

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SANAL GERÇEKLİKTE İLİNTİ OPERATÖRLERİ GELİŞTİRİLEREK YÜZ TANIMA
ANALİZİ**

GÜLSÜM ÇİĞDEM ÇAVDAROĞLU

**DOKTORA TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. BÜLENT BAYRAM**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SANAL GERÇEKLİKTE İLİNTİ OPERATÖRLERİ GELİŞTİRİLEREK YÜZ TANIMA
ANALİZİ**

Gülsüm Çiğdem ÇAVDAROĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 16.01.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Bülent BAYRAM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Bülent BAYRAM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sıtkı KÜLÜR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ayhan ALKIŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Füsun Balık ŞANLI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu alışma, TÜBİTAK BİDEB Bilim İnsanı Destekleme Programı ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

“Sanal Gerçeklikte İlinti Operatörleri Geliştirilerek Yüz Tanıma Analizi” başlıklı bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim dalında Doktora Tezi olarak hazırlanmış, BİDEB 2211 Yurt İçi Doktora Burs Programıyla TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanması sırasında tez danışmanlığımı üstlenen, çalışmamın her aşamasında değerli görüş ve önerileriyle beni destekleyen ve çalışmayı zenginleştiren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Bülent Bayram’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez izleme komitesinde görev alarak tezi bilimsel ve yöntemsel anlamda destekleyen ve bana yol gösteren değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Sıtkı Külür ve Sayın Prof. Dr. Ayhan Alkış’a teşekkürlerimi sunarım.

Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği ve Sayın Bülent Saykur’a Bosphorus Yüz Veritabanı’nı tez çalışması sırasında geliştirilen uygulamada kullanılmak üzere izin verdiği için teşekkür ederim.

Son olarak tüm akademik hayatım boyunca maddi manevi destekleriyle beni yalnız bırakmayan sevgili annem ve babama, aileme sonsuz teşekkürler.

Ocak, 2013

Gülsüm Çiğdem ÇAVDAROĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ÖZET	xvi
ABSTRACT.....	xviii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	5
1.2 Tezin Amacı	18
1.3 Hipotez	19
BÖLÜM 2	22
İLİNTİ NOKTALARININ BULUNMASI, SANAL GERÇEKLİK VE ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK	22
2.1 Otomatik Yüz İlinti Noktaları Bulma Yönteminin Uygulanabileceği Alanlar	22
2.1.1 Yüz İlinti Noktaları Üzerine Geliştirilebilecek Uygulamalar	23
2.1.2 Uygulama Konusu Seçimi	24
2.2 İlinti Noktası ve İlinti Bölgesi Kavramları	29
2.2.1 İlinti Noktaları	30
2.2.1.1 İlinti Noktası Detektörleri.....	30
2.2.1.2 Nokta Tanımlayıcılar	31
2.2.2 Çizgi Detaylar	32
2.2.2.1 Çizgi Detay Yakalama	32
2.2.2.2 Çizgi Eşleştirme	32
2.2.3 Bölge Detaylar	33
2.3 Görüntü Tanıma	34
2.3.1 İlinti Detay Çıkarımı	36
2.3.2 İlinti Detay Seçimi	36
2.3.3 İlinti Detay Bölütleme	37
2.4 Veri Seti Seçimi	38

2.4.1	İncelenen Yüz Veritabanları.....	38
2.4.2	Bosphorus Veri Tabanının Diğer Yüz Veri Tabanlarından Farkları.....	39
2.4.3	Bosphorus Veritabanı Sürümleri	40
2.4.4	Yüz İlinti Noktaları, Mimikler ve Farklı Açılardan Alınmış Görüntüler.....	40
2.4.5	Veri Seti Kısıtlandırmaları	42
2.4.6	Veri Ön İşleme	43
2.5	Sisteme Genel Bakış	43
2.6	Yüz Yakalama	44
2.6.1	Yüz Geometrisi.....	44
2.6.2	Yüz Yakalama Süreci	46
2.6.3	Bölütlendiriciler İle Yüz Yakalama	48
2.6.3.1	Haar İlinti Bölgeleri.....	49
2.6.3.2	AdaBoost Makina Öğrenme Yöntemi	52
2.6.4	Ten Rengi Analizi İle Yüz Yakalama.....	55
2.6.4.1	Ten Rengi Tanıma.....	55
2.6.4.2	Renk Uzayları.....	55
2.6.4.3	Ten Rengi Analizi İçin Renk Uzayı Seçimi	57
2.6.4.4	OpenCV Grafik Kütüphanesinde Renk Uzayları	57
2.6.4.5	Ten Rengi Analizi Yöntemi.....	58
	Temel Ten Rengi Filtreleme	58
	Detaylı Ten Rengi Filtreleme	60
2.7	Bağlı Bileşen (Blob) Analizi	65
2.7.1	Bağlı Bileşen Etiketleme (Connected Components Labeling)	65
2.7.2	Bağlı Bileşen Etiketleme Algoritması İle Nesnelerin Belirlenmesi.....	66
2.8	Histogram Analizi	70
2.8.1	Yatay Histogram Analizi.....	72
2.8.2	Dikey Histogram Analizi.....	73
2.9	İlinti Bölgeleri	77
2.9.1	İlinti Bölgesi Nedir?.....	77
2.9.2	İlinti Bölgelerinin Belirlenmesi.....	77
2.10	İlinti Noktalarının Belirlenmesi	84
2.10.1	Kaş İlinti Noktalarının Bulunması	85
2.10.2	Göz İlinti Noktalarının Bulunması.....	87
2.10.3	Dudak İlinti Noktalarının Bulunması	90
2.10.4	Burun İlinti Noktalarının Bulunması.....	93
2.11	Yeniden Örnekleme İle Alt Piksel Düzeyinde Koordinat Değerlerinin Üretilmesi.....	97
2.11.1	Dudak Bölgesi Üzerinde Yapılan Yeniden Örnekleme.....	98
2.12	İlinti Bölgelerinin Eşleştirilmesi	100
2.12.1	Görüntü Eşleme	100
2.12.2	Görüntü Eşlemede Epipolar Geometrinin Kullanımı.....	101
2.13	Eşlenik Noktaların Kullanılması İle Görüntülerin Çakıştırılması.....	102
2.14	Yüz Tanıma	105
2.14.1	Öz Yüz Yöntemi	105
2.14.1.1	Öz Yüz Yönteminin İşleyişi.....	106
2.14.1.2	Öz Yüz Yönteminin Matematikçi.....	106

2.15 Eşlenik Görüntülerden 3B Nokta Bulutunun Üretilmesi.....	108
2.15.1 3B Modelleme	108
2.16 Stereo Yöntem	110
2.17 3B Yeniden Oluşturma İşleminde Yöntem Seçimi	110
2.18 Epipolar Geometri.....	111
2.18.1 Epipolar Geometri İle İlgili Bazı Tanımlar	111
2.18.2 Epipolar Sınırlama	113
2.18.3 Epipolar Geometrinin Avantaj ve Dezavantajları.....	114
2.19 Kamera Kalibrasyonu	115
2.19.1 Kamera Kalibrasyonu Nasıl Gerçekleştirilir?	116
2.20 Eşlenik Görüntüler Arasında Özellik Noktalarının Eşleştirilmesi ve Kamera Geometrisinin Belirlenmesi	119
2.21 Işın Demetleri Dengelemesi	121
2.22 Artırılmış Gerçeklik.....	122
2.22.1 Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik.....	123
2.22.2 Artırılmış Gerçeklik İle Sağlanan Avantajlar	124
2.22.3 Artırılmış Gerçeklik Önündeki Engeller ve Kısıtlamalar	125
BÖLÜM 3	126
UYGULAMA	126
3.1 Artırılmış Gerçeklik Uygulaması 1 – İnsan Yüzü Görüntüsünün Sanal Nesneler İle Zenginleştirilmesi.....	126
3.2 Sanal Gerçeklik Uygulaması – Üç Boyutlu Nokta Bulutu Oluşturma	133
3.3 Artırılmış Gerçeklik Uygulaması 2 – Sanal Makyaj.....	135
BÖLÜM 4	141
SONUÇ VE ÖNERİLER	141
KAYNAKLAR	147
EK-A.....	161
İLİNTİ BÖLGESİ VE İLİNTİ NOKTASI BULAN YAPILARA İLİŞKİN SINIF DİYAGRAMLARI ...	161
EK-B.....	162
İLİNTİ BÖLGESİ VE İLİNTİ NOKTASI BULMA SIRASINDA KULLANILAN FİLTRELERE İLİŞKİN SINIF DİYAGRAMLARI	162
EK-C.....	163
YÜZ HARİTASI VERİ YAPISI.....	163
EK-D.....	165
JENERİK ALTYAPININ BAŞKA BİR SİSTEME UYARLANMASI	165
EK-E	168
İLİNTİ OPERATÖRLERİNİN TEST GÖRÜNTÜLERİ ÜZERİNDEKİ SONUÇLARI.....	168
EK-F	169
İLİNTİ OPERATÖRLERİ DOĞRULUK ANALİZİ	169

ÖZGEÇMİŞ	173
----------------	-----

SİMGE LİSTESİ

E	Öz Matris
F	Temel Matris, Asal Matris
P	Projeksiyon Matrisi

KISALTMA LİSTESİ

1B	Bir Boyutlu
2B	İki Boyutlu
3B	3B
BBA	Bağımsız Bileşen Analizi
BBE	Bağlı Bileşen Etiketleme
CMYK	Cyan, Macenta, Sarı, Anahtar
DBA	Doğrusal Bileşenler Analizi
EBR	Kenar Tabanlı Bölgeler
EYK	En Yakın Komşuluk
HSI	Renk, Doygunluk, Yoğunluk
HSV	Renk, Doygunluk, Değer
HUD	Baş Üstü Ekran
IBR	Intensity Extrema Region
IY	Izgaralama Yöntemi
MDUB	Maksimum Durağan Uç Bölgeler
MRA	Markov Rastgele Alanları
MSER	En Büyük Durağan Bölgeler
RGB	Kırmızı, Yeşil, Mavi
SMM	Saklı Markov Modeller
TBA	Temel Bileşen Analizi
TDA	Tekil Değer Ayrışımı
TSL	Renk Tonu, Doygunluk, Luma
YCbCr	Parlaklık, Mavi Renklilik, Kırmızı Renklilik
XML	Genişletilebilir İşaretleme Dili

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Gartner 2005 teknoloji inovasyon raporu [199] 25
Şekil 2. 2	Gartner 2006 teknoloji inovasyon raporu [199] 25
Şekil 2. 3	Gartner 2008 teknoloji inovasyon raporu [199] 26
Şekil 2. 4	Gartner 2009 teknoloji inovasyon raporu [199] 26
Şekil 2. 5	Gartner 2010 teknoloji inovasyon raporu [199] 27
Şekil 2. 6	Gartner 2011 teknoloji inovasyon raporu [199] 27
Şekil 2. 7	Gartner 2012 teknoloji inovasyon raporu [199] 28
Şekil 2. 8	Sistemin genel mimarisi 29
Şekil 2. 9	İlinti yakalama ve eşleştirme iş akışı 30
Şekil 2. 10	İlinti operatörlerinin tarihsel gelişimi 31
Şekil 2. 11	Görüntü tanıma süreci iş akışı 35
Şekil 2. 12	Bosphorus veritabanından bir örnek: Mimik değişimleri 40
Şekil 2. 13	Bosphorus veritabanından bir örnek: Baş doğrultu değişimleri 41
Şekil 2. 14	Bosphorus veritabanından bir örnek: Çakışmalar ve örtmeler 41
Şekil 2. 15	Bosphorus veritabanından bir örnek: Alım açıları 41
Şekil 2. 16	Veri ön işleme aşamaları 43
Şekil 2. 17	Algoritma ve hipotezlerin uygulamalar ile bağlantısı 44
Şekil 2. 18	Yüz ilinti bölgeleri arasındaki oranlar 45
Şekil 2. 19	Haar dalgacıkları 49
Şekil 2. 20	Haar dalgacıklarının yüz bölgesine uygulanması 49
Şekil 2. 21	Haar ilinti bölgeleri 50
Şekil 2. 22	Döndürülmüş haar bölgeleri 50
Şekil 2. 23	Haar ilinti bölgelerinde piksellerin bütünsel değerlerinin hesaplanması 51
Şekil 2. 24	Basamak zinciri (cascade) bölütleyicileri 52
Şekil 2. 25	Arama penceresi içerisinde aşamalar 53
Şekil 2. 26	İlinti bölgelerinin belirlenmesi 53
Şekil 2. 27	Bölütleyici ile birden fazla sayıda yüz bölgesinin belirlenmesi 54
Şekil 2. 28	Bölütleyici ile bir yüz bölgesinin belirlenmesi 54
Şekil 2. 29	Bölütlemeye hatalı durum 54
Şekil 2. 30	Renk uzayları 56
Şekil 2. 31	Temel ten rengi filtreleme sonuçları 59
Şekil 2. 32	Temel ten rengi filtreleme: Ara adımlar 59
Şekil 2. 33	Detaylı ten rengi filtreleme sonuçları – 1 60
Şekil 2. 34	Detaylı ten rengi filtreleme iş akışı 62

Şekil 2. 35	Detaylı ten rengi filtreleme sonuçları – 2	63
Şekil 2. 36	Veri ön işleme: Kontrast ayarlama	63
Şekil 2. 37	Ten rengi analizi sürecinde uygulanan kurallar ve elde edilen sonuçlar	64
Şekil 2. 38	Profil görüntüsü üzerinde ten rengi analizi süreci ve elde edilen sonuçlar	64
Şekil 2. 39	Piksel komşulukları: Komşu pikseller; a, b, c ve d pikselleri	66
Şekil 2. 40	Yüz bölgesi içinde ve dışında kalan tüm bileşenler.....	67
Şekil 2. 41	Bağlı bileşen belirleme işlemi sonuçları.....	67
Şekil 2. 42	Bağımsız bağlı bileşen belirleme ve filtreleme kriterleri	68
Şekil 2. 43	Bağımsız bağlı bileşen belirleme sürecinin uygulanması.....	68
Şekil 2. 44	Bağımsız bağlı bileşen belirleme ara sonuçlar	69
Şekil 2. 45	Yatay ve dikey histogram analizi.....	71
Şekil 2. 46	Yatay ve dikey histogramlar üzerinde düzeltmeler	72
Şekil 2. 47	Histogram analizi süreci.....	74
Şekil 2. 48	Histogram analizinde kullanılan pikseller	75
Şekil 2. 49	Yüz yakalama: Girdi ve sonuç veriler	76
Şekil 2. 50	Yüz yakalama: Girdi ve sonuç veriler	76
Şekil 2. 51	Yüz yakalama iş akışı	77
Şekil 2. 52	Yüz haritası.....	78
Şekil 2. 53	İlinti bölgelerinin tanımlama öncesi elenmesi.....	79
Şekil 2. 54	İlinti bölgelerinin tanımlanma sırası	80
Şekil 2. 55	Dudak bölgelerinin birleştirilmesi.....	81
Şekil 2. 56	Burun bölgelerinin birleştirilmesi	82
Şekil 2. 57	İlinti bölgelerinin tanımlanması	84
Şekil 2. 58	İlinti noktalarının belirlenmesi iş akışı	84
Şekil 2. 59	Kaş ilinti operatörünün iş adımları.....	85
Şekil 2. 60	Kaş bölgesi dikey piksel istatistikleri.....	85
Şekil 2. 61	Kaş ilinti noktası operatörü algoritması.....	86
Şekil 2. 62	Kaş bölgesi histogram istatistiklerinin analizi	87
Şekil 2. 63	Göz ilinti operatörünün iş adımları	88
Şekil 2. 64	Göz bölgesi yatay ve dikey piksel istatistikleri.....	88
Şekil 2. 65	Göz ilinti noktası operatörü algoritması	89
Şekil 2. 66	Göz bölgesi histogram istatistiklerinin analizi	90
Şekil 2. 67	Dudak ilinti operatörünün iş adımları.....	90
Şekil 2. 68	Dudak bölgesi yatay piksel istatistikleri.....	91
Şekil 2. 69	Dudak ilinti noktası operatörü algoritması	92
Şekil 2. 70	Dudak bölgesi histogram istatistiklerinin analizi	93
Şekil 2. 71	Burun ilinti operatörünün iş adımları	94
Şekil 2. 72	Burun bölgesi yatay ve dikey piksel istatistikleri	94
Şekil 2. 73	Burun ilinti noktası operatörü algoritması	95
Şekil 2. 74	Burun bölgesi histogram istatistiklerinin analizi.....	96
Şekil 2. 75	İlinti noktaları.....	97
Şekil 2. 76	Dudak bölgesinin belirlenmesi.....	98
Şekil 2. 77	Dudak bölgesinde belirlenen ilinti noktaları.....	99
Şekil 2. 78	Dudak bölgesinde bulunan ilinti noktalarının yeniden örneklenmesi.....	99
Şekil 2. 79	Dudak bölgesinde bulunan ilinti noktalarının yeniden üretilmesi.....	99
Şekil 2. 80	Stereo görüntülerde ilinti bölgelerinin eşleştirilmesi	102

Şekil 2. 81	Stereo görüntüler	103
Şekil 2. 82	Stereo görüntülerde yüz bölgelerinin taranması.....	103
Şekil 2. 83	Stereo görüntülerde 2B görüntü koordinatlarının çakıştırılması	104
Şekil 2. 84	Stereo görüntülerde çakışık ilinti noktaları ve 3B model koordinatları.....	104
Şekil 2. 85	Projeksiyon matrisi	105
Şekil 2. 86	Öz yüzler	105
Şekil 2. 87	Işın demetleri yönteminde kamera konumlandırılması	109
Şekil 2. 88	Epipolar geometri	111
Şekil 2. 89	Epipolar noktalar ve epipolar çizgiler	113
Şekil 2. 90	Standart geometri.....	114
Şekil 2. 91	Epipolar geometri hataları.....	115
Şekil 2. 92	3B yeniden oluşturma iş akışı	121
Şekil 2. 93	3B nokta bulutu	122
Şekil 2. 94	3B yüzey görünüşleri.....	122
Şekil 2. 95	Artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, karıştırılmış gerçeklik	123
Şekil 3. 1	Yüz tanıma ve artırılmış gerçeklik uygulaması	127
Şekil 3. 2	Sisteme verilen yüz görüntüleri	127
Şekil 3. 3	Sistemde kullanılmak üzere oluşturulmuş yüz veritabanı	128
Şekil 3. 4	Yüz ilinti noktaları ile dinamik işaretçilerin oluşturulması	129
Şekil 3. 5	Sistemde tanımlı işaretçinin görüntüsü	129
Şekil 3. 6	İşaretçiye atanan 2B ve 3B sanal nesneler.....	130
Şekil 3. 7	“T” işaretçisi ve T işaretçisine ilişkin sanal nesneler	130
Şekil 3. 8	Kişi isim bilgisinden oluşan sanal nesne ile artırılmış gerçeklik	131
Şekil 3. 9	2B sanal nesne (görüntü) ile artırılmış gerçeklik.....	131
Şekil 3. 10	3B sanal nesne (model) ile artırılmış gerçeklik - 1	132
Şekil 3. 11	3B sanal nesne (model) ile artırılmış gerçeklik - 2	132
Şekil 3. 12	Sanal gerçeklik uygulamasına ait akış diyagramı	133
Şekil 3. 13	Fotoğraf ve model üzerinde seçilen noktalar	133
Şekil 3. 14	Fotoğraf ve model üzerinde seçilen noktaların koordinatları	134
Şekil 3. 15	Örnek olarak oluşturulmuş bir yüz nokta bulutu.....	135
Şekil 3. 16	Örnek olarak oluşturulmuş bir yüz nokta bulutu.....	135
Şekil 3. 17	Sanal makyaj uygulaması akış diyagramı	136
Şekil 3. 18	Sanal makyaj – Yapay görünüm	137
Şekil 3. 19	Sanal makyaj – 1	138
Şekil 3. 20	Sanal makyaj – 2	138
Şekil 3. 21	Sanal makyaj – 3	139
Şekil 3. 22	Sanal makyaj – 4	139
Şekil 3. 23	Sanal makyaj – 5	140
Şekil 3. 24	Sanal makyaj – 6	140
Şekil 4. 1	Fast operatörü ile elde edilen sonuçlar	144
Şekil 4. 2	Harris operatörü ile elde edilen sonuçlar	144
Şekil 4. 3	Surf operatörü ile elde edilen sonuçlar	144
Şekil 4. 4	Tüm çalışmalar sonucunda elde edilen kod istatistikleri.....	145
Şekil EK-A. 1	İlinti bölgesi ve noktası sınıfları	161
Şekil EK-B. 1	İlinti bölgesi ve noktası filtreleri	162
Şekil EK-D. 1	Jenerik mimari.....	165

Şekil EK-D. 2	Jenerik mimarinin uygulanışı	166
Şekil EK-E. 1	Yüz ilinti noktaları	168

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	İlinti operatörlerinin karşılaştırılması 34
Çizelge 2. 2	Bağımsız bağlı bileşen analizi ara adımları 70
Çizelge 2. 3	Histogram analizi iş adımlarında hesaplamalar..... 75
Çizelge 2. 4	İlinti bölgelerinin tanımlanma süreci 83
Çizelge 4. 1	Doğruluk analizi ortalama değerleri 142
Çizelge 4. 2	Sağ ve sol gözler için hesaplanan uzunluk değerleri 142
Çizelge 4. 3	Sağ ve sol göz bazı uzunlukları (mm)..... 143
Çizelge EK-F. 1	İlinti operatörleri doğruluk analizi 169

ÖZET

SANAL GERÇEKLİKTE İLİNTİ OPERATÖRLERİ GELİŞTİRİLEREK YÜZ TANIMA ANALİZİ

Gülsüm Çiğdem ÇAVDAROĞLU

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bülent BAYRAM

İnsan yüzü görüntüleri üzerinde duygu analizi, yaş analizi gibi işlemlerin yapılabilmesi, bir ya da daha fazla sayıda görüntüden otomatik olarak 3B yüz modelinin elde edilebilmesi, insan yüzü üzerine geliştirilmiş artırılmış gerçeklik uygulamaları, yüz ilinti noktalarının otomatik olarak bulunmasını gerektirmektedir. Sunulan çalışmada, standartlaştırılmış koşullar altında, farklı açı ve mesafelerden alınmış insan yüzü görüntülerinden yüzü yakalayan, ilinti bölgelerini ve noktalarını bularak analiz eden ve tanımlayan hibrid bir algoritma ve yazılım geliştirilmiştir. Test amaçlı olarak kullanılan veriler, Inspeck Mega Capturor II 3B yapısal-ışıklı 3B sayısallaştırıcı cihaz ile 1600x1200 çözünürlüğünde sabit 1000W'lık halojen lamba altında alınan yüz görüntülerinden oluşan bir yüz veritabanından elde edilmiştir. Yüzün belirli bölümlerinin gözlük gibi başka nesneler tarafından kapatılmış olması, ten rengi analizi sırasında ön işlem gerektirecek sakal, bıyık gibi unsurlar, farklı duygu durumları, jest ve mimiklere göre alınmış görüntüler çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Sunulan çalışma; her adımda arama alanları daraltılarak yüz yakalama, yüz ilini bölgeleri belirleme ve yüz ilinti noktaları belirleme olmak üzere üç ardışık aşamadan oluşmaktadır. 24 kadın 11 erkek toplam 35 kişiye ait, ortalama 1100*1400 piksel boyutlarında, 360 farklı test görüntüsü üzerinde yapılan testler sonucunda yüz yakalamada %100, yüz ilinti noktası belirlemede ortalama 2,04086 piksel doğruluk, üç boyutlu nokta üretiminde 1,83971

mm doğruluk elde edilmiştir. Akıllı ilinti bölgeleri ve ilinti noktalarının kullanımıyla eşlenik görüntülerin kolayca eşleştirilmesi sağlanmıştır.

Stereo görüntülerin eşleştirilmesinin ardından ışın demetleri ile dengeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Dengelenmiş yeni noktalar üzerinde epipolar geometri kuralları uygulanarak, 3B yeniden oluşturma algoritmaları çalıştırılarak 3B yüz nokta bulutu elde edilmiştir.

Elde edilen veriler kullanılarak yüz görüntüleri ile bir artırılmış gerçeklik uygulaması geliştirilmiş ve yüz veritabanında yer alan yüz görüntülerinin uygulama tarafından tanınması, ilinti bölgesi ve noktalarının oluşturulması, otomatik işaretçiler oluşturularak görüntüler üzerinde iki ve 3B sanal nesneler oluşturularak gerçek görüntülerin sanal nesneler ile zenginleştirilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüz ilinti noktaları, ilinti operatörleri, yüz yakalama, yüz tanıma, zenginleştirilmiş gerçeklik

ABSTRACT

FACE RECOGNITION ANALYSIS BY DEVELOPING FEATURE OPERATORS IN VIRTUAL REALITY

Gülsüm Çiğdem ÇAVDAROĞLU

Geomatic Engineering

Phd. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Bülent BAYRAM

The face feature points are required to be found automatically to detect human emotion from face images, to detect age by analyzing human face from face image, to reconstruct 3D face model by using multi - human face images, develop augmented reality applications on human face. In the present thesis, an algorithm and software have been developed to detect human face and find interest regions and interest points in face from human face images taken from different angles and distances under standardized conditions automatically. The data used for test purposes is obtained from a face database which consists of face images taken under a 1000W halogen lamp by a 3D structural-illuminated 3D digitizer device with a resolution of 1600x1200. Some cases are excluded from this study, such as some parts of the face is to be covered by other objects, beard, mustache, facial expressions and gestures. The application developed in presented thesis consists of three sequential steps. Search region is made more narrowed after every step. Algorithms detect faces, search interest regions and facial feature points. As a result of tests carried out on 360 different face images with 1100 * 1400 pixel sizes, which belongs to 35 different people, 34 of them are women and 11 of them are men, it is achieved 100% face detection accuracy; 2,04086 pixel for facial feature points detection and 1,83971 mm

accuracy for 3D point cloud generation. Conjugate images are being matched easily by means of smart feature regions and matching feature points.

After stereo matching of images, bundle adjustment algorithm is run. Applying the epipolar geometry rules on the new balanced points, three-dimensional reconstruction algorithms have been run and three-dimensional point cloud face is generated.

The data obtained is used in an augmented reality application. Augmented reality application recognizes faces which are defined in application database, creates a marker by using facial feature points automatically and add 2D / 3D virtual objects on real world.

Key words: Facial feature points, feature operators, face detection, face recognition, augmented reality

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İki boyutlu (2B) görüntülerden yüksek doğrulukta üç boyutlu (3B) bilgi edinilmesi, araştırmalara sık sık konu olan problemlerden ve ilgi çeken alanlardan birisidir. Bu konuya olan ilginin ve dikkatin artmasının kaynağı, mimari dönüşüm, suç analizi, mimari tasarım, video verilerinin işlenmesi ve analizi, yüz tanıma, kimliklendirme, artırılmış gerçeklik gibi alanlardaki uygulama geliştirme gereksinimlerinin artmış olmasına dayanmaktadır. Son zamanlarda bilgisayar donanımlarında, görüntüleme sistemlerinde ve grafik işleme konularındaki gelişmeler de bu ilgiyi artırmaktadır.

2B olarak sayısal ortamda gösterilen insan yüzü görüntülerinden otomatik olarak 3B nokta bulutunun elde edilmesi, güvenlik, müşteri ilişkileri, tıp, estetik gibi alanlarda kullanılmaktadır. İnsan yüzüne fiziksel bir müdahalede bulunmadan, sanal işlemlerle yüz operasyonlarının gerçekleştirilebilmesi, elde edilmesi öngörülen sonuçların insanlara sanal ortamlarda sunulabilmesi, yoğun müşteri potansiyeline sahip kurum ve kuruluşlarda müşterilerin bilgisayar sistemleri tarafından otomatik olarak tanınması şüphesiz bu alanlara birçok katkı sağlamakta ve fayda sunmaktadır. Yüz nakli operasyonlarının başladığı ve hızla gelişim gösterdiği günümüzde, insan yüzü üzerine geliştirilecek uygulamaların önümüzdeki yıllarda daha fazla ilgi göreceği de kestirilebilmektedir.

Günümüzdeki güvenlik konusunda yapılan çalışmaların geldiği konum itibarıyla, yüz tanıma araştırmaları oldukça önem kazanmış durumdadır. Bu alan, özellikle 3B verinin etkin bir şekilde kullanılmaya başladığı ve giderek yaygınlaşan önemli bir araştırma alanıdır. Tanıma işleminin 2B olarak yapıldığı yöntemler, 3B yöntemlere göre daha basit özellikte donanım gereksinimi olması, mevcut sistemlere çok fazla değişiklik

gerektirmeden kolayca entegre olabilmesi gibi avantajlar sunabilmektedir. 3B yeniden oluşturma işlemi için kullanılması gereken donanımlarda teknolojik anlamda ilerleme sağlandıkça ve yeni donanımlarla kolayca entegre olabilen yazılımlar geliştirildikçe, 3B yüz tanıma yöntemleri, 2B yöntemlerin yerini alacaktır. 2B tanıma sistemlerinde, poz alım açısı ve ışıklandırma parametreleri ve bu parametrelerdeki değişimler ciddi sorunlar yaratmaktadır. Bu nedenle 3B veri kullanımının ileride daha fazla tercih edileceği düşünülmektedir. Bu sayede, yüz tanıma araştırmalarının daha düşük maliyetli olarak ve daha etkin çalışabilen 3B sensörler ve yeniden oluşturma yöntemleri ile devam etmesi mümkün hale gelecektir.

3B verinin yukarıda belirtilen yararlarına karşın, bazı dezavantajları da mevcuttur. Geleneksel kameralar kullanılarak 2B veri elde edilmesi, oldukça iyi bilinen, alışılmış ve kolaylıkla kullanılan yöntemlerdir. Buna karşılık 3B veri elde etme süreci, bu verilerin işlenmesi ve depolanması, daha fazla işleme gücü ve depolama gereksinimleri gerektirmektedir. 2B sistemler, fonksiyonların düzgün çalışabilmesi için hassas bir kalibrasyon ve konfigürasyon yapılmasına gereksinim duyarlar. 3B alım sistemleri, özellikle güvenlikle ilgili işlemlerde, 3B taramanın elde edilmesi için bazı ek donanımlara gereksinim duyarlar. Bu yönüyle de 2B sistemlere göre dezavantaja sahiptirler. 2B kameralar tamamen pasif bir alım sürecine sahipken, modellenen ortamın farklı açılardan birden fazla sayıda fotoğrafının çekilmesi yoluyla veri üreten 3B sistemlerin birçoğu, kontrol edilebilen ışıklandırma koşullarına ve bazı durumlarda oluşan kısıtlamalara, kurallara gereksinim duymaktadırlar.

3B modelleme ile elde edilen sanal nesneler insanlara gerçeğe yakın bir görüntü sunarak sanal gerçeklik yaratabilmektedir. Gerçek görüntülerin sanal nesneler ile zenginleştirilerek, gerçek ve sanal nesnelerin bir arada sunulabilmesi, kullanıcılar üzerinde sanal gerçekliğin yarattığından daha fazla etki yaratacak bir yöntemdir. Artırılmış gerçeklik olarak isimlendirilen bu teknoloji sayesinde, sanal makyaj, sanal kimliklendirme, sanal estetik operasyonları gibi işlemler insanlara gerçeklik hissi çok daha fazla artırılmış olarak sunulabilmektedir.

Derinlik tahminin doğal çözüm yöntemlerinin en başta geleni, stereo görüşün sağlanabilmesi için iki göz tarafından yapılan değerlendirmedir. Her bir göze ulaşan

farklı veri ve gözler arasındaki rölatif odaklanma, derinlik izlenimi elde edilmesinde kullanılmaktadır. Bilgisayarlı görme alanında yaygın olarak kullanılan çok-açılı yöntemlerde birden fazla sayıda kamera kullanımı söz konusudur. Derinlik tahmininde kullanılan ikinci bir teknik de, yine birçok hayvan türü tarafından kullanılan, paralaks hareket verisinin bir derinlik ipucu olarak kullanılması tekniğidir. Görsel verinin sağlanabilmesi için, hayvanlar derinlik bilgisi üretmede kullandıkları birkaç çeşit yardımcı sensöre sahiptirler. İnsanlar da gözlerini hiç kullanmadan birçok nesnenin boyutu ve uzaklığı hakkında bilgiye sahiptirler. Karmaşık etkenlerin birleşimi ile hem insanların sahip olduğu yetenekler hem de hayvanların sahip olduğu yeteneklerin avantajlarından yararlanılarak başarılı 3B yeniden oluşturma yöntemleri elde edilebilir. İnsanlar yaşamları süresince etraflarında yer alan nesneler hakkında birçok bilgi edinirler ve bu bilgileri depolarlar. Gerçek dünya hakkında tecrübeli hale gelirler ve bu tecrübeyi 3B görüşü sağlama noktasında kullanırlar. Ancak bu yeteneğin yapay zekâ yolu ile bilgisayar ortamına aktarılabilmesi günümüzde hala yapılamamaktadır.

Yazılımda derinlik bilgisinin elde edilmesinde biyolojik yöntemlerin kullanılabilmesindeki zorluklardan birisi, beynin bir görüşü algılama ve gerçeğe yakın bir model elde etme aşamasında tüm sensörlerini eş zamanlı olarak kullanması ve elde ettiği verileri birleştirmesidir. Sensörlerden oluşan bir yazılımın bu şekilde çalışmasını sağlayabilmek ise oldukça güçtür. Günümüzde hem tek kaynaktan gelen veriler ile 3B yeniden oluşturma yöntemleri konusunda çalışmalara devam edilmekte, hem de birkaç farklı veri kaynağından elde edilecek verilerle bu süreçleri daha sağlıklı bir şekilde gerçekleştirebilme konusunda çalışmalar yapılmaktadır.

Tek bir 2B görüntüde bulunan bilginin yüksek hacmine rağmen, aynı ortamın 3B özellikleri, bu ortamdaki nesneler hakkında bir ön bilgiye sahip olunmadan hesaplanamaz. Bu konudaki istisnai durumlara örnek olarak gölgelerden derinlik bilgisinin elde edilebilmesi verilebilir. Ortamın birçok açıdan fotoğrafının alınması ile birden fazla sayıda görüntüde yer alan belirli noktaların derinliklerinin üçgenlenmesi mümkün hale gelebilmektedir. Bu yöntem, 3B yeniden oluşturmada en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde en sık karşılaşılan ve halen tam bir çözüm için bilim insanlarının çalışmakta olduğu problem, aynı ortamın birçok açıdan alınmış görüntüleri arasında bir eşleştirme yapılmasıdır. Bu konuda birçok benzerlik ölçümü geliştirilmiş,

test edilmiş ve araştırılmıştır; ancak hala geliştirilmiş bir yöntem bulunabilmiş değildir.

3B ortam hakkında bilgi çıkarımında, en sık kullanılan yöntem, çok-açılı sistemlerdir. Diğer yöntemler bazı yöntemlerin kombinasyonlarının kullanımı yoluyla geliştirilmişlerdir ve genellikle biyolojik yöntemleri taklit ederler. Örnek olarak paralaks hareket verisinin kullanımı, gölgelerden derinlik bilgisinin çıkarımı ve deforme model yöntemleri verilebilir. 3B yeniden oluşturma sürecindeki iş adımları açısından, tek-açılı yöntemler, çok-açılı yöntemlere kıyasla oldukça farklılık göstermesine rağmen yeniden oluşturma aşamalarında birbirlerine benzerdirler. Örnek olarak tek açılı yöntemler, çok-açılı yeniden oluşturmada olduğu gibi bir kalibrasyon adımına gereksinim duymaktadırlar.

Model tabanlı yeniden oluşturma, diğer birçok geleneksel tekniklerin yanında ilgi çekici bir alternatif oluşturmaktadır. Doğru 3B modellerin elde edilebilmesi için, model tabanlı sistemler, daha az miktarda ve daha az kalitede girdi verisine gereksinim duyarlar. Günümüzde kullanılan model tabanlı 3B yeniden oluşturma yöntemleri, tek bir kameradan alınmış tek bir fotoğraf kullanılarak doğru sonuçlar üretebilmektedirler. Bu başarı, yeniden oluşturulacak nesnenin sınıflandırılması ve bu sınıflar hakkında bazı kısıtlamaların geliştirilmesi ile sağlanmaktadır. Bu algoritmalar, modellenecek nesne ve nesnenin yapısı hakkında ön bilgiye sahiptirler ve bu bilgiyi modelin oluşturulması sürecinde yardımcı eleman olarak kullanırlar. Bu özellik, bir modeldeki bilinmeyen parametrelerin değerlendirilmesinin yapılabilmesi için elde edilmiş tecrübenin kullanımına ya da mevcut veriden parametrelerin olası değerlerinin üretilmesi için birtakım kuralların üretilmesi ve kullanımına eşdeğerdir. Ancak tüm bu özellikler yeniden oluşturma sisteminin geliştirilmesini engeller. Bu nedenle, model tabanlı sistemler sadece belirli türde nesnelerin modellenmesinde kullanılabilir. Girdi verisinin sınırlandırılmış olması nedeniyle daha kullanılabilir olsalar da, geliştirilmiş 3B yeniden oluşturma işlemini yapabilene, 3B verinin saklanabileceği çok geniş bir veritabanı sunularak, bu veritabanındaki eşleştirmelerin hızlı ve etkin bir biçimde yapılabilmesi zamanı dek model tabanlı sistemlerin kullanımı sınırlı kalacaktır.

1.1 Literatür Özeti

Eşlenik noktaların ve görüntü çiftlerinin elde edilmesi, en uygun çözümün arandığı konulardan birisidir. Çoklu görüntülerin korelasyonu (multi-frame correlation), 3B yeniden oluşturma işleminin doğruluğunu belirleyen en önemli etkenlerden birisidir. İlinti bölgelerinin ve noktalarının bulunması konusunda literatürdeki önemli çalışmalar arasında Harris-İlgin ve Hessian-İlgin yöntemleri [1], önce ölçek uzayında ilinti noktalarını bulur, daha sonra her nokta için eliptik bölge tanımlar. Daha sonra her nokta için eliptik bölge şekli, gri ton gradyanının ikinci moment matrisi kullanılarak hesaplanır. Tuytelaars ve Van Gool tarafından önerilen yöntem [2] ise kenar bilgisinin değişik alım açısı, ölçek ve ışıklandırma şartlarında daha durağan bir özellik olduğu görüşüne dayalıdır. Kenar tabanlı bu yöntemde çeşitli ölçeklerde köşe noktaları bulunduktan sonra bu noktaların bağlı olduğu kenarlar takip edilerek ilinti bölgeleri tespit edilir. Aynı araştırmacılar tarafından önerilen diğer bir çalışmada köşe noktaları yerine görüntüde gri seviyesinin en yüksek olduğu noktalar kullanılır [3]. Söz konusu uç noktalar etrafında her yönde ilerleyerek gri seviye değişiminin arttığı sınırlar bulunur ve ilinti bölgeleri belirlenir. Algısal belirginlik (saliency) tabanlı çalışmada, görüntü üzerindeki tüm noktalar etrafındaki eliptik bölgede gri seviye olasılık yoğunluk fonksiyonunun entropisi hesaplanır [4]. Her noktayı çevreleyen değişik parametrelere sahip elipsler arasında farklı ölçeklerde entropinin maksimum olduğu elips parametreleri aday olarak kaydedilir. Daha sonra tüm elipsler olasılık yoğunluk fonksiyonu türevinin büyüklüğüne göre sıralanarak en yüksek değere sahip belirli sayıda eliptik bölge özel bölge olarak alınır. Diğer bir çalışmada ise Maksimum Durağan Uç Bölgeler (MDUB, Maximally Stable Extremal Regions) önerilmekte ve bir görüntünün tüm eşik değerlerinde bulunan ikili sürümlerindeki bağlı bileşenler ilinti bölgesi olarak tanımlanmaktadır [5].

