (3x3)	81,13%
Test 2.16	2 iterasyon (3x3)	2 iterasyon (3x3)	2 iterasyon (3x3)	62,66%
Test 2.18	1 iterasyon (5x5)	1 iterasyon (5x5)	1 iterasyon (5x5)	62,33%

Yapılan bu testler verilen H,S,V,Y,Cb ve Cr değerlerine bağlı olarak başarısız sonuç vermiştir. Yanlış sayma işlemi az olmasına rağmen sayılmayan kişilerin sayısı oldukça fazladır. YCbCr renk uzayının morfolojik değişiklik testlerinden Test 2.14 (%81,13) kabul edilebilir bir sonuç vermesine rağmen Uygulama 4'te yer alan Test 2.10'a (%88,37) göre daha az doğruluk oranına sahiptir. Önceki uygulamalarda (Test 2.9 ve Test 2.10'da da olduğu gibi) yapılan morfolojik işlemler; yayma, aşındırma ve ortanca filtre işlemlerinin 3x3 yapıtaşlı ve 1 iterasyonlu uygulamaları sistemde daha iyi başarımlar sağlamıştır.

#### 4.2.7. Sistem 2 uygulamalarının değerlendirilmesi

Sistem 1: Yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemine ten rengi tespit sistemi eklenerek Sistem 2 geliştirilmiştir. İnsan sayma sistemlerinin eğitim alanında da kullanılabilir olabileceğini göstermek amacıyla bülten panosu senaryosu temel alınmıştır. Sistem 1'deki testlerin sonuçları (Çizelge 4.1) dikkate alınmış ve çözünürlük

olarak önceki çalışmadaki 3 senaryoda genel olarak daha iyi sonuç veren 352x288 piksel seçilmiştir.

Önerilen sistemde optimum ten renk aralıklarını bulmak için 4 uygulama yapılmıştır. Yapılan 4 uygulamada verilen ten renk aralık değerleri ve yapılan testler sonucu tespit edilen doğruluk oranları Çizelge 4.29 ve Çizelge 4.30'da; HSV renk uzayının kullanıldığı testlerin sonuçları Çizelge 4.29'da, YCbCr renk uzayının kullanıldığı testlerin sonuçları ise Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.29. Sistem 2 uygulamalarının değerlendirilmesi (HSV renk uzayı).

Test Adı	H	S	V	Doğruluk
Test 2.1	$0 \leq H \leq 50$	$90 \leq S \leq 255$	$80 \leq V \leq 255$	100%
Test 2.3	$0 \leq H \leq 50$	$60 \leq S \leq 175$	$75 \leq V \leq 255$	100%
Test 2.5	$0 \leq H \leq 50$	$60 \leq S \leq 175$	$80 \leq V \leq 255$	87,5%
Test 2.6	$0 \leq H \leq 50$	$60 \leq S \leq 175$	$80 \leq V \leq 255$	45,91%
Test 2.9	$0 \leq H \leq 50$	$60 \leq S \leq 190$	$70 \leq V \leq 255$	91,83%

Çizelge 4.30. Sistem 2 uygulamalarının değerlendirilmesi (YCbCr renk uzayı).

Test Adı	Y	Cb	Cr	Doğruluk
Test 2.2	$67 \leq Y \leq 255$	$103 \leq Cb \leq 190$	$139 \leq Cr \leq 206$	80%
Test 2.4	$60 \leq Y \leq 255$	$100 \leq Cb \leq 175$	$137 \leq Cr \leq 170$	86,66%
Test 2.7	$60 \leq Y \leq 255$	$105 \leq Cb \leq 125$	$139 \leq Cr \leq 170$	33,3%
Test 2.8	$60 \leq Y \leq 255$	$105 \leq Cb \leq 125$	$139 \leq Cr \leq 170$	40%
Test 2.10	$60 \leq Y \leq 255$	$90 \leq Cb \leq 130$	$139 \leq Cr \leq 170$	88,37%

Yapılan uygulamalardaki testlerden kapsamlı olarak yapılan Test 2.9'da (HSV renk uzayı) ve Test 2.10'da (YCbCr renk uzayı) verilen ten renk aralıkları Sistem 2'de en iyi başarımı sağlamıştır.

Ayrıca, HSV ve YCbCr renk uzaylarının kullanıldığı sistemlerde en iyi başarımın sağlanması için çeşitli morfolojik işlem değişikliklerinin (iterasyon sayısı ve yapı elemanı büyüklüğü değiştirildiği) yapıldığı uygulama (Uygulama 5) sonucunda, önceki uygulamalarda (Test 2.9 ve Test 2.10'da da olduğu gibi) yapılan morfolojik işlemlerinin (yayma, aşındırma ve ortanca filtre işlemlerinin) 3x3 yapıtaşlı ve 1 iterasyonlu uygulamalarının sistemde daha iyi başarım sağladığı tespit edilmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemi (Sistem 1) ve ten rengini bularak yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemi (Sistem 2) olmak üzere 2 sistem geliştirilmiştir. Sistem 1'e ten rengi tespit sistemi eklenerek ten rengini bularak yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemi (Sistem 2) oluşturulmuştur.

Yüz bulmaya dayalı insan sayma sistemi, koridorda yer alan bülten panosuna, kütüphane ve bilgisayar laboratuvarı girişlerine yerleştirilen dijital kamerayla yaklaşık 5'er dakikalık kaydedilen görüntüler ile test edilmiştir. İnsan sayma sistemlerinin eğitim alanında da kullanılabilir olabileceğini göstermek amacıyla bülten panosunu senaryosu temel alınmıştır. Video çözünürlüğü olarak önceki çalışmadaki (Sistem 1) 3 senaryoda genel olarak daha iyi sonuç veren 352x288 piksel çözünürlük seçilmiştir.

Bu tez çalışmasında eğitim ortamlarında yer alan bülten panosunu izleyen potansiyel öğrenenlerin sayısını hesaplayan ten rengi tespit ve yüz bulma teknolojisine dayalı bir insan sayma sistem modeli geliştirilmiştir.

Tezde ten rengi tespitinde sıklıkla kullanılan HSV ve YCbCr olmak üzere 2 renk uzayı kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda, Uygulama 4'te yer alan Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16 incelendiğinde, HSV renk uzayı ile ten rengi tespitinde (%91,83), YCbCr renk uzayına (%88,37) oranla daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Önerilen insan sayma sisteminde HSV renk uzayı kullanıldığında, E.4.10 ve E.4.11 parametrelerine bağlı olarak, YCbCr renk uzayıyla kıyaslandığında daha az yanlış sayma işlemi gerçekleştirildiği görülmektedir.

Önerilen sistemde yüz bulma sisteminin Viola-Jones metoduna bağlı olarak ön yüzlerde iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Aydınlatma değişiminin (ışıklandırma-light exposure) ve verilen ten renk aralık değerlerinin (yüz bölgesinde ten rengi olmayan piksellerin oluşturduğu siyah bölgeler) ten bulma sistemini etkilediği tespit edilmiştir. Önerilen sistemin insan sayma işleminde ise kişilerin ani hareketleri sonucu, yüz tespitleri sonucu oluşturulan hareket geçmişlerinin yok olup tekrardan tespit edilen yüz için yeniden sayma işlemi gerçekleştirilmesi sistemin doğruluğunu olumsuz yönde etkilemiştir. Sistem, kişilerin yüzlerinin tespit edildikten sonra kişilerin yavaş hareketlerinde iyi sonuç vermektedir. Fakat kişilerin hızlı hareketlerine (kafa hareketleri değişimi ve sonucunda ön yüz tespitinin tekrar yapılması) duyarlıdır. Böyle hızlı hareket durumlarında eksik ve yanlış sayma işlemleri sonucu sistemin doğruluk oranı



olumsuz yönde etkilenir. Önerilen sistemin insan sayma işleminde kullanılan yöntemin iyileştirilmesi gerekir. Ayrıca, insan sayma sisteminin oklüzyon (bülten panosuna 2 kişi bakarken öndeki kişi arkadaki kişiyi engellemiş) problemi olduğu tespit edilmiştir.