Nesnelerinin 3B yapılarının bulunması için yapılan araştırmaların başlangıcı 1970'li yıllar olmasına rağmen, teknolojiye geniş kullanım alanı ve önceki yöntemlerin bu teknolojik ihtiyaca cevap verebilecek ölçüde başarılı ve genel nitelikte olmayışı günümüzde de bu araştırmaların yoğun bir şekilde sürdürülmesini gerektirmiştir. Bu eski probleminin çözümü için birçok farklı yöntem geliştirilmiş ve hemen hemen her bir yöntem de kendi çalışma alanını yaratmıştır. Bu yöntemlerden bazıları aktif olarak

enerji gönderilip alınmasına dayanırken, diğer yöntemler nesnelerinin hareketlerinden, gölgelerden, yüzeydeki dokudan ya da kameranın odaklanma yeteneklerinden yararlanarak derinlik bilgisini elde etmeyi amaçlamıştır [6]. Aktif üçgenleme yöntemleri nesne üzerine yapısallaştırılmış ışın demeti izdüşüren bir projektör veya ışık kaynağı kullanır. Bu durumda stereo kamera sistemlerinde kameralarda herhangi birisi yerine kullanılan projektörün de fotogrametrik kalibrasyonunun yapılması gerekir. Pasif üçgenleme yöntemleri ise birden fazla kamera kullanımına dayanır. Görüntü merkezli 3B tarayıcılar, ışın-izleme tabanlı algoritmaların animasyonlarda kullanılmaya başlanması ile yaygınlaşmıştır. 3B yüzey tanıma, endüstriyel ürün tasarımı, tersine mühendislik, sanal müze tasarımları, sayısal 3B televizyon, katı cisim modelleme, endüstriyel haritacılık, sanal gerçeklik gibi bir çok alanda fiziksel nesnelere ait 3B modellerin oluşturulmasına ihtiyaç duyulabilmektedir. Bununla birlikte bu alanda geliştirilmiş donanımların yüksek maliyetleri araştırmacıları pratik, yüksek doğruluk sağlayan, ucuz ve hızlı 3B nesne yeniden oluşturma algoritmaları araştırmaya ve geliştirmeye itmiştir. Siluet görüntülerinden 3B nesne yeniden oluşturma algoritmaları da halen üzerinde yoğun çalışmalar sürdürülen 3B nesne yeniden oluşturma yöntemleri arasındadır. Bu alanda geliştirilen yöntemler özellikle bio-mekanik alanında sıkça kullanılmaktadır. Siluet görüntülerinden 3B ölçü üretme fikri ilk defa Baugman [7] tarafından ortaya atılmıştır. Siluet kontur ardışıkları kullanılarak gerçekleştirilen bir 3B nesne yeniden oluşturma yöntemi [7], [8]'de verilmektedir. Gerçek dünyada siluetlerle en sık gölgeler şeklinde karşılaşılır. 3B fiziksel nesnenin bir perde üzerine iz düşürülen gölge siluet görüntüleri kullanılarak nesnenin 3B yeniden oluşturması için geliştirilen bir algoritma [9]'da verilmiştir. Olsson, siluet görüntülerini elde etmek için ilk defa dönen bir platform kullanma fikrini önermiştir [10]. Siluet görüntülerinin kullanıldığı 3B nesne yeniden oluşturma yöntemleri hacimsel görselleştirme tekniklerinden yararlanırlar. Olası tüm siluet-konilerinin kesişimi görsel zarf olarak adlandırılan bir hacim tanımlar. Görsel zarf, ölçülen nesneyi ve ölçmelere ait tüm konveks zarfı için alır, örter. Hareketli nesnelere ait siluet görüntülerini kullanarak 3B nesne yeniden oluşturma işlemi için [11]'de verilen bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Genel olarak literatürde yer alan siluet tabanlı 3B nesne yeniden oluşturma yöntemlerinin temel prensipleri kamera kalibrasyonu tekniklerinden uygun olan bir yöntem yardımı ile karşılıklı yöneltmeleri

gerçekleştirilen siluet görüntülerini kullanılarak tanımlanan siluet-konilerinin kesişimi olan görsel zarfı bulmaktır. Bu uygulama hacim kesiştirme olarak adlandırılır. Çoklu görüntüler ve bu görüntülerin karşılıklı yöneltme parametreleri kullanılarak tanımlanan 3B siluet-koni hacimlerinin kesiştirilmesi problemini 2B kesişim problemine dönüştüren bir yöntem [12]'de verilmiştir. Siluet görüntülerinden 3B nesne yeniden oluşturulmasında, nesne yüzeyini tanımlamak için kullanılabilecek bir ızgaralama yöntemi (IY, Marching Cubes) [13]'te verilmiştir. 3B nesne yeniden oluşturma işleminde [13]'te tanıtılan ızgaralama yönteminin kullanımı 3B görüntü-öğeleri (voxel) kullanılarak elde edilen yüzey doğruluklarından daha yüksek doğrulukla yüzeyleri daha hızlı elde etmeye olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte [13]'te tanıtılan ve bu alandaki literatür uygulamalarında çok sık kullanılan ızgaralama yöntemi yüzey üzerinde tanımsız, süreksiz alanlar (delikler) oluşmasına neden olabilmektedir. Bu olumsuzluk [14]'te tanıtılan ızgaralama yönteminde bulunmamaktadır. [15]'de tanıtılan ızgaralama yöntemi ise yüzey üzerinde süreksizlikler oluşmamasını garanti etmektedir. [16]'da yüzey tanımı için kullanılabilecek IY kullanımına dayalı çok hızlı bir ızgaralama yöntemi tanıtılmıştır. Bu yöntemde kameraların odak noktalarından silüetlere uzanan doğrular kesiştirilerek nesne yüzeyi tanımlandığı için elde edilen yüzey doğruluğu çok yüksektir [17]. Stereo görüş yöntemi, nesnelerin 3B bilgilerinin elde edilebilmesi için oldukça yoğun şekilde kullanılan ve araştırılan bir yöntemdir. Stereo yöntemini, basit bir eşleştirme problemi olarak ele almamak gereklidir. Problemi basite indirgeyen bu klasik yaklaşımların temel tıkanma noktası eşleme aşamasının 3B yapının yeniden elde edilmesi sürecinde ortaya çıkan bilgiden yararlanamamasıdır. Bu nedenle yoğun fark haritaları üretebilecek olan pencere eşleme tabanlı algoritmalar klasik anlayışta başarısız sonuçlar vermektedir. Günümüzde ise bu klasik yöntemlerin, yerel eşleme ve daha sonra 3B yapının oluşturulmasına dayalı iki basamaklı mantığı genel olarak terk edilmiş ve problemin bir optimizasyon problemi olarak ele alınıp tek bir çatı altında çözülmesi kabul görmüştür. Stereo probleminin çözümünde geline bu son aşama, problemi yerel düzgünlük, süreklilik ve verinin durumuna göre ifade edecek bir küresel enerji fonksiyonunun en aza indirgenmesidir [18, 19, 20]. 3B yeniden oluşturma için yapılacak işlemler, çoklu-kamera kalibrasyonu, 3B kestirim (projection), yüzey uydurma, registration ve 3B yüz tanıma kategorilerine ayrılabilir. Bu konuda

gerçekleştirilmiş çalışmaların bir kısmında, 2B tanıma ile paralel çalışabilecek 2B ve 3B sentezler ortaya atılmıştır; bazı çalışmalarda ise doğrudan 3B model ile karşılaştırmalar yapılarak işlem gerçekleştirilmiştir. Bazı çalışmalarda ise standart köşeli modeller yerine modele en uygun 3B gösterimler tanımlanmaya çalışılmıştır. Bu yöntemlerin hangisinin en iyi olduğu hala çok açık değildir; çünkü her bir yöntem doğrudan belirli bir sisteme göre ve o sistemde mevcut olan kısıtlamalara göre gerçekleştirilmiştir. 3B yeniden oluşturma işleminin gerçekleştirilebilmesi için kullanılabilecek birçok sayıda sensör ve yöntem mevcuttur. Bu sistemlerin ilki, yüksek kalitede model üretme kabiliyetine sahip, ortamı tarama ve önceden oluşturulmuş belirli bir modele göre derinlik tahmini yapma yoluyla 3B yeniden oluşturma işlemini gerçekleştiren, lazer mesafe ölçücülerdir (laser range finders). Derinlik verisinin elde edilmesine yönelik olarak sunulmuş diğer çözümler, robotik gibi alanlarda geliştirilmiştir. SONAR [21, 22] bunlardan birisidir. SONAR, düşük doğrulukta modeller üretme amacıyla kullanılabilir. 3B veri alımında birçok teknik mevcuttur; bu nedenle anlamlı bir karşılaştırma ve analiz yapılabilmesi için, öncelikle çalışmak istenilen 3B yeniden oluşturma kategorisi belirlenmelidir. Ortaya konulabilecek kısıtlamalardan birisi, insan yüzünün alımında düşük kalitede ve doğrulukta sonuçlar üretebilen sensör ve sistemlerin elenmesi olabilir. Düşük doğruluk sunan alım aygıtlarına ek olarak, alım işleminin çok uzun zamanlara mal olduğu sensörler, dinamik nesneler yerine genellikle statik nesneler için çok daha uygun niteliktedir. Görüntü işlemede 3B verinin kullanılmasının belirtilen avantajları, daha doğru 3B modeller elde edilebilmesi için daha çok araştırmalar yapılmasını ve daha fazla çaba gösterilmesini gerekli kılmaktadır. Bir görüntüleme sisteminin, ortamın verisini kullanarak derinlik bilgisini üretebilmesi için, birkaç farklı teknik kullanılabilir. 3B ortam verisi, nesne gölgeleri, hareket değişimi verisi veya lazer mesafe ölçücü gibi birçok farklı veri kaynağından elde edilebilir. Ancak en sık kullanılan yöntem stereo görüş tekniğidir. Bir çift gözün işlevinin taklidi olarak düşünülebilecek bir analog sistemde girdiler, aynı ortamı gözleyen iki ya da daha fazla sayıda kameradan alınan görüntü verileridir. Bu veriler analiz edilerek ve görüntüler arasındaki farklılıklar hesaplanarak, derinlik bilgisi üretilir ve böylece gözlenen ortamın bir modeli elde edilebilir. Böyle sistemler oldukça fazla avantaj sunarlar ve uzay uçuşu (space flight), yüz tanıma, video konferans, endüstriyel denetim gibi birçok

farklı alanda kullanılabilirler. Örneğin robotik sensörler, çevrelerindeki ortam hakkında çok az bilgi edinerek çalışabilirler; çoğunlukla sadece çevrelerindeki engelleri ve çukurları görebilmeleri yeterlidir. Ancak 3B tanıma sistemleri, şüphesiz ki robotik sensörlerin sunabildiğinden çok daha fazla doğrulukla ve miktarda veriye ihtiyaç duymaktadırlar. Derinlik bilgisinin elde edilmesinde en yaygın olarak kullanılan teknik, bir ortamın birden fazla noktadan alınmış görüntülerini kullanır, her bir poz içerisindeki uyumlulukları araştırır, 2B eşleniklerin 3B ortamdaki karşılıklarının bulunabilmesi için, çok-açılı geometrinin özelliklerini kullanır. Bazı sistemler, video kameradan akış olarak alınan veriyi, doku verisini, hatta derinliği hesaplanacak olan ortam hakkında ön bilgiyi kullanırlar. İz düşüm geometrisinin matematik temeli, stereo görüş sistemlerinde de kullanılan çok-açılı geometri yöntemleridir. İki boyutlu görüntülerden 3B yeniden oluşturma işleminin ve kamera kalibrasyonunun gerçekleştirilmesi konusunda geliştirilmiş yöntemlerin özeti, Henrichsen [23] ve Liu [24] tarafından yapılmıştır. Hartlet ve Sturm [25], yeniden oluşturma için iz düşüm geometrisi bileşenini, üçgenleme işleminde kullanılabilecek birkaç uygun yöntemi analiz ederek tartışmışlardır. Onofrio, Tubaro ve Rama [26], girdi verilerini sisteme ekledikleri dört kamera ile topladıkları geleneksel bir stereo 3B yeniden oluşturma sistemi sunmuşlardır. Bu yöntemde, Markov Rastgele Alanları (MRA, Markov Random Field) kullanılarak derinlik haritaları üretilmiş ve bu derinlik haritaları modellenerek, her bir açıdan alınmış görüntü parçası arasındaki eşlenik bilgiler elde edilmiştir. Standart bir çift stereo kamera kullanılması yerine dört kamera kullanılması sayesinde, yüzün birçok bölümü hakkında veri elde edilebilmesi mümkün olmuştur. Bu sistemde öncelikle bir kamera kalibrasyonu adımı gerçekleştirilmektedir. Dört kameranın eş zamanlı olarak kalibre edilmesi sayesinde, iki bağımsız stereo çiftinden elde edilen noktaların, aynı dünya koordinat sistemine iz düşürülmesi mümkün olmuştur. Bu sayede, farklı stereo çiftlerden gelen noktalar arasında eşleştirme yapılması gerekliliği ortadan kalkmıştır. Bu yöntem ile elde edilen sonuçlar görsel açıdan doğru olarak görülmektedir; ancak sistemin doğruluğunun belirlenebilmesi için gerçek yersel veriler ile karşılaştırma yapılabilmesi mümkün değildir. Yüz tanıma sistemi için geliştirilmiş yüz yeniden oluşturma sistemlerinden bir diğeri de, Hu, Jiang ve Yan [27] tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada, yüz ilinti noktası tanıma modülünde sentez yöntemler kullanılmış ve yeniden oluşturma model

tabanlı bir teknik ile gerçekleştirilmiştir. Girdi olarak modelleneyecek olan yüze ait ön plandan alınmış olan bir fotoğraf kullanılmaktadır. Bu 2B görüntü üzerinde, yarı-denetimli işlemler ile 83 tane ilinti noktası bulunmuştur. Birçok durumda yeniden oluşturma işleminin yapılabilmesi için gerekli olan ilinti noktaları otomatik olarak bulunabilmiştir. Sonraki aşamada, ilinti noktalarının 3B model içerisindeki konumları, girdi verisini gösteren 2B görüntü ile hizalanmıştır. Daha sonra bu ilinti noktaları, 3B yüz şeklini oluşturan, 3B şekil katsayılarının ve öz vektörlerin hesaplanmasında kullanılmıştır. Bu aşamadan sonra sistem, farklı poz ve ortam koşullarında alınmış yüz fotoğraflarını da alarak sentez edebilmektedir. Ve farklı duygulara ait olarak alınmış fotoğraflar sentez edilerek animasyon elde edilebilmekte ve MPEG-4 tabanlı olarak izlenebilmektedir. Veriler, CMU-PIE veritabanından [28] elde edilmiştir. Görüntü sentezlerinin ardından tanıma işleminin yapılabilmesi için, Bağımsız Bileşen Analizi (BBA, Principal Component Analysis) ve Doğrusal Bileşenler Analizi (DBA, Linear Discriminant Analysis) kullanılarak boyut azaltma (dimensionality reduction) yapılmış; daha sonra sınıflandırma yapılabilmesi için benzerlik ölçütü olarak En Yakın Komşuluk (EYK) yöntemleri kullanılmıştır. Yüksek doğrulukta çözümler elde edilebildiği belirtilmiştir; ancak daha önce yapılmış çalışmalar ile bir karşılaştırma sunulmamıştır. Vetter, model tabanlı yeniden oluşturma için benzer bir teknik kullanmıştır [29]. Hu, Jiang ve Yan da bu konuda bazı geliştirmeler yapmışlardır [26]. 3dMD [30], yüzü bir kulaktan diğer kulağa dek tarayarak yüz yeniden oluşturma yapabilecek altı kameranın konfigürasyonunun yapılmasına ya da yüzü 360 derece tarayabilecek 24 kameranın konfigürasyonunun yapılmasına izin veren bir sistemdir. Tüm 3dMD sistemleri, rastgele ışık izdüşümleri alımı yöntemlerine dayalı olarak çalışmaktadır; iki alım fazına sahiptirler; ilk fazda, bir siyah ve bir beyaz doku yüze iz düşürülür ve siyah ve beyaz kameralar ile alım yapılır; ikinci fazda, renkli kameralar ile doku bilgisinin elde edilebilmesi normal ışıklandırma altında için alım yapılır. Yüksek oranda doğrulukla sonuç üretebiliyor olmasına rağmen, sistemin patenti bileşenlerinin farklı konfigürasyonlarda kullanılmasına izin vermemektedir. Sistemin ardında çalışan algoritmaların çalışma prensipleri hakkında çok fazla bilgi bulunmamasının yanı sıra, diğer akademik sistemlerle bir karşılaştırma yapılabilmesi de mümkün değildir. Ancak sistem, yüz tanıma amaçları için oldukça kullanışlıdır. Çok-açılı stereo yeniden

oluşturma konusunda en basit czm yöntemlerinden birisi de Goesele, Curless ve Seitz [31] tarafından sunulmuştur. Son yıllarda geliştirilmiş doğrusal olmayan değerlendirme yöntemlerinde, pencere tabanlı algoritmalar ile calışılmıştır. Bu calışmadaki temel işlem, sadece yüksek oranda eşleştirmesi yapılabilmış olan bölümlerin ayrı ayrı yeniden oluşturulmasıdır. Daha sonra elde edilen bu parça modeller birleştirilerek tek bir model elde edilmeye calışılır. Bir aı için verilmiş olan derinlik haritası sadece eşleşen bölümlere ilişkin bilgi taşır. Eşleştirmesi yapılamamış olan bölümler ise boşluk olarak görünür. Ancak yersel gerçek verinin kullanımını gerçekleştiren ilk calışma da bu calışmadır. Daha sonra hacim birleştirme teknikleri kullanarak bu tekli parçalar birleştirilir ve tek bir sonuç elde edilmesi mümkün olur. Bu calışmanın sonuçları, tüm bu sistemlerin karşılaştırıldığı bir calışmaya gönderilmiş ve gerçek veriler ile test edilmiştir. Bu karşılaştırma içerisinde bu calışma ikinci sırada yer almaktadır. Yöntemin basitliği ve performansı, daha doğru ve geniş nitelikte sonuçlar elde edilebilmesi için içeriksel ve matematiksel olarak daha karmaşık algoritmaların kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu algoritmanın performansı haricinde bir anahtar nokta da, standart değerlendirme metodolojisi olarak kullanılıyor olmasıdır. nemli olan bir diğer sistem de, özellikle yüz yeniden oluşturma konusunda geliştirilmiş yöntemlerin bir sentezini analiz eden bir sistemdir. Bu yeniden oluşturma yöntemi, diğer cok-açılı sistemlerle kıyaslandığında oldukça farklıdır; fakat doğru sonuçlar üretme niteliği daha düşüktür. Bu yöntemin sahip olduğu anahtar zorluklardan birisi, böyle bir sistemin geleneksel cok-açılı metotlar ile karşılaştırılmasının mümkün olmayışıdır. Böyle bir karşılaştırmanın yapılabilmesi için, cok-açılı analiz için hem cok açıdan alınmış görüntüleri hem de tek n açıdan alınmış görüntüleri içeren gerçek yersel veri gereklidir. Ancak veri setlerindeki eksiklikler ya da böyle bir veri üzerinde yapılan test işlemlerindeki eksiklikler, bu tür karşılaştırmaların yapılmasını engellemektedir.

Yüz tanıma konusunda uzun zamandır oldukça cok sayıda bilim adamı calışıyor olmasına karşın, problemin zorluğu nedeniyle gerçek yaşamda karşılaşılan sorunları czmeye yetecek başarıma sahip yüz tanıma sistemleri hala geliştirilememiştir. Özellikle yakın geçmişte ve günümüzde ortaya cıkan saldırılar sonucu giderek artan güvenlik gereksinimleri diğer biyometrik yöntemlere olduğu gibi yüz tanımaya olan

gereksinimi ve ilgiyi artırmıştır [32]. Yüz tanıma probleminin zorlukları; pozdaki değişimler, ışık kaynağının yeri ve şiddetindeki değişimler, yüz ifadesindeki değişimler, ölçek sorunu, zamanla veya yaşlanmayla oluşan değişimler, tanınacak kişilerin çokluğu, işlem zamanı olarak sayılabilir. Literatürde bu sorunların çözümü olarak geliştirilen yöntemler incelendiğinde bunların, şablon eşlemeye dayanan yöntemler, öznitelik tabanlı yöntemler ve görünüm (appearance) temelli yöntemler olarak sınıflandırılabilceği görülmektedir. Günümüzde, görüntü işleme ve bilgisayarla görü alanlarındaki araştırmacılar, insan yüzlerinin makineler tarafından tanınması konusunda oldukça yoğun çalışmalar yapmaktadır. Buna rağmen özellikle gerçek zamanlı işlemin gerekli olduğu durumlarda otomatik bir tanıma sistemin gerçekleştirilmesi hala zorluklar içermektedir. Bu zorlukların nedenleri; yüz görüntülerinin yüzün 3B geometrisi dolayısıyla aydınlatma ve poz değişimleri olduğunda büyük değişimler göstermesi ve yüz ifadesi, yaşlanma, sakal, bıyık, gözlük ve makyajdan oluşan değişimler olarak sıralanabilir [32]. Aynı yüzün farklı ışıklandırma ve görüş açısı durumlarında gösterdiği değişim farklı insan yüzlerinin arasında görülen değişimden daha fazla olduğu söylenebilir. Özellikle değişken aydınlatma koşulları, yüz tanımayı günümüzdeki en zor problemlerden birisi haline getirmiştir. Değişken aydınlanma koşullarıyla başa çıkabilmek için bazı yöntemler ortaya atılmıştır. Bu yöntemler dört ana sınıfa ayrılabilir; aydınlanmadan bağımsız öznitelikler çıkartılması (Ayrıt haritaları, görüntü değer türetimleri, Gabor süzgeçleriyle evrişimler); farklı aydınlanmaya sahip görüntüleri, bilinen doğal durumlara çevirmek (örneğin giriş görüntüsünü, önden aydınlatılmış yapay bir görüntüye dönüştürmek); aydınlanma değişimlerini modellemek (farklı ışıklandırılmış birçok yüz görüntüsünü kullanarak çıkartılan modeller); yüzlerin ışıktan bağımsız 3-boyutlu modellerini çıkarmak [32]. Yüz tanıma üzerine, günümüze dek geliştirilmiş birçok algoritma ve yöntem bulunmaktadır. Bunların belli başlıları; öz yüzler (eigen faces), 3B yüz tanıma, aktif görünüm modeline dayalı yüz tanıma (AGM), temel bileşenler analizi (TBA), yapay sinir ağları (YSA), gabor dalgacık, saklı markov modeli, bağımsız bileşen analizi (BBA) [33] olarak sıralanabilir. Yüz tanıma çalışmaları 1960'lı yılların ortasında başlamıştır ve o günden günümüze dek önemli ilerlemeler sağlanmıştır. İnsan yüzünün içerdiği çok farklı özellik ve sayıdaki nitelik de kullanacak yöntemlerin sayısını arttırmıştır. İlk insan yüzü tanıma sistemlerinin öznitelik tabanlı

yöntemler olduğu görülmektedir. Bledsoe [34] ve Goldstein vd. [35] tarafından, geometrik şekillere dayalı metotlar konusunda bazı çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, ilk otomatikleştirilmiş yüz tanıma sistemini Kanade [36] geliştirmiştir. Geometrik şekillere dayanan metot, insan yüzlerinin ortak özelliklerini dikkate alarak çalışmaktadır. İnsan yüzünde iki göz, bir burun, bir dudak bulunması gibi özellikler, insan yüzleri için istisnai durumlar haricinde ortaktır. Bu bileşenler arasındaki göreceli boyut ve mesafe gibi bilgiler, kişiden kişiye değişir. Bu değişim, sınıflandırma amaçlı kullanılabilir. Kanade'nin çalışmasında [36] basit görüntü işleme teknikleri (ayrıt haritaları, histogramlar vb.) ve onlara ait öklid uzaklıkları kullanılarak tanıma gerçekleştirilmiştir. Daha gelişmiş bir öznitelik çıkartma yöntemi olan bozulabilir şablon (deformable template) yöntemini Yuille, Cohen ve Hallinan [37] önermiştir. Genellikle bu tür yöntemlerde kullanılan arama teknikleri, bilgi tabanlı ve sezgisel yöntemleri kullanarak arama uzayını daraltmaya çalışmaktadır (örnek olarak, 'burun iki gözün arasında olmalıdır') [38]. Fakat bu tür enerji en-küçükleme yöntemlerinin oldukça maliyetli ve yerel minimumlara karşı gürbüz olmadıkları bilinmektedir. Bozulabilir şablon karşılaştırmasını kullanan Roeder [39] ve Colombo'nun [40] öznitelik çıkartıcılarının, yüzün yerini saptama başarımı gerçek zamanlı bir uygulama için yeterli değildir. Bu gruba diğer öznitelik çıkartıcılardan Reissfeld'in [41] simetri operatörü ve Graf'ın [42] süzgeçleme ve morfolojik işlemleri eklenebilir [43]. Bunun yanında bütünsel (holistic) teknikler de sık kullanılmaya başlanmıştır. Manjunath [44] dalgacık dönüşümü kullanarak ilinti noktalarını çıkartmış ve bu noktalara GaborJet'leri uygulayarak elde ettiği özellikleri tanıma işleminde kullanmıştır. Bu teknik oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Bu çalışmada, elde edilen insan yüzüne ait önemli noktalar (fiducial points) için herhangi geometrik ilişkilendirmeye gidilmemiştir. Bunun yerine sadece bulunduğu önemli noktalardan elde ettiği özellik vektörlerini diğer görüntülerden elde ettiği vektörlerle karşılaştırma işlemi ile tanımayı gerçeklemiştir. Herhangi bir şekilsel özellik tanıma yöntemi bu çalışmada kullanılmamıştır. Bu yöntemlere alternatif olarak istatistiksel eğitim bazlı tekniklerde geliştirilmiştir. Örneğin, Pentland [45] Karhunen-Loeve dönüşümü kullanarak vesikalık insan yüz görüntülerini daha düşük boyutlu bir uzayda tekrar kurabileceğini ve bu uzaya ait parametreleri tanımada kullanabileceğini göstermiştir. Pentland'ın en son çalışması olan modüler öz yüz [46]

yönteminin yeniden oluşturma ve tanıma başarımının daha iyi olduğu görülmektedir [43]. Bu yöntemde özellikler, Karhunen-Loeve dönüşümünü yüzün doğal ana bileşenleri olan, göz, burun ve ağız gibi bölgelerine uygulanması ile elde edilmektedir. Birçok insan yüzü tanıma algoritmasında insan yüzünün ya görüntüden bölütlenmiş ya da görüntüde insan yüzü olmayan artalanın sabit ve basit olması şartı aranmaktadır. Ayrıca, bu algoritmalarda tanıma başarısının yüksek çıkması için, algoritmaya giriş olarak sunulan insan yüzlerinin önden çekilmiş (frontal) ve iyi aydınlatılmış olmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Fourier, dalgacık, Karhunen-Loeve gibi dönüşümler doğrusal dönüşümlerdir. Bu yüzden doğrusal olmayan bir şekilde aydınlatma, 3B yönelim ve karmaşık artalanın bulunması gibi durumlarda tanıma performansı düşmektedir [47]. Literatürde sıklıkla kullanılan insan yüzü tanıma yöntemlerinin genellikle görünüm tabanlı (appearance-based) [45, 48, 49] yöntemler olduğu bilinmektedir. Bu yöntemler her insan için, farklı çevre koşullarını içerecek şekilde eğitim verisine ihtiyaç duymaktadır. Fakat gerçek uygulamalarda sınırlı sayıda eğitim verisine sahip olunduğu için insan yüzüne ait tüm değişimleri bu sistemler yakalayamamaktadır [32]. Samaria ve Young [50], Olivetti yüz veritabanını kullanarak yaptığı ve SMM'ne (Saklı Markov Modeller) dayalı tanımada %87'lik bir doğru tanıma elde etmiştir. Burada test resimleri ve veritabanı için kullanılan örnekler, SMM tarafından üretilmiş olup tanıma amaçlı kullanılırlar. Ancak bu yöntemde, örneklerin oluşturulması için gereken zamanın oldukça uzun olması nedeniyle bu yöntem çok fazla kullanılmamaktadır. Öz yüzler yaklaşımı ilk olarak Sirovich ve Kirby [51] tarafından kullanılmıştır. TBA olarak da bilinen Karhunen-Louve yönteminin genişletilmiş bir versiyonu olarak düşünülebilir. Kirby ve Sirovich [52] bu yöntemi, 115 yüz görüntüsü veritabanında test etmişler ve yaklaşık olarak %3 yanlışla payıyla bir yüzü yeniden oluşturmak için sadece 40 öz vektörün yeterli olduğunu göstermişlerdir. Bundan kısa bir süre sonra yüzün simetrisini dikkate alarak (örneğin bütün yüzlerde gözler, burun gibi duyu organları aynı bölgede yer alır) orijinal yöntemlerini geliştirmişlerdir. Turk ve Pentland [53], bu fikri biraz daha geliştirerek, ilk tam otomatik sistemlerden birini üretmişlerdir. Kendi sistemlerini 16 kişinin 2500 görüntüsü bulunan bir veritabanında denemişlerdir. Farklı koşullar altında yapılan testlerde, %96, %85, %64 gibi doğru sınıflandırma sonuçları elde etmişlerdir. Pentland ve Moghaddam [54], geliştirdikleri sisteme, ilinti noktalarını çıkarmak için

tasarlanan bir öz şablon kullanma ve yüz tanıma için öz yüzler ile birlikte Bayesian tabanlı istatistik metotlar kullanma özelliklerini eklemişlerdir. Zhang, Yan ve Lades [55] ışık değişiminin çok fazla olduğu durumda öz yüz yönteminin ciddi seviyede kötüleştiğini göstermişlerdir. O'Toole, vd. [56] bir yüzü kodlamak için baskın öz yüzü kullanmanın en uygun olduğunu ama tanıma işinde en uygun seçim olmadığını göstermişlerdir. 100 kişilik bir öz yüz veritabanı kullanılarak 45. ve 80. arasındaki herhangi bir 15 öz yüz seçiminin, en iyi 15 öz yüz kadar, iyi ayırım gücüne sahip olduğunu göstermişlerdir. Bir diğer çalışmada Deffenbacher vd. [57] öz yüzler ve bir yüzün cinsiyet ve ırk gibi özellikleri arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. İkinci en büyük öz yüzün tek başına bir kişinin ırkını %88,8 oranında başarılı bir şekilde belirleyebildiğini göstermişlerdir. Aynı zamanda en büyük dört öz değer toplamı %74,3 oranında doğru cinsiyet tahminini yapabildiğini göstermişlerdir. Her iki denemede de 50 bayan ve 50 erkekten oluşan 100 tane yüz görüntüsü üzerinde yapılmıştır. Jacobs, vd. [58] az sayıda katsayı kullanarak görüntüyü göstermek için kesikli dalgacık dönüşümünü kullanmışlar ve görüntü kenar bilgilerini elde etmişlerdir. Kolay uygulanabilirliği ve yüksek doğruluk sunmasından dolayı haar ana dalgacığı temel fonksiyon olarak kullanılmışlardır. Garcia, vd. [59] kesikli dalgacık dönüşümünü algılama ve sınıflandırma görevleri için ön cepheden çekilen görüntülere uygulamışlardır [33]. Öz yüz yöntemi, en yaygın görünüm tabanlı yöntemdir ve başarılı sonuçlar üretmektedir. Bu yaklaşımın önemli sorunlarından arasında aydınlanma ve poz değişimlerine duyarlı olması yer almaktadır. Bu yöntemlerle birlikte aydınlatma koşullarına daha az duyarlı görünüm temelli yöntemler geliştirilmektedir [60, 61]. Son yıllardaki çalışmalar, aslında daha önce de çok iyi bilinen bir yöntem olan "Fisher yüzler" (Fisherfaces) yönteminin, özellikle poz değişimleri ve aydınlanma değişimlerinde öz yüz yöntemine göre çok daha iyi tanıma başarımına sahip olduğunu göstermektedir [60]. Fisher yüzler, görüntü uzayını daha düşük boyutlu öznitelik uzayına iz-düşürürken sınıf içi değişimleri azaltan ve sınıflar arası değişimleri arttıran DBA yöntemini kullanır. Son yıllarda DBA yöntemlerinin çeşitli varyasyonları geliştirilmekte ve başarılı sonuçlar elde edilmektedir [62]. Bu yöntemler sıradan Fisher yüzler sistemlerinde kullanılmayan düşük varyanslı bilgilerden de faydalanmasını amaçlamaktadır. Günümüzde, yüz tanımada kullanılan yöntemler karşılaştırıldığında doğrusal ayrıştırma yöntemlerinin en yüksek başarımlara ulaşılan

yöntemler olduğu görülmektedir [32]. Öz yüzler yaklaşımı ve temel bileşen analizi ilk olarak 1987 yılında Sirovich ve Kirby tarafından kullanılarak yüzü etkin bir şekilde göstermek için uygulanmıştır [51]. TBA olarak da bilinen Karhunen-Louve yönteminin daha geniş bir versiyonu olarak bilinmektedir. Bu, bilgi teorisinde veriyi kodlama ve kodunu çözmede iyi bilinen bir tekniktir. Bu kişiler yüz görüntüleri gruplarından başlayarak bu görüntülerin temel bileşenlerini hesaplamışlardır. Daha sonra da öz vektörün sadece küçük parçalarının ağırlıklı birleşimini kullanarak yüz görüntüsünü yeniden oluşturmuşlardır. Bundan kısa bir süre sonra yüzün simetrisini dikkate alarak orijinal metotlarını geliştirmişlerdir. Türk ve Pentland [53], bu fikri biraz daha geliştirerek ilk tam otomatik sistemlerden birini üretmişlerdir [33].

Artırılmış gerçeklik uygulamalarının temelinde de birçok teknolojide olduğu gibi askeri teknolojiler yatmaktadır. Artırılmış gerçeklik teknolojisinin ortaya çıkması baş üstü ekran (HUD, head-up display) sayesinde gerçekleşmiştir. Bu teknoloji savaş uçağı pilotlarının kokpitte karşılarındaki ekranlarda ve piyadelerin kullandığı kasklara entegre edilmiş olan gözlükler ile kullanılmaya başlanmıştır. Bu gözlük ya da ekranlar sayesinde hız, ısı, yükseklik, koordinatlar, radar gibi bazı bilgilendirici veriler aktarılıyordu. Artırılmış gerçeklik uygulamalarında kullanılan gözlüklerin de gün geçtikçe son kullanıcılar için gittikçe yaygınlaşmaya başlayacağı öngörülmektedir [63]. Artırılmış gerçeklik teknolojisi ilk olarak 1950’lerde sinematograf Morton Heilig tarafından düşünülmüştür [64, 65]. Heilig, sinemayı, tüm duyuların ekrana çizilmesi yoluyla sunulabildiği bir aktivite olarak tanımlamıştır. 1962 yılında Heilig 1955’lerde “The Cinema of the Future” olarak tanımladığı vizyonunu gösteren bir prototip geliştirmiştir. 1966 yılında Ivan Sutherland, baş üstü ekranları (head mounted display) keşfetmiş, 1968 yılında baş üstü ekranları kullanarak ilk artırılmış gerçeklik sistemini tasarlamıştır. 1975 yılında, Myron Krueger, “Videoplace” ismini verdiği bir ortam tasarlamıştır [66, 67]. “Videoplace” ortamında, kullanıcılara sanal nesneler ile etkileşimde bulunabilme olanağı sunulmuştur. Daha sonra Tom Caudell ve David Mizell, uçak makinaları üzerine çalışan işçilerin kablolama işlerine yardımcı olabilecek ilk artırılmış gerçeklik fazını geliştirmişlerdir [68, 69]. Ayrıca artırılmış gerçeklik teknolojisinin sanal gerçeklikle kıyaslandığında sahip olduğu avantajları çıkarmaya başlamışlardır. Aynı yıl içerisinde, L.B. Rosenberg, “Virtual Fixtures” isminde ilk fonksiyonel artırılmış gerçeklik sistemini

geliştirmiş ve bu sistemin insan üzerindeki yararlarını göstermiştir [70]. Aynı yıllarda, Steven Feiner, Blair MacIntyre ve Doree Seligmann, ilk büyük artırılmış gerçeklik sistemi prototip makalesini çıkarmışlar ve buna “KARMA” ismini vermişlerdir [71, 72]. Sanal gerçeklik, 1994 yılında Paul Milgram ve Fumio Kishino tarafından gerçek ortam ile sanal ortam arasındaki geçiş tanımlanana dek kullanılmamıştır [73]. Artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik, birbirlerine yakın teknolojiler olmakla birlikte; artırılmış gerçeklik, gerçek dünya ortamına, sanal gerçeklik ise sanal ortama daha yakın nitelik taşımaktadır. 1997 yılında Ronald Azuma, artırılmış gerçeklik tanımını içeren bir makale yayınlamıştır [74]. Bu makalede sunulan tanıma göre, artırılmış gerçeklik; gerçek ve sanal ortamın, gerçek zamanlı ve kullanıcı etkileşimli olarak 3B ortamda bir arada sunulabildiği bir teknolojidir. İlk mobil artırılmış gerçeklik oyunu, Bruce Thomas tarafından 2000 yılında geliştirilmiş “ArQuake” isimli oyundur [75]. 2005’te, Horizon Report, artırılmış gerçeklik teknolojisinin 4-5 yıl içerisinde büyük ilgi göreceği tezini öne sürmüş ve bu tezine kanıt olarak da kamera sistemlerinin fiziksel ortamı gerçek zamanlı olarak analiz edebildiğini, nesneler ile ortamlar arasında konumları ilişkilendirebildiğini göstermiştir. Bu tür bir kamera sistemi, sanal nesnelerin, artırılmış gerçeklik sistemlerine entegre edilmesi için bir temel oluştururlar. 2008 yılında “Wikitude AR Travel Guide” çıkartılmıştır [76]; bunun yanı sıra 2007 yılında bu konuda tıbbi uygulamalar da geliştirilmiştir. Artırılmış gerçeklik teknolojisi oyunlaştırma konusundan da hızla kullanılmaya başlanmıştır [63]. Sosyal medya ağlarından birisi olan Foursquare’de köşe kapmaca oyunu, rozet toplama gibi oyunlar artırılmış gerçeklik teknolojisini kullanmaktadır. “AR. Drone Parrot” isimindeki uzaktan kumandalı bir uçan oyuncak, artırılmış gerçeklik uygulaması ile desteklenerek mobil donanımlardan kontrol edilebilir hale getirilmiştir. “AR. Drone Parrot” telefona yüklendiğinde, karakterin üzerindeki kamera telefon ekranına yansıtılmakta ve artırılmış gerçekliğin doğasına uygun olarak, kullanıcıya sanki o oyuncağın içinde, kokpitteymiş gibi izlenim yaratmaktadır [63]. Günümüzde yazılım ve donanım teknolojilerinin geldiği nokta ile artırılmış gerçeklik sistemleri ile birçok uygulama geliştirmek mümkün hale gelmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Sunulan tezin amacı, görüntüler içerisinde insan yüzlerini otomatik olarak belirlemek, bulunan yüzler içerisinde ilinti bölgelerini ve noktalarını otomatik olarak yakalamak, yakalanan ilinti noktaları ile eşlenik insan yüzü görüntülerini çıkartmak; elde edilen bu bilgileri kullanarak sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamaları geliştirmektir. Sanal gerçeklik uygulaması olarak, elde edilen çakışık ilinti noktalarının kullanımıyla 3B yüz nokta bulutu üretilmiştir. Artırılmış gerçeklik uygulaması olarak ise ilinti noktalarının kullanımıyla otomatik olarak oluşturulan işaretçiler kullanılarak insan yüzü görüntüsü üzerine sistemde önceden tanımlı olan sanal nesneler otomatik olarak eklenmiş ve görüntü zenginleştirilmiştir. Bir diğer artırılmış gerçeklik uygulaması olarak ise, sanal makyaj sistemi geliştirilmiştir. Bu amaçların gerçekleştirilmesi için önceden belirlenmiş ve sabitlenmiş standart koşullar altında alınmış insan yüzü görüntüleri içerisinde, yüz bölgesinin otomatik olarak bulunması, yüz bölgesi içerisinde kalan ilinti bölgelerini otomatik olarak bulacak algoritmalar geliştirilmesi, her bir ilinti bölgesi için o ilinti bölgesine ilişkin ilinti noktalarını görüntü işleme teknikleri ile bir şablon ya da model kullanmadan bulabilecek operatör ve detektörlere ilişkin algoritmaların geliştirilmesi, belirlenen yüzün kime ait olduğunun daha önce sunulan yöntemlerden birisi kullanılarak saptanması, yüz ilinti noktalarından otomatik olarak artırılmış gerçeklik işaretçileri oluşturularak gerçek yüz görüntüsü üzerinde sanal 2B ve 3B nesneler gösterilmesini sağlayacak bir artırılmış gerçeklik ortamı oluşturulmuştur.

İlinti noktalarının otomatik olarak bulunması, hem sanal gerçeklik hem de artırılmış gerçeklik uygulamaları geliştirmek için temel adımdır. Amacı gerçekleştirmek için yapılan işlemler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- İlinti operatörlerinin geliştirilmesi
- Geliştirilen ilinti operatörleri ile ilinti noktalarının elde edilmesi
- İlinti noktalarının tanımlanması, kimliklendirilmesi
- Eşlenik görüntülerin, tanımlı ilinti noktalarının kullanımı yoluyla eşleştirilmesi

- Eşlenik nokta çiftleri, fotoğraf koordinatları ve gerçek dünya koordinatları verilerinin kullanımıyla ışın demetleri dengeleme yöntemi uygulanması ve 3B nokta bulutu elde edilmesi (sanal gerçeklik)
- Eşlenik nokta çiftleri ve fotoğraf koordinatlarının kullanımı yoluyla otomatik işaretçiler oluşturulması ve işaretçi konumlarında sanal nesneler gösterilmesi (artırılmış gerçeklik)

Tezin bir diğer amacı, otomatik ilinti bölgesi ve noktası bulan algoritmaların fotoğraf alım açısı ve uzaklığından bağımsız olarak çalışabilmesidir.

Tezin bir diğer amacı da, ilinti noktalarını bulacak algoritmaların ve yapıların jenerik bir şekilde tasarlanması ve bu sayede ileride yüz verisi yerine başka bir veri kullanılmak istendiğinde, o veride yer alan nesnelerin ilinti noktalarını bulan algoritmaların sisteme modül olarak eklenip çalıştırılabilmesi, sistemin diğer işlevlerinin yeni veri ile de uyumlu çalışmasının sağlanması; veriden ve konudan bağımsız jenerik bir sistem elde edilmesidir.

1.3 Hipotez

Uzaktan algılamanın amaçlarından birisi, gerçek dünya nesneleri ile fiziksel temas kurmadan, bu nesneler hakkında görüntü ve sensör gibi araçların kullanımı yoluyla bilgi edinmektir. Nesnelere ilişkin görüntüleri kullanarak nesneler hakkında bilgi çıkarımı yapabilmek için bu nesneleri görüntüden ayırt etmeyi sağlayan ilinti bölgeleri ve ilinti noktalarının otomatik olarak bulunması gereklidir. İlinti bölge ve noktalarını bulan algoritmaların tasarlanması, nesnenin geometrik özelliklerine, rengine, dokusuna, boyutuna bağlı olarak gerçekleştirilir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu konuda geliştirilmiş yöntemlerde ve algoritmalarda, nesne özelliklerine bağlı olarak özel durumların ve koşulların ele alındığı gözlenmiştir. Gerçek dünyada yer alan tüm nesneler için çalışabilecek ilinti bölgesi ve noktası detektör ve tanımlayıcılarının geliştirilmesi mümkün olmamasına rağmen, bu adımın nesnenin tipine göre çalışacağı bir modül halinde tasarlandığı bir sistem, kolaylıkla her alana ve nesneye göre entegre edilebilir. Sunulan tez çalışmasında bilgi edinilecek nesne, insan yüzü olarak seçilmiştir ve ilinti bölgesi ve noktaları detektör ve tanımlayıcıları, insan yüzünün bir takım

özellikleri de kullanılarak geliştirilmiştir. Ancak tüm sistem içerisinde bu detektör ve tanımlayıcılar bir ara işlem olarak gerçekleştirilmiştir. Bu yönüyle sistemin, sadece ilinti bölge ve nokta detektör ile tanımlayıcılarının olduğu katmanın değiştirilmesi yoluyla, farklı alanlara da kolaylıkla uyarlanabilmesi amaçlanmıştır. Sistemin jenerik olarak tasarlanması sayesinde farklı bir alana uyarlanmasına ilişkin Ek-D’de gösterilmiştir.

İnsan yüzü üzerine bir sanal gerçeklik ya da artırılmış gerçeklik uygulaması geliştirebilmek için, bir görüntüden ya da video kamera ile alınan ardışık görüntülerden, insan yüzleri ve yüz ilinti bölgeleri ile ilinti noktaları otomatik olarak bulunmalıdır. Sunulan tez çalışmasında, yüzleri otomatik olarak bularak ve her adımda arama alanının küçültülmesi yoluyla hız kazanıp olası hataları en aza indirgeyerek, yüz ilinti bölgeleri ve bu ilinti bölgeleri içerisinde kalan ilinti noktalarını bulan algoritmalar geliştirilmiştir. Arama alanlarının her adımda küçültülmesi yoluyla, detay bileşenlerin bulunması sırasındaki hataların en aza indirgenmesi ve performansta artış sağlanması öngörülmüştür.

Artırılmış gerçeklik uygulamalarında görünen işaretçiler kullanılmasının, kullanıcıya sunulan gerçeklik izlenimini azaltmasından ötürü, işaretçilerin otomatik olarak oluşturulması ve arka planda işlenerek kullanıcıya hiç gösterilmemesi gerekliliği oluşmuştur. İşaretçilerin otomatik olarak oluşturulabilmesi için, ilinti noktalarının otomatik olarak ve yüksek doğrulukla bulunması gereklidir. Bu koşulların sağlanabilmesi için, ilinti noktalarının tüm görüntüler içerisinde değil, daha küçük arama alanları oluşturularak bu alanlar içerisinde aranması yolu seçilmiştir. Bu sayede birbirine çok benzer özellikler gösteren yüz ilinti noktaları kolayca bulunup, birbirinden ayırt edilebilmiştir.

Sanal gerçeklik oluşturmak için, her iki görüntüde de yer alan ilinti noktaları eşleştirilmeli ve görüntüler bu noktalar yardımıyla karşılaştırılmalıdır. İnsan yüzü görüntülerinde piksellerin birbirlerine çok benzer özellikler (renk, doku vb) göstermesi nedeniyle, karşılaştırma işlemi güçleşir. Bu güçlüğü aşmak için, otomatik olarak bulunan ilinti noktalarına, noktaları ayırt etmek amacıyla kullanılacak kimlik bilgileri atanır. Daha sonra kimliklendirilmiş ilinti noktaları, kimlik bilgilerinin karşılıklı eşleştirilmesi yoluyla

alıştırılır. Bu sayede görüntü eşleme işlemindeki hatalardan kaçınılacağı ve görüntü eşleme işlemi sresinin kısılacağı öngörülmektedir.

Gerçek dünya ortamında çalışan artırılmış gerçeklik uygulamaları geliştirilebilmesi için, arama alanlarını, ilinti bölgeleri ve noktalarını bulan algoritmaların, görüntü alım açısından bağımsız olarak çalışması gereklidir. Bu nedenle geliştirilen algoritmalar, hem profil görüntüleri üzerinde hem de n yüz pozları üzerinde çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Yüz ilinti noktalarının otomatik olarak bulunmasıyla başlayan süreç, hem sanal gerçeklik hem de artırılmış gerçeklik uygulamaları ile sürdürülebilir.

BÖLÜM 2

İLİNTİ NOKTALARININ BULUNMASI, SANAL GERÇEKLİK VE ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK

2.1 Otomatik Yüz İlinti Noktaları Bulma Yönteminin Uygulanabileceği Alanlar

Otomatik yüz ilinti noktası bulma yöntemleri, genel olarak bankacılık uygulamalarında, kimliklendirme uygulamalarında, yaş kontrolü yapılmasını gerektiren uygulamalarda, müşteri hizmetleri uygulamalarında kullanılmaktadır. Aşağıda bu alanlara örnekler verilmiştir:

- Elektronik bilgi kioskları
- Elektronik kilitler
- Akıllı giriş kapıları, turnikeler
- Bankamatik uygulamaları
- Ödeme terminalleri
- Müşteri tanıma uygulamaları
- Hava alanları
- Bankalar
- Bilgisayar giriş kontrolü
- Pasaport, ehliyet, kimlik uygulamaları
- Kredi kartları

- Üye takip sistemleri
- Öğrenci yurtları
- Kamu kurum ve kuruluşları
- Oteller
- Sigara satış terminalleri
- İnternet erişim güvenliği.

2.1.1 Yüz İlinti Noktaları Üzerine Geliştirilebilecek Uygulamalar

Otomatik yüz ilinti noktaları yönteminin uygulanabileceği uygulamalar aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Kimlik tanıma tabanlı uygulamalar: Üniversite öğrenci ve öğretim görevlisi giriş-çıkış kontrolü, bankamatik müşteri, kütüphane üye tanıma, jest / mimik analizi tabanlı uygulamalar, sürücü uykusu hali kontrolü, yaş sınırı kontrolü
- Artırılmış gerçeklik uygulaması

Kimlik belirleme uygulamaları, görüntü içerisinde yüzün tespit edilmesi, ardından tespit edilen yüzün kime ait olduğunun veritabanından araştırılması adımlarından oluşmaktadır. Yüz tanıma konusu hala birçok problem barındıran tam anlamıyla çözülememiş bir konudur. Literatürde bu konuda hala yaşanan sıkıntılar aşağıdaki gibi özetlenebilir [198]:

- Yüz tanıma işleminin doğruluğunun büyük oranda alınan görüntülerin kalitesine bağlı olması,
- İnsan yüzlerinin, yüz geometrisi ve ilinti bölgelerinin dağılımı açısından birbirine yüksek oranda benzer olması,
- Özellikle profilden alınan görüntülerde yüz bölgelerinin tam olarak görülememesi,
- Yaş ilerlemesi, estetik operasyonlar, yüz yaralanmaları gibi nedenlerden dolayı veritabanında kayıtlı olan yüz bilgisi ile anlık yüz bilgisinin birbiriyle uyuşmaması,

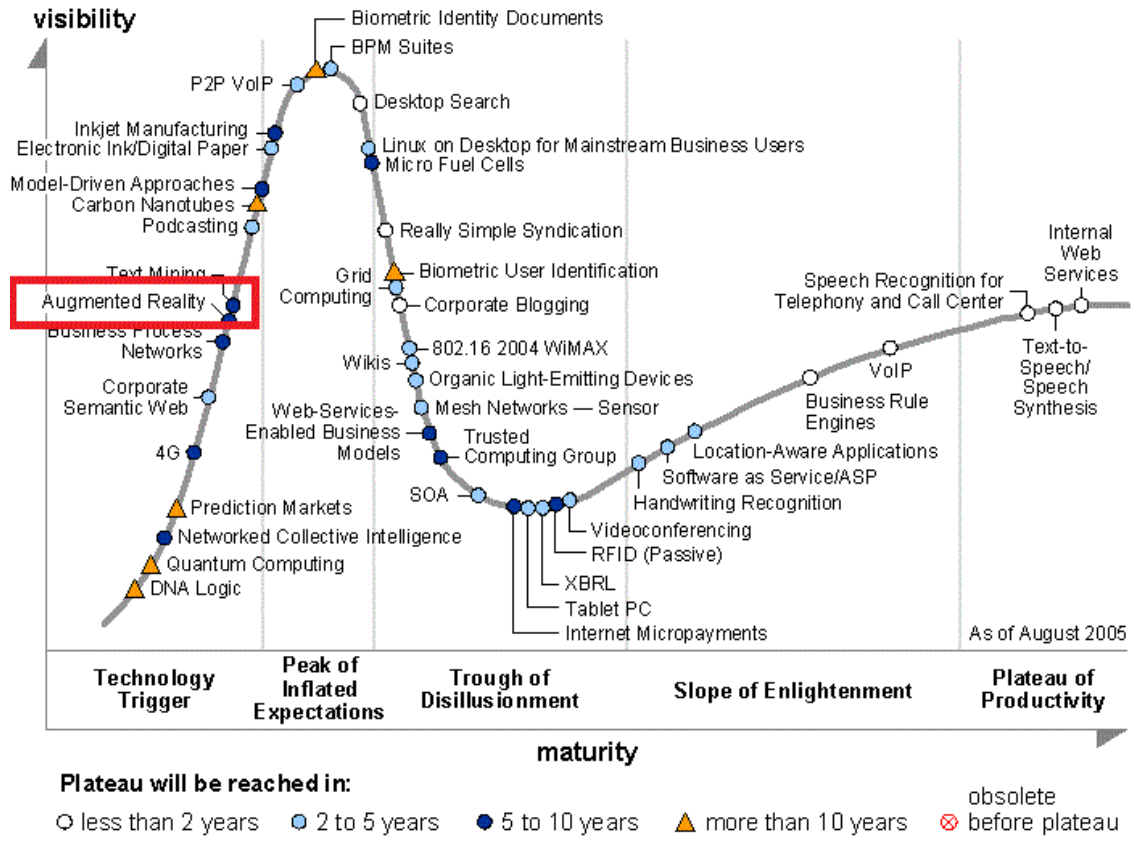
Saç, sakal, bıyık, gözlük gibi unsurların tanıma işlemine olumsuz etkisi.

2.1.2 Uygulama Konusu Seçimi

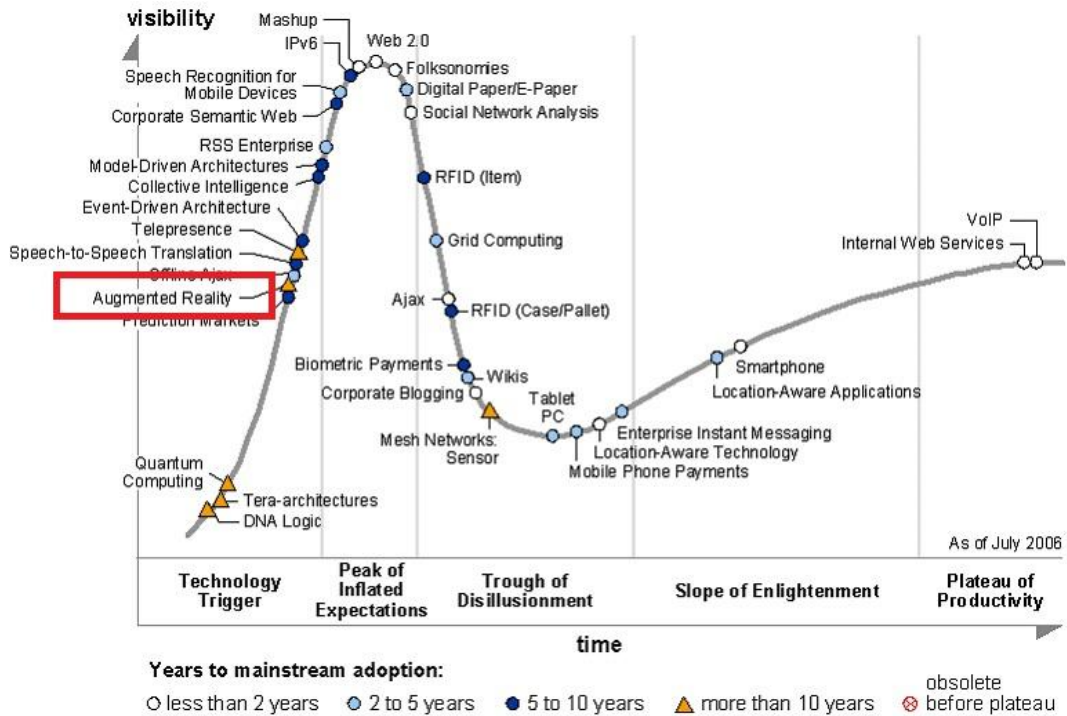
Otomatik olarak yüz ilinti noktalarının bulunması yöntemlerinin kimliklendirme uygulamalarında kullanılması, yüz tanıma konusunda yaşanan mevcut sıkıntılar ve bu sıkıntıların önemli bir bölümünün veri kalitesine, görüntü alım koşullarına ve yüzün büyük oranda değişmesine bağlı olması nedeniyle tercih edilmemiştir.

Belirtilen diğer uygulamalar, ilinti noktalarının bulunmasının ardından, jest ve mimiklerin yorumlanması ve belirlenmesi konularını da kapsamaktadır. Bu konular kendi içerisinde psikoloji alanında da çalışma yapılmasını gerekli kıldığı için, tez ana konusundan sapma yaratacağı düşünülmüştür ve tercih edilmemiştir.

Geliştirilecek uygulamaya karar veriş noktasında, bilişim teknolojisi inovasyon raporları hazırlayan Gartner firmasının 2005-2012 yılları arasında çıkardığı raporlar incelenmiş ve artırılmış gerçeklik konusunun gelişimi gözlenmiştir. Uygulama seçimi, bu yıllar boyunca gelişim gösteren ve önümüzdeki yıllarda da bu gelişimi sürdüreceği öngörülen teknolojiler arasından yapılmıştır. Bu inceleme sonucunda, artırılmış gerçeklik konusunun aranılan kriterlere uygunluğu tespit edilmiş ve uygulamanın bu konu üzerine geliştirilmesine karar verilmiştir. Aşağıdaki şekillerde incelenen Gartner inovasyon raporları görülmektedir [199]:

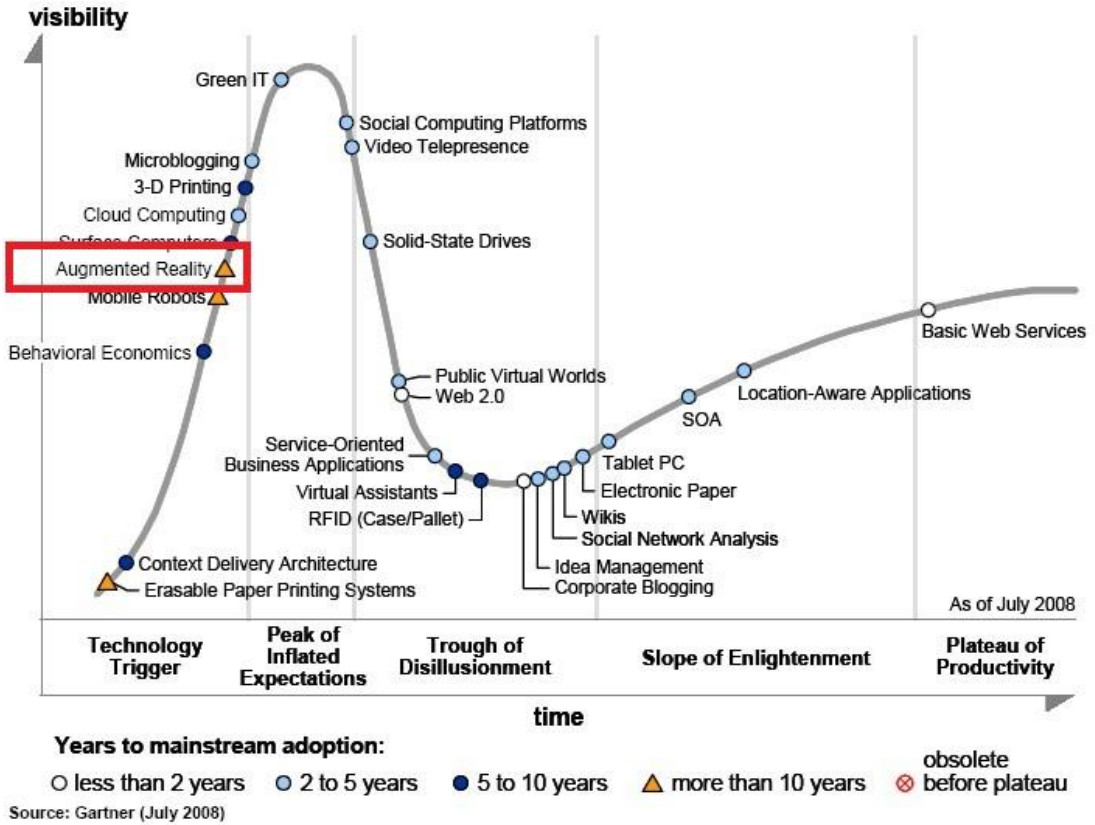


Şekil 2. 1 Gartner 2005 teknoloji inovasyon raporu [199]



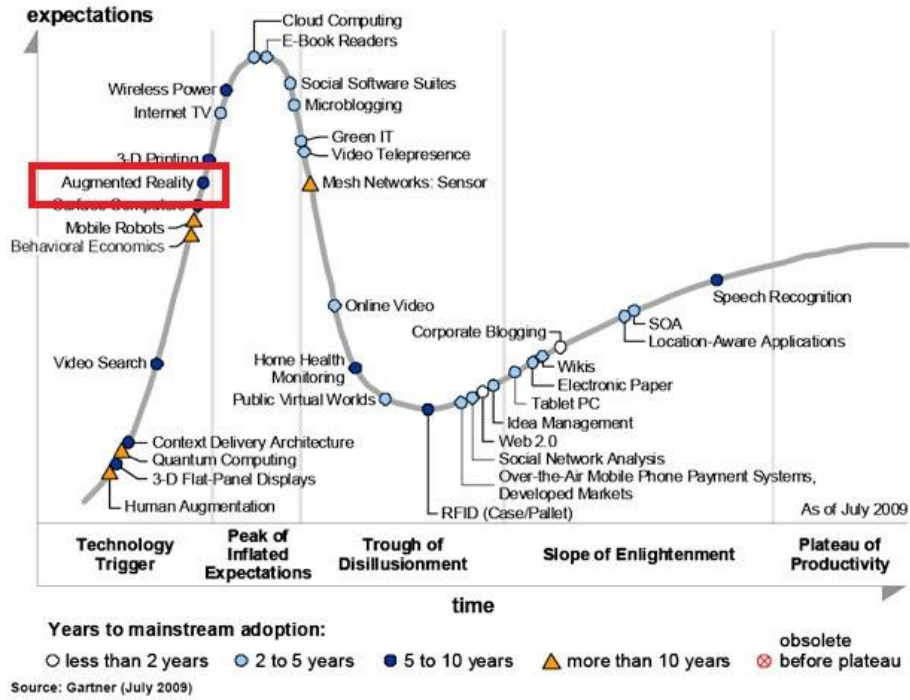
Şekil 2. 2 Gartner 2006 teknoloji inovasyon raporu [199]

Figure 1. Hype Cycle for Emerging Technologies, 2008

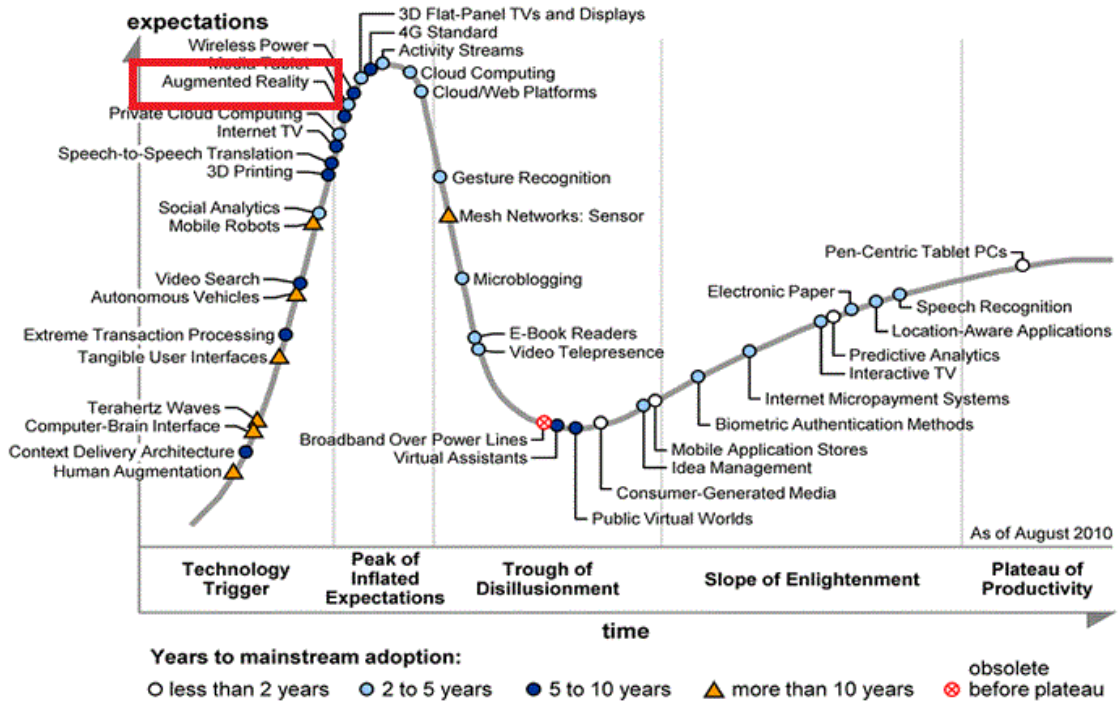


Şekil 2. 3 Gartner 2008 teknoloji inovasyon raporu [199]

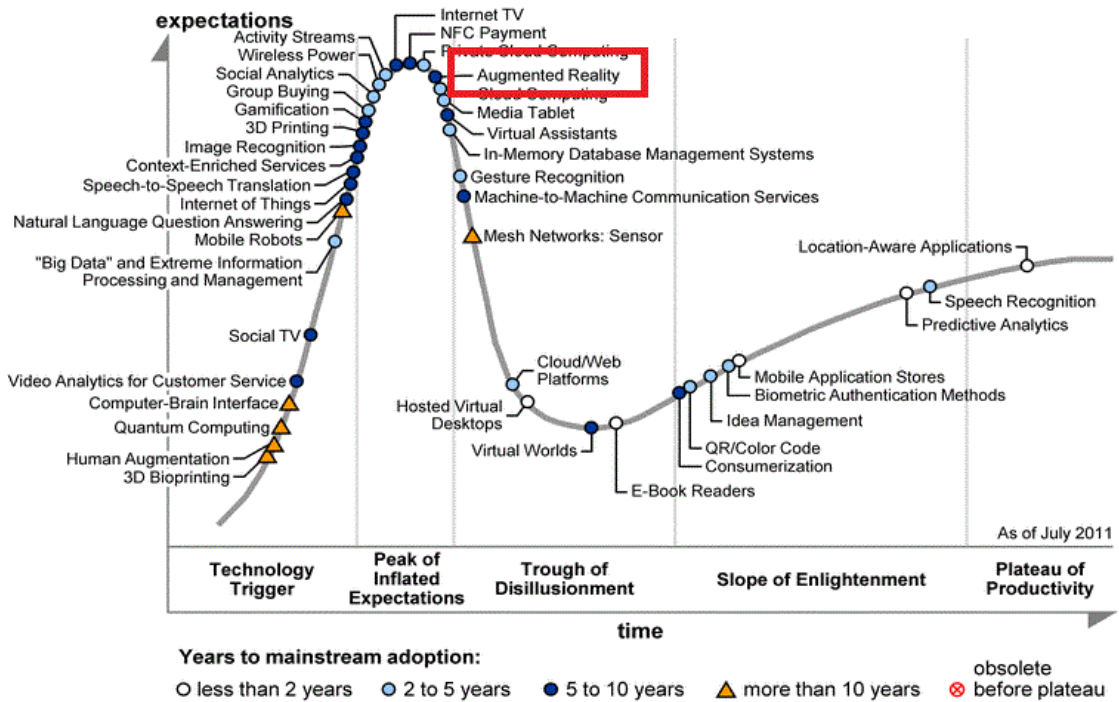
Figure 1. Hype Cycle for Emerging Technologies, 2009



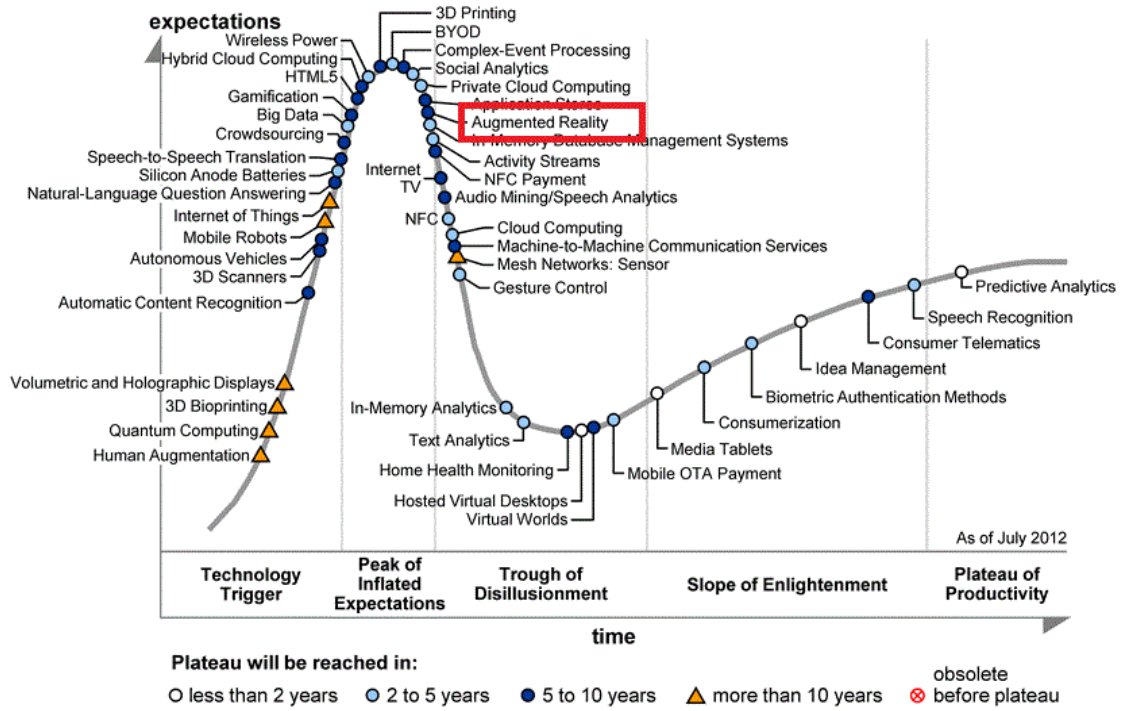
Şekil 2. 4 Gartner 2009 teknoloji inovasyon raporu [199]



Şekil 2. 5 Gartner 2010 teknoloji inovasyon raporu [199]

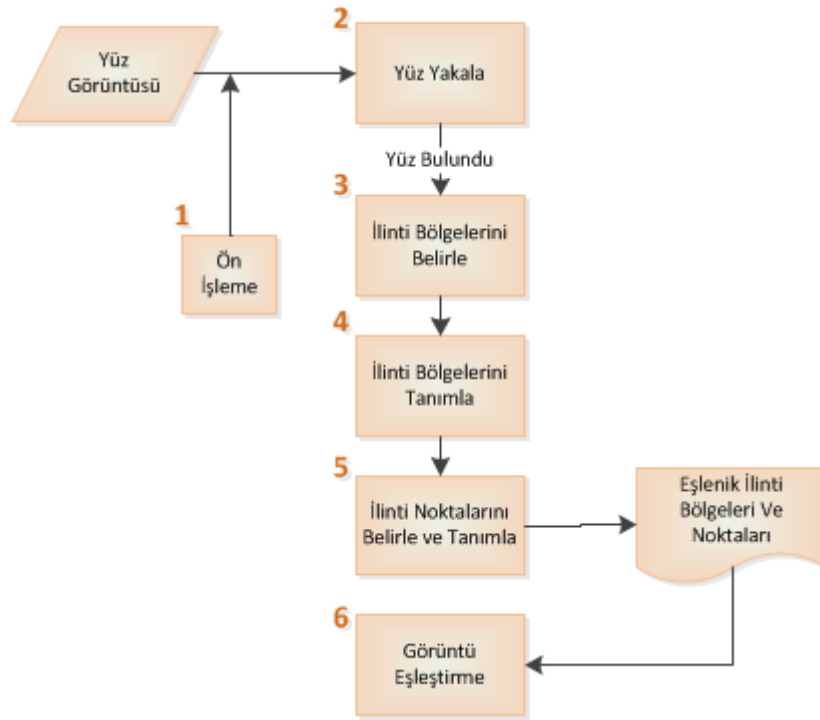


Şekil 2. 6 Gartner 2011 teknoloji inovasyon raporu [199]



Şekil 2. 7 Gartner 2012 teknoloji inovasyon raporu [199]

Geliştirilen sistem, veri ön işleme, yüz yakalama, ilinti bölgelerini belirleme, ilinti bölgelerini tanımlama, ilinti noktalarını belirleme / tanımlama ve görüntü eşleştirme olmak üzere altı ana modülden oluşmaktadır. Ön işleme modülü, diğer modüller tarafından veriler üzerinde görüntü boyutlarının değiştirilmesi, alt-piksel değerlerinin hesaplanması, görüntü kontrastlarının değiştirilmesi gibi amaçlarla kullanılan yardımcı modüldür. Sistemin girdisi bir yüz görüntüsüdür. Görüntü ilk olarak yüz yakalama modülüne iletilerek, içerisinde yüz olup olmadığı belirlenmektedir ve eğer var ise konumu bulunmaktadır. Belirlenen yüz bölgesi, tüm görüntü içerisinde çıkartılarak, izleyen modüllere görüntünün sadece üzerinde çalışılması gereken kısmı gönderilmektedir. Bulunan yüzün önden alınan bir görüntü mü yoksa profil görüntüsü mü olduğunun anlaşılabilmesi için ten rengine dayalı histogram analizleri yapılmaktadır. İlinti bölgeleri ve noktaları modülleri bu iki duruma göre farklı çalışmaktadırlar. Yüz içerisinde hangi ilinti bölgelerinin yer aldığı belirlendikten sonra bu bölgeler tanımlanmaktadır. Daha sonra ilinti noktaları modülünde, her bir ilinti bölgesine özel noktalar aranmaktadır. Elde edilen ilinti noktaları eşleştirme modülünde, eşlenik görüntülerin çakıştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 2.8' de sisteme ilişkin iş akışı gösterilmiştir.



Şekil 2. 8 Sistemin genel mimarisi

2.2 İlinti Noktası ve İlinti Bölgesi Kavramları

Stereo görüntüler, içerdikleri ortak noktasal, çizgisel ve alansal detaylar kullanılarak eşleştirilebilir. Bu eşleştirmenin yapılabilmesi için, her stereo görüntü içerisinde yer alan ilinti detaylarının ayrı ayrı bulunmuş olması ve her bir detayın tanımlanmış olması gerekmektedir. Bu sayede bir detay tüm stereo görüntüler içerisinde tanımlanmış ve elde edilmiş olacaktır. Eşleştirilmiş ilinti detayları kullanılarak stereo görüntülerin karşılaştırılması işlemi gerçekleştirilebilecektir [77].

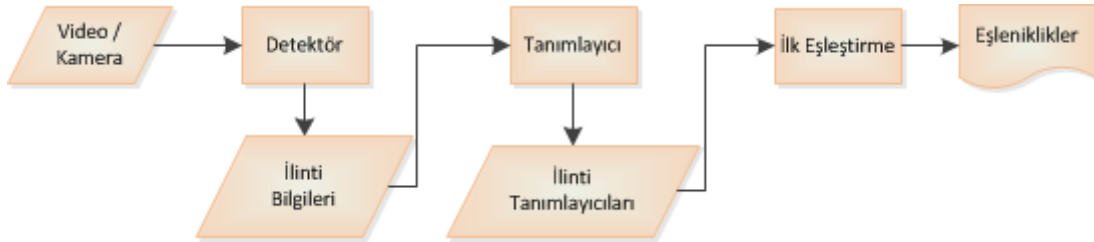
Tanım 2.1 İlinti detektörü (detector), görüntü içerisinde yer alan noktasal, çizgisel ve alansal özellikleri tespit eder. Detektörden elde edilen en önemli bilgi, özelliğin görüntü içerisindeki konumudur. Konum bilgisinin yanı sıra, ölçek, renk gibi başka karakteristik bilgiler de öğrenilebilir [78].

Tanım 2.2 Tanımlayıcılar (descriptor), bir çift stereo görüntü için belirlenmiş ilinti detayları ile görüntülerin eşleştirilebilmesi için bu detayları ilişkilendiren ve eşleştiren yapılardır [78].

İlinti detektörü, detayları ile ilgili gerekli olan bilgileri toplar ve bunlara ilişkin karakteristik özellik vektörlerini oluşturur. Bu bilgi, tanımlayıcılar tarafından

kullanılarak bir detay, diğer görüntü içerisinde aranır ve eşleştirme yapılır. Tanımlayıcılar, ölçek, dönüklük ve afin dönüşümü gibi işlemlerden etkilenmemelidir ve özelliği mümkün olabildiğince her türlü görüntü içerisinde bulabilecek kapasitede olmalıdırlar [78].

İlinti detektörleri ve tanımlayıcıların yaptığı işlemlere ait akış şekil 2.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 2. 9 İlinti yakalama ve eşleştirme iş akışı

2.2.1 İlinti Noktaları

- Görüntüler içerisindeki noktasal ilinti detaylar, ilinti noktası olarak ifade edilir. İlinti noktası, görünümü 2B olarak değişen bir nokta olarak da tanımlanabilir. Başka bir deyişle, aynı nokta tespit işlemi ile tespit edilebilen noktadır [79].

2.2.1.1 İlinti Noktası Detektörleri

- Şekil Temelli Detektörler: Öncelikle görüntüden şekilleri çıkartırlar. Sonra özel karakteristik özellikler gösteren noktaları bulurlar. Bulunan noktalar genellikle, bağlantı yerleri, kesişim noktaları, bir detaya ait uç noktalar, kıvrımların tepe noktaları gibi noktalardır.
- Yoğunluk Temelli Detektörler: Noktalar etrafındaki piksellerin yoğunluk değişimleri baz alınarak tespit edilir.
- Parametrik Model Temelli Detektörler: Noktalar, model ve şablonların görüntü ile eşleştirilmesi yoluyla bulunurlar [80].