Önerilen sistem, eğitim ortamlarında yer alan bülten panoları izleyenlerin sayısını saymaktadır. Bülten panosunu izleyenlerin sayısını hesaplayarak, bülten panosunun etkililiği birçok açıdan değerlendirilebilir. Eğer bülten panosunu izleyenlerin sayısı az ise, muhtemel öğrenenler için görsel açıdan ilgi çekiciliği olmamasından kaynaklanmış olabilir. Thomas'ın (2007) belirttiği gibi, eğitimciler bülten panoları için en uygun yeri seçmelidirler. Böyle bir durumda, bülten panosunun yeri değiştirilebilir.

Yapılan uygulamalarda bülten panosu duyuruları göstermektedir. Belirli bir konu hakkında bilgilerin sunulması, öğrencilerin çalışmalarının gösterimi ve benzeri diğer eğitsel amaçlar için de düzenlenebilir.

Önerilen sistem kampüslerde kütüphane ve bilgisayar laboratuvarı dışında öğrenci servislerine veya duraklarına yerleştirilerek etkili ulaşım sistemi de sağlanabilir. Konferans salonu, yemekhane, spor merkezi, konser alanı gibi yerlere yerleştirilerek, gözetim ve acil durumlarda tahliye işlemlerinde de kullanılabilir.

İleride yapılacak çalışmalarda tezde geliştirilen sistem modeli yazılımsal olarak geliştirilebilir özelliklere sahiptir:

- Ten rengi tespitinde kullanılan HSV ve YCbCr renk uzayları yerine farklı renk uzayları kullanılarak önerilen insan sayma sistem modeli geliştirilebilir.
- Asyalı, Afrikalı ve Kafkasyalı gibi farklı ırklardaki insanların ten renk aralıkları beyaz, sarı, koyu aralığında birbirinden farklıdır. Böyle bir grubun yer aldığı test grubu ile test edilebilir.
- Önerilen insan sayma sistem modelin insan sayma işleminde hareket geçmişi yerine farklı yöntemler kenar yoğunluğu (edge density), yer değiştiren piksellerin sayısı (the number of moving pixels) veya yüzün yanısıra gövde veya diğer vücut parçaların kullanımı (çoklu ipuçları-multiple clues) gibi özellik tabanlı yaklaşımlar da kullanılarak sistem doğruluğu test edilebilir.
- E.4.11 ve E.4.12 parametrelerine bağlı olarak veya bağlı olmaksızın (ten aralıklarında değişiklikler yapılması) farklı morfolojik işlemler (açma-opening, iterasyon sayılarının değiştirilmesi vb.) yapılarak sistem test edilebilir.

Yapılan testler sonucunda, insan sayma sistemlerinin video gözetim, reklam panosu izleyenlerin sayısının hesaplanması gibi çalışmaların dışında eğitim alanında da uygulanabilir.