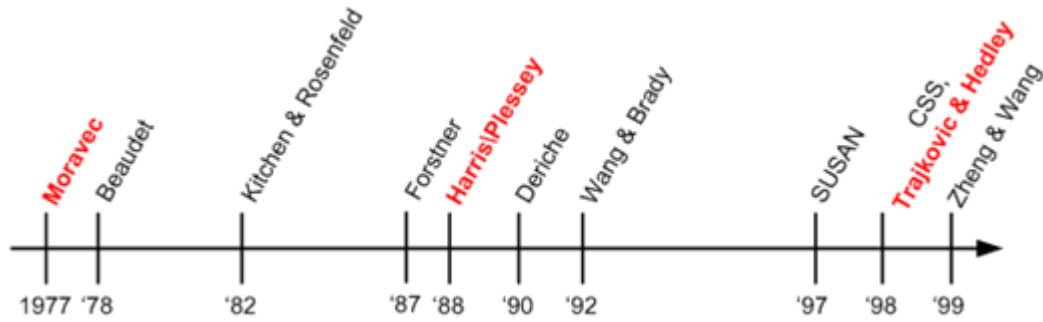
Yaygın olarak bilinen nokta detektörler ise şunlardır:

- Harris: Dönüklüklerden ve kısmi yoğunluk değişimlerinden bağımsız olarak çalışabilir. Ancak ölçeğe bağımlıdır. Ölçekten bağımsız olarak çalışan yakalayıcılar,

özellikleri tüm ölçek uzayında ararlar [81]. Harris ve Stephens tarafından 1988’de geliştirilmiştir.

- Hessian: Beaudet tarafından 1978’de geliştirilmiştir.
- Moravec: Moravec tarafından 1977’de geliştirilmiştir.
- Förstner: Förstner ve Gülch tarafından 1987’de geliştirilmiştir.
- Tomasi & Kanade: Tomasi ve Kanade tarafından 1991’de geliştirilmiştir.
- Haralick: Haralick ve Shapiro tarafından 1992’de geliştirilmiştir.
- Heitger: Heitger tarafından 1992’de geliştirilmiştir.
- Susan: Smith ve Brady tarafından 1997’de geliştirilmiştir.
- Fast: Rosten ve Drummond tarafından 2006’da geliştirilmiştir.

İlinti operatörlerinin tarihsel gelişimi şekil 2.10’ da görülmektedir.



Şekil 2. 10 İlinti operatörlerinin tarihsel gelişimi

2.2.1.2 Nokta Tanımlayıcılar

Nokta tanımlayıcılar genel olarak şu gruplar altında toplanabilirler:

- Dağılım Temelli Tanımlayıcılar: Bölgelerin karakteristik özelliklerinin gösterimi için histogram kullanılır. Bu karakteristik özellikler, piksel yoğunluğu, merkez noktadan olan uzaklıklar, yoğunlukların rölatif dizilimi ve gradyent olabilir.
- Mekan-Frekans Tanımlayıcılar: Doku sınıflandırma ve tanımlamada kullanılan tekniklerdir. Gabor filtrelemede kullanılan doku tanımlamaları MPEG7’de standart haline getirilmiştir.

- Diferansiyel Tanımlayıcılar [82]
- Momentler [82]

2.2.2 Çizgi Detaylar

Stereo görüntüler kullanılarak nesnelerin 3B yeniden oluşturulabilmesi için sadece ilinti noktaları kullanılabilir. Ancak üç ya da daha fazla sayıda görüntü kullanarak 3B yeniden oluşturma işlemi yapılıyorsa çizgisel ilinti detayların da kullanılması mümkündür [83].

2.2.2.1 Çizgi Detay Yakalama

Çizgisel ilinti detayların yakalanması, genellikle kenar tanıma ve çizgi çıkarma olarak uygulanmaktadır.

Tanım 2.3 Kenar tanıma ile ilgili olarak günümüze dek birçok çalışma yapılmış ve birçok algoritma geliştirilmiştir. Bu problemin çözümündeki anahtar nokta, yoğunluk değişimidir. Kenar tanıma algoritmaları genellikle aynı adımları izlerler. Bu adımlar şöyle sıralanabilir [84]:

- Yumuşatma
- Kenar zenginleştirme filtreleri uygulama
- Eşik değeri uygulama
- Kenar izleme

Tanım 2.4 Çizgi çıkarma işlemi birkaç farklı yoldan yapılabilir. Eğri uydurmada bilinen en iyi yöntemlerden birisi Hough dönüşümüdür. Bu dönüşümden daha basit olan başka bir yöntem ise, çizgi segmentlerini, belirli bir açı değişimi limitine göre birleştirmek ve birleştirilmiş bu segmentlerden çizgi elde edebilmek için en küçük orta noktaların karesi yöntemini uygulamaktır [85].

2.2.2.2 Çizgi Eşleştirme

Çizgiler yön, uzunluk, uzam gibi karakteristik özellikleri kullanılarak eşleştirilebilir. Eşleştirme işleminin hızı ve doğruluğunu artırabilmek için, en yakın çizgi gibi bazı

eşleştirme stratejileri de kullanılabilir. Çizgilerin gruplar halinde eşleştirilmesi, teker teker eşleştirilmelerine kıyasla daha doğru sonuç üretmektedir.

Beardsley, çizgilerin eşleştirilmesi için, hem stereo durumda hem de üç görüntünün mevcut olduğu durumda geometrik kısıtlamaları kullanmıştır [86]. Bu kısıtlamalar, eşlenik noktalar kullanılarak elde edilir. Schmid ve Zisserman ise bu fikri, hem çizgiler hem de eğriler üzerinde kullanılabilecek şekilde geliştirmişlerdir [87].

2.2.3 Bölge Detaylar

Yaygın olarak bilinen bölge detektörleri şunlardır:

- Harris & Affine
- Hessian & Affine
- En büyük durağan bölgeler (MSER, Maximally Stable Extremal Region)
- Salient
- Kenar tabanlı bölgeler (EBR, Edge Based Region)
- Yoğunluk tabanlı bölgeler (IBR, Intensity Extrema Region)

Detektör ve tanımlayıcıların karşılaştırılması, çizelge 2.1' de görülmektedir.

Çizelge 2. 1 İlinti operatörlerinin karşılaştırılması

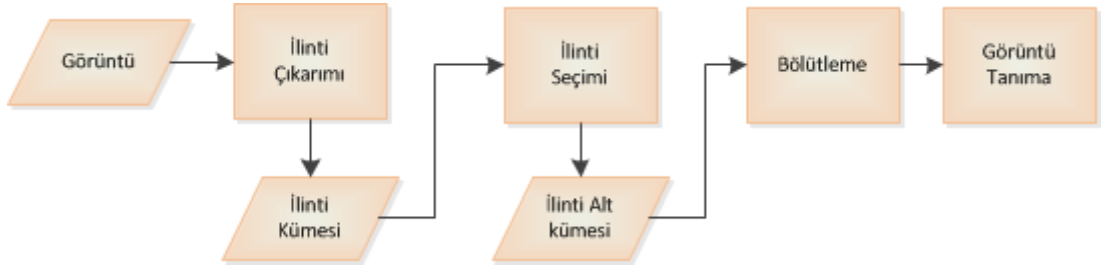
OPERATÖR	YAKALAMA ORANI	KONUMLAN DİRMA	TEKRARLAMA ORANI	GÖRÜNTÜYE DAYANIKLILIK	HIZ
Moravec	Kabul edilebilir	İyi	Kabul edilebilir	Kabul edilebilir	İyi
Förstner	İyi	İyi	Afin dönüşümler için mükemmel, ölçekleme için kabul edilebilir	İyi	Zayıf
SUSAN	İyi	Bulanık görüntülerde kötü, diğer görüntülerde çok iyi	Ölçekleme için iyi, afin dönüşümler için zayıf	Mükemmel	İyi
Beaudet	Kabul edilebilir	Kabul edilebilir	Ölçekleme için zayıf, afin dönüşümler için iyi	Zayıf	İyi
Kitchen & Rosenfeld	Kabul edilebilir	Kabul edilebilir	Kabul edilebilir	Kabul edilebilir	Zayıf
Plessey	İyi	L birleşmeler için iyi, diğerleri için zayıf	Afin dönüşümler için mükemmel, ölçekleme için zayıf	Kabul edilebilir	Zayıf

2.3 Görüntü Tanıma

Görüntü tanıma süreci aşağıda belirtilen temel öğelerden oluşmaktadır:

- İlinti detay çıkarımı,
- İlinti detay seçimi,
- Bölütleme.

Bu temel öğelerin yanında, bazı durumlarda gürültü azaltma, ön vurgulama, histogram eşitleme, parlaklık ayarlama gibi ön işlemlerin yapılması gereklidir [88].



Şekil 2. 11 Görüntü tanıma süreci iş akışı

İlinti detayı, temel olarak görüntüye dair ölçülebilir ya da gözlenebilir bilgidir. İlinti detay çıkarımı, ilgi alanına girmeyen ve fazla nitelik taşıyan bilginin elenerek geriye sadece görüntünün karakteristik özelliklerinin elde edilebilmesini sağlar. Gereksiz bilgilerin elenmesi, tanıma işleminin süresini kısaltmak açısından da büyük önem taşımaktadır. Eğer bir görüntü birden fazla detay ile temsil ediliyorsa, tek bir ilinti detay yerine bir ilinti detayları kümesi söz konusudur. Örneğin yüz üzerinde bulunan ilinti detayları, birden fazla sayıdadır ve bir küme ile ifade edilirler. d adet ilinti detaydan oluşan bir küme, d -boyutlu ilinti detay vektörü ile temsil edilir. Detayların içinde bulunduğu d -boyutlu R_d uzayı ise ilinti detay uzayı olarak adlandırılır [89]. Görüntülere ait ilinti detaylar, nicel ya da nitel olabilir. Yine yüz bölgesi üzerinden düşünecek olursak, görüntü içerisinde ölçülen dudak bölgesinin uzunluğu nicel, görüntünün hangi pozlama ile alındığı bilgisi ise nitel bir bilgidir.

İlinti detay çıkarma işleminde, görüntü hakkındaki ilgisiz bilgilerin elenip karakteristik nitelik taşıyan ilinti detayların elde edilmesiyle belli oranda boyut indirgeme sağlanmaktadır. İlinti detay seçiminde ise çıkarılmış olan detayların ayırt edicilikleri çeşitli yöntemlerle incelenerek mevcut ilinti detay kümesinden daha ayırt edici bir altküme bulunması amaçlanmaktadır.

Bilinmeyen bir görüntüyü tanıyabilmek için ilinti detay çıkarımı ve detay bileşen seçiminin ardından bu detayları birbirinden ayırt edebilmeyi sağlayacak bölütleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bölütleme için, hangi gruba ait olduğu önceden bilinen belirli sayıdaki ilinti detay vektörünün oluşturduğu veri kümeleri bir eğitim sürecinden geçirilir. Bu eğitim sonucunda, bilinmeyen görüntüyü uygun gruba atmakta kullanılan bir karar kuralı ya da mekanizması oluşturulur. Bu eğitim kümesi ve birtakım öncül olasılıklar yardımıyla gerçekleştirilen bir bölütleme yaklaşımı kontrollü bölütleme

olarak isimlendirilir. Herhangi bir öncül bilgi ve eğitim kümesi kullanılmadan gerçekleştirilen grupta ise kontrolsüz bölütlemedir [90].

2.3.1 İlinti Detay Çıkarımı

İlinti detay çıkarımı, en basit ifadeyle bir boyut indirgeme işlemidir. Bölütlenilecek bir görüntü genellikle çok fazla miktarda ve gereksiz bilgi içerir. Bu durum, bölütleme doğruluğunu düşürürken işlem süresini de yükseltir. Bu olumsuzluğu gidermek için, görüntü bilgisi daha düşük miktardaki başka bir veriye dönüştürülür. Görüntüye ait fazla ve gereksiz verinin elenerek, sadece görüntüyü temsil eden ve toplam veriden çok daha az sayıdaki karakteristik bilginin elde edildiği bu dönüşüm ilinti detay çıkarımı olarak adlandırılmaktadır. Karakteristik özelliklerin çıkarımı, görüntü tanıma sistemlerinin kritik aşamalarından biridir. Çıkarılan detayların ayırt edici ve mümkün olduğunca az sayıda olması, tanıma işleminin daha basit bölütlendiricilerle, daha yüksek doğrulukla ve daha kısa sürede gerçekleştirilmesini sağlar.

İlinti detay çıkarımı için kullanılacak yöntem, problem alanına bağlıdır. Görüntü tanıma problemlerinde, bir görüntünün tamamı yerine, görüntünün spektrum analizi bilgileri ve görüntüye ait renk, parlaklık, köşe ve kenar gibi bilgiler ilinti detay kümesini oluşturabilir [91]. Problem alanı için mantıksal ya da algoritmik bir ilinti detay çıkarım yöntemi bulunmadığı durumlarda Temel Bileşen Analizi (TBA, Principal Component Analysis) gibi boyut indirgeme yöntemlerinden faydalanılabilir [90].

2.3.2 İlinti Detay Seçimi

İlinti detay seçim işleminde, önceden tanımlanmış bir ilinti detay kümesi içerisinde ayırt edici detaylar seçilip ilgisiz olanlar elenerek başlangıçta tespit edilen kümeye kıyasla daha yüksek ayırt ediciliğe sahip ve daha düşük boyutlu bir altküme bulunması hedeflenir [88].

Detay seçimiyle sağlanan boyut indirgeme sayesinde hem işlem süresinden hem de görüntü tanıma uygulamasının çalıştırılacağı sistem belleğinden tasarruf edilir. İlinti detay kümesi boyutunun artırılması, başlangıçta bölütleme doğruluğunu da artırmaktadır, ancak belli bir noktadan sonra eğitim kümesindeki veri seyrekliğinin

çoğalmasıyla dağılımlar iyi temsil edilemez hale gelir. Bu durum sonucunda da, bölütleme başarı oranı düşer. Detayların sayısındaki başarıyı olumsuz yönde etkileyen bu artış, boyutun laneti olarak isimlendirilmiştir [88]. İlinti detay kümesi boyutuyla eğitim kümesindeki örnek sayısı arasında uygun bir denge sağlanmalıdır. Jain ve Chandrasekaranyaptıkları bir çalışmada [92], eğitim kümesindeki örnek sayısının, ilinti detay kümesi boyutunun en az 5 ila 10 katı kadar olması gerektiği vurgulanmıştır. Bu yüzden, ilinti detay seçim işlemi, sınırlı sayıda örneğe sahip veritabanlarında bu dengeyi sağlayabilmek açısından oldukça önem taşımaktadır [88].

İlinti detay seçimi için literatürde süzgeçlemeden, sarıcı yaklaşımlara kadar [93] birçok yöntem bulunmaktadır. Tam Kapsamlı Arama [94] ve Dallanma ve Sınırlama algoritması (Branch and Bounding Algorithm) [94, 95], en iyi ilinti detay altkütmesine ulaşmayı garantileyen yöntemlerdir. Ancak, iki yöntem de küçük ve orta büyüklükteki ilinti detay kümeleri için bile oldukça yüksek zaman maliyetlidir. Zamanın önemli olduğu uygulamalarda, daha kısa sürelerde sonuç veren alt en iyi detay seçim yöntemleri tercih edilmektedir. Bu yöntemler arasında, bireysel en iyi ilinti detay seçimi, Ardışık İleri Yönde Seçim (Sequential Forward Selection) [95], Ardışık Geri Yönde Seçim (Sequential Backward Selection) [96], Artı I-Çıkar r Seçim (Plus I-Minusr) [97], Ardışık İleri Yönde Kayan Seçim (Sequential Forward Floating Selection), Ardışık Geri Yönde Kayan Seçim (Sequential Backward Floating Selection) [98] ve Genetik Seçim [99, 100] sayılabilir.

İlinti detay seçim yöntemleri, detayların ilgililiğine ya da ilgisizliğine karar verebilmek için bir ölçüt fonksiyonu (ayrılabilirlik ölçüsü) kullanır. Bu ölçütlere örnek olarak, hatalı bölütleme olasılığı ve uzaksaklık, dönüşmüş uzaksaklık, bhattacharyya, jeffries-matusita gibi olasılıksal uzaklık ölçüler [101, 102] verilebilir [88].

2.3.3 İlinti Detay Bölütleme

Bölütleme, içeriği bilinmeyen bir görüntünün, bir karar mekanizması (sınıflandırıcı, gruplandırıcı) kapsamında detayların kullanılması yoluyla hangi gruba ait olduğunun belirlenmesi şeklinde tanımlanabilir. Görüntü tanıma sistemlerinin başarısı, bölütleme biriminin başarısına büyük oranda bağlıdır [88].

Sıklıkla kullanılan bölütleme yöntemleri arasında, Bayes, doğrusal bölütleyiciler, doğrusal olmayan bölütleyiciler, yapay sinir ağları, Saklı Markov Modeller (SMM, Hidden Markov Model), çekirdek yöntemleri, karar ağaçları ve topak analizi [101, 102, 103] sayılabilir. Seçilecek olan bölütleme yöntemi, görüntünün çeşidine, görüntüden elde edilen detayların yapısı ve sayısına, işlem süresi ve karmaşıklığına bağlıdır ve seçim de bu gereksinimler göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

İzleyen bölümlerde noktasal detayları, “ilinti noktası” olarak, alansal detaylar “ilinti bölgesi” olarak adlandırılacaktır.

2.4 Veri Seti Seçimi

Yüz ilinti bölgesi ve ilinti noktası bulma tekniklerinde, yöntemin teorisinin üzerinde durulması, veri farklılıklarından ve veri bozukluklarından kaynaklanan sayısal değer farklılıklarıyla uğraşmaması için, genellikle sabit bir yüz veritabanı kullanılmıştır. Literatürde, yüz üzerine geliştirilecek uygulamalarda kullanılabilecek nitelikte standart özelliklere sahip birçok yüz veritabanı bulunmaktadır [104]. S. Eser “Yapay Sinir Ağları İle Yüz Sezimi ve Takibi” isimli tez çalışmasında [105], Harvard ve MIT CBCL yüz veritabanlarını; H. Gu, vd. “Feature Points Extraction from Faces” isimli çalışmalarında [106], Tsinghua Üniversitesi tarafından hazırlanan 270 kişinin 7 farklı yüz görüntüsünü içeren yüz veritabanını; İ. Ar “Videolarda İnsan Eylemlerinin Tanınması” isimli seminer çalışmasında [107] IXMAS veritabanını kullanılmıştır. Sunulan tez çalışmasında kapsamında Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü tarafından hazırlanmış Bosphorus veritabanı [108] kullanılacaktır.

2.4.1 İncelenen Yüz Veritabanları

İncelenen yüz veritabanları aşağıdaki gibidir :

- Put Face Database [109]
- Face Database of The Max Planck Institute [110]
- MUCT Face Database [111]
- BioID Face Database [112]

- Bosphorus Face Database

Tez çalışmasının son bölümünde 3B nokta grubunun elde edilebilmesi için, yüz görüntüleri üzerinde tespit edilen ilinti noktalarının 3B koordinat bilgilerine gereksinim duyulmuştur. İncelenen veritabanları bu husus da göz önünde bulundurularak ele alınmış ve veri seti içerisinde bu bilgiyi de barındıran Bosphorus veritabanının kullanılmasına karar verilmiştir.

Boğaziçi Üniversitesi'nin yüz yakalama çalışmalarında kullanmak üzere oluşturduğu bir veritabanıdır. 104 farklı kişiye ilişkin toplam 4666 tane PNG formatında yüz görüntüsü içermektedir. Görüntüler, Inspeck Mega Capturor II 3B yapısal-ışıklı 3B sayısallaştırıcı cihaz ile 1600x1200 çözünürlüğünde sabit 1000W'lık halojen lamba altında alınmıştır. Her bir görüntüye ilişkin olarak yüz ilinti noktalarının 2B resim koordinatları ve 3B model koordinatları ayrı ayrı dosyalarda sunulmaktadır. Veritabanı içerisindeki yüz resimlerinden bazıları yayınlanabilir bazıları yayınlanamaz olarak belirtilmiştir. Tez çalışması kapsamında yayınlanabilir olarak sunulan test verileri kullanılacaktır.

2.4.2 Bosphorus Veri Tabanının Diğer Yüz Veri Tabanlarından Farkları

Bosphorus 3B yüz veritabanı, üç farklı açıdan diğer veritabanlarından farklılık göstermektedir [113]:

- Altı temel mimik ifadesine ek olarak, başın farklı doğrultulardaki hareketleri de göz önünde bulundurularak bir veritabanı oluşturulmuştur. Daha gerçekçi verinin oluşturulabilmesi için çok sayıda model kullanılmıştır.
- Farklı duruşlarda baş pozları alınarak veri grubunun zenginleştirilmesine dikkat edilmiştir.
- Farklı tiplerde çakışmaları ve örtme durumları da veritabanına eklenmiştir.

Bu özellikleri ile veritabanının, farklı koşullar altında yüz tanıma için yapılan çalışmalarda ve algoritmalarda kullanılabileceği belirtilmiştir. Veritabanı, çeşitli pozlar, mimikler ve çakışma/örtüşme durumlarından oluşan 81 örnek içermektedir. Erkek kişilerin pozlarında, sakal ve bıyık gibi birimler de bulunmaktadır. Modellerin büyük çoğunluğu, 25-35 yaşları arasındadır. Toplamda 51 erkek ve 30 kadın model

bulunmaktadır. Toplamda 3396 adet yüz taramıştır. Her bir tarama, burun ucu, göz iç köşeleri gibi taramada görülen 24 nokta el ile etiketlenmiştir.

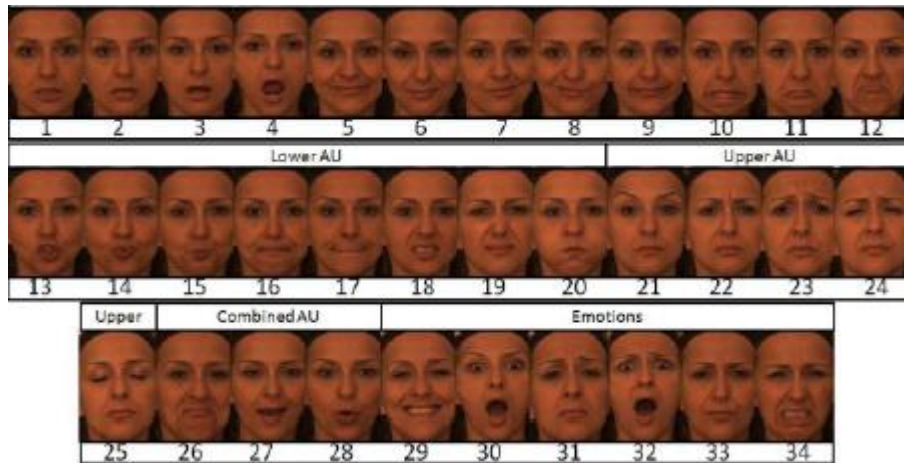
2.4.3 Bosphorus Veritabanı Sürümleri

Bosphorus veritabanının şu anda iki sürümü bulunmaktadır [113]:

- Bosphorus v.1: Bu sürümde, 10 yüz ifadesi, 13 poz, 4 çakışma/ örtüşme ve 4 doğal yüzden oluşan 34 farklı örnek yer almaktadır; toplamda her örnek için 31 tarama vardır.
- Bosphorus v.2: Bu sürüm, hem mimiklerin belirlenebilmesi hem de yüz tanıma için geliştirilmiştir. Toplamda 34 mimik, 13 poz, 4 çakışma ve 1 ya da 2 doğal yüz mevcuttur.

2.4.4 Yüz İlinti Noktaları, Mimikler ve Farklı Açılardan Alınmış Görüntüler

Şekil 2.12' de modellerden birisine ilişkin farklı mimiklerde alınmış görüntüler görülmektedir. Mimikler sırasında yüz içerisinde kalan ilinti bölgelerinin konumlarının değişmesi nedeniyle, tez kapsamında mimik ifade eden görüntüler kullanılmamıştır.



Şekil 2. 12 Bosphorus veritabanından bir örnek: Mimik değişimleri

Şekil 2.13' te, başın farklı açılardaki duruşuna göre alınmış görüntüler görülmektedir. Tez kapsamında ağırlıklı olarak üzerinde çalışılan veriler, bu görüntülerdir.



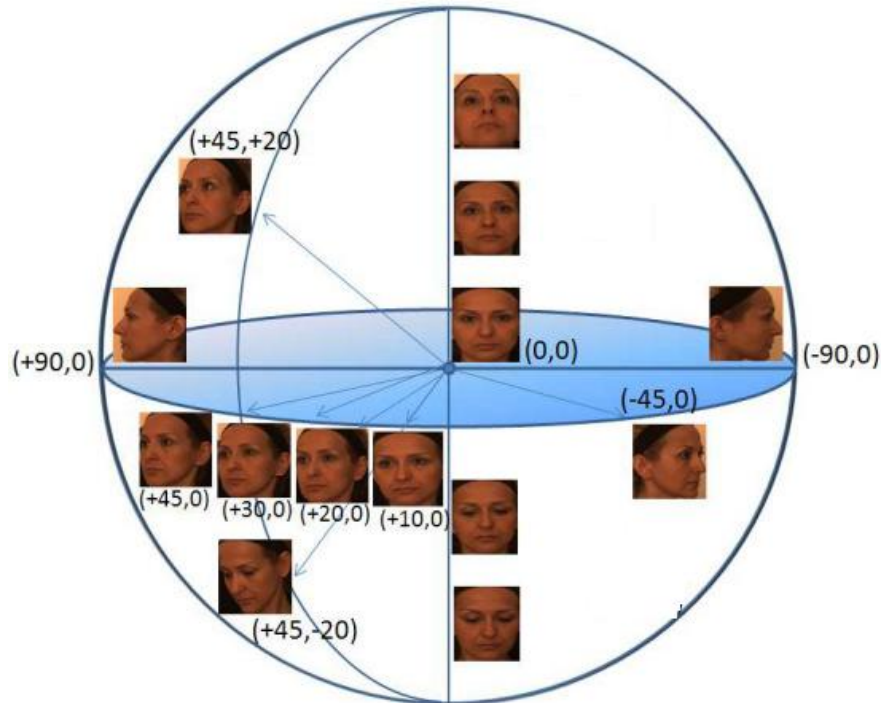
Şekil 2. 13 Bosphorus veritabanından bir örnek: Baş doğrultu değişimleri

Yüz ilinti bölgelerinin örtülmesi ve çakışmaları içeren görüntüler şekil 2.14' de verilmiştir.



Şekil 2. 14 Bosphorus veritabanından bir örnek: Çakışmalar ve örtmeler

Başın farklı açılardaki konumları, şekil 2.15' te gösterilmiştir.



Şekil 2. 15 Bosphorus veritabanından bir örnek: Alım açıları

Bosphorus veritabanının bilinen veri kalitesi problemleri aşağıdaki gibi belirtilmiştir, [113]:

- Hareketler: Görüntülerin, ortalama bir saniye içerisinde alınması nedeniyle, örneklerin yüzlerinin hareketi, bazı veri bozulmalarına yol açabilmektedir. Bu bozulmaların önlenmesi için, modelin hareketlerini engelleyecek ve sabit durmasını sağlayabilecek bir sistem sağlanmıştır, ancak nefes alma, kas hareketleri gibi doğal hareketler de bu tür bozulmalara neden olabilmektedir.
- Saçlar ve gözler: Saç ve yüz üzerindeki bıyık sakal gibi bölgelerde yer alan veriler, görüntülerde keskin gürültülerin oluşmasına neden olur. Sivri yüzeyler, göz üzerindeki bölgelerde de oluşabilir. Basit yumuşatma işlemleri ile bu gürültülerin giderilmesi mümkündür.
- Modelin kendi üzerinde çakışmaları: Alım açıları nedeniyle toplanan veride boşluklar yer alabilmektedir. Bunların giderilmesi için herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

Yüzey devamsızlıkları: Bu tür problemler, dudak açık olduğu durumda dudak içerisinde ya da çakışma içeren yüz taramalarında görülmektedir. Bu nedenle bu süreksizlik bölgelerinde derinlik değerlerinin elde edilmesi hatalı sonuçlar üretebilmektedir. Bu gibi hatalar el ile düzeltilmiştir.

2.4.5 Veri Seti Kısıtlandırmaları

Sunulan tez çalışmasında öncelikli amacın, yüz içerisindeki ilinti bölge ve noktalarının tespit edilebilmesi için yeni algoritmalar geliştirilmesi olması nedeniyle, kullanılan veri seti üzerine birtakım kısıtlamalar getirilmiştir. Bu kısıtlamalar, tez çalışması kapsamı dışında kalan özel durumlardır. Bu durumlar aşağıda belirtilmiştir:

- Yüzün belirli bölümlerinin, gözlük, kişinin kendi eli vb bir nesne ile kapatılmış olması.
- Farklı mimikleri içeren pozlar.
- Epipolar geometri kullanımına çok uygun olmayan, büyük açı farkları ile alınmış görüntüler.

- Çok esmer insanlara ait görüntüler.

2.4.6 Veri Ön İşleme

Görüntüler üzerinde oluşan birtakım hatalar, görüntülerin bir ön işleme işleminden geçirilmesi ile giderilmiştir. Örneğin, kontrastı çok düşük olan görüntünün kontrast değerinin istenen düzeylere getirilmesi, algoritmanın daha sağlıklı sonuçlar üretmesini sağlamıştır.



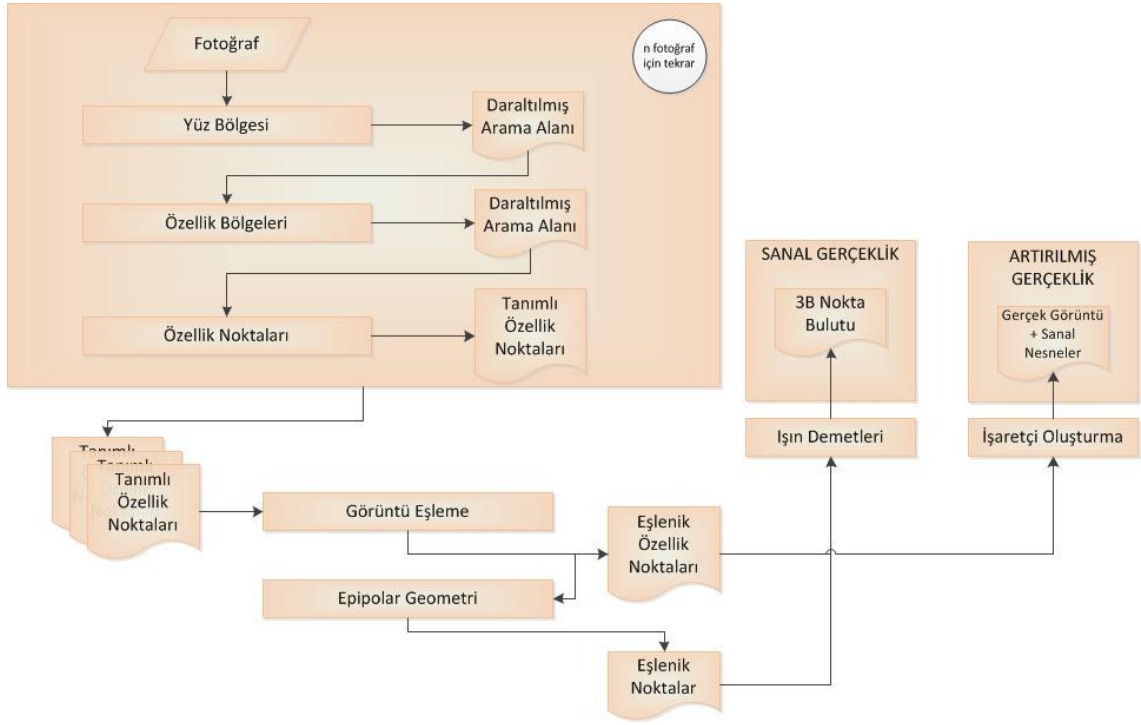
Şekil 2. 16 Veri ön işleme aşamaları

Benzer şekilde, çekimler sırasında ışık kaynaklı nedenler ile oluşan parlama gibi durumların da bir ön işleme işlemi ile giderilmiştir.

Ön işleme algoritmaları, tamamen doğruluk derecelerinin artırılması ve görüntülerin belirli bir standardizasyona sahip olabilmesi adına gerçekleştirilen işlemlerdir. Sunulan çalışmada bu modüller isteğe bağlı ön işleme işlemleri için eklenmiştir.

2.5 Sisteme Genel Bakış

Tez kapsamında geliştirilen algoritmaların ve öne sürülen hipotezlerin, uygulamalar ile olan bağlantısı şekil 17’ de gösterilmiştir:



Şekil 2. 17 Algoritma ve hipotezlerin uygulamalar ile bağlantısı

2.6 Yüz Yakalama

Ön işleme sonrası elde edilen görüntüler üzerinde ilinti bölgeleri ve noktalarının bulunmasına dair yapılan diğer işlemlerde yüz geometrisi de önem kazanmaktadır. Bu amaçla yüz geometrisine ilişkin bilgi edinilmesi de gereklidir.

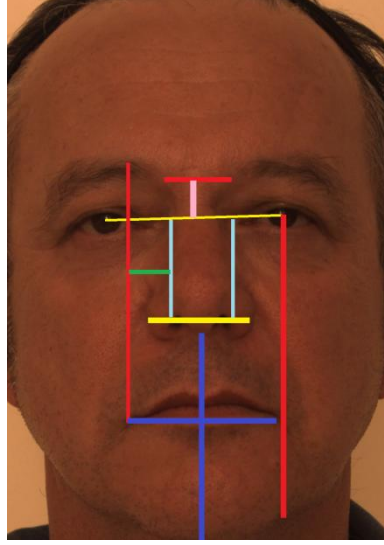
2.6.1 Yüz Geometrisi

Yüz bölgesinde belirli bir çok noktanın birbirine olan uzaklıklarının oranı altın oran değerini vermektedir. Buna bağlı olarak, yüz içerisindeki detayların yüz bölgesi içerisine rastgele olarak değil belirli kurallar dahilinde yerleştiği söylenebilir. Yüz bölgesinde altın oran değeri olan 1.618 oranının bulunduğu noktalardan bazıları şunlardır:

- Yüzün boyu / Yüzün genişliği,
- Dudak- kaşların birleşim yeri arası / Burun boyu,
- Yüzün boyu / Çene ucu-kaşların birleşim yeri arası,
- Ağız boyu / Burun genişliği,
- Burun genişliği / Burun delikleri arası,

- Göz bebekleri arası / Kaşlar arası.

Şekil 2.18' de yüz içerisinde altın oranının bulunduğu bazı noktalar gösterilmiştir.



Şekil 2. 18 Yüz ilinti bölgeleri arasındaki oranlar

Baş bölgesine ilişkin belirli oranlar da vardır; bu oranlardan bazıları aşağıda listelenmiştir:

- Gözler başın yüksekliği boyunca tam orta kısımda yer alırlar.
- Ağız, çene ve burun genişliği birbirine oldukça yakın ya da eşit değerlerdir.
- Her bir gözün genişliği yüz genişliğinin $2/5$ katı kadardır.
- İki göz arasındaki uzaklık bir gözün uzunluğu kadardır.
- Göz bebeği bulunduktan sonra yüzde bulunan oranlara göre diğer tüm ilinti noktaları bulunur.

İlinti noktalarını bulmada kullanılan bazı oranlar aşağıda listelenmiştir:

- Baş yüksekliği kadınlarda 7 birim erkeklerde 7.5 birim olarak ölçeklenmiştir.
- Gözler baş yüksekliğinin yaklaşık olarak yarısı uzunluğunda bulunmaktadır.
- Baş genişliği kadınlarda ve erkeklerde 4.5 birim olarak ölçeklenmiştir.
- Gözlerin ve burnun genişliği 1 birim uzunluğundadır.

- Dudak çene arası yükseklik kadınlarda 1.3 birim erkeklerde 1.5 birim uzunluğundadır [114].

2.6.2 Yüz Yakalama Süreci

Ten süzgeci ile renkli görüntü üzerinde önce ten rengine yakın bölgelerin belirlenmesi ve bunun sonucunda elde edilecek siyah-beyaz görüntü üzerinde eşiklendirme ve matematiksel morfoloji işlemleri karışımından oluşan bir yöntemle yüz bölgelerinin tespit edilebilmesi mümkündür [115]. Benzer şekilde ten süzgeci kullanan bir başka çalışma da Menser [117] tarafından önerilmiştir. Menser ten süzgeci uyguladığı görüntü üzerinde daha sonra temel bileşenler çözümüyle yöntemi kullanarak sonuca ulaşmıştır. Yang [118], ten süzgeci uygulanmış görüntü üzerinde eliptik olan bölgelerin seçilmesini ve bu seçilen bölgeler üzerinde yüz öğelerinin (göz, ağız vs.) aranmasını önermiştir. Bu çalışmalar renk bilgisinin kullanıldığı yöntemler içermektedir. Renk bilgisi kullanmadığı halde başarılı sonuçlar üretmiş çalışmalar da bulunmaktadır [33]. Gri düzeyi görüntüler üzerinde işlem yapan bu çalışmalardan biri Rowley [119] tarafından önerilen ve sinir ağları kullanan yöntemdir. Sinir ağları kullanıldığında iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmiş ancak bu yöntemin çok fazla sistem kaynaklarını kullandığı tespit edilmiştir [33].

Sunulan çalışmada yüz yakalama için sınıflandırıcılar ve ten rengi filtreleme yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Yüzün gösterdiği geometrik özelliklere göre aramalar yapan sınıflandırıcıların başarısız olduğu durumlarda, ten rengi analizi yapılarak yüz yakalanmaya çalışılmıştır. Yüz yakalama işlemi ilk olarak, Viola ve Jones [120] tarafından geliştirilen ve anahtar detay bileşenlerin kullanımına dayanan, oldukça hızlı sonuç verebilen anahtar detay bileşen bölütlendiricileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin başarısız olduğu durumlarda, ten rengi piksellerinin filtreleneceği yöntemi uygulanmıştır. Yapılan testler sonucunda Viola-Jones yönteminin kullanılan eğitim setine de bağlı olarak özellikle profil görüntülerinde başarısız olduğu saptanmıştır. Testler sırasında, Haar Bölgelerinin (Haar Regions) [121] yalnızca ön poz görüntülerde başarılı olduğu, profil poz görüntülerinde başarısız olduğu görülmüştür. Bu nedenle, özellikle profil poz görüntülerinde ilinti bölgelerinin yakalanabilmesi için ten rengi

analizi, Haar Bölgeleri yöntemine entegre edilmiştir. Böylelikle aşağıda listelenen yüz geometrisi kuralları uygulanarak görüntüde yüz olup olmadığı tespit edilmiştir.

- Ön poz yüz görüntüler için ikişer tane kaş ve göz bölgesi, birer tane burun ve dudak bölgesi bulunmalıdır,
- Profil pozu yüz görüntüleri için tüm ilinti bölgelerinden birer tane bulunmalıdır,
- İlinti bölgeleri yukarıdan aşağıya doğru kaş-göz-burun-dudak şeklinde sıralanmıştır,
- Ön poz yüz görüntülerinde burun bölgesi iki göz ve kaş bölgesinin arasında ve dudak bölgesinden daha küçük alan kaplayacak şekilde bulunmaktadır,
- Profil pozu yüz görüntülerinde burun bölgesi poz yönüne göre göz ve kaş bölgesinin solunda ya da sağında ve yine dudak bölgesinden daha küçük alan kaplayacak şekilde bulunmaktadır.

Burada seçilen Haar Bölgeleri görüntü içerisinde araştırılarak ve her basamakta bölütlendiricinin çalıştırılması sonucunda yüz / yüz değil olarak karar üretilmiştir [120].

İlinti dikdörtgenlerinin kullanılmasıyla ön poz yüz görüntülerindeki yüzler kolayca tespit edilebilirken, profil pozlarında dönüklük açısına göre hatalar olabilmektedir. Yöntemin ve kullanılan eğitim setinin [81] bu özelliğinden yararlanılarak, Viola-Jones yöntemi ile yüzün bulunabildiği durumlarda, görüntü ön poz olarak işaretlenmiştir. Yüzün bulunamadığı durumlarda ise görüntünün profil pozu olabileceği ihtimali göz önünde bulundurularak ten rengi filtreleme işlemi uygulanmıştır (bakınız 2.4.4.5 Ten Rengi Analizi Yöntemi).

Ten rengi filtreleme yönteminde en önemli sorun, kullanılacak renk uzayının seçimidir [105, 122, 123]. Bu konu üzerinde daha önce yapılan çalışmalarda, HSV (Hue Saturation Value) ve YCbCr (Parlaklık, Mavi Renklilik, Kırmızı Renklilik) [124, 125, 126, 127] renk uzaylarının birlikte kullanılmasının yüksek doğruluk sağladığı gösterilmiştir [32].

Görüntü işleme uygulamaları açısından HSI (Hue Saturation Intensity), HSV ve YCbCr uzayları daha uygun gözükmemektedir. Çünkü bu uzayların renk bileşenlerini ayırım biçimi, insan görme sisteminin algılama şekli ile örtüşmemektedir. HSI uzayı bileşenleri, H

(hue) temel renk tonunu, S (saturation) ise rengin miktarını ifade eder. I (intensity) değeri ise rengin parlaklığını verir [128, 129].

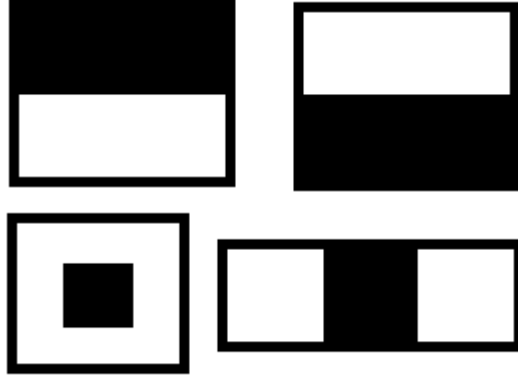
Sunulan çalışmada, temel ten rengi analizi için HSV renk uzayı, detaylı ten rengi analizi için RGB (Red, Green, Blue), HSV ve YCbCr renk uzayları kullanılmıştır. Temel ten rengi analizi görüntüdeki yüz sınırlarının kabaca belirlenebilmesi için, detaylı ten rengi analizi ise bulunan yüzler içerisinde ilinti bölgelerinin konumlarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Yüz ilinti bölgelerinin belirlenmesinde uygulanan ten rengi filtreleme işleminin daha detaylı olmasının nedeni, ilinti bölgelerinin yüzün cilt bölümünden hassas bir şekilde ayrılabilmesini sağlamaktır. İlinti noktaları, tespit edilen ilinti bölgeleri içerisinde arandığı için cilt ile ilinti bölgelerinin tam doğru noktalardan ayrılarak bulunması önem taşımaktadır. Bu nedenle yüz yakalamada kullanılan basit ten rengi filtreleme hassas ölçümler yapmaması nedeniyle bu aşamada kullanılmamaktadır.

2.6.3 Bölütlendiriciler İle Yüz Yakalama

Bölütlendirme yöntemi olarak, Paul Viola ve Michael Jones tarafından geliştirilen ve Viola-Jones yöntemi olarak isimlendirilen yöntem incelenmiştir [120]. Viola-Jones yöntemi yüz yakalamanın yanı sıra diğer nesnelerin yakalanması için de kullanılabilir. Viola-Jones yöntemi dört ana unsura dayanmaktadır :

- Basit dörtgensel bölgeler (Haar bölgeleri)
- Yüz veya yüzler içeren tam bir görüntü
- AdaBoost makine öğrenmesi yöntemi
- Bulunan bölgelerin birleştirilmesi için kademelendirilmiş bir sınıflandırıcı

Viola-Jones yönteminde kullanılan bölgeler, Haar dalgacıklarına dayanır. Haar dalgacıkları, tekil dalga boylu, kare dalgalarıdır.



Şekil 2. 19 Haar dalgacıları

İki boyutlu ortamda, bir kare dalga, bir çift komşu dikdörtgen ile gösterilebilir.



Şekil 2. 20 Haar dalgacılarının yüz bölgesine uygulanması

Nesnenin yakalanması için kullanılan dikdörtgenler, gerçek Haar dalgacıları değildir. Bu dikdörtgenler, görsel tanıma işlemlerinin daha doğru yapılabilmesi için birkaç dikdörtgen kombinasyonundan oluşturulurlar. Bu nedenle de bu dikdörtgenlere, dalgacık yerine Haar Bölgeleri denilmektedir.

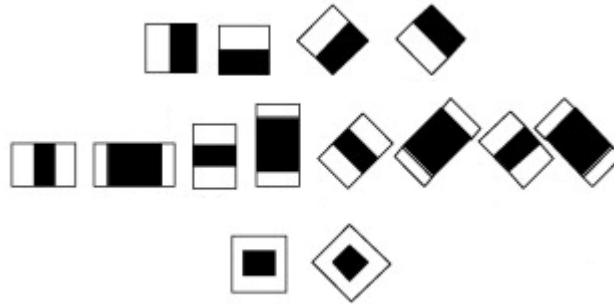
2.6.3.1 Haar İlinti Bölgeleri

Siyah ya da beyaz dikdörtgensel bölgelerdir. Üç tip bölge vardır:

- 2 dikdörtgenden oluşan bölge : yatay / dikey
- 3 dikdörtgenden oluşan bölge
- 4 dikdörtgenden oluşan bölge

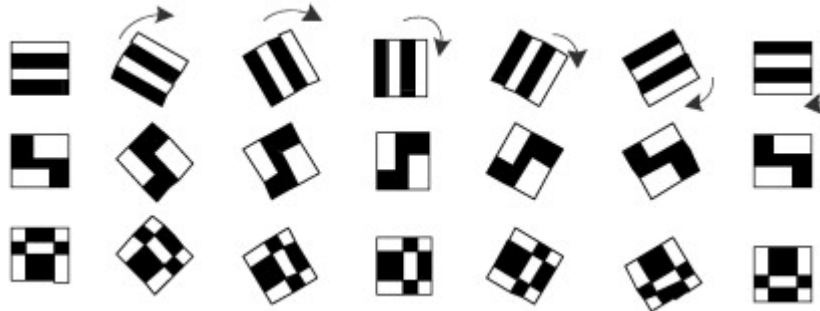
24x24'lük bir bölge içerisinde yaklaşık olarak 180000 olası Haar ilinti bölgesi vardır. Haar ilinti bölgeleri basit ve zayıf sınıflandırıcılardır.

Şekil 2.21' de sırasıyla, kenar detaylar, çizgisel detaylar ve merkezden çevrili detaylar görülmektedir.



Şekil 2. 21 Haar ilinti bölgeleri

Haar bölgeleri kendi merkezleri etrafında döndürüldüklerinde farklı detaylar bileşenler oluştururlar. Tanınması istenilen haar bölgesinin görüntü içerisinde açılı olarak yer alması durumunda, dönük haar bölgeleri ile yeni bir eğitim seti oluşturulması ve tanıma sırasında da bu eğitim setinin kullanılması gereklidir. Şekil 2.22' de merkezleri etrafında döndürülmüş haar bölgeleri gösterilmiştir.



Şekil 2. 22 Döndürülmüş haar bölgeleri

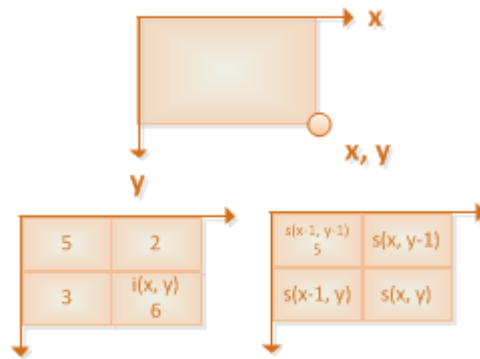
Bir Haar Bölgesi, koyu renkli piksel değerleri toplamının, açık renkli piksel değerleri toplamından çıkartılması ile elde edilir. Eğer aradaki fark değeri, belirli bir eşik değerinden daha büyük ise, bu bölge işaretlenir. Eşik değeri, öğrenme sırasında belirlenir. Bu ikilik değerlendirme sonrasında incelenen bölgenin yüz olup olmadığı kararına varılır.

Bir görüntünün herhangi bir ölçeğinde ve herhangi bir konumunda bulunabilecek yüzlerce Haar Bölgesi'nin bulunabilmesi için Viola-Jones yönteminde "Bütünsel Görüntü" (Integral Image) [130] yöntemi önerilmiştir. Burada "bütünsel" yüzlerce küçük parçanın bir araya gelmesiyle oluşan bütün anlamına gelmektedir. Yüz yakalamada söz konusu olan bu küçük parçalar ise piksellerdir. Her pikselin bütünsel değeri, kendisinden yukarıda ve solda kalan tüm piksellerin değerleri toplamına eşittir. Görüntünün sol üst köşesinden başlanılarak sağ alt köşesine ulaşıncaya kadar bu işlem her bir piksel için yapılır ve bütünsel görüntü elde edilir.

Söz konusu Haar dörtgensel bölgeler, karmaşık görüntü işleme filtrelerine nazaran çok daha basittir. Ancak yapılan işlemin maliyeti, diğer görüntü filtreleme işlemlerine nazaran çok daha yüksektir.

Bütünleme işleminden sonra, aşağıdaki şekilde görülen (x, y) pikselinin değeri, dikdörtgen bölge içerisinde kalan tüm piksel değerlerinin toplamına eşittir. Bu dikdörtgen içerisindeki ortalama piksel değerinin bulunması için, (x, y) noktasındaki piksel değeri, dikdörtgenin alanına bölünür ve (2.1)' deki eşitlik kullanılarak yeni piksel değeri hesaplanır [131].

$$s(x, y) = i(x, y) + s(x-1, y) + s(x, y-1) - s(x-1, y-1) \quad (2.1)$$

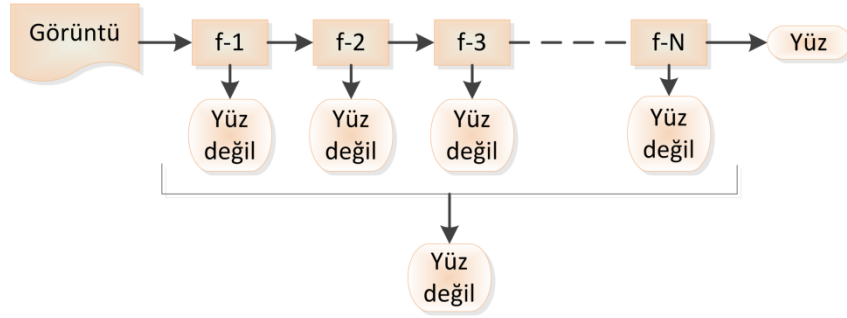


Şekil 2. 23 Haar ilinti bölgelerinde piksellerin bütünsel değerlerinin hesaplanması

Viola-Jones yönteminde, kullanılacak Haar Bölgeleri'nin belirlenmesi ve her seviyedeki eşik değerinin hesaplanması için, AdaBoost [132, 133] denilen makine öğrenmesi yöntemi kullanılmaktadır. AdaBoost, çok zayıf sınıflandırıcıları birleştirerek, güçlü sınıflandırıcılar oluşturur.

2.6.3.2 AdaBoost Makina Öğrenme Yöntemi

Viola-Jones yönteminde, AdaBoost bölütleyicileri, filtre zinciri olarak bir araya getirilir. Bu zincire, basamak (cascade) zinciri ismi verilmiştir. Basamak zinciri, özellikle görüntü bölgelerinin bölütlenmesinde etkilidir. Bu zincir içerisindeki her bir filtre, zayıf bölütlendiricilerin bir araya getirilmesiyle elde edilmiş bir AdaBoost bölütlendiricisidir.



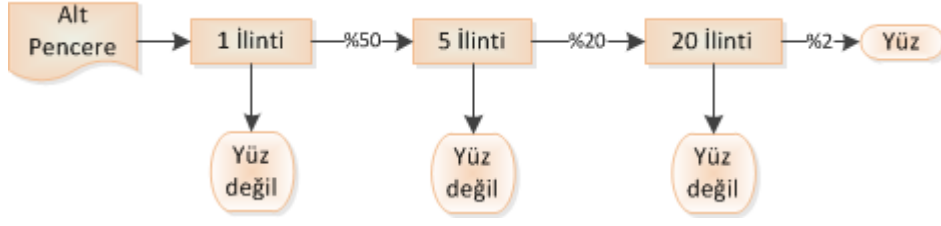
Şekil 2. 24 Basamak zinciri (cascade) bölütleyicileri

1000 yüz görüntüsünden oluşan bir görüntü seti içerisindeki her görüntü için doğru sonucu üretecek şekilde bir eşik değeri bulunur. Bu eşik değerine göre, izlenilen bölgenin yüz olup olmadığına karar verilir. Zincir içerisinde bir aşamadan geçemeyen bölge “yüz değil” olarak işaretlenirken, geçebilen bölgeler sırasıyla diğer basamaklara aktarılır.

Zincir içerisindeki basamakların oluşturulmasındaki sıralama da önemlidir. Eğer güçlü ağırlık değerlerine sahip olan bölütlendirici grupları üst basamaklara konulursa, yüz olmayan bölgelerin hemen elenmesi sağlanmış olur.

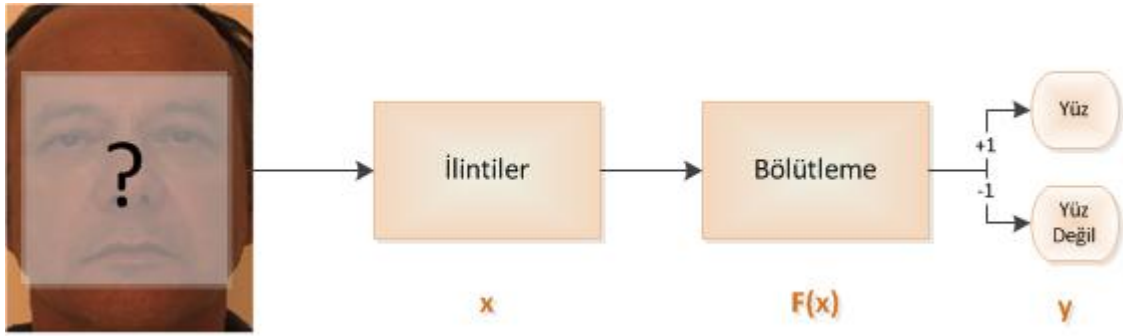
Aşağıdaki şekilde filtreler zincirinin en üst basamağında yüze ait olan bölütlendirme, ikinci aşamada göz bölgesi üzerinde, üçüncü aşamada ise burun bölgesi üzerinde bölütlendirme yapılmıştır.

Bir arama penceresi içerisinde yapılan işlem aşağıdaki şekilde gibidir. Zincirin her bir aşamasındaki bölütlendiricinin sonucuna göre son aşamada bir karara ulaşılır.



Şekil 2. 25 Arama penceresi içerisinde aşamalar

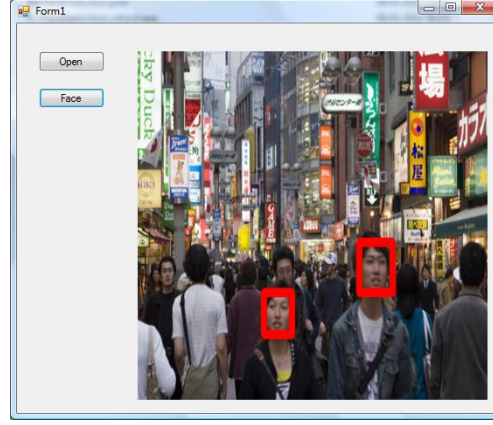
Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere, görüntü üzerinde bir arama penceresi gezdirilerek, her bir adımda, ilinti bölgeleri belirlenir. Her bir adımda bulunan ilinti bölgelerinin bölütlendirilmesi ile sonuca ulaşılır.



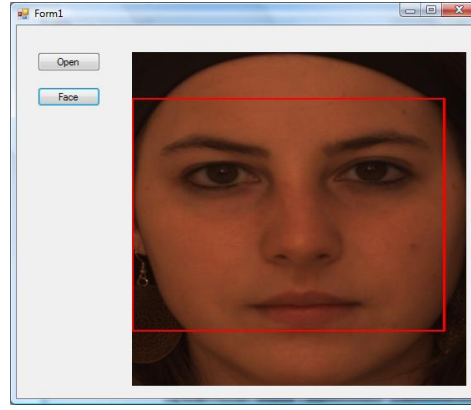
Şekil 2. 26 İlinti bölgelerinin belirlenmesi

Bölütlendirme yöntemi, profil yüz görüntülerini bulma konusunda başarısızdır. Sadece önden alınmış yüz görüntülerini belirleyebilirler. Bu nedenle de bu tez kapsamında kullanılması uygun değildir.

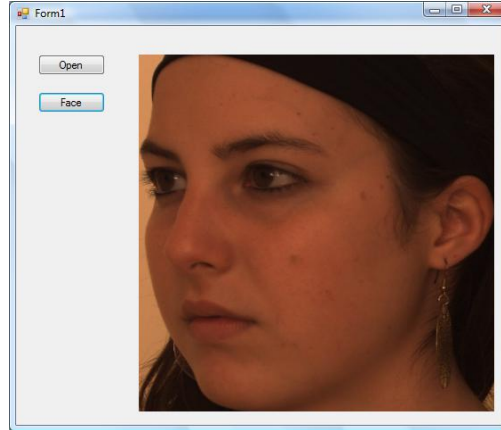
Yüzün her açıdan alınmış görüntüleri içerisinde yüz bölgesini ayırt edebilmek için bölütlendirme yönteminin yerine cilt rengi üzerinden bir ayırt etme işlemi daha iyi sonuçlar üretmektedir.



Şekil 2. 27 Bölütleyici ile birden fazla sayıda yüz bölgesinin belirlenmesi



Şekil 2. 28 Bölütleyici ile bir yüz bölgesinin belirlenmesi



Şekil 2. 29 Bölütlemede hatalı durum

2.6.4 Ten Rengi Analizi İle Yüz Yakalama

2.6.4.1 Ten Rengi Tanıma

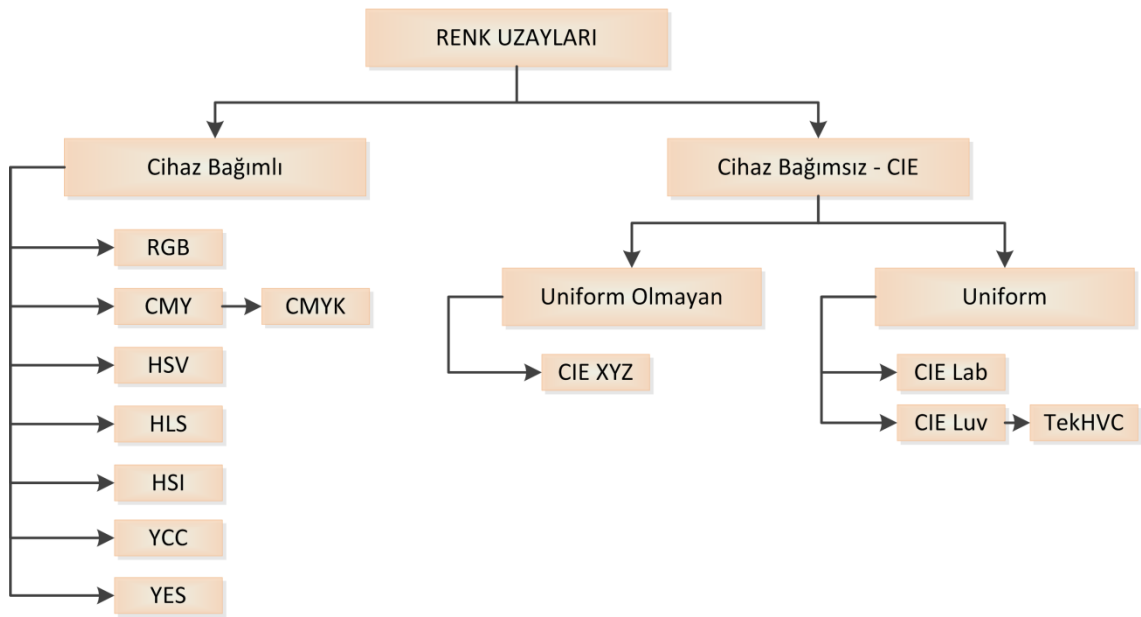
Yüz tanıma sistemlerinde en büyük sorun, yüzün görüntü içerisinde bulunmasıdır. Bu sistemlerde genelde yüzün konumu konusunda bazı ön kabuller yapılarak daha doğru sonuçlara ulaşılmaya çalışılır. Ancak gerçek hayat uygulamalarında çoğunlukla bu koşullara aykırı önceden öngörülemeyen durumlar oluşur ve doğru sonuçlar elde edilemez. Hsu vd. tarafından 2002'de geliştirilen yüz tanıma algoritması [134], renkli resimlerde yüzü bulabilmek için öncelikle görüntü içerisindeki ten rengi pikselleri ayırt etmeye çalışır. Renge dayalı bir analiz yapılacağı için bu noktada kullanılacak renk uzayının seçimi çok büyük önem taşımaktadır [135].

Ten rengi tanıma algoritmalarında renk uzaylarının kullanımı ve seçimi üzerine yapılan çalışmalar ve araştırmalar sonucunda, en iyi sonuçların TSL (tint saturation luma) uzayında elde edildiği belirlenmiştir [136]. Ancak RGB uzayından TSL uzayına çift taraflı dönüşüm bağıntılarının ağır matematiksel ifadeler içermesi nedeniyle, gerçek zamanlı uygulamalar için çok uygun olmadıkları söylenmektedir. Bu nedenle, Hsu vd [134] rengin renklilik ve parlaklık bileşenlerini ayırma şekli TSL uzayına benzeyen YCbCr uzayını kullanmaya gitmişlerdir. Yapılan çalışmaların çoğunda ten rengi olan pikseller için renklilik bileşenlerinin parlaklık bileşeninden bağımsız olduğu varsayımı yapılmıştır, ancak ten rengi tonları lineer olmayan bir şekilde parlaklığa bağlıdır. Hsu vd [134] ise yüz veritabanından alınan ten rengi örneklerini YCbCr uzayında belirlemiş ve bazı matematiksel fonksiyonlar yardımıyla dönüşümler yaparak bu bağımlılığın ortadan kaldırılmasını sağlamışlardır. Böylece YCbCr uzayında belirli sınırlar içinde kalan pikseller ten rengi olarak değerlendirilmiştir [135].

2.6.4.2 Renk Uzayları

Renk uzayları renkleri tanımlamak için kullanılan matematiksel modellerdir. Renk uzayları, bütün renkleri temsil edecek şekilde oluşturulur. Renk uzayları, 3B olarak tasarlanır. Çünkü renkmetri biliminin temelini oluşturan Grassmann'ın birinci kanununa göre bir rengi belirlemek için birbirinden bağımsız üç değişkene gerek vardır. Renklerin renk uzayındaki yerleri bu değişkenlere göre belirlenir. Her renk uzayının kendine özgü

biçimde renk oluşturma için bazı standartları vardır. Renk uzayları oluşturulurken bir başka renk uzayına doğrusal ya da doğrusal olmayan yöntemlerle dönüşüm yapılabilmelidir [137]. Farklı renkli görüntüleme ve işleme cihazları farklı renk uzayları kullanır. Örneğin televizyon, bilgisayar monitörleri ve tarayıcılar RGB renk uzayını, yazıcı ve çiziciler CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Key) renk uzayını kullanır. Renk uzayları genel olarak cihaz bağımlı ve cihaz bağımsız renk uzayları olarak iki gruba ayrılır. Başlıca renk sistemleri arasında Ostwald Renk Sistemi ve Munsell Renk Sistemi; başlıca renk uzayları arasında RGB Renk Uzayı, CMY Renk Uzayı, CIE XYZ Renk Uzayı, CIE Lab Renk Uzayı, HSB Renk Uzayı sayılabilir. Renk uzayları şekil 2.30' da gösterilmiştir.



Şekil 2. 30 Renk uzayları

RGB renk uzayında parlaklık ile renk bilgileri birlikte kodlandığı için cilt rengi ayırma gibi renk ayırma dayanan işlemlerde bu renk uzayının tek başına kullanılması çok fazla tercih edilmez. Renk bilgisi, kısa sürede işlenebilen bir veri olmasına karşın, ışık koşullarının kontrol edilemediği durumlarda, çalışılması zor bir veri niteliği kazanır. İnsan gözü, belli sınırlar içerisinde aydınlatma seviyesini değişmesine karşın, bir cismin rengini değişmeden algılar. Bu algılamanın beyin tarafından nasıl sağlandığı henüz net olarak bilinmemektedir. Buna bağlı olarak sistemler henüz bu algı düzeyine erişmiş değillerdir [105].

Ten rengi ayırt etmek için, bu renk uzaylarının hepsi kullanılabilir. Burada yapılacak renk uzayı seçimi konusu günümüzde hala üzerine çalışılan ve tartışılan bir konudur. Ten rengi ile diğer renklerin ayrılabilirliğinin, seçilecek olan renk uzayına bağlı olduğu 2002 yılında Shin tarafından gösterilmiştir [123]. Bu çalışmada, 18 farklı renk uzayında dört tane ayrılabilir ölçü kullanarak, RGB ve YCbCr renk uzaylarının en iyi performansı verdiği sonucuna varılmıştır.

2.6.4.3 Ten Rengi Analizi İçin Renk Uzayı Seçimi

Renk uzayı olarak, görüntü alım sırasındaki ışıklandırmadan oldukça fazla oranda etkilenen ve parlaklık bilgisi ile renk bilgisini bir arada tutan RGB renk uzayı yerine, HSV ve YCbCr renk uzaylarının birlikte kullanılması tercih edilmiştir. Ten rengi ayırt etme konusunda bu iki renk uzayının birlikte kullanımı yüksek doğruluk sağlamaktadır [32]. Ayrıca YCbCr renk uzayı daha az hesaplama karmaşıklığına sahiptir ve daha küçük bir uzayda yer alır. YCbCr renk uzayında, Y bileşeni parlaklık bilgisini, Cb ve Cr bileşenleri ise renklilik bilgilerini tutmaktadır. Cb bileşeni, mavi bileşen ve referans değeri arasındaki farktır, Cr bileşeni kırmızı bileşen ve referans değeri arasındaki farktır. Y bileşeni aslında orijinal renkli görüntünün gri seviyeli kopyasıdır. Bu bileşenin ayrı tutulması sayesinde, parlaklık bilgisi kolayca çıkartılmaktadır. Ten bulma işleminde doğrudan Cb ve Cr bileşenleri kullanılarak her piksel ten ya da ten olmayan olarak sınıflandırılmaktadır. Sınıflama işleminde, Cb ve Cr bileşenlerinin en büyük ve en küçük değerleri hesaplanmaktadır. Bu değer aralığında kalan pikseller, ten rengi olarak işaretlenmektedir.

2.6.4.4 OpenCV Grafik Kütüphanesinde Renk Uzayları

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) Windows, Linux, Mac OS X, PSP (PlayStation Portable) gibi farklı platformlar üzerinde çalışabilen, C programlama dili ile yazılmış, gerçek zamanlı bilgisayarla görme (real time computer vision) ve görüntü işleme (image processing) uygulamaları için kullanılabilen, açık kaynak kodlu bir kütüphanedir. Intel firması tarafından geliştirilmiştir, Willow Garage tarafından desteklenmektedir. OpenCV kütüphanesi içeriğinde yer alan bilgisayarla görme ve görüntü işleme algoritmaları kullanılarak; insan-bilgisayar etkileşimi (Human-Computer

Interaction, HCI), nesne kimliklendirme, bölümlendirme ve tanıma (object identification, segmentation and recognition), yüz tanıma (face recognition), işaret dili tanıma (gesture recognition), hareket yakalama, algılama ve takibi (motion tracking, ego motion, motion understanding), çiftli ve çoklu kamera kalibrasyonu ve derinlik hesaplama (stereo and multi-camera calibration and depth computation), hareketli robot teknolojileri (mobile robotics) uygulamaları geliştirilebilmektedir [138].

OpenCv grafik kütüphanesinde [138] renk uzaylarının kullanımı, diğer birçok uygulamadan farklılık göstermektedir. Görüntü piksellerinin renkleri üzerine işlem yaparken bu farklılıklara dikkat edilmesi gereklidir. OpenCV’de varsayılan renk uzayı RGB’dir. Ancak RGB değerleri, BGR formatında, yani bitlerin ters şekilde dizilmesiyle tutulmaktadır. Bu nedenle de 24 bitlik bir görüntüde, ilk bayt, işaretli 8 bitlik mavi bileşene karşılık gelmektedir. İkinci bayt yeşil ve üçüncü bayt kırmızı bileşene karşılık gelmektedir. Mavi, yeşil ve kırmızı bileşenlerin değerleri 0-255 arasındadır. HSV ve HSL renk uzaylarında, standart 8 bit-3 kanallı görüntüler için, her bileşen 0-255 arasında bir değere sahiptir ve 8 bit olarak tutulur. H bileşeni, (H : hue, kırmızı, sarı, pembe ya da mor gibi renkleri belirleyen bileşen) 0-180 arasında bir değere sahiptir. Bu nedenle de renk konusunda bilgi kaybı söz konusudur.

2.6.4.5 Ten Rengi Analizi Yöntemi

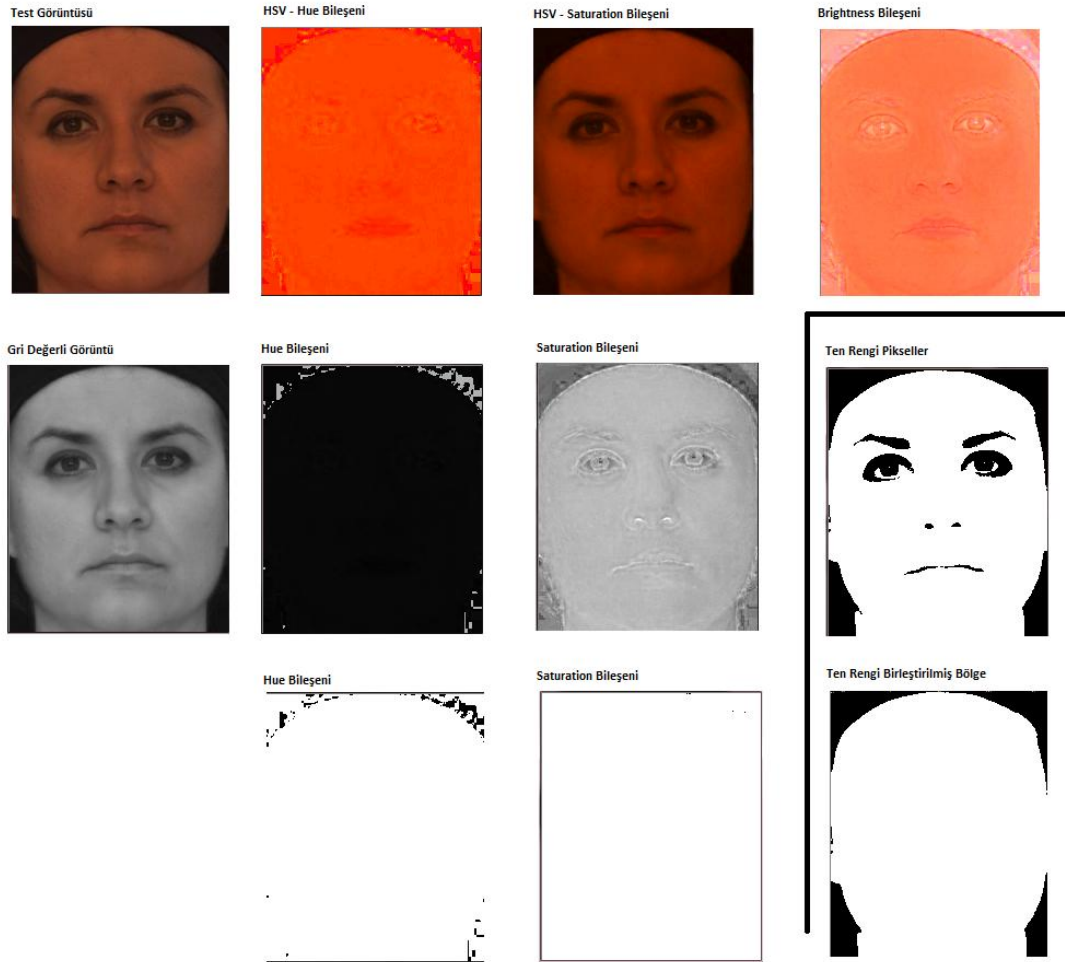
Sunulan çalışmada ten rengi filtreleme iki ayrı amaca hizmet edecek şekilde geliştirilmiştir. İlk amaç, Viola Jones yöntemi ile yüzün bulunmasının mümkün olmadığı profil yüz görüntülerinde bir yüz olup olmadığının anlaşılmasını sağlamak için temel bir ten rengi filtreleme yapmak, ikinci amaç ise yüz içerisinde kalan ilinti bölgelerinin konumlarının belirlenmesini sağlayacak detaylı bir ten rengi filtreleme yapmaktır. İzleyen modüllerde ilinti bölgelerinin doğru bir şekilde elde edilebilmesi için daha detaylı ve hassas ölçümler yapılması gerekli olduğu için, ten rengi filtresi önceden belirlenmiş kontroller ile birlikte çalıştırılmalıdır. Ancak sadece yüz yakalama için ten rengi filtresini kullanıyorsak, sadece HSV renk uzayı üzerinde uygulanacak bir eşik filtresi ile sonuç elde etmek mümkün olmaktadır.

Temel Ten Rengi Filtreleme

Temel ten rengi filtrelemede, deneysel olarak belirlenen eşik değerleri kullanılmıştır ($H < 18$, $S < 50$, $V < 80$). Şekil 2.31’ de basit ten rengi filtrelemenin ön poz ve profil poz görüntülerine uygulanması sonucunda elde edilen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 2. 31 Temel ten rengi filtreleme sonuçları



Şekil 2. 32 Temel ten rengi filtreleme: Ara adımlar

RGB ve HSV renk uzayları arasındaki dönüşüm, (2.2) eşitlikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$\begin{aligned}
V &= \max(R, G, B) \\
S &= \begin{cases} (V - \min(R, G, B)) * 255 / V, V \neq 0 \\ 0, V = 0 \end{cases} \\
H &= \begin{cases} (G - B) * 60 / S, V = R \\ 180 + (B - R) * 60 / S, V = G \\ 240 + (R - G) * 60 / S, V = B \\ H = H + 360, H < 0 \end{cases}
\end{aligned} \tag{2.2}$$

Detaylı Ten Rengi Filtreleme

Temel ten rengi filtreleme ile yüzün genel sınırları ön poz ve profil poz görüntüleri için belirlenmiş olmasına rağmen, yüz ilinti bölge ve noktalarının yakalanması için detaylı ten rengi filtrelemesi uygulanmıştır. Belirlenen H, S ve V eşik değerlerinin üç ön poz ve üç profil pozu görüntüsüne uygulanması sonucunda elde edilen sonuçlar şekil 2.33' te gösterilmiştir.



Şekil 2. 33 Detaylı ten rengi filtreleme sonuçları – 1

Detaylı ten rengi filtreleme için RGB, YCbCr ve HSV renk uzayları bir arada kullanılmıştır. YCbCr renk uzayındaki değerlerin hesaplanması için (2.3)'te verilen RGB-YCbCr dönüşüm formülleri kullanılmıştır.

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 65.481 & 128.553 & 24.966 \\ -37.797 & -74.203 & 112 \\ 112 & -93.786 & -18.214 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \tag{2.3}$$

HSV renk uzayındaki değerlerin hesaplanması için (2.4)'te verilen RGB-HSV dönüşüm formülleri kullanılmıştır.

$$M = \max(R, G, B)$$

$$m = \min(R, G, B)$$

$$V = M / 255$$

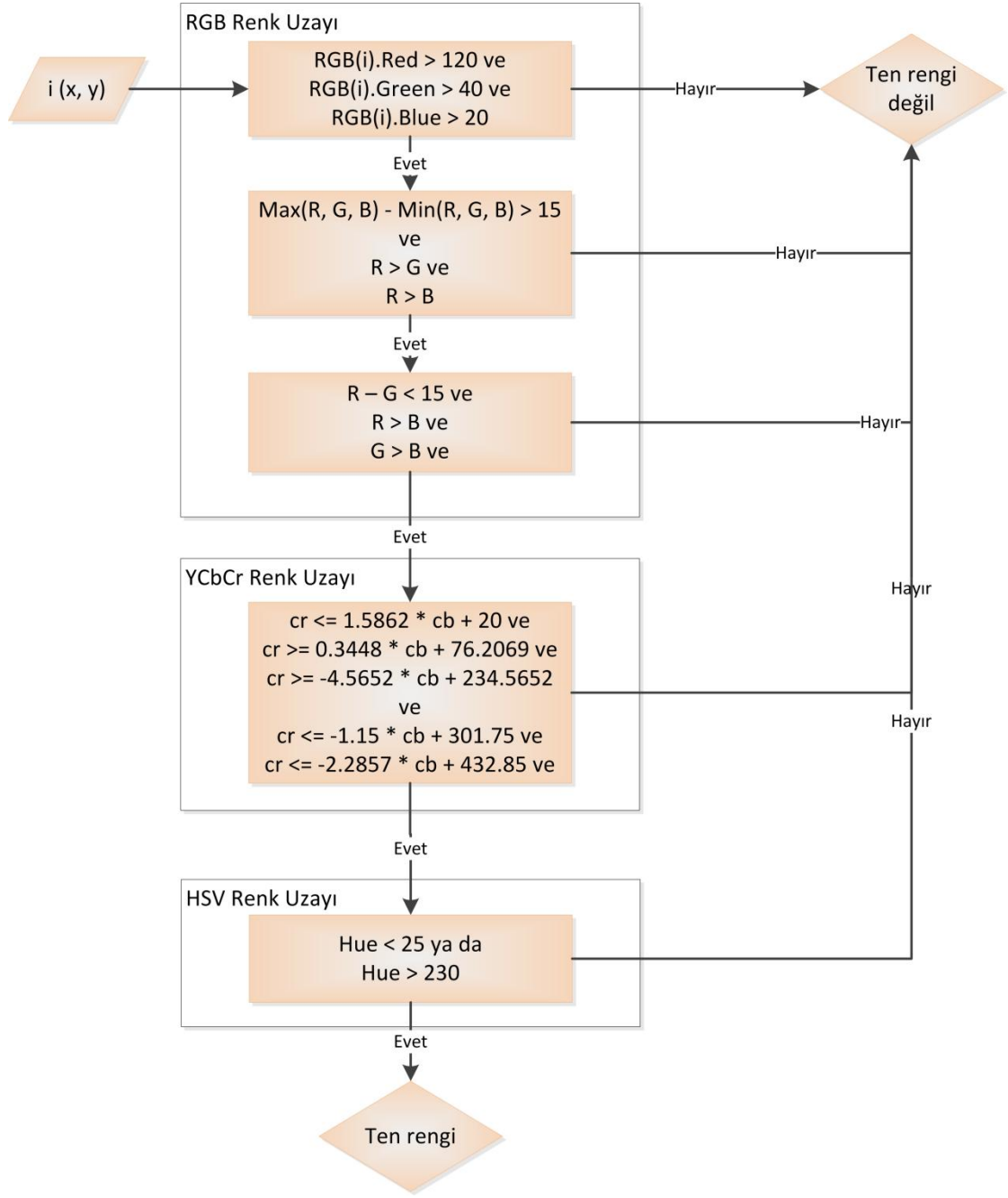
$$S = 1 - m / M, M > 0 \quad (2.4)$$

$$S = 0, M = 0$$

$$H = \cos^{-1}[(R - 1/2G - 1/2B) / \sqrt{R^2 + G^2 + B^2 - RG - RB - GB}, G \geq B]$$

$$H = 360 - \cos^{-1}[(R - 1/2G - 1/2B) / \sqrt{R^2 + G^2 + B^2 - RG - RB - GB}, B > G]$$

Detaylı ten rengi analizi işlemine ilişkin iş akışı ve uygulanan kurallar şekil 2.34' te gösterilmiştir.