## KAYNAKLAR

- Albayrak, N.B., Oktay, A.B. ve Akgül, Y.S., “Bel Omurları Arası Disklerin Yerlerinin Belirlenmesi”, *SIU 2012*, Muğla, (2012).
- Aldasouqi, I. ve Hassan, M., “Human Face Detection System Using HSV”, Proceeding *CSECS '10 Proceedings of the 9th WSEAS international conference on Circuits, systems, electronics, control & signal processing*, 13-16 (2010).
- Ali, A. S. B. M., “Real Time Face Detection System”, Lisans Bitirme Tezi, *University of Malaysia Faculty of Electrical & Electronics Engineering*, Pahang, 2009.
- Anonim, *Chapter 2 Face detection and Head Gesture Recognition*, (t.y.).  
<http://www.prr.hec.gov.pk/Chapters/764S-2.pdf>, (Erişim Tarihi: 16 Mart 2012).
- Ar, İ., “Videolarda İnsan Eylemlerinin Tanınması”, Seminer raporu, *Gebze Y.T.E.*, İzmit, 2009.
- Arar, N.M., Bekmezci, N.K., Güney, F. Ve Ekenel, H.K., “Video Dizilerinde Gerçek-Zamanlı Yüz Değiştirme: Sihirli Ayna”, *2011 IEEE 19th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU 2011)*, Ankara, (2011).
- Atasoy, H. “Görüntüden Duygu Tanıma”, Lisans Bitirme Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Hatay, 2012.
- Berbar, M. A., Kelash, H. M. ve Kandeel, A. A., “Faces and Facial Features Detection in Color Images”, *Geometric Modeling and Imaging-New Trends*, 209-214 (1993).
- Brown, D., Craw, I. ve Lewthwaite, J., “A SOM based approach to skin detection with application in real time systems”, *BMVC01*, (2001).
- Bükün, B. ve Ekinci, A. “Türk İşaret Dili Tanıma”, Lisans Bitirme Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, İstanbul, 2006.
- Chai, D. ve Ngan, K. N., “Face Segmentation Using Skin-Color Map in Videophone Applications”, *IEEE Transaction on Circuit and Systems for Video Technology*, 9: 551-564 (1999).
- Chen, T.H. ve Hsu, C.W., “An automatic bi-directional passing-people counting method based on color-image processing”, *37th IEEE International Carnahan Conference on Security Technology*, 200-207 (2003).
- Chen, Y.J. ve Lin, Y. C., "Simple Face-Detection Algorithm Based on Minimum Facial Features", *Proceedings of the Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, Taipei, 455-460 (2007).
- Chen, D.Y. ve Lin, K.Y., “A Novel Viewer Counter for Digital Billboards”, *Proceedings of the 2009 Fifth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP '09)*, 653-656 (2009).

## KAYNAKLAR(Devam Ediyor)

- Chitra, S. ve Balakrishnan, G., “Comparative Study for Two Color Spaces HSCbCr and YCbCr in Skin Color Detection” *Applied Mathematical Sciences*, 6 (85): 4229 - 4238 (2012).
- Cho, J., Benson, B., Mirzaei, S. ve Kastner, R., “Parallelized architecture of multiple classifiers for face detection.” *20th IEEE International Conference on Application-Specific Systems, Architectures and Processors, ASAP 2009*, 75-82 (2009).
- Çelebi, A. T., Demir, B., Güllü, M. K. ve Ertürk, S. “Facial Feature Matched One-bit Transform for Face Recognition” *16th IEEE Signal Processing, Communication and Applications Conference, SIU 2008*, 1-4 (2008).
- Erişti, E., “Görüntü işlemede Yeni bir Soluk OpenCV”, *Akademik Bilişim 2010*, Muğla, 265-271 (2010).
- Garcia, C. ve Tziritas, G., “Face detection using quantized skin color regions merging and wavelet packet analysis”, *IEEE Trans. Multimedia*, 1 (3): 264–277 (1999).
- Gidofalvi, G., “Robust Real-time Object Detection”, *ICCV 2001 Workshop on Statistical and Computation Theories of Vision*, University of California, San Diego, (2001).
- Gómez, G. ve Morales, E., “Automatic feature construction and a simple rule induction algorithm for skin detection”, *Proceedings of the ICML-2002 Workshop on Machine Learning in Computer Vision*, A. Sowmya, T. Zrimec (eds.),31-38. (2002).
- Gökmen, M., Kurt, B., Kahraman F. ve Çapar A., “Proje No: 104E121 Çok Amaçlı Gürbüz Yüz Tanıma”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektrik Fakültesi*, İstanbul, 2007.
- Gürel, C., “Development of a face recognition system”, Yüksek Lisans Tezi, *Atılım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2011.
- Güvensan, M. A. ve Haberdar, H.,“Türk İşaret Dili Tanıma için Yüz ve Yüz Özniteliklerinin Tanınması ve Takibi”, *15. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU2007)*, (2007).
- Harasse, S., Bonnaud, L. ve Desvignes, M., “Finding people in video streams by statistical modeling”, *ICAPR (2)* , 608-617, (2005).
- Harvey, A., *OpenCV Face Detection: Visualized*, (t.y.). <http://cvdazzle.com/>.
- Harvey, J.P., “GPU Acceleration of Object Classification Algorithms Using NVIDIA CUDA”, *Rochester Institute of Technology Rochester, NY*, (2009).
- Hashem, H. F., “Adaptive technique for human face detection using HSV color space and neural networks”, *NRSC Radio Science Conference*, 1-7 (2009).