Şekil 2. 34 Detaylı ten rengi filtreleme iş akışı

Bu kuralların uygulanması sonucunda test görüntüleri için elde edilen sonuçlar şekil 2.35’ de gösterilmiştir.



Şekil 2. 35 Detaylı ten rengi filtreleme sonuçları – 2

İkinci test görüntüsünde olduğu gibi, görüntü kontrastının düşük olduğu durumlarda, genel ten rengi analizi işlemi sonucunda ilinti bölgelerine ait bazı pikseller de ten rengi olarak işaretlenmektedir. Bu özelliği gösteren görüntülerin öncelikle kontrastı artırıldığında ve sonrasında yeniden ten rengi filtrelemesi uygulandığında, doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. İkinci test görüntüsü için bu işlemin uygulanması sonucunda elde edilen görüntüler şekil 2.36’ da gösterilmiştir.



Şekil 2. 36 Veri ön işleme: Kontrast ayarlama

Şekil 2.34’ te görüldüğü üzere, detaylı ten rengi analizi için uygulanan kurallar üç grup altında toplanmıştır. Temel ten rengi filtrelemede uygulanan kural ile birlikte, ten rengi analizinin başından sonuna dek uzanan süreçte 4 ana kural hakimdir. Temel ten rengi analizi işleminin tamamlanmasının ardından, görüntü içerisinde, ten rengi olan ve olmayan olarak işaretlenmiş pikseller sayılarak birbirlerine oranına bakılarak son bir kontrol daha uygulanmıştır. Tüm bunlar dikkate alındığında, ten rengi analizinde oluşturulan kurallar aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Kromatik kurallar (temel ten rengi filtreleme aşamasında uygulanan kural)
- RGB kuralı (detaylı ten rengi filtreleme aşamasında uygulanan kural)
- YCbCr kuralı (detaylı ten rengi filtreleme aşamasında uygulanan kural)

- HSV kuralı (detaylı ten rengi filtreleme aşamasında uygulanan kural)
- Piksel sayımı (temel ve detaylı filtreleme sonrası uygulanan kural)

Görüntüler üzerinde ten rengi analizi yapılması sırasında, bu kuralların uygulanması ya da uygulanmaması kullanıcı seçimine bırakılarak daha doğru sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır. Örnek bir test görüntüsü üzerinde bu kuralların uygulanması sonucunda elde edilen sonuçlar şekil 2.37’ de gösterilmiştir.



Şekil 2. 37 Ten rengi analizi sürecinde uygulanan kurallar ve elde edilen sonuçlar

Yüz görüntüsü içerisinde elde edilecek ten rengi pikselleri sayısının toplam piksel sayısının yarısından daha fazla olması beklenmektedir. Bu nedenle %77 olarak elde edilen değer, görüntü içerisinde bir yüz olduğunu kanıtlamaya yetecek bir değer olarak kabul edilmiştir. Profil test görüntüsü ile elde edilen sonuçlar şekil 2.38’ de gösterilmiştir.



Şekil 2. 38 Profil görüntüsü üzerinde ten rengi analizi süreci ve elde edilen sonuçlar

İki yöntemin bir arada kullanılmasıyla, insan gözüyle yüzün görünür olduğu görüntülerde yüz yakalamada %100 başarı elde edilmiştir. Profil görüntülerinde açı 45 dereceyi geçtiğinde yüzün görünür kısımları azaldığı için başarı oranı düşmektedir.

2.7 Bağlı Bileşen (Blob) Analizi

Ten rengi analizi uygulanması sırasında, görüntülerde yer alan ve aslında yüze ait olmayan bazı piksellerin de ten rengine çok benzemesi nedeniyle hatalı olarak ten rengi olarak etiketlenmesi durumuna sıklıkla rastlanmaktadır [135]. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için, aday ten rengi piksellerin belirlenmesinin ardından, önceden belirlenmiş bazı ek kontroller yapılarak bu bölgelerin gerçekten yüz bölgesi olup olmayacağı kontrol edilmelidir [135].

Viola-Jones ve ten rengi filtreleme yöntemlerinin bir arada kullanılmasıyla yüzün yakalanması işleminin ardından bağlı bileşen analizi gerçekleştirilmiştir. Bağlı bileşenlerin elde edilebilmesi için Bağlı Bileşen Etiketleme yöntemi (BBE, Connected Components Labeling) [139, 140] uygulanmıştır.

2.7.1 Bağlı Bileşen Etiketleme (Connected Components Labeling)

Bağlı bileşen etiketleme (BBE) yöntemi, ikili resimler üzerinde uygulanmaktadır ve görüntü üzerindeki bağımsız bileşenleri ayrı renkler ile etiketlemektedir. Bu sayede farklı bileşenlerin konumları daha kolay tespit edilebilmektedir [139, 140].

Aday ten rengi piksellerin belirlenmesinin ardından görüntü içerisinde oluşan bölgeler, bağlı bileşen etiketleme yöntemiyle gruplandırılır. Bağlı bileşen etiketleme algoritması, görüntüde ten rengi olabilecek piksellerin komşu piksellerinin değerlerine bakarak kaç farklı grup olduğunu belirler [141]. Aynı grupta bulunan tüm piksellere aynı etiket değeri atanır. Bağlı bileşen etiketleme algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir:

- Görüntü içerisinde sol üst köşeden başlanılarak ten rengi olarak işaretlenmiş pikseller kontrol edilir.
- Kontrol edilen pikselin sol komşu pikselinin grup etiketine bakılır.
- Eğer komşu piksel etiketlenmiş ise komşu piksel etiketinin değeri mevcut piksele verilir.
- Eğer komşu piksel etiketlenmemiş ancak değeri mevcut piksel ile aynı değil ise, bu iki etiketin aynı gruba ait olduğu bilgisi not edilir.
- Bu işlemler piksel etrafındaki 4 komşu piksele sırasıyla uygulanır.

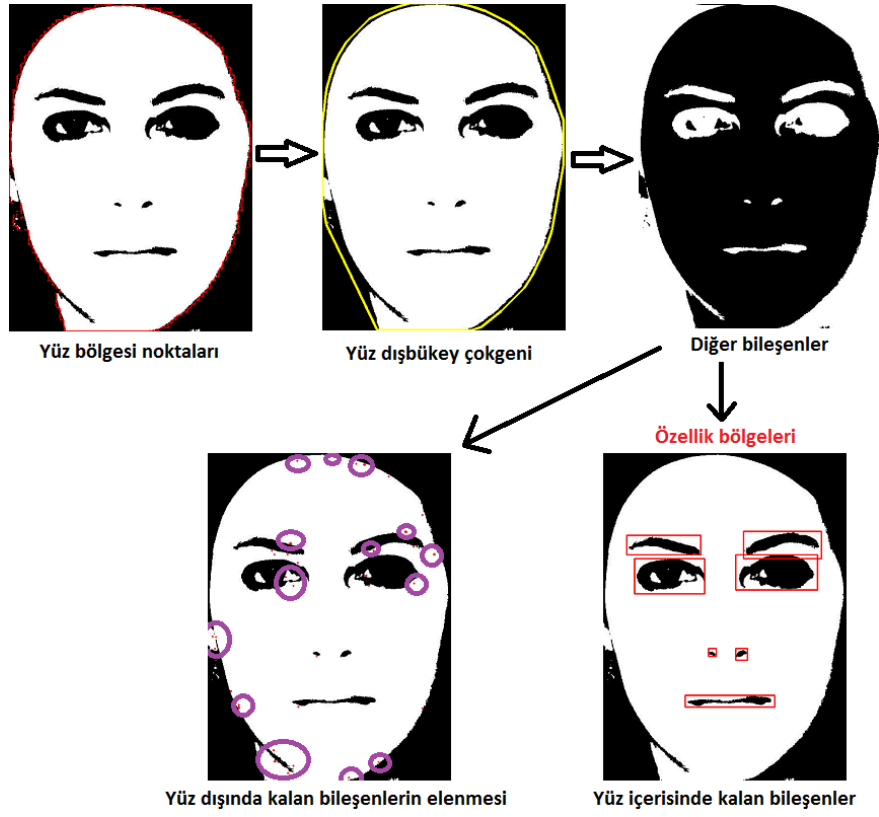
- Tüm pikseller gözden geçirildikten sonra aynı grup olduğu belirtilen etiketler düzenlenir [135].



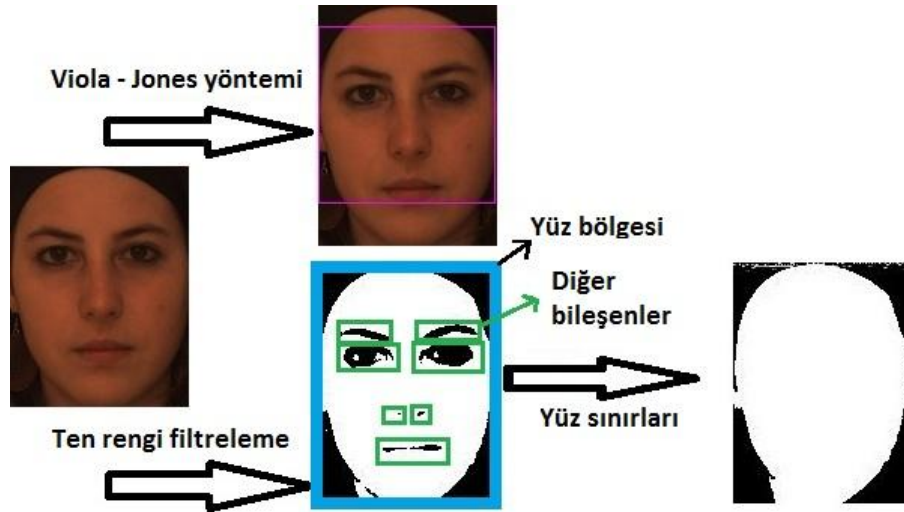
Şekil 2. 39 Piksel komşulukları: Komşu pikseller; a, b, c ve d pikselleri

2.7.2 Bağlı Bileşen Etiketleme Algoritması İle Nesnelerin Belirlenmesi

Yüz bölgesinin kendisi ve yüz içerisindeki her bir ilinti bölgesi ayrı ayrı bağlı bileşenler olarak elde edilmiştir. Bulunan bağlı bileşenler içerisinde en büyük olan ve kendi içerisinde ilinti bölgelerini barındıran bağlı bileşenler, yüze ait olan bağlı bileşen olarak işaretlenmiştir. Bu sayede ten rengi filtreleme sonucunda elde edilebilecek boyun, el gibi diğer ten rengi bölgeler, kendi içlerinde alt bağlı bileşenler içermemesi özellikleri ile yüz bölgesinden farklılık gösterirler. Bu fark bilgisi kullanılarak bu bölgelerin de yüz olarak işaretlenmesi durumu önlenmiştir. Belirlenen yüz bölgesi içerisinde bulunan diğer bağlı bileşen alanları ise yüz ilinti bölgeleri analizinde değerlendirilmek üzere saklanmıştır. Yüz bölgesi dışarısında kalan diğer bağlı bileşen bölgeleri silinmiştir. Yüz yakalama süreci ve süreç sonucunda elde edilenler şekil 2.40 ve şekil 2.41’ de gösterilmiştir.



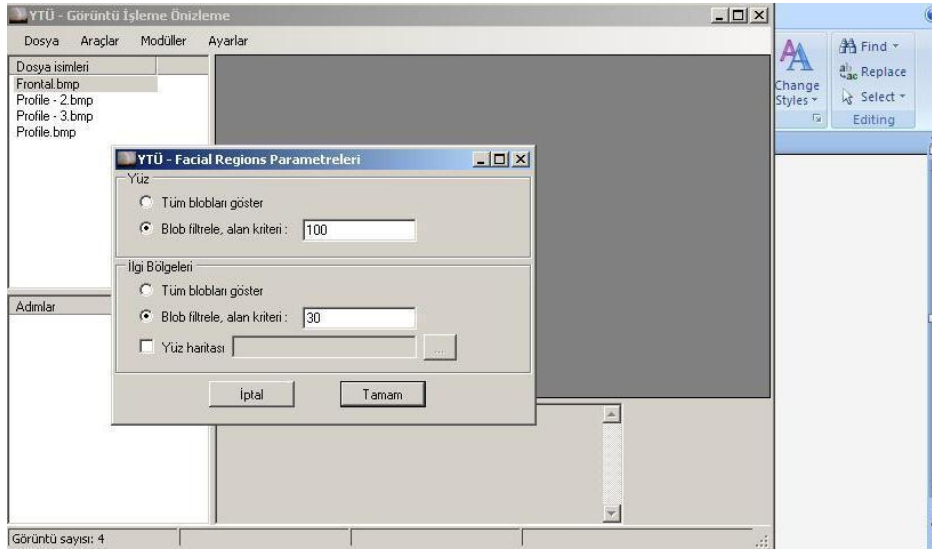
Şekil 2. 40 Yüz bölgesi içinde ve dışında kalan tüm bileşenler



Şekil 2. 41 Bağlı bileşen belirleme işlemi sonuçları

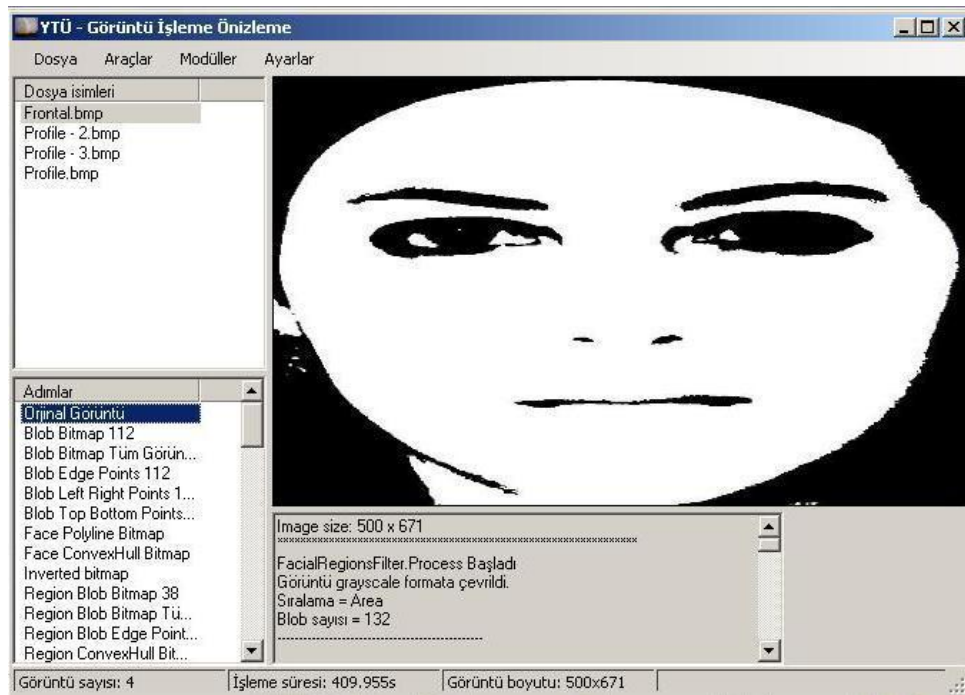
Bağlı bileşen analizi sırasında elde edilen bileşenler, boyutlarına göre de bir filtrelemeden geçirilmiştir. Bu aşamada filtreleme için kullanılan boyut, görüntünün boyutuna, görüntü içerisinde elde edilen tüm bileşenlerin boyutuna bağlıdır. Sabit bir değer kullanılması tüm görüntü boyutları ile çalışma konusunda problem oluşturacağı

için dinamik olarak eleme boyutu belirleme yoluna gidilmiştir. Bağımsız bağlı bileşen belirleme ve filtreleme aşamasında uygulanan kurallar şekil 2.42’ de gösterilmiştir.

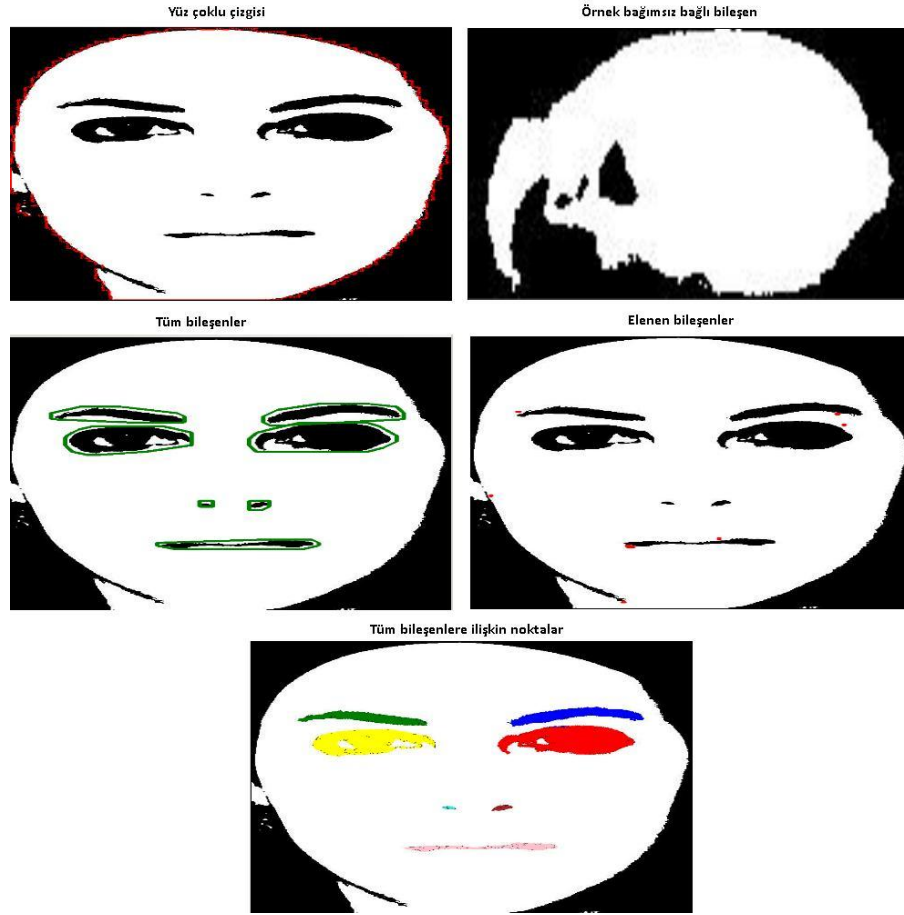


Şekil 2. 42 Bağımsız bağlı bileşen belirleme ve filtreleme kriterleri

Bağımsız bağlı bileşen belirleme sürecinin test görüntüsüne uygulanması süreci şekil 2.43’ te, elde edilen ara sonuçlar şekil 2.44’ te, süreç adımları sırasında elde edilen sayısal sonuçlar çizelge 2.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 2. 43 Bağımsız bağlı bileşen belirleme sürecinin uygulanması



Şekil 2. 44 Bağımsız bağlı bileşen belirleme ara sonuçlar

Çizelge 2. 2 Bağımsız bağlı bileşen analizi ara adımları

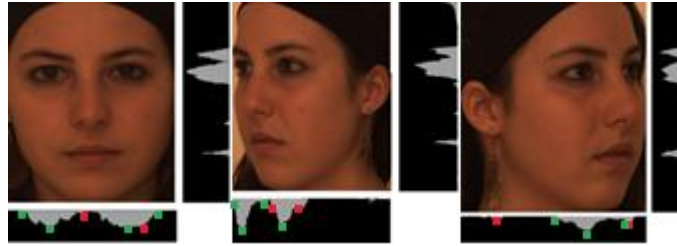
Görüntü boyutu: 500 x 671 İşlem süresi = 00:00:50.0926274 saniye	İlinti bölge bileşen no = 15 İlinti bölge bileşen alan = 3802 İlinti bölge bileşen dörtgeni nokta sayısı = 19, Bileşen = 15
İlinti bölgeleri filtresi çalışmaya başladı Görüntü gri düzeye çevrildi. Sıralama = Alan Bileşen sayısı = 132	İlinti bölge bileşen no = 21 İlinti bölge bileşen alan = 3020 İlinti bölge bileşen dörtgeni nokta sayısı = 18, Bileşen = 21
Bileşen no = 112 Bileşen alan = 247822	İlinti bölge bileşen no = 71 İlinti bölge bileşen alan = 2096 İlinti bölge bileşen dörtgeni nokta sayısı = 11, Bileşen = 71
Yüz çizgisi kenar nokta sayısı = 2142 Yüz dörtgeni nokta sayısı = 84 İlinti bölgesi bileşen sayısı = 132	İlinti bölge bileşen no = 63 İlinti bölge bileşen alan = 360 İlinti bölge bileşen dörtgeni nokta sayısı = 12, Bileşen = 63
İlinti bölge bileşen no = 38 İlinti bölge bileşen alan = 8303 İlinti bölgesi dörtgen nokta sayısı = 24, Bileşen = 38	İlinti bölge bileşen no = 62 İlinti bölge bileşen alan = 168 İlinti bölge bileşen dörtgeni nokta sayısı = 14, Bileşen = 62
İlinti bölge bileşen no = 52 İlinti bölge bileşen alan = 6640 İlinti bölgesi dörtgen nokta sayısı = 36, Bileşen = 52	Elenen bölge sayısı = 92 Bulunan bölge sayısı = 7 Yüz ilinti bölgeleri filtresi işlem süresi = 00:00:50.0926274 İlinti bölgeleri filtresi çalışması tamamlandı

2.8 Histogram Analizi

Yüz ilinti bölgesinin tanımlanmasının ardından, yüz bölgesi içerisinde kalan ilinti bölgesi bağlı bileşenlerinin tanımlanabilmesi için, görüntü içerisinde hangi ilinti bölgesinden kaç tane aramak gerektiği problemi araştırılmıştır. Görüntünün ön poz ya da profil pozu

olmasına bağılı olarak tanımlanacak ilinti bölgeleri de değişiklik göstermektedir. Ön poz görüntülerde yüzün hem sağı hem de sol kısımlarında yer alan ilinti bölgeleri kullanılırken, profil pozlarında alım yönüne göre sağı ya da sol kısımda yer alan ilinti bölgeleri tam olarak görüntülenemediğı için sadece bir yöndeki ilinti bölgeleri ile çalışılması gereklidir. Buna bağılı olarak önce görüntünün alım yönü, ardından alım yönüne bağılı olarak tanımlanması gereken ilinti bölgeleri belirlenmiştir.

Yatay ve dikey histogramlar, ten rengi piksellerin beyaz, diğeri piksellerin siyah renk ile işaretlenmesiyle elde edilen ikili görüntü üzerinde satırlar ve sütunlar boyunca piksel değerlerinin toplanmasıyla elde edilmiştir. Uygulanan kuralların sabitlenebilmesi için öncelikle görüntüler yatay histogram analizi için genişlik değeri, dikey histogram analizi için yükseklik değeri 300 piksel olacak şekilde yeniden boyutlandırılmıştır. Elde edilen histogram değerleri üzerinde minimum ve maksimum yerel noktalar bulunmuş ve analizler bu noktalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.45' te örnek bir görüntüye ilişkin oluşturulmuş yatay ve dikey histogram dağılımları görülmektedir.



Şekil 2. 45 Yatay ve dikey histogram analizi

Histogram analizi aşamasında, ön işleme işlemi ile ten rengi filtrelemede oluşan kaba hatalar giderilmektedir. Histogram analizinin her aşamasında, yüzün geometrik dağılım bilgisinden yararlanılarak histogram değerlerine aşama aşama bazı düzeltmeler getirilmiştir.

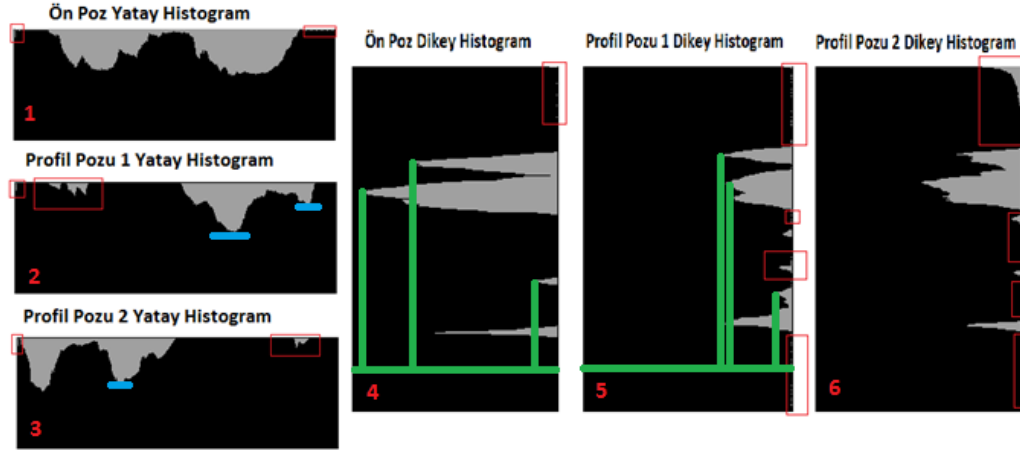
Yüze ait yatay histogram dağılımında ten rengi piksellerinin yüz üzerindeki dağılımları göz önünde bulundurulduğunda,

- En az bir, en çok iki minimum noktası,
- İki ya da üç maksimum noktası;

dikey histogram dağılımında ise

- Dört minimum noktası

bulunması gerekmektedir. Ancak ten rengi analizinde, ten rengi olmamasına rağmen ten rengi olarak işaretlenmiş pikseller nedeniyle bu dağılımda hatalar oluşmaktadır. Histogram analizinde ardışık işlemler gerçekleştirilerek hedef dağılımda bulunması gereken minimum ve maksimum nokta sayılarına erişilinceye dek dağılıma düzeltmeler getirilir.



Şekil 2. 46 Yatay ve dikey histogramlar üzerinde düzeltmeler

Yatay histogram analizi ile görüntünün ön poz mu yoksa profil pozu mu olduğu belirlenirken, dikey histogram analizi ile bu yüz görüntüsü içerisinde hangi ilinti bölgelerinin aranması gerektiği belirlenmiştir. Ön poz / profil pozu belirlemesi sırasında, ten rengi piksellerin yüz içerisindeki dağılımlarına, yüz geometrisinin simetri özelliğinden türetilen kurallar uygulanmıştır.

2.8.1 Yatay Histogram Analizi

Şekil 2.46' da kırmızı ile işaretlenmiş bölgeler ardışık işlemlerde elenen piksellere ilişkin bölgelerdir. 1 numaralı yatay histogram dağılımı incelendiğinde, aranan minimum noktaların dağılımın sağ tarafında kalan, daha küçük değere sahip olan şekilde mavi çizgi ile belirtilmiş noktalar olduğu, sol taraftaki minimum noktaların sağ taraftaki noktalara kıyasla daha büyük değerlere sahip olan minimum noktalar olduğu görülmektedir. Bu noktaları içeren bölgeler, ardışık işlemler sırasında dağılımdan çıkartılmaktadır. 1 nolu dağılım için ilk aşamada bulunan minimum noktalar 77, 203 ve 270 nolu; maksimum noktalar ise 26, 149 ve 268 nolu noktalardır. Yatay histogram

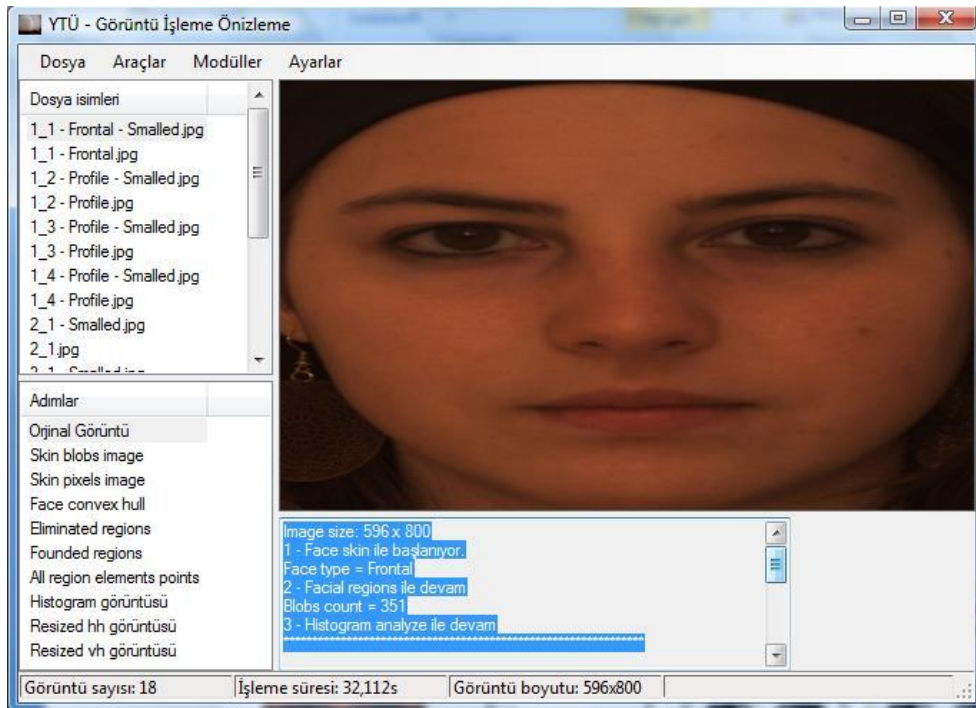
analizinde ulaşılması gereken durum, dağılımda iki minimum nokta ve bu noktaları çevreleyen iki maksimum nokta olmasıdır. Bu koşulların sağlanabilmesi için 77 ve 203 nolu noktalar minimum noktalar, 26 ve 268 nolu noktalar maksimum noktalar olarak seçilmiştir.

2.8.2 Dikey Histogram Analizi

Dikey histogram analizi sırasında, yüz ilinti bölgelerinin yüz içerisinde yukarıdan aşağıya doğru sıralanmalarına, ilinti bölgesi sayısına bakılarak görüntüden kaç tane hangi ilinti bölgesinden aranacağı bilgisi elde edilmiştir. Dikey histogram dağılımında yer alan minimum noktalar, ilinti bölgelerine ait ten rengi olmayan piksellerin oluşturduğu noktalardır. Yukarıdan aşağıya doğru bu minimum noktalar sırasıyla, kaş, göz, burun ve dudak bölgelerine karşılık gelmektedir. Birinci dikey histogram ve ikinci dikey histogram, kaş ve göz bölgelerine ilişkin minimum noktalar ile burun bölgesine ait minimum nokta arasındaki fark değerleri açısından incelendiğinde, ilk dağılımdaki farkın ikinci dağılımdaki farktan çok daha büyük olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni ilk dağılımın n poz yüz görüntüsüne ait olması nedeniyle, göz hizasında kalan kısımda, kaş ve göz ilinti bölgelerinden ikişer tane bulunması ve buna bağlı olarak da daha az sayıda ten rengi piksel içermesidir. n poz ve profil pozlarındaki kaş, göz ve burun bölgelerine ilişkin minimum noktalar şekilde yeşil çizgiler ile gösterilmiştir. 4 nolu dağılım için ilk aşamada bulunan minimum noktalar 82, 84, 107, 184 ve 228 nolu noktalardır. Dikey histogram analizi sonucunda en fazla 4 tane minimum noktası kalması gerektiği için bu noktalardan en az bir tanesinin elenmesi gereklidir. Bu eleme sırasında bulunan noktaların birbirlerine yakınlık durumları incelenmiştir. 82 nolu nokta dağılımın en üstünde yer alması nedeniyle kaş bölgesine ilişkin nokta olması muhtemeldir. 84 nolu nokta ise dağılımın ikinci sırasında yer alması nedeniyle göz bölgesine ilişkin olmalıdır. Ancak bu iki minimum noktanın birbirlerine 2 piksel yakınlığındadır, kaş ve göz bölgeleri birbirlerine bu kadar yakın olamayacağı için bu iki nokta arasından en küçük değere sahip olan seçilmiş ve kaş bölgesi olarak işaretlenmiştir. Geride kalan üç nokta ise göz, burun, dudak bölgelerine ilişkin olan minimum noktalar olarak işaretlenmiştir.

Yatay ve dikey histogram analizlerinde yapılan ardışık düzeltmelere, yüz histogram dağılımında bulunması amaçlanan minimum ve maksimum nokta sayısına ulaşıncaya kadar devam edilmiştir. Şekil 2.46’ da yatay ve dikey histogram analizleri sırasında elenen minimum ve maksimum noktalar kırmızı renk ile, seçilen minimum ve maksimum noktalar ise yeşil renk ile gösterilmiştir.

Histogram analizi süreci şekil 2.47’ de, histogram analizinde kullanılan pikseller şekil 2.48’ de, histogram analizi iş adımlarında elde edilen sayısal değerler çizelge 2.3’ te gösterilmiştir.



Şekil 2. 47 Histogram analizi süreci

Histogram analizinde kullanılan pikseller

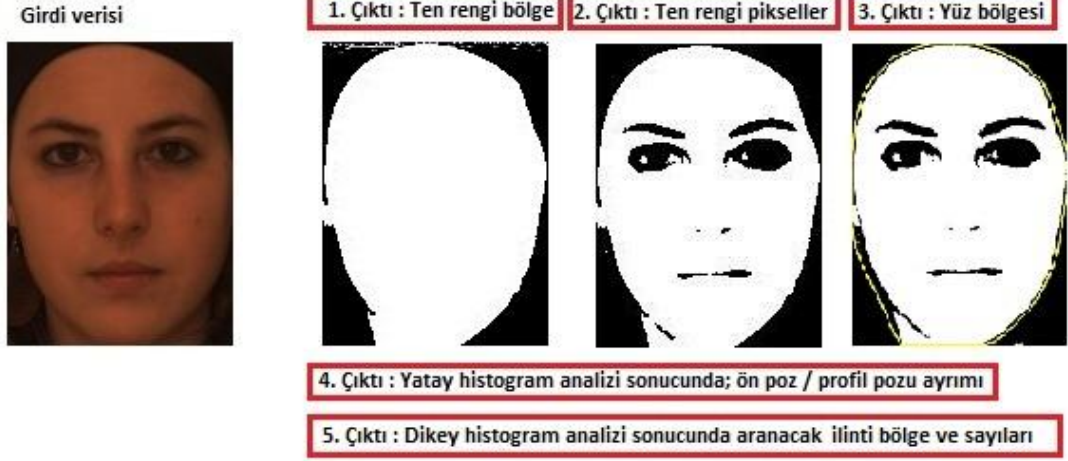


Şekil 2. 48 Histogram analizinde kullanılan pikseller

Çizelge 2. 3 Histogram analizi iş adımlarında hesaplamalar

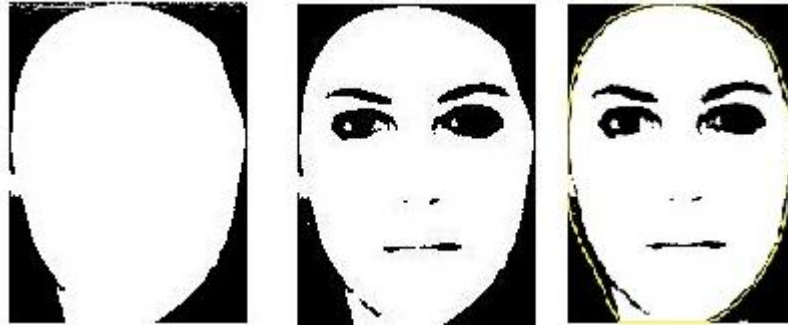
İşlem süresi = 00:00:15.7177581 saniye
Görüntü boyutu: 596 x 800 1 – Yüz ten rengi analizi ile başlanıyor. Yüz tipi = Ön poz 2 – Yüz ilinti bölgeleri aranıyor Bağımsız bağlı bileşen sayısı = 351 3 - Histogram analizine başlanıyor
Histogram analizi filtresi çalışmaya başladı Yüz tipi = Ön poz İlinti bölge sayısı = 4 İlinti bölge tipleri = Kaş / Göz / Burun/ Dudak Kapsanan piksel sayısı = 8 Histogram analizi işlem süresi = 00:00:01.1424054 Histogram analizi filtresi çalışması tamamlandı

Yüz yakalama işleminin girdi verileri ve sonuç verileri şekil 2.49' da gösterilmiştir.



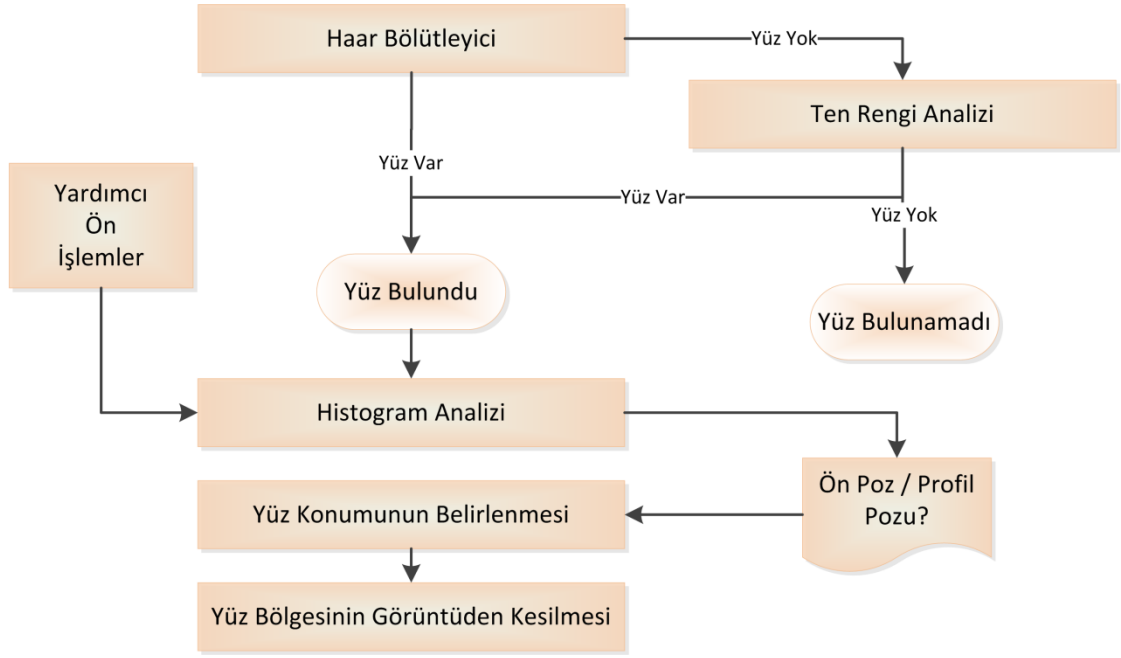
Şekil 2. 49 Yüz yakalama: Girdi ve sonuç veriler

Yüz yakalama işleminin girdi verileri ve sonuç verileri şekil 2.50' de gösterilmiştir.



Şekil 2. 50 Yüz yakalama: Girdi ve sonuç veriler

Yüz yakalama modülünün iş akışı şekil 2.51' de verilmiştir.



Şekil 2. 51 Yüz yakalama iş akışı

2.9 İlinti Bölgeleri

2.9.1 İlinti Bölgesi Nedir?