## KAYNAKLAR(Devam Ediyor)

- Hewitt R., Seeing With OpenCV, Part 2: Finding Faces in Images, Servo Magazine, [http://www.cognotics.com/opencv/servo\\_2007\\_series/part\\_2/page\\_2.html](http://www.cognotics.com/opencv/servo_2007_series/part_2/page_2.html), (2007).
- Hu,W. C., Yang, C. Y., Huang, D. Y. ve Huang, C. H., “Feature-based face detection against skincolor like backgrounds with varying illumination”, *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2(2): 123-132, (2011).
- Huang, D.Y., Lin, C.J. ve Hu,W.C., ”Learning-based Face Detection by Adaptive switching of Skin Color Models and AdaBoost under Varying Illumination”, *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2(3):204-216 (2011).
- Hyman, J.A., “Computer Vision Based People Tracking for Motivating Behavior in Public Spaces”, Yüksek Lisans Tezi, *Massachusetts Institute of Technology Electrical Engineering and Computer Science*, 2003.
- Jain, V. ve Miller, E. L., “Online domain-adaptation of a pre-trained cascade of classifiers”, *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR)*, Colarado, 2011.
- Kahraman F., Kurt B. ve Gökmen M., “Active appearance model based face recognition”, *Signal Processing and Communications Applications Conference*, 483–486 (2005).
- Kakumanu, P., Makrogiannis, S. ve Bourbakis, N., “A survey of skin-color modeling and detection methods”, *Journal of Pattern Recognition*, 40(3): 1106-1122 (2007).
- Kamel, M.I., Fkry, M., Mashat, A., Biqami, N.M., Barhamtoshy, H. ve Beedewy, I., “Monitoring, Surveillance and control of the crowds in the holy sites using SCADA System”, *The Seventeenth National Computers Conference*, Kingdom of Saudi Arabia, (2004).
- Khemlani, A. A., "Counting of mostly static people in indoor conditions", Yüksek Lisans Tezi, *University of South Florida College of Engineering*, 2004.
- Kilambi, P., Ribnick, E., Joshi, A. J., Masoud, O. ve Papanikolopoulos, N., “Estimating pedestrian counts in groups”, *Computer Vision and Image Understanding*, 110(1): 43 – 59 (2008).
- Kim, I., Shim, H.J. ve Yang, J., “Face Detection”, Face Detection Project, EE368, *Stanford University*, (2003).
- Kim, M. H., Park, J.B. ve Joo. Y. H., “New Fuzzy Skin Model for Face Detection”, *Proceedings of the 18th Australian Joint conference on Advances in Artificial Intelligence*, 557-566 (2005).