Görüntülerde, bir kısım dönüşüme karşı değişmeyen özel bölgelerin bulunması bilgisayarla görmede önemli bir yer tutmaktadır. Söz konusu bölgeler nesne bölütlendirme, geniş taban çizgili stereo (wide-baseline stereo), büyük veritabanlarında görüntü arama, model tabanlı tanıma gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılırlar. Genellikle ilinti bölgesi olarak adlandırılan bu bölgelerin bulunmasındaki amaç, bir ortamdaki farklı geometrik ve fotometrik şartlarda elde edilen görüntülerde bulunan ilinti bölgelerinin aynı yüzey parçalarına denk gelerek birbirleriyle eşleştirilebilmesidir. Tipik bir eşleştirme uygulaması ilk olarak görüntüler üzerinde ilinti bölgelerinin tespit adımıyla başlar. Daha sonra bölgelere karşılık gelen görüntü parçaları örneklenerek her birinden betimleyici vektörleri çıkarılır. Son adımda, bu betimleyici vektörler ile referans betimleyiciler karşılaştırılarak eşleştirilirler [142].

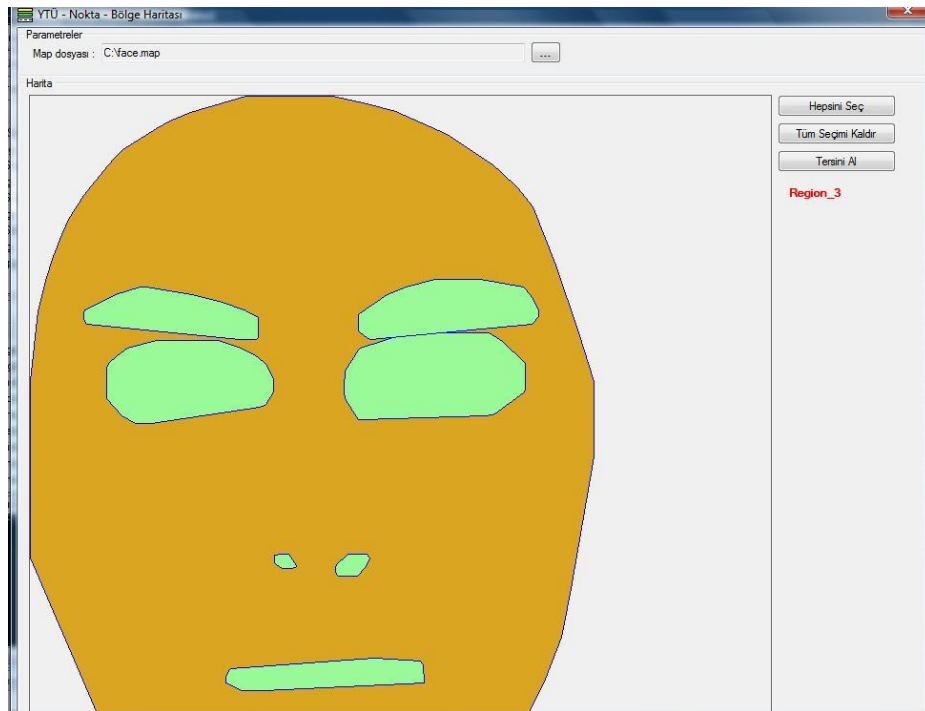
2.9.2 İlinti Bölgelerinin Belirlenmesi

Yüz yakalama aşamasında ten rengi filtreleme ile elde edilen ara görüntü sonuçları, bu aşamada ilinti bölgelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Yüz bölgesi olarak

işaretlenmiş bağlı bileşeni çevreleyen dışbükey çokgen (convex hull) oluşturulmuş ve bulunan diğer nesneler, yüz dışbükey çokgen bölgesi içerisinde kalıp kalmama durumuna göre filtrelenmiştir. Bu şekilde ilinti bölgeleri öncelikle hangi bölge oldukları bilinmeden elde edilmiştir. Bu haliyle ilinti bölgeleri belirlenmiş; ancak henüz tanımlanmamıştır.

İlinti bölgelerinin kabaca belirlenmesinin ardından, bulunan her bir bölge için, yüz geometrisinden yararlanarak, ilinti bölgesinin yüz içerisindeki konumu ve diğer ilinti bölgeleriyle olan komşuluklarına göre tanımlama yapılmıştır. Histogram analizi aşamasında, ilinti bölgeleri ile birlikte, hangi yüz ilinti bölgelerinden aranması gerektiği bilgisi de üretilmiştir. İlinti bölgelerinin tanımlanması aşamasında, bu bilgiden de yararlanılarak, tanımsız ilinti bölgelerinin, ilgili yüzde bulunması gereken ilinti bölge tiplerine göre bölütlemesi gerçekleştirilmiştir.

Bağımsız bağlı bileşenlere ait dışbükey çokgenler kullanılarak yüz haritası elde edilmiştir. Elde edilen örnek bir yüz haritası şekil 2.52’ de gösterilmiştir.



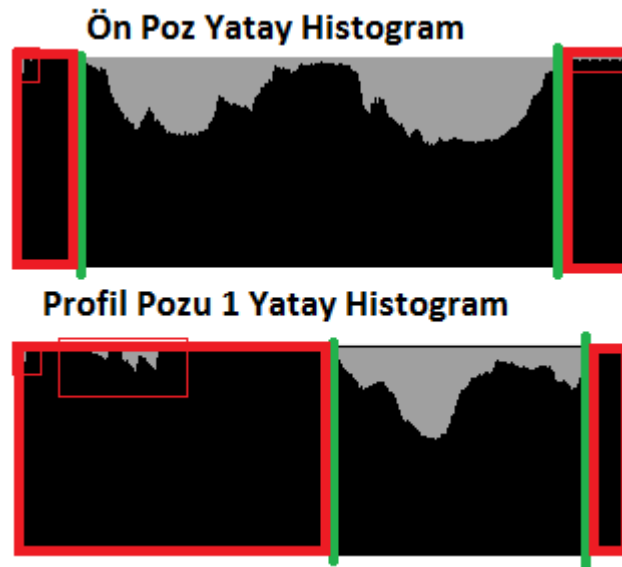
şekil 2. 52 Yüz haritası

Yüz haritası ekranında solda yer alan kısımda yüz ilinti bölgelerinden elde edilen dışbükey çokgenler, sağ kısımda ise seçili olan ilinti bölgesine ilişkin isim görülmektedir.

Yüz haritası yapısı XML veri yapısı olarak oluşturulmuş ve saklanmıştır. Örnek bir yüz veri yapısı Ek-C'de verilmiştir.

Yüz görüntüsünün yatay ve dikey histogram analizleri sırasında, görüntü alım açısı ve hangi ilinti bölgelerinin aranacağı belirlenmiştir. Örnek test görüntüsü için, ön yüz pozu olduğu ve buna bağlı olarak da kaş ve göz ilinti bölgelerinden ikişer tane aranması gerektiği bulunmuştur.

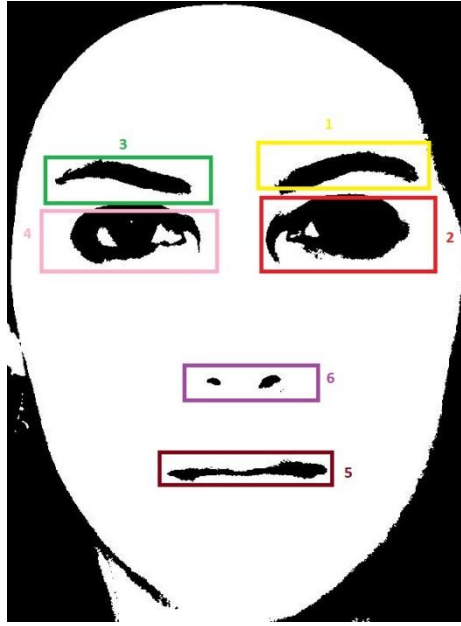
İlinti bölgelerinin tanımlanması ilinti bölgelerinin yüz içerisinde (kaş -> göz -> dudak -> burun) sıralaması baz alınarak yapılmaktadır. Ön yüz pozlarda kaş ve göz ilinti bölgelerinden ikişer tane, sağ profil pozlarında kaş ve göz ilinti bölgelerinden sağ tarafta olacak şekilde birer tane, sol profil pozlarında kaş ve göz ilinti bölgelerinden sol tarafta olacak şekilde birer tane aranacaktır kuralı uygulanmıştır. Yüzün en üst sol köşesinde yer alan ilinti bölgesinden başlanarak tanımlama gerçekleştirilmiştir. Yatay histogram analizi sırasında belirlenen en küçük ilk ve son yatay piksel sıra numaraları kullanılarak, bu sıra numaralarının dış tarafında kalan ilinti bölgeleri elenmiştir. Şekil 2.53' te en küçük yatay sıra numaraları yeşil çizgi ile, bunlar dışarısında kalan ilinti bölgelerini bulunduran görüntü parçaları kırmızı dikdörtgen ile gösterilmiştir.



Şekil 2. 53 İlinti bölgelerinin tanımlama öncesi elenmesi

Kaş ve göz bölgelerinin belirlenmesinin ardından, bir ek kontrol daha getirilmiştir. Buna göre, ön yüz pozlarında iki kaş / göz bölgesinin orta nokta değerleri hesaplanmış ve tanımlanacak diğer ilinti bölgelerinin (burun ve dudak) orta noktalarının bu iki nokta

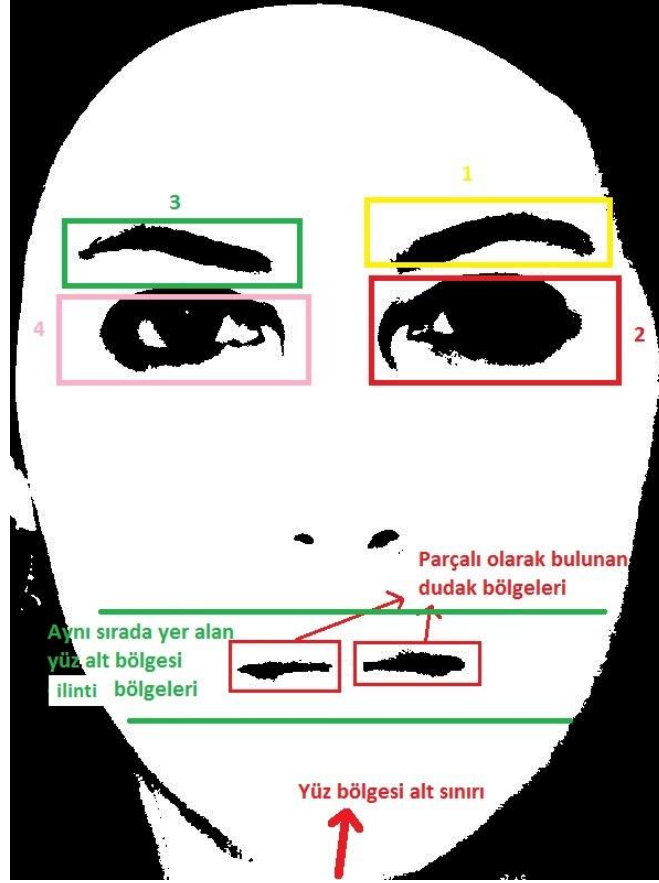
arasında kalması gerektiği kuralı uygulanmıştır. Sağ ve sol profil yüz pozlarında ise tanımlanacak diğer ilinti bölgelerinin orta noktalarının kaş / göz ilinti bölgesi orta noktasının sağında / solunda olması gerektiği kuralı uygulanmıştır. Orta nokta kuralına uyan ilinti bölgelerinin belirlenmesinin ardından, en altta yer alan bölge dudak bölgesi olarak işaretlenmiştir. İlinti bölgelerinin tanımlanma sırası, şekil 2.54' te dikdörtgenler içerisinde numaralandırılarak gösterilmiştir.



Şekil 2. 54 İlinti bölgelerinin tanımlanma sırası

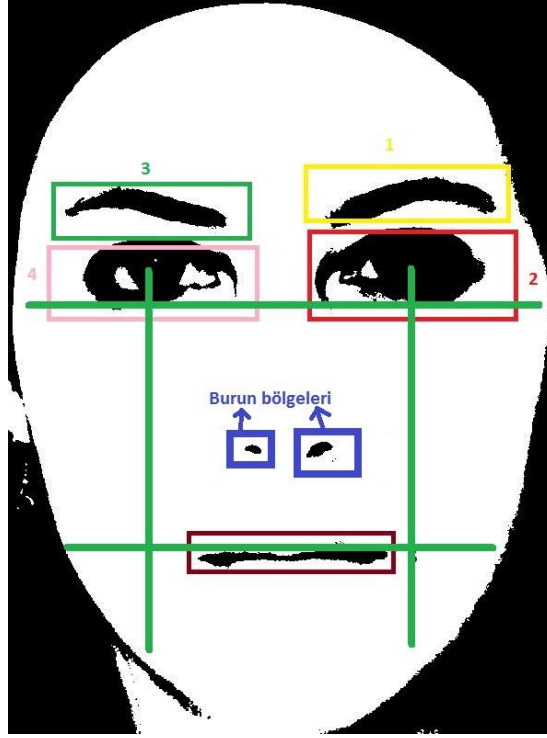
Tanımlanma sırasının bu şekilde yapılmasının nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Dudak bölgesinin, ten rengi filtreleme işlemi sonucunda parçalı olarak bulunması halinde, öncelikle tüm parçaları bir araya getirmek ve dudak bölgesini bu birleştirme sonrasında elde etmek gereklidir. Bu nedenle yüz alt sınırı üzerinde aynı satır sıra numarasında yer alan parçalar birleştirilir. Bu birleştirme işlemi şekil 2.55' de gösterilmiştir.



Şekil 2. 55 Dudak bölgelerinin birleştirilmesi

Dudak bölgesinin tek bir parça olarak elde edilmesinin ardından, yatayda iki göz bölgesi arasında, dikeyde ise göz ve dudak bölgeleri arasında kalan bölgeler, burun bölgesi olarak tek bir parça halinde birleştirilir. Bu birleştirme işlemi şekil 2.56' da gösterilmiştir.

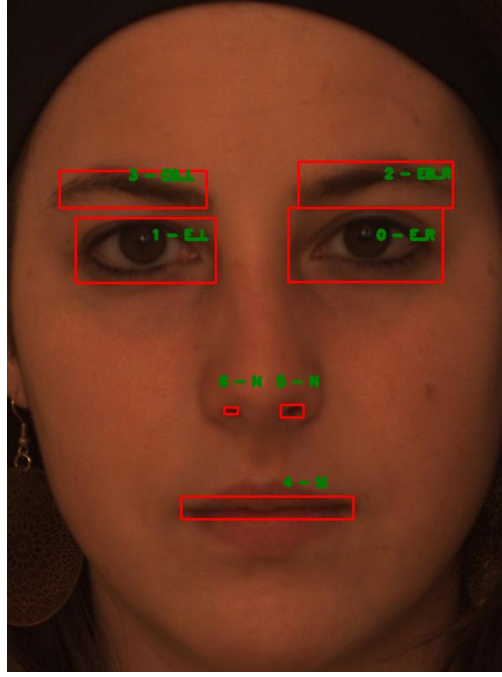


Şekil 2. 56 Burun bölgelerinin birleştirilmesi

İlinti bölgelerinin belirlenmesi sürecindeki adımlar, ara hesaplamalar ve sonuçlar çizelge 2.4' te, tanımlanan ilinti bölgeleri şekil 2.57' de gösterilmiştir.

Çizelge 2. 4 İlinti bölgelerinin tanımlanma süreci

Görüntü boyutu: 596 x 800 İşlem süresi = 00:00:01.3578012 saniye
1 – Yüz ten rengi analizi ile başlanıyor. [Yüz tipi = Ön poz] 2 – Yüz ilinti bölgeleri aranıyor [Bağımsız bağlı bileşen sayısı = 37] 3 - Histogram analizine başlanıyor Yatay histogram analizi sonucunda yüz tipi = Ön poz Dikey histogram analizi sonucunda ilinti bölge sayısı = 4 Dikey histogram analizi sonucunda ilinti bölge tipleri = Kaş / Göz / Burun / Dudak
Histogram analizi filtresi çalışmaya başladı Yüz tipi = Ön poz İlinti bölge sayısı = 4 İlinti bölge tipleri = Kaş / Göz / Burun / Dudak Kapsanılan piksel sayısı = 8 Histogram analizi işlem süresi = 00:00:01.1483113 Histogram analizi filtresi çalışması tamamlandı
İlinti bölgeleri filtresi çalışmaya başladı Aranacak kaş bölge sayısı = 2 Aranacak göz bölge sayısı = 2 Aranacak burun bölge sayısı = 1 Aranacak dudak bölge sayısı = 1 Sol kaş bölgesi bulundu Sağ kaş bölgesi bulundu Sol göz bölgesi bulundu Sağ kaş bölgesi bulundu Dudak bölgesi bulundu Burun bölgesi bulundu İlinti bölgeleri filtresi işlem süresi = 00:40:51.5668147 İlinti bölgeleri filtresi çalışması tamamlandı

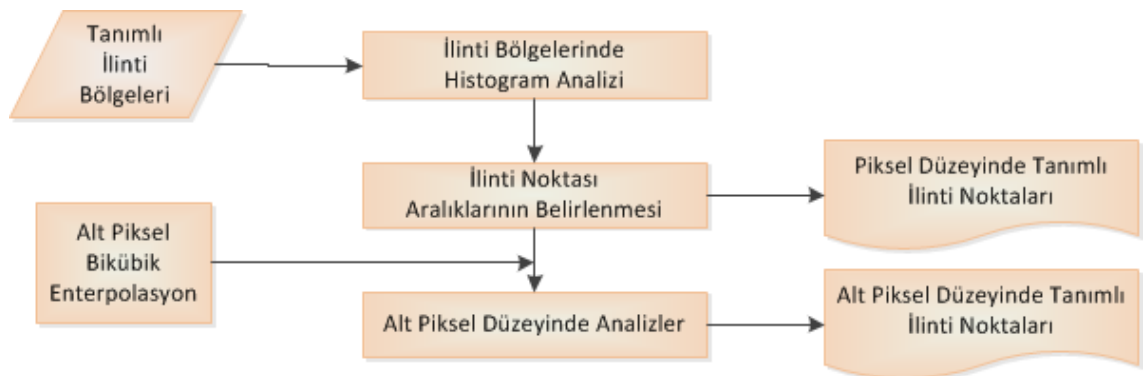


Şekil 2. 57 İlinti bölgelerinin tanımlanması

2.10 İlinti Noktalarının Belirlenmesi

İlinti bölgelerinin belirlenmesinin ardından, ilinti noktaları, sunulan çalışmada geliştirilen yüz ilinti noktası operatörleri ile belirlenmiştir. Burada yüze ait her ilinti bölgesi (kaş, göz, burun, dudak) için ayrı bir operatör geliştirilmiştir. Operatörler çalışmaları gereken yüz ilinti bölgesini ve bu bölgeye özel nitelikleri otomatik tanıyacak şekilde geliştirilmiştir. Başka bir deyişle, ilinti operatörleri, arayacakları noktaların ayırt edici özelliklerini bilmektedirler.

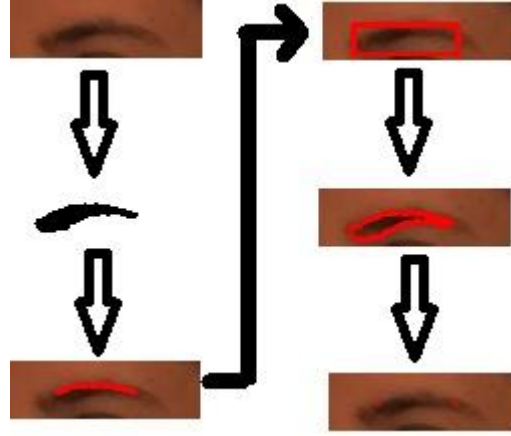
Tanımlı ilinti bölgeleri içerisinde, ilinti noktalarının belirlenmesine ilişkin iş akışı şekil 2.58’ de gösterilmiştir.



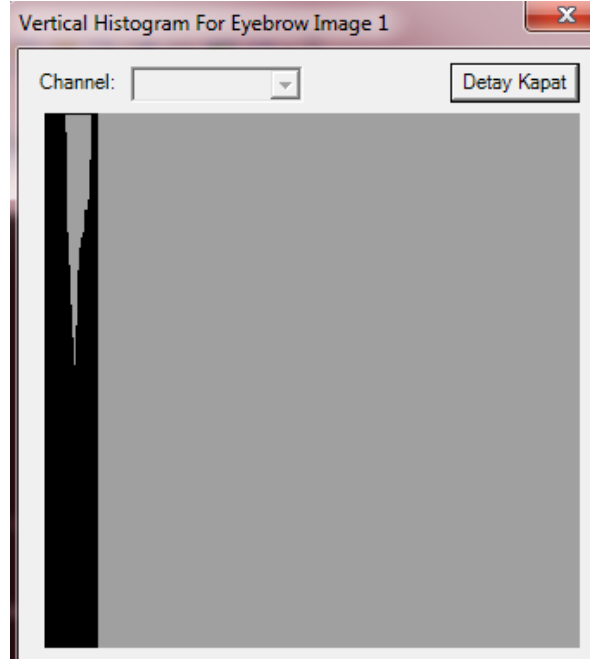
Şekil 2. 58 İlinti noktalarının belirlenmesi iş akışı

2.10.1 Kaş İlinti Noktalarının Bulunması

Kaş ilinti noktalarının bulunması için, kaş ilinti bölgesi görüntüsü üzerinde kaş ilinti noktası operatörü çalıştırılmıştır. Kaş ilinti noktası operatörü, kaş ilinti bölgesinin ikilik görüntüsü üzerinde çalışarak, dikey histogram istatistiklerini çıkartır ve bu değerler üzerinde çeşitli analizler yaparak ilinti noktalarını belirlemektedir. Şekil 2.59’da yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla kaş ilinti bölgesine ilişkin normal renkli görüntü, gri renkli görüntü ve ikilik görüntü; şekil 2.60’ ta kaş bölgesine ilişkin dikey piksel istatistikleri görülmektedir.



Şekil 2. 59 Kaş ilinti operatörünün iş adımları



Şekil 2. 60 Kaş bölgesi dikey piksel istatistikleri

Kaş bölgesi görüntüsünün piksel istatistiklerinin hesaplanması için, öncelikle kaş bölgesi pikselleri üzerinde filtreleme işlemi uygulanmıştır. Filtreleme için, her satır boyunca tüm piksel değerleri için, pikselin RGB değeri elde edilmiş, bu değer YCbCr renk uzayına çevrilmiş ve Cr değeri saklanmıştır. Görüntüdeki tüm piksellerin Cr değerleri elde edilip, tüm görüntü için ortalama bir Cr değeri hesaplanmış ve elde edilen bu ortalama Cr değeri, eşik filtreleme parametresi olarak kullanılmıştır. Cr değeri, ortalama Cr değerinden daha yüksek olan pikseller göz ardı edilmiştir. Kaş ilinti noktası operatörünün ön işleme algoritması şekil 2.61’te gösterilmiştir.

```
#region Calculate the coefficients

//For each line
for (int y = startY; y < stopY; y++)
{
    //For each pixel
    for (int x = startX; x < stopX; x++, ptrImg += pixelSizeImage)
    {
        counter++;

        RGB rgb = new RGB((byte)ptrImg[RGB.R], (byte)ptrImg[RGB.G], (byte)ptrImg[RGB.B]);
        YCbCr ycbcr = YCbCr.FromRGB(rgb);

        _ImageThresholdValue += ycbcr.Cr;
    }

    ptrImg += srcOffset;
}

_ImageThresholdValue /= counter;

#endregion
```

Şekil 2. 61 Kaş ilinti noktası operatörü algoritması

Dikey piksel istatistikleri incelendiğinde, kaş bölgesinin başlangıcı, en üst seviyeye ulaştığı orta bölgesi ve son noktasını ayırt edebilecek bir dağılım olduğu gözlenmiştir. Öncelikle histogramın en küçük noktaya ulaştığı değer belirlenerek tüm histogram iki bölüme ayrılmıştır.

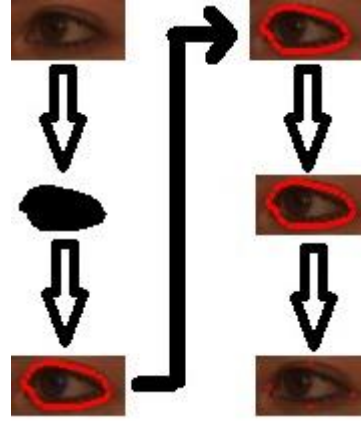


Şekil 2. 62 Kaş bölgesi histogram istatistiklerinin analizi

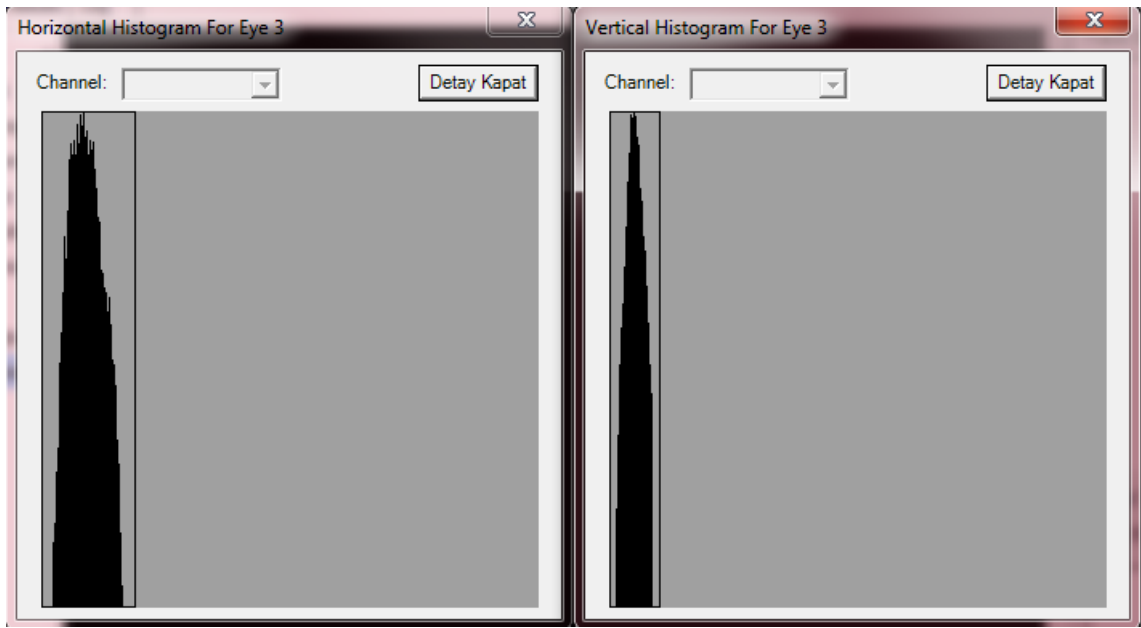
Piksel istatistiklerinin en küçük olduğu nokta kaş orta noktası, her bir bölge içerisinde bölgenin en baş ve en son kısmında yer alan son nokta ise kaş başlangıç ve bitiş noktası olarak işaretlenmiştir.

2.10.2 Göz İlinti Noktalarının Bulunması

Göz ilinti noktalarının bulunması için, göz ilinti bölgesi görüntüsü üzerinde göz ilinti noktası operatörü çalıştırılmıştır. Göz ilinti noktası operatörü, göz ilinti bölgesinin ikilik görüntüsü üzerinde çalışarak, yatay ve dikey histogram istatistiklerini çıkartır ve bu değerler üzerinde çeşitli analizler yaparak ilinti noktalarını belirlemektedir. Şekil 2.63' te göz ilinti noktalarının belirlenmesi sırasında göz bölgesine uygulanan işlemlerin ara sonuçları; şekil 2.64' te göz bölgesine ilişkin yatay ve dikey piksel istatistikleri görülmektedir.



Şekil 2. 63 Göz ilinti operatörünün iş adımları



Şekil 2. 64 Göz bölgesi yatay ve dikey piksel istatistikleri

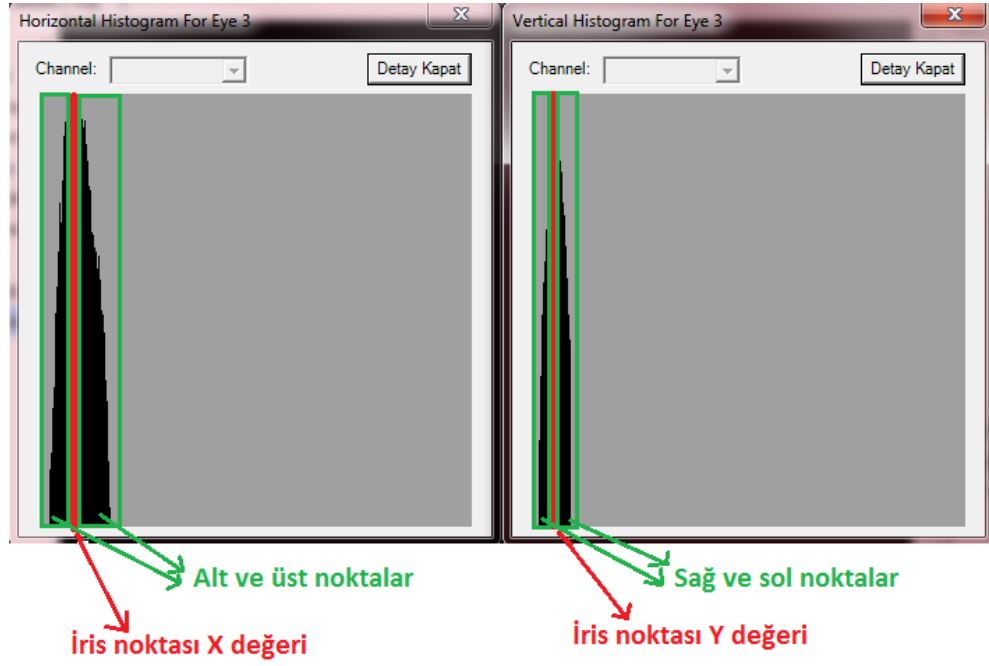
Göz bölgesi görüntüsünün piksel istatistiklerinin hesaplanması için, öncelikle göz bölgesi pikselleri üzerinde filtreleme işlemi uygulanmıştır. Filtreleme için, öncelikle yine kaş bölgesi üzerinde uygulanan ortalama Cr eşik değeri hesaplanmış ve göz bölgesi görüntüsüne eşik filtresi uygulanarak ikilik göz bölgesi görüntüsü üretilmiştir. Ardından yine her satırdaki her piksel için, ikilik görüntüdeki piksel değeri (0 ya da 1) ile orijinal göz görüntüsündeki YCbCr renk değerinin Y ve Cr bileşenleri kullanılarak bir ortalama değer daha üretilmiştir. Görüntü bu ortalama değer üzerinden de filtrelenerek ikinci bir ikilik görüntü üretilmiştir. Ardından elde edilen ikilik görüntü içerisindeki bağımsız bağılı bileşenler elde edilmiş ve göz bölgesi elde edilmiştir. Son ikilik görüntü üzerinde yatay ve dikey histogram istatistikleri hesaplanmış, ardından bu değerler ilinti noktalarının

elde edilebilmesi için analiz edilmiştir. Göz ilinti noktası operatörünün ön işleme algoritması şekil 2.65’ te gösterilmiştir.

<pre> //For each line for (int y = startY; y < stopY; y++) 1. filtre { //For each pixel for (int x = startX; x < stopX; x++, ptrImg += pixelSizeImage) { counter++; RGB rgb = new RGB((byte)ptrImg[RGB.R], (byte)ptrImg[RGB.G], (byte)ptrImg[RGB.B]); YCbCr ycbcr = YCbCr.FromRGB(rgb); ///BinIM & YIm * BinIM * CrIm //int co = ptr[RGB.R]; //sumValue += (co * ycbcr.Y) * (co * ycbcr.Cr); _ImageThresholdValue += ycbcr.Cr; } ptrImg += srcOffset; } _ImageThresholdValue /= counter; </pre>	<pre> //For each line for (int y = startY; y < stopY; y++) 2. filtre { //For each pixel for (int x = startX; x < stopX; x++, ptrImg += pixelSizeImage, ptrGry++) { counter++; RGB rgb = new RGB((byte)ptrImg[RGB.R], (byte)ptrImg[RGB.G], (byte)ptrImg[RGB.B]); YCbCr ycbcr = YCbCr.FromRGB(rgb); //BinIM & YIm * BinIM * CrIm _EyeThresholdValue = (*ptrGry * ycbcr.Y) * (*ptrGry * ycbcr.Cr); } ptrImg += srcOffset; ptrGry += gryOffset; } _EyeThresholdValue /= counter; </pre>
--	--

Şekil 2. 65 Göz ilinti noktası operatörü algoritması

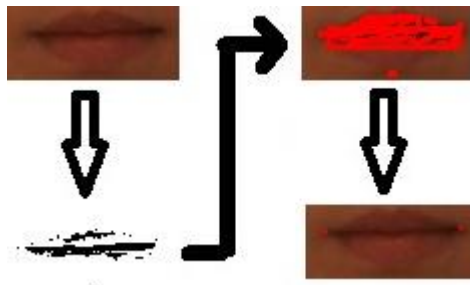
Göz bölgesinin yatay histogram istatistiklerindeki en büyük değer iris noktasının X değerine, dikey histogram istatistiklerindeki en büyük değer iris noktasının Y değerine karşılık gelmektedir. Şekil 2.66’ da bu değerler, kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Histogram değerleri, bu değerlerden iki ayrı parçaya bölünmüştür. Dikey histogramdaki iki parçada yer alan en küçük noktalar, gözün sağ ve sol ilinti noktasının koordinatlarına; yatay histogramdaki iki parçada yer alan en küçük noktalar, gözün alt ve üst ilinti noktasının koordinatlarına karşılık gelmektedir. Şekil 2.66’ da bu değerler yeşil renk ile gösterilmiştir.



Şekil 2. 66 Göz bölgesi histogram istatistiklerinin analizi

2.10.3 Dudak İlinti Noktalarının Bulunması

Dudak ilinti noktalarının bulunması için, dudak ilinti bölgesi görüntüsü üzerinde dudak ilinti noktası operatörü çalıştırılmıştır. Dudak ilinti noktası operatörü, dudak ilinti bölgesinin ikilik görüntüsü üzerinde çalışarak, yatay histogram istatistiklerini çıkartarak ve bu değerler üzerinde çeşitli analizler yaparak ilinti noktalarını belirlemektedir. Şekil 2.67' de dudak ilinti noktalarının belirlenmesi sırasında dudak bölgesine uygulanan işlemlerin ara sonuçları; şekil 2.68' de dudak bölgesine ilişkin yatay piksel istatistikleri görülmektedir.



Şekil 2. 67 Dudak ilinti operatörünün iş adımları



Şekil 2. 68 Dudak bölgesi yatay piksel istatistikleri

Dudak bölgesinin piksel değerleri, yüz ten rengi piksellerinden büyük oranda farklılık gösterdiği için, sadece detaylı ten rengi analizi yapılarak dudak bölgesinin görüntü içerisinde ayırt edilmesi mümkündür. Dudak ilinti noktası operatörü ilk aşamada ten rengi analizi uygulayarak dudak bölgesini ten rengi bölgeden ayırmakta ve elde ettiği görüntüyü ikilik görüntü haline çevirmektedir. Daha sonra elde edilen ikilik görüntü içerisinde bağımsız bağlı bileşen analizi yapılarak dudak bölgesi noktalarını çevreleyen dışbükey çokgen elde edilmiştir. Dudak ilinti noktası operatörünün histogram istatistikleri üretme algoritması şekil 2.69’ da gösterilmiştir.

```

//For each line
for (int y = startY; y < stopY; y++)
{
    int lineBSum = 0;

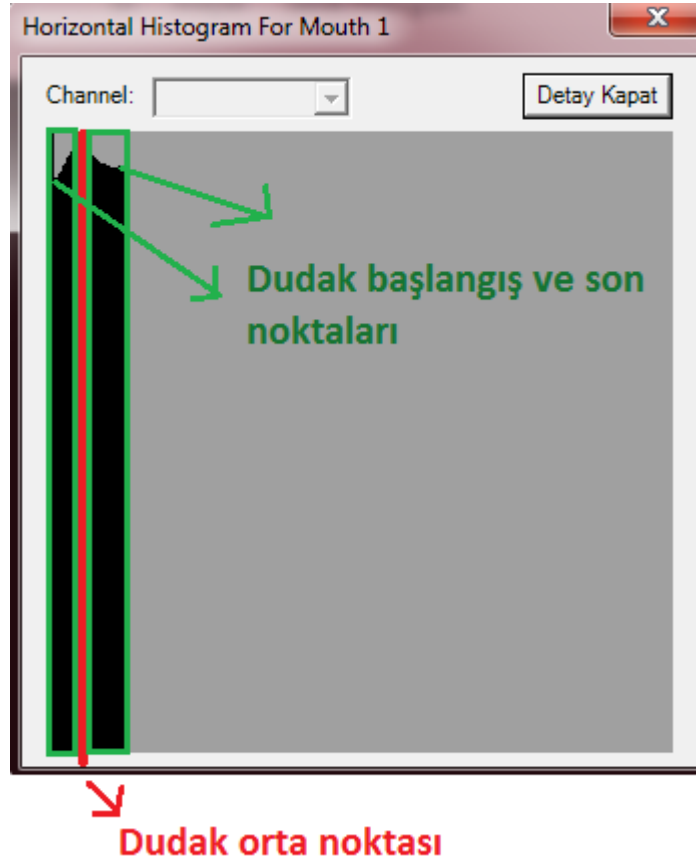
    //For each pixel
    for (int x = startX; x < stopX; x++, ptrImg += pixelSizeImage)
    {
        RGB rgb = new RGB(ptrImg[RGB.R], ptrImg[RGB.G], ptrImg[RGB.B]);
        YCbCr ycbcr = YCbCr.FromRGB_To255Range(rgb);
        //lineBSum += (int)((Math.Pow(ycbcr.Cr, 2) * Math.Pow(ycbcr.Cb, 2)) /
        //(_Lamda1 * _Lamda2 * _Lamda3));
        lineBSum += (int)ycbcr.Cb;
    }

    verticalHistogramValues[y - startY] = lineBSum;
    ptrImg += srcOffset;
}

```

Şekil 2. 69 Dudak ilinti noktası operatörü algoritması

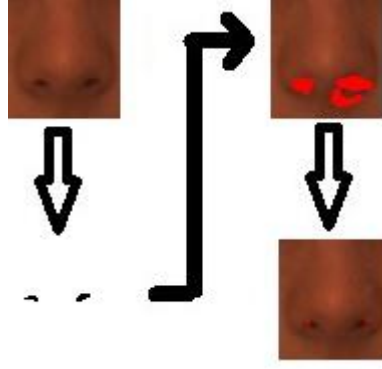
Elde edilen dışbükey çokgenin dikey olarak orta noktasından geçen çizgi, dudak orta çizgisine karşılık gelmektedir. Bu çizginin hangi koordinatlardan geçtiğinin hesaplanabilmesi için, yatay histogram istatistiklerindeki en büyük değer bulunmuştur. Şekil 2.70' te bu değer kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Yatay histogram değerleri, bu nokta baz alınarak iki bölüme ayrılmıştır. Dudak orta çizgisinin Y koordinatı civarında olan noktaların X değerleri kontrol edilmiş ve en küçük X değeri ile en büyük X değeri dudak başlangıç ve son noktasının konumları olarak kabul edilmiştir. Bu bölge ve noktalar şekil 2.70' te yeşil renk ile gösterilmiştir.