## KAYNAKLAR(Devam Ediyor)

- Kondela,E. ve Jun, H. D., “A Power Law Transformation Predicting Lightness Conditions Based on Skin Color Space Detection”, *10th IEEE International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications*, 1472-1476 (2011).
- Korkmaz, N., “Omurga Şekil Bozukluğu Analiz Ve Teşhisine Yönelik Yazılım Geliştirme”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2008.
- Kovac, J., Peer, P. ve Solina, F., “2D Versus 3D Colour Space Face Detection”, *EURASIP Conference on Video/Image Processing and Multimedia Communications EC-VIP-MC'03*, Zagreb, Croatia, 449-454 (2003).
- Kozłowski, A. ve Królak,A., “Teaching image processing and pattern recognition with the Intel OpenCV library”, *Proceedings of SPIE*, Volume 7502 (750205) (2009).
- Kukharev, G. ve Nowosielski, A. “Visitor Identification - Elaborating Real Time Face Recognition System”, *12th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, WSCG (Short Papers)*, 157-164 (2004).
- Kurukulasooriya, A. ve Dharmarathne, A. T., “Image Searching with Eigenfaces and Facial Characteristics”, *Signal Processing, Image Processing And Pattern Recognition, Communications in Computer and Information Science*, Volume 260, 215-224 (2011).
- Lienhart, R. ve Maydt, J., “An Extended Set of Haar-like Features for Rapid Object Detection”, *Proceedings of the ICIP2002*, (2002).
- Lienhart, R., Liang, L. ve Kuranov, A., “A Detector Tree of Boosted Classifiers for Real-time Object Detection and Tracking”, *ICME*, (2003).
- Liu, Q. ve Peng, G. “A Robust Skin Color Based Face Detection Algorithm”, *2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (CAR)*, 2: 525-528 (2010).
- Liu, X., Tu, P. H., Rittscher, J., Perera, A. ve Krahnstoever, N., “Detecting and Counting People in Surveillance Applications”, *IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, 306-311 (2005).
- Mankar, V.V. ve Bhojar C.N., “Efficient Real Time Face Detection Technique Using Haar Classifier”, *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 1:5, (2012).
- Marcenaro, L., Marchesotti, L. ve Regazzoni, C.S., “Tracking and counting multiple interacting people in indoor scenes”, *Proceedings of 3rd IEEE International Workshop on PETS*, 56-61 (2002).

## KAYNAKLAR(Devam Ediyor)

- Martinkauppi, J. B., Soriano, M. N. ve Laaksonen, M. H., “Behavior of skin color under varying illumination seen by different cameras at different color spaces,” *Proceedings of SPIE, Machine Vision Applications in Industrial Inspection IX*, San Jose, CA, 102–113 (2001).
- McKenna, S., Gong, S. ve Raja, Y., “Modeling facial colour and identity with Gaussian mixtures”, *Pattern Recognition*, 31 (12) : 1883–1892 (1998).
- Mirzaei, M.A., “MCV-VIBOT Acceleration of Face Detection Algorithm on an FPGA”, Yüksek Lisans Tezi, *University of Bourgogne*, France, (2011).
- Mostafa, L. ve Abdelazeem, S., “Face Detection Based on Skin Color Using Neural Networks”, *ICGST International Conference on Graphics, Vision and Image Processing Conference (GVIP 05)*, Cairo, Egypt, (2005).
- Öztekin, K., Bulut, M.M. ve Atalay, V., “Renkli Karmaşık İmgelerde İnsan Yüzü Bulma”, *9.IEEE Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı (SIU 2001)*, 501-506 (2001).
- Park, H., “A Method for Controlling Mouse Movement using a Real-Time Camera”, Yüksek Lisans Tezi, *Brown University*, Providence, RI, USA, (2008).
- Pazera Free MOV to AVI Converter, <http://www.pazera-software.com/products/mov-to-avi-converter/>, (Erişim Tarihi: 10 Mart 2012).
- Peker, M. ve Zengin, A. “Gerçek Zamanlı Harekete Duyarlı Bir Görüntü Tanıma Sistemi” *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11)*, Elazığ, (2011).
- Prabakaran, V., Arthanarisee, A.M. ve Sivakumar, M., “Crowd Safety: A Real Time System For Counting People”, *International Journal of Innovative Technology & Creative Engineering*, 1(1): 6-11(2011).
- Rezaei, M., “Subject 45: Face and Eye Detection”, <http://www.cs.auckland.ac.nz/~rklette/TeachAuckland.html/mm/MI45slides.pdf> (Erişim Tarihi: 17 Şubat 2012).
- Sajó, L., “Detection of Faces”, [http://ipgd.inf.unideb.hu/FILE\\_DOWNLOADS/eloadas.ppt](http://ipgd.inf.unideb.hu/FILE_DOWNLOADS/eloadas.ppt), (Erişim Tarihi: 20 Şubat 2012).
- Saxe, D. ve Foulds, R., “Toward robust skin identification in video images”, *AFGR96*, (1996).
- Sert, E., Taşkın, D., Topçubaşı, N. ve Özcan, M. O., “Görüntü İşleme Teknikleri İle Elma Tanıma”, *Akademik Bilişim 2011*, Malatya, (2011).
- Singh, S. Kr., Chauhan, D.S., Vatsa, M. ve Singh, R., “A Robust Skin Color Based Face Detection Algorithm”, *Tamkang Journal of Science and Engineering*, 6(4): 227-234 (2003).