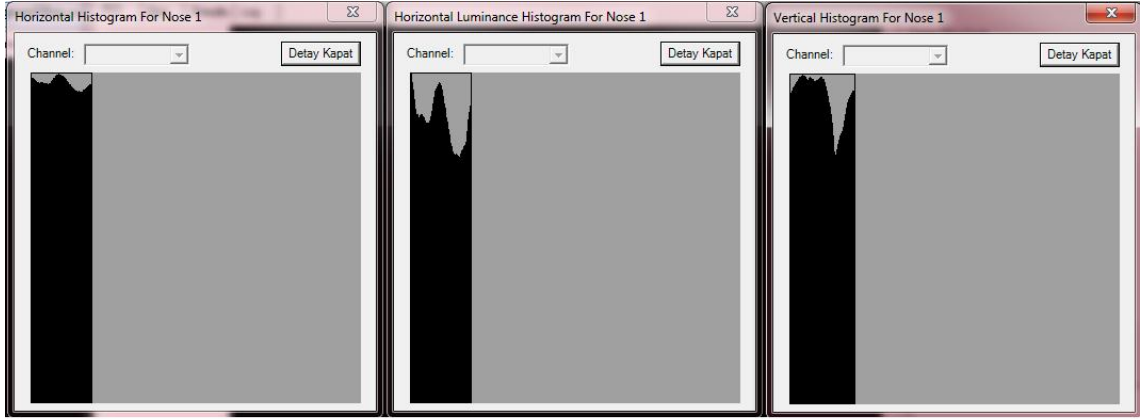
Şekil 2. 70 Dudak bölgesi histogram istatistiklerinin analizi

2.10.4 Burun İlinti Noktalarının Bulunması

Burun ilinti noktalarının bulunması için, burun ilinti bölgesi görüntüsü üzerinde burun ilinti noktası operatörü çalıştırılmıştır. Burun ilinti noktası operatörü, burun ilinti bölgesinin ikilik görüntüsü üzerinde çalışarak, iki farklı yatay ve bir dikey histogram istatistikleri çıkarır ve bu değerler üzerinde çeşitli analizler yaparak ilinti noktalarını belirlemektedir. Şekil 2.71' de burun ilinti noktalarının belirlenmesi sırasında burun bölgesine uygulanan işlemlerin ara sonuçları; şekil 2.72' de burun bölgesine ilişkin yatay ve dikey piksel istatistikleri görülmektedir.



Şekil 2. 71 Burun ilinti operatörünün iş adımları



Şekil 2. 72 Burun bölgesi yatay ve dikey piksel istatistikleri

Burun delikleri, yüz ten rengine kıyasla siyaha yakın koyu bir renkte olmaları nedeniyle, ten rengi analizi sonucunda kolaylıkla elde edilebilmiştir. Burun deliklerinin olduğu bölümler, ayrı bağımsız bileşenler olarak elde edildikten sonra buruna ilişkin özellik noktaları bu bölgeler etrafında, histogram istatistikleri analiz edilerek belirlenebilir. Öncelikle burnun ikilik görüntüsü üzerinde bağımsız bağlı bileşen arama gerçekleştirilmiştir. Burada elde edilen tüm bağımsız bileşenler burun bölgesine ilişkin olacağı için hepsi birleştirilmiş ve tek bir bileşen olarak ele alınmıştır. Histogram analizi için kullanılacak değerler, tek bir bileşen üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Yatay histogram analizi istatistikleri için, hem pikselin YCbCr rengine ilişkin Cr bileşeni, hem de HSL değerine ilişkin L (luminance) değeri kullanılmıştır. Şekil 2.58’de görülen ilk histogram Cr bileşeni ile ikinci histogram ise L bileşeni ile elde edilmiştir. Düşey olarak her pikselin YCbCr bileşeninin Cb bileşen değeri ile dikey histogram istatistikleri

oluşturulmuştur. Burun ilinti noktası operatörünün histogram istatistikleri üretme algoritması şekil 2.73' te gösterilmiştir.

```
//For each line
for (int y = startY; y < stopY; y++)
{
    //For each pixel
    for (int x = startX; x < stopX; x++, ptrImg += pixelSizeImage)
    {
        RGB rgb = new RGB((byte)ptrImg[RGB.R], (byte)ptrImg[RGB.G],
            (byte)ptrImg[RGB.B]);
        YCbCr ycbcr = YCbCr.FromRGB_To255Range(rgb);
        _HorizontalHistogramValues[x - startX] += (int)ycbcr.Cr;
    }

    ptrImg += srcOffset;
}
```

1. yatay histogram değerleri

```
//For each line
for (int y = startY; y < stopY; y++)
{
    //For each pixel
    for (int x = startX; x < stopX; x++, ptrImg += pixelSizeImage)
    {
        RGB rgb = new RGB((byte)ptrImg[RGB.R], (byte)ptrImg[RGB.G],
            (byte)ptrImg[RGB.B]);
        HSL hsl = HSL.FromRGB(rgb);
        _HorizontalLuminanceHistogramValues[x - startX] +=
            (int)(hsl.Luminance * 255);
    }

    ptrImg += srcOffset;
}
```

2. yatay histogram değerleri

```
//For each line
for (int y = startY; y < stopY; y++)
{
    int lineBSum = 0;

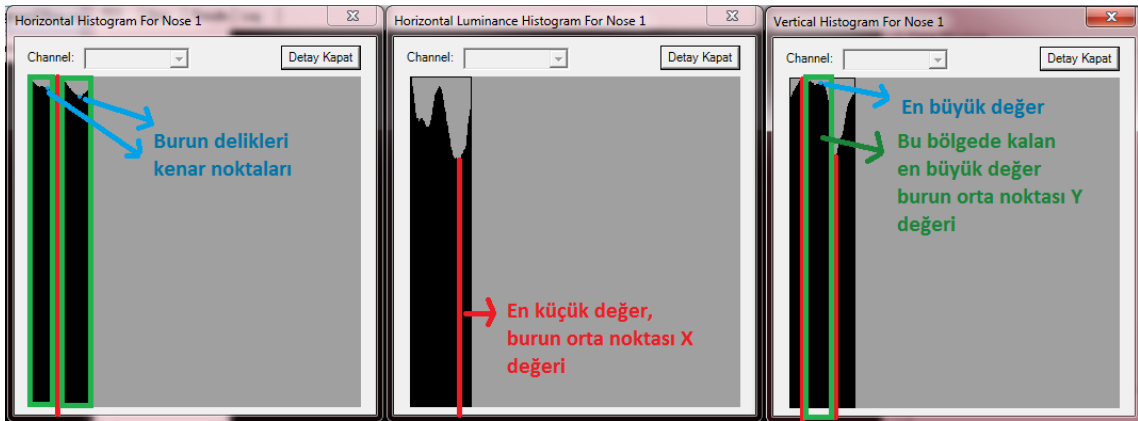
    //For each pixel
    for (int x = startX; x < stopX; x++, ptrImg += pixelSizeImage)
    {
        RGB rgb = new RGB(ptrImg[RGB.R], ptrImg[RGB.G], ptrImg[RGB.B]);
        YCbCr ycbcr = YCbCr.FromRGB_To255Range(rgb);
        HSL hsl = HSL.FromRGB(rgb);
        //lineBSum += (int)((Math.Pow(ycbcr.Cr, 2) *
        //Math.Pow(ycbcr.Cb, 2)) / (_Lamda1 * _Lamda2 * _Lamda3));
        lineBSum += (int)(hsl.Luminance * 255);
    }

    _VerticalHistogramValues[y - startY] = lineBSum;
    ptrImg += srcOffset;
}
```

Dikey histogram değerleri

Şekil 2. 73 Burun ilinti noktası operatörü algoritması

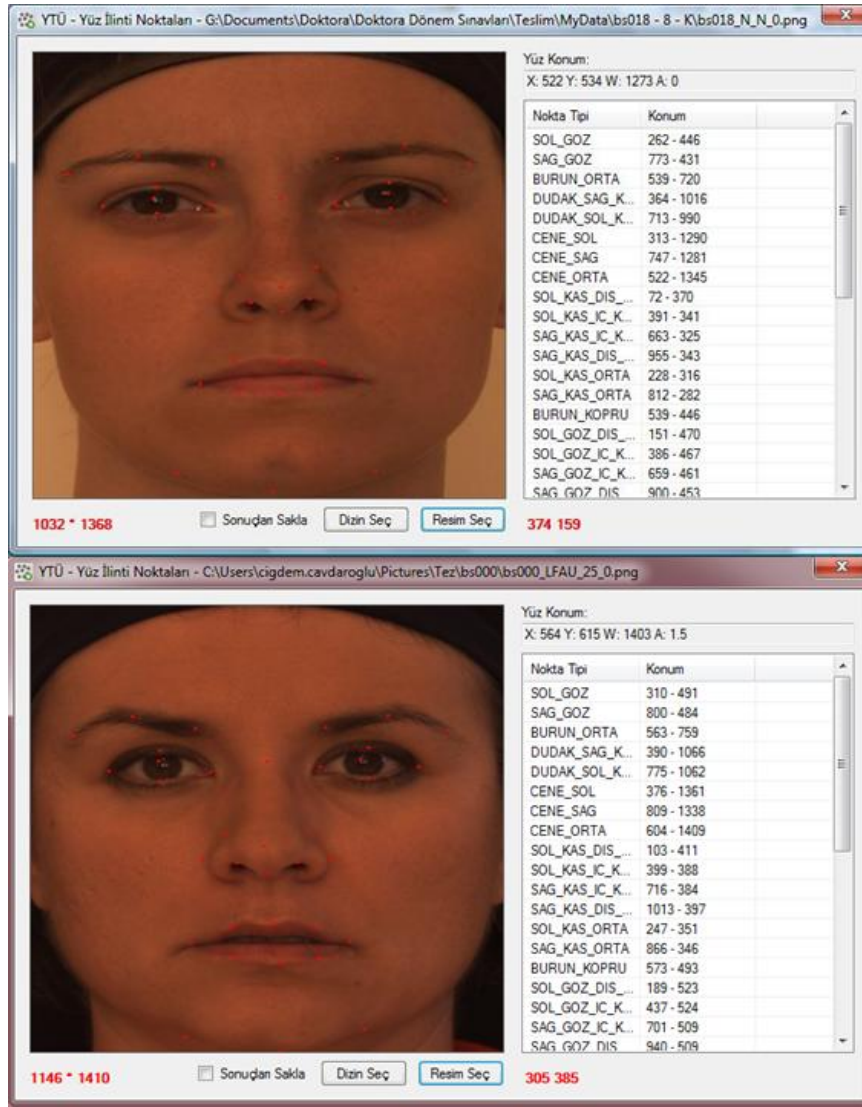
Yatay L değerleri histogram istatistiklerindeki en küçük değer burun orta noktası X değerine karşılık gelmektedir. Diğer yatay histogramdaki en büyük değer bulunduğuyerden histogram değerleri iki ayrı parçaya bölündüğünde, her iki parçada da en küçük değeri sağlayan değer burun orta deliklerinin kenar noktalarına karşılık gelmektedir. Dikey histogram değerlerinin en büyük değerinden histogram değerleri iki parçaya ayrıldığında, ilk parçada kalan değerlerin en büyüğü burun orta noktasına karşılık gelmektedir. Bu noktalar şekil 2.74' de gösterilmiştir.



Şekil 2. 74 Burun bölgesi histogram istatistiklerinin analizi

Tüm aşamalar tamamlandığında, girdi olarak alınan görüntü içerisinde, yüz tespit edilmiş, konumlandırılmış, yüz içerisindeki ilinti bölgeleri ve her bir ilinti bölgesine ilişkin ilinti noktaları bulunmuş ve tanımlanmıştır.

Şekil 2.75' te örnek iki test görüntüsü için bulunan ilinti noktaları ve değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2. 75 ilinti noktaları

Bu bilgilerin elde edilmesinin ardından, eşlenik görüntülerin çakıştırılması için elde edilen bu ilinti noktalarının kullanılmasıyla, eşleştirme işlemlerindeki problemlerden ve zorluklardan kaçınılmış olur.

İlinti noktalarının bulunmasında elde edilen doğruluk değerleri EK-F' de verilmiştir.

2.11 Yeniden Örnekleme İle Alt Piksel Düzeyinde Koordinat Değerlerinin Üretilmesi

Piksellerin, geometrik dönüşümle hesaplanan yeni koordinat değerleri tamsayı değerler değildir. Tamsayı grid değerlerindeki parlaklık değerlerini elde edebilmek için gri düzey enterpolasyonunun yapılması gerekir [143]. Dönüşümden sonra, giriş ve sonuç görüntüdeki piksel sayıları eşit olmayabilir. Örneğin, görüntüler arasında ölçek

farkı varsa, iki görüntü boyutu aynı olmayacak dolayısıyla piksel sayıları farklı olacaktır. Yeni piksel değerlerinin ne olacağı, ancak gri düzey enterpolasyonu yapılarak elde edilebilir.

Gri düzey enterpolasyonu, hesaplanan yeni piksel noktasının parlaklık değerinin etrafındaki komşu pikseller kullanılarak hesaplanmasını sağlayan tekniklerin genel adıdır. Pikselin parlaklık değerinin yeniden bulunması işlemini içerdiği için genel olarak, yeniden örnekleme ya da gri düzey yeniden örnekleme olarak da kullanılır.

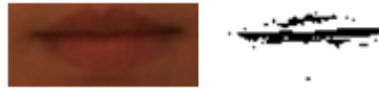
Gri düzey enterpolasyon, sonuç görüntünün görüntü kalitesini etkilemesi nedeniyle oldukça önemlidir [144]. Bu nedenle sisteme olabildiğince az yük getirip en yüksek görüntü kalitesini verecek şekilde seçilmelidir. Literatürde sıklıkla kullanılan üç yöntem;

- En yakın komşuluk,
- Bi-lineer enterpolasyon,
- Bi-kübik enterpolasyon [145]

Pikseller üzerinde yapılan analizler ilinti noktalarına ilişkin konumların tam koordinat değerlerini belirleyemediği için ilinti bölgeleri kabaca belirlendikten sonra görüntü yeniden örneklenerek daha doğru bir konum elde edilmeye çalışılmaktadır. Yeniden örnekleme yöntemleri arasında en doğru sonucu üreten bikübik enterpolasyon yöntemi uygulanarak piksellere ilişkin alt piksel kümeleri elde edilmektedir.

2.11.1 Dudak Bölgesi Üzerinde Yapılan Yeniden Örnekleme

Dudak bölgesi üzerinde yapılan yeniden örnekleme çalışmasının sonuçları şekil 2.76' da gösterilmiştir.



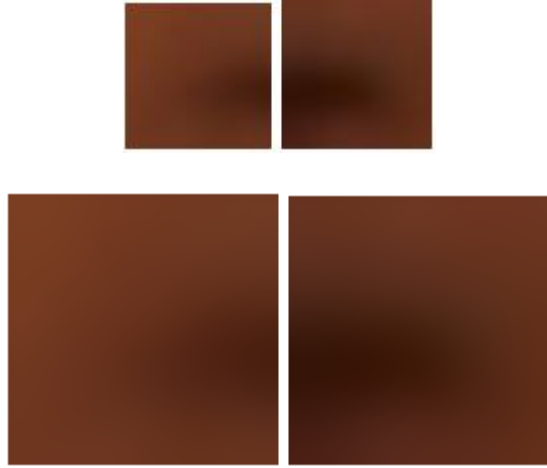
Şekil 2. 76 Dudak bölgesinin belirlenmesi

Yukarıdaki dudak bölgesi üzerinde belirlenen ilinti noktalarının kaba konumları şekil 2.77' de gösterilmiştir.



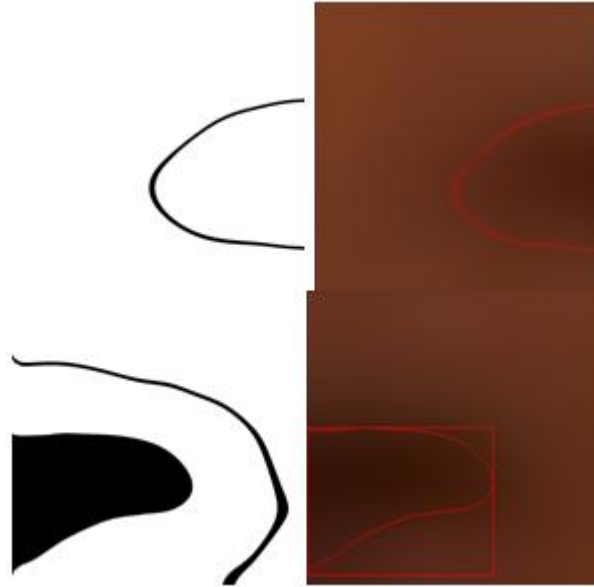
Şekil 2. 77 Dudak bölgesinde belirlenen ilinti noktaları

Bu aşamadan sonra, sol ve sağ ilinti noktalarını kapsayan bölgeler görüntü içerisinde kesilerek yeniden örnekleme işlemi uygulanmaktadır.



Şekil 2. 78 Dudak bölgesinde bulunan ilinti noktalarının yeniden örneklenmesi

Yeniden örneklenen görüntüler içerisinde analizler yapılarak ilinti noktalarının tam doğru konumları elde edilmeye çalışılmaktadır.



Şekil 2. 79 Dudak bölgesinde bulunan ilinti noktalarının yeniden üretilmesi

2.12 İlinti Bölgelerinin Eşleştirilmesi

2.12.1 Görüntü Eşleme

Stereo görüntülerden 3B nesne yeniden oluşturma işlemi sırasında yaşanan en büyük sorunlardan birisi, görüntü eşleme olarak adlandırılan ve her iki görüntünün birbirlerine karşılık gelen eşlenik kısımlarının otomatik olarak belirlenmesini hedefleyen araştırmadır. Görüntü eşleme yöntemleri temel olarak

- Alan-tabanlı,
- Detay-tabanlı
- İlişkisel-(Sembolik) tabanlı

olmak üzere üç farklı kategoride ele alınmaktadır [145].

Alan-tabanlı yöntemler görüntülerdeki piksel değerlerini temel alırlar ve bu değerleri çeşitli benzerlik ölçütleri ve yöntemleri kullanarak her iki görüntüde karşılaştırırlar. Detay-tabanlı yöntemler, her görüntüden nokta, kenar ve/veya alan gibi belirgin detayları çıkarırlar. Devamında, bu detayların var olan öz nitelik bilgileri temel alınarak benzerlik karşılaştırması yapılarak eşleme gerçekleştirirler. İlişkisel-tabanlı yöntemler ise, nokta, kenar ve/veya alan gibi görüntülerden çıkarılan detayların birbirleriyle olan yapısal ilişkilerini kullanarak eşleme yaparlar. Günümüze dek, her üç yöntemle ilişkin azımsanmayacak sayıda çalışmalar yapılmasına ve çok çeşitli yöntemler geliştirilmesine karşın, stereo görüntü eşleme hala tam anlamıyla çözümlenememiş bir konudur. Bunun temel nedeni ise, görüntü eşleme sırasında karşılaşılan çok çeşitli ve farklı kısımları içeren problemlerdir [146]:

- Stereo görüntülerdeki farklı perspektif iz düşüm geometrileri
- Görülemeyen alanlar
- Çok çeşitli yüzeyler ve farklı yansıtma özellikleri
- Görüntülerde oluşan değişik ışık ve aydınlatma durumları
- Hatalı elde edilen iç ve/veya dış yönelme parametreleri
- Tekrarlanan örüntü ve desenler

- Düşük seviyedeki görüntü karşıtlıkları
- Hatalı veya yanlış yaklaşık değerlere bağlı yakınsama problemleri

Alan-tabanlı yöntemlerde, süreksizliklerden kaynaklanan piksel değer farklılıkları, görüntü eşleme araştırmasını oldukça problemli hale getirmektedir [147]. Son yıllarda görüntü eşleme problemini ele alan çalışmalar, bu nedenle detay-tabanlı yöntemler üzerinde durmaktadır [148, 149, 150, 151]. Noktasal özellikler, görüntünün tamamını kapsamamaktadırlar; bu nedenle çoğunlukla görüntüler arası geometrik ilişkilerin bulunması amacıyla kullanılmaktadır [152].

2.12.2 Görüntü Eşlemede Epipolar Geometrinin Kullanımı

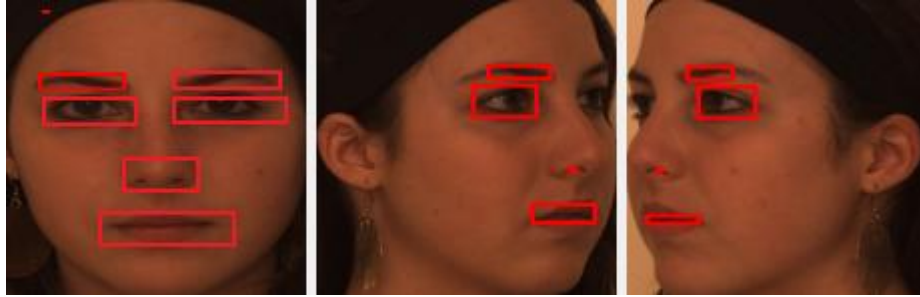
Görüntü eşleme çalışmaların büyük çoğunluğu ilk ve temel koşul olarak epipolar geometrisinden yararlanarak oluşturulan bir arama alanını kullanmaktadırlar [153, 154, 155, 156]. Bu alanı tanımlamanın hedefi, ilk görüntüden elde edilen bir detayının diğer görüntüde yaklaşık olarak hangi kısmında gözlenebileceğinin önceden belirlenerek,

- Aranacak kısmın daraltılması sonucu eşleme süresini azaltmak,
- Daha sağlam bir eşleme yapmaktır.

Kenar gibi doğrusal özelliklere ilişkin yönelim, orta nokta, uzunluk gibi temel geometrik parametreler birçok çalışmada temel koşul olarak tanımlanmış olmasına rağmen, bu parametreler, perspektif geometri ve görüntü çekim anında oluşan etkenlerden dolayı güvenilir değildir [157]. Doğrusal kenarlar yanında belirlenecek tampon alanlara ilişkin radyometrik bilgiler de kullanılarak doğruluğu artıracak bir koşul daha sağlanabilir [158, 159, 160]. Bu sınırlandırmalara ek olarak Suveg ve Vosselman [156] tarafından benzersizlik ve epipolar sıralama, Zhang [157] tarafından biçimsel süreklilik koşulları getirilmiş olsa da tanımlanan koşullar birlikte ele alındığında herhangi bir stereo görüntü eşlemesinde doğrusal kenarlarda oluşan çoklu-benzeşme sorunu çözülememektedir. Bu nedenle, literatürde yer alan birçok çalışma, çoklu-eşleme problemi bulunan kenarlar arasından en uygun eşleniği seçmek için farklı yöntemler geliştirmişlerdir. Bu yöntemler arasında, dinamik programlama [147, 161], ağırlıklı benzerlik fonksiyonları [158], model analizleri [162] ve olasılıksal optimizasyon yöntemi [157, 160] sayılabilir. Görüntü eşleme problemlerinin üstesinden gelebilmek için

eşleme öncesinde ya da sonrasında yardımcı veriler de kullanılabilir. Bu amaçla, Schmid ve Zisserman [163], Collins vd. [153], Noronha ve Nevatia [154], Kim ve Nevatia [155] görüntü eşleme sırasında ek görüntüler kullanmışlardır. Bunun yanı sıra Baillard ve Dissard [147], Jung ve Paparoditis [164], Taillandier ve Deriche [165] alan-tabanlı eşleme sonucu üretilmiş olan Sayısal Yüzey Modeli'ni (SYM) kenar eşleme işleminin performansını arttırmak için kullanmıştır. Bir diğer çalışmada ise Zhang [157] öncesinde görüntülerden eşlediği nokta kümelerini kenar eşleme algoritmasıyla bütünleştirerek oluşması muhtemel yanlış eşlemelerin önüne geçmeye çalışmıştır. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada ise Habib vd. [166] LIDAR verisini kenar-tabanlı görüntü eşleme işlemine adapte etmiş ve yüksek çözünürlüklü hava fotoğraflarının kenar-tabanlı eşlenmesi için farklı bir yaklaşım ortaya koymuştur.

Stereo görüntüler arasındaki ilinti noktası eşleştirmesinde, korelasyon işlemi uygulanmamıştır. Yüz görüntüsü içerisindeki piksellerin renk değerlerinin birbirine çok yakın olması nedeniyle korelasyon işlemi çok doğru sonuçlar üretmemektedir. Örneğin sol göze ait sol ilinti noktası, sağ göze ait sol ilinti noktası ile kolayca karışabilmektedir. Bu nedenle her bir görüntüye ait olan ilinti noktaları o görüntünün ele alınması sırasında bulunmuş ve eşleştirme bu adımdan sonra gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. 80 Stereo görüntülerde ilinti bölgelerinin eşleştirilmesi

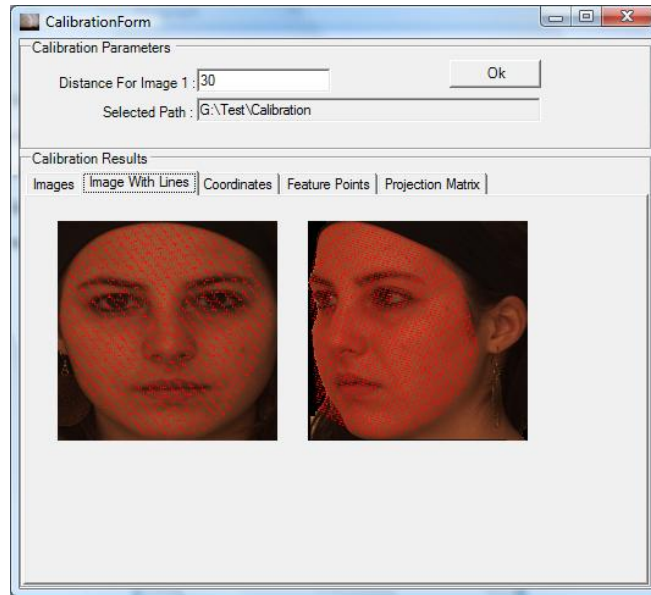
2.13 Eşlenik Noktaların Kullanılması İle Görüntülerin Çakıştırılması

İlinti noktalarının her bir görüntü için belirlenmesinin ardından, eşlenik görüntüler ortak ilinti noktaları kullanılarak çakıştırılabilir. İlinti noktalarının, kendilerini tanımlayabiliyor olmaları özelliği sayesinde, bir noktanın eşlenik görüntüdeki karşılığı kolayca bulunmuş olmaktadır. Yüz bölgesi içerisinde kalan piksellerin birbirlerine çok benzer özellikler göstermesi nedeniyle, benzerlik yöntemleriyle gerçekleştirilen

çakıştırma işlemleri, çok yüksek doğruluk üretmemektedir. Bu gözlem sonucunda noktaların hangi bölgeye ve hangi yöne ilişkin olduklarını biliyor olmaları ve eşlenik görüntüde hangi noktaya eşleşecekleri bilgisini üretiyor olmaları özelliğine sahip olmaları gerektiği düşünülmüştür.



Şekil 2. 81 Stereo görüntüler



Şekil 2. 82 Stereo görüntülerde yüz bölgelerinin taranması

CalibrationForm

Calibration Parameters

Distance For Image 1 : 30

Selected Path : G:\Test\Calibration

Ok

Calibration Results

Images | Image With Lines | Coordinates | Feature Points | Projection Matrix

2D Conjugate Coordinates :

950.99	573.76	613.98	524.58
931.91	633.70	566.30	518.10
920.60	634.38	542.93	520.15
909.29	635.07	519.55	522.20
897.98	635.75	496.18	524.25
886.67	636.44	472.80	526.30
875.36	637.13	449.43	528.35
864.05	637.81	426.05	530.40
852.74	638.50	402.68	532.45
841.43	639.18	379.30	534.50
830.12	639.87	355.93	536.55
818.81	640.55	332.55	538.60
807.50	641.24	309.18	540.65
796.19	641.92	285.80	542.70
784.88	642.61	262.43	544.75
773.57	643.29	239.05	546.80

1236 points

Şekil 2. 83 Stereo görüntülerde 2B görüntü koordinatlarının çıkarılması

CalibrationForm

Calibration Parameters

Distance For Image 1 : 30

Selected Path : G:\Test\Calibration

Ok

Calibration Results

Images | Image With Lines | Coordinates | Feature Points | Projection Matrix

2D Feature Points :

950.99	573.76	613.98	524.58
683.13	589.99	388.10	544.39
1003.74	427.66	673.43	393.81
662.84	443.89	300.92	393.81
411.22	1166.28	158.25	1107.12
776.48	1158.16	427.73	1122.97
581.68	1507.18	292.99	1424.15
614.14	667.10	233.55	584.02

X :

Y :

Z :

Add

Delete

Load

Set

3D Feature Points :

28.918	35.918	179.049
-0.544	34.389	190.322
35.034	52.869	175.827
-3.439	49.974	202.64
-30.581	-30.091	185.712
9.751	-29.387	185.493
-11.69	-68.718	180.672
-8.694	25.454	207.138

8 points

[2DFeaturePointType]

Calibrate

[3DFeaturePointCount]

[3DFeaturePointType]

Şekil 2. 84 Stereo görüntülerde çıkışık ilinti noktaları ve 3B model koordinatları

The screenshot shows a window titled "CalibrationForm" with two main sections: "Calibration Parameters" and "Calibration Results".

Calibration Parameters:

- Distance For Image 1: 30
- Selected Path: G:\Test\Calibration
- An "Ok" button is present.

Calibration Results:

There are five tabs: "Images", "Image With Lines", "Coordinates", "Feature Points", and "Projection Matrix". The "Projection Matrix" tab is selected.

The projection matrix is displayed as a 3x4 grid of values:

0.000000	-0.000000	0.000003	-0.617498
-0.000001	-0.000001	0.000005	-0.786570
0.000000	-0.000000	0.000000	-0.002044

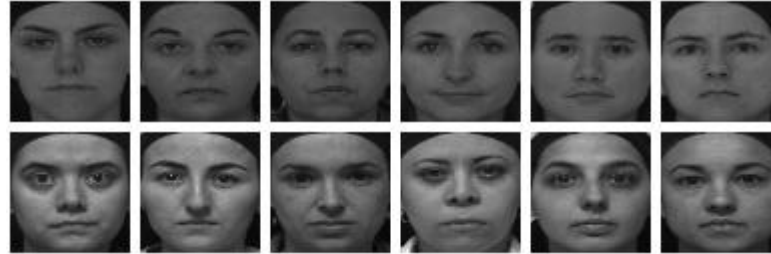
Şekil 2. 85 Projeksiyon matrisi

2.14 Yüz Tanıma

Sunulan tezde yüz tanıma yöntemleri arasından TBA temelli öz yüz yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Oluşturulacak veritabanında yer alması beklenen kişi sayısı düşünüldüğünde, öz yüz yöntemi ile elde edilebilecek doğruluk oranının yeterli olacağı düşünüldüğünden ve uygulanması kolay olması nedeniyle öz yüz yöntemi seçilmiştir.

2.14.1 Öz Yüz Yöntemi

Sunulan tez çalışmasında oluşturulan öz yüz veritabanı şekil 2.86' da gösterilmiştir.



Şekil 2. 86 Öz yüzler

2.14.1.1 Öz Yüz Yönteminin İşleyişi

Görüntü tanıma uygulamalarında kullanılan klasik yöntemlerden TBA yöntemini temel alan yöntemlerde yüksek dereceden özelliklerle ilgilenilmez. TBA, veriyi düşük bir boyuta, verideki değişmeyi koruyacak şekilde eşleyen dikgen bir doğrusal dönüşümdür. İlk temel bileşen verideki en büyük değişme yönündedir ve ikinci bileşen bir sonraki en büyük değişme yönündedir. TBA ile boyut indirme işleminde, ilk bir kaç temel bileşen kullanılarak verinin değişmesini en çok etkileyen özellikler alınır. Böylelikle daha az miktarda veri kullanılarak, taşınan bilginin büyük kısmı korunur. Sağladığı avantajlar, hızlı ve hesaplama açısından kolay olmasıdır. Fakat sınıf bilgisini kullanmadığını göz önüne alırsak, en fazla değişimin olduğu bileşenlerin sınıflandırma problemi için doğru özellikleri içerdiği garanti edilememektedir [33].

2.14.1.2 Öz Yüz Yönteminin Matematiği

Veritabanı içerisindeki $n \times m$ boyutundaki yüz görüntüleri, tek boyutlu bir satır vektörüne çevrilerek, $n \times m = N$ kabul edildiğinde, M tane N boyutlu yüz vektörü elde edilmiştir. Bu görüntülerin ortalamaları alınarak, ψ ortalama yüz görüntü vektörü (2.5)'teki gibi elde edilir.

$$\psi = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M I^k \quad (2.5)$$

Veritabanı içerisinde yer alan her bir görüntü için ortalama yüz vektörü oluşturulmuştur. Tüm yüz vektörleri bir araya getirilerek ortalama yüz vektörü matrisi elde edilmiştir. Bu matris A ile gösterildiğinde (2.6) ifadesindeki gibi yazılabilir.

$$A = [\Phi^1 \Phi^2 \Phi^3 \dots \Phi^i \dots \Phi^M]_{NXM} \quad (2.6)$$
$$\Phi^i = I^i - \Psi, \{i = 1, \dots, M\}$$

A matrisinin kovaryans değeri (2.7) formülleri ile elde edilebilir.

$$C = \sum_{k=1}^M \Phi^k (\Phi^k)^T = A^* A^T \quad (2.7)$$

C kovaryans matrisi $N \times N$ boyutlarındadır. C matrisinin öz vektörleri bulunarak öz yüzler yöntemi bu aşamada uygulanabilse de, C matrisinin $N \times N$ boyutlu olmasına rağmen, oluşturulması sırasında M adet görüntünün kullanılmış olması gerçeği, bir ön işlem

uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. C matrisinin oluşturulması sırasında kullanılan A matrisinin NxM boyutlarında olmasına bağlı olarak rankının M olması nedeniyle, M tane öz vektöre sahiptir. Bu durumda (14) numaradaki matrisin yerine (15) numaralı matrisin öz vektörleri kullanılırsa M tane öz değeri sıfırdan farklı öz vektör elde edilecektir.

$$C = (A^* A^T)_{NXN} \quad (2.8)$$

$$(A_{MXN}^T A_{NXM})_{MXM}$$

Bundan sonraki aşamada, (2.9)'da verilen eşitlikler gerçekleşir.

$$(A^T * A) * x_i = \lambda_i * x_i \quad (2.9)$$

(2.9) eşitliğinde her iki taraf A ile çarpılarak (2.10)'daki denklemler elde edilmektedir.

$$A^T * A * A * x_i = A * \lambda_i * x_i$$

$$C = A * A^T \quad (2.10)$$

$$C * A * x_i = A * \lambda_i * x_i$$

(2.10) eşitliklerinde $A * x_i$ vektörü, C matrisinin öz vektörlerine karşılık gelmektedir. C matrisinin öz vektörleri yüz görüntülerinin özellik gruplarını göstermek için kullanılabilir [33].

Küçük öz değerlere karşılık gelen öz vektörler kovaryans matrisindeki küçük değişiklikleri göstermektedir ve yüzün birçok ayırt edici özelliğini muhafaza etmektedir. İstenilen öz vektörlerin sayısı veritabanının ne kadar doğrulukla gösterileceğine bağlı olarak değişmektedir ve bu nedenle deney yapılarak belirlenmelidir. Seçilen öz vektörler grubu, öz yüzler olarak isimlendirilmektedir [33].

Öz yüzler bir kere elde edildikten sonra, veritabanındaki her görüntü, öz yüz alanına yansıtılmaktadır ve görüntünün izdüşümünden elde edilen katsayılar kaydedilmektedir. Test edilecek olan görüntünün sınıflandırılması için bu görüntünün öz katsayıları benzer şekilde hesaplanmakta ve daha sonra veritabanındaki her bir görüntünün öz katsayısı ile karşılaştırılmaktadır. En iyi öz katsayıyı üreten görüntü ile eşleşme gerçekleştirilmektedir [33].

2.15 Eşlenik Görüntülerden 3B Nokta Bulutunun Üretilmesi

Cisimlerin 2B görüntülerinden 3B yapısının elde edilmesi bilgisayarla görme alanının önemli araştırma konularından biridir. Bu amaca ulaşmak için görüntülerde bulunan çok çeşitli ipuçlarından yararlanan (eşlenik görüntüler arası eşleşmeler, bulanıklık dereceleri, gölge uzunluğu, vb.) birçok yöntem bulunmaktadır. Eşlenik görüntüler bu yöntemlerin en eskilerinden biri olmasına rağmen hala birçok grup tarafından yoğun olarak araştırılmaktadır. Sistemin basitliği ve resim elde etme donanımlarının genişliği, güçlü epipolar ve geometrik kısıtların varlığı, çok geniş kullanım alanı olması gibi unsurlar, problemin popüler olmasındaki nedenlerden bir kaçıdır [167].

2.15.1 3B Modelleme

Fotogrametrik anlamda 3B modelleme yöntemleri üç alt başlıkta incelenebilir:

- Tek görüntü (single image) yöntemi (monoskopik yöntem)
- Stereo görüntü (stereo image) yöntemi (stereoskopik yöntem)
- Işın demetleri (bundle) yöntemi

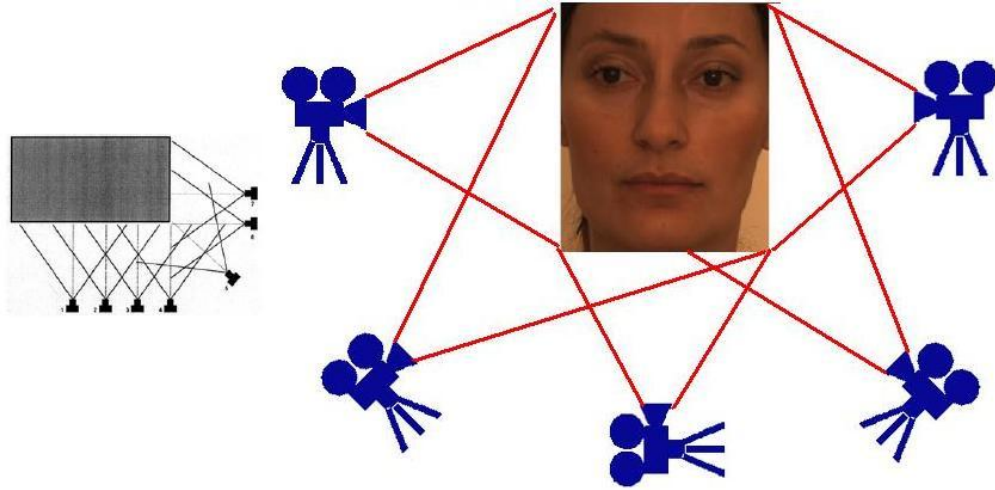
Tek görüntü yöntemi, modellenen nesne yüzeyinin geometrisinin genel anlamda biliniyor olduğu durumda ve yüzey dokusunun belgelenmesi gerekli olduğunda kullanılmaktadır [168]. Diğer iki yöntem, nesne yüzeyinin şekil, boyut ve konumunun belgelenmesi için uygun yöntemlerdir [168].

Stereo görüntü yöntemi, insan gözünün çalışma ilkeleriyle benzerlikler gösterir. Gözler arasındaki mesafe nedeniyle beyne gönderilen iki görüntü birbirinden farklıdır. Bu iki ayrı perspektif görünümünden, 3B mekânsal bir izlenim elde edilmesi insan beyninin algı sistemindeki bütünleme yeteneği ile ilgilidir. Fotogrametri uygulamalarında; 3B mekânsal izlenim elde edilebilmesi için, belirli bir mesafenin (baz) iki ucundan ve kamera optik eksenleri birbirine paralel bir biçimde çekilmiş görüntülerin ilgili gözlere ayrı ayrı