## KAYNAKLAR(Devam Ediyor)

- Snidaro, L., Micheloni, C. ve Chiavedale, C., “Video security for ambient intelligence”, *IEEE Trans. System, Man, and Cybernetics Part A*, 35:133-144 (2005).
- Sobottka, K. and Pitas, I. ,“A Novel Method for Automatic Face Segmentation, Facial Feature Extraction and Tracking”, *Signal Processing: Image Comm.*, 12(3): 263-281 (1998).
- Suciu, V., “Facial Recognition using OpenCV”. *Journal of Mobile, Embedded and Distributed Systems*, (2012).
- Sütçüler, E., “Gerçek Zamanlı Video Görüntülerinden Yüz Bulma ve Tanıma Sistemi”, Yüksek Lisans tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2006.
- Taşkın, D., “Sıkıştırılmış Video Akımının Düzensiz Haritalar ve Başlangıç Kodlarına Dayalı Şifrelenmesi”, Doktora tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 2007.
- Thomas, C. M., “Bulletin boards - A teaching strategy for older audiences”, *Journal of Gerontological Nursing*, 33(3): 45-52 (2007).
- Thu, Q.H., Meguro, M. ve Kaneko, M., “Skin-color extraction in images with complex background and varying illumination”, *Sixth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, (2002).
- Tsekeridou, S. ve Pitas, I., “Facial feature extraction in frontal views using biometric analogies”, *Proceedings of European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, 1, 315–318 (1998).
- Tu, K., Face Counting 1,  
<http://www.vrac.iastate.edu/575x/doku.php?id=tukw:homework:hw4>, (Erişim Tarihi: 17 Şubat 2012).
- Varlık, A. ve Çorumluoğlu, Ö., “Dijital Fotogrametri Teknikleri İle Kişi Tanıma” *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(2): 1-24 (2011).
- Velipasalar, S., Tian, Y.L. ve Hampapur, A., “Automatic Counting of Interacting People by Using a Single Uncalibrated Camera”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, 1265-1268 (2006).
- Verma, E. M., Pooja, E.R. ve Harish, K., “A Hybrid Approach to Human Face Detection”, *2010 International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, 1(13): 2010.
- Vezhnevets, V., Sazonov, V. ve Andreeva, A., “A survey on pixel-based skin color detection techniques”, *Proceedings of the Graphicon.*, Russia, 85-92. (2003).
- Viola, P. ve Jones, M. J., “Robust real-time object detection”, *ICCV Workshop on Statistical and Computation Theories of Vision*, (2001).



### KAYNAKLAR(Devam Ediyor)

- Viola, P. ve Jones, M.J., “Robust Real-Time Face Detection”, *International Journal of Computer Vision*, 57(2): 137-154 (2004).
- Wang, J. M., Lee, L. K., Chung, Y. C. and Chen, S. W., “People counting based on top-view video sequence”, *Proceedings of the 18th IPPR Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 200-207 (2005).
- Wang, Y. ve Yuan, B., “A novel approach for human face detection from color images under complex background”, *Pattern Recognition*, 34(10): 1983–1992 (2001).
- Yang, M.H. , Kriegman, D. J. ve Ahuja, N., “Detecting Faces in Images: A Survey”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 24(1): 34-58 (2002).
- Yang, M.H., “Recent Advances in Face Detection”, *IEEE ICPR 2004 Tutorial*, Cambridge, United Kingdom, (2004).
- Yazıcı, İ.M., “Gerçek Zamanlı Kiosk Yüz Tanıma Sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, 2008.
- Zarit, B.D., Super, J.B. ve Quek, F.K.H., “Comparison of five color models in skin pixel classification”, *ICCV99*, (1999).
- Zhang, C. ve Zhang, Z., “A survey of recent advances in face detection”, Technical report, *Microsoft Research*, 577 (2010).
- Zhang, E. ve Chen, F., “A Fast and Robust People Counting Method in Video Surveillance”, *Proceedings of the 2007 International Conference on Computational Intelligence and Security CIS '07*, 339-343 (2007).
- Zhao, G., Wang, S., Wang, T., ve Chen J., “HSV Color Space and Face Detection Based Objectionable Image Detecting”, *FGCNS'08 Second International Conference on Future Generation Communication and Networking Symposia*, 3:107-110 (2008).
- Zhao, X., Delleandrea, E. ve Chen,L., “A People Counting System Based on Face Detection and Tracking in a Video”, *6th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance*, 67-72 (2009).
- Zhu,Q., Cheng, K.T., Wu, C.T. ve Wu, Y.L., “Adaptive learning of an accurate skin-color model”, *AFGR04*, (2004).

## ÖZGEÇMİŞ

### **Kişisel Bilgiler**



ADI SOYADI : Hüseyin Hakan Çetinkaya

DOĞUM YERİ VE TARİHİ : Balıkesir/ 21.11.1987

### **Eğitim Durumu**

Lisans Öğrenimi : Anadolu Üniversitesi  
Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Öğretmenliği  
İngilizce Öğretmenliği (2. Anadal)

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce (İleri), Lehçe (Başlangıç), İspanyolca  
(Başlangıç), Rusça (Başlangıç), Almanca (Başlangıç)

### **İş Deneyimi**

Stajlar : Dr. Halil Akkurt İ.Ö.O. / ESKİŞEHİR  
Mehmet Akif Ersoy İ.Ö.O. / ESKİŞEHİR  
Pilot Binbaşı Ali Tekin İ.Ö.O. / ESKİŞEHİR  
Sami Sipahi İ.Ö.O. / ESKİŞEHİR

Çalıştığı Kurumlar :Başkent Üniversitesi Eğitim Fakültesi

### **İletişim**

Adres: Başkent Üniversitesi Bağlıca Kampüsü Eğitim Fakültesi

Tel: 0312 246 66 66 – 1058

E-Posta Adresi: hcetinkaya@baskent.edu.tr

## **Tez Kapsamında Yapılan Yayınlar**

### **Ulusal bildiriler**

- Akçay, M., ve Çetinkaya, H.H., “Kampüslerde Uygulanan Yeni Biyometrik Sistemler”, *Akademik Bilişim’11*, Malatya, (2011).
- Çetinkaya, H.H., ve Akçay, M., “Yüz Tanıma Sistemleri ve Uygulama Alanları”, *Akademik Bilişim’12*, Uşak, (2012).

### **Uluslararası bildiriler**

- Çetinkaya, H.H., and Akçay, M., “People Counting at Campuses”, *2<sup>nd</sup> World Conference on Educational Technology Researches*, June 27-30, 2012, Near East University, Nicosia, TRNC, (2012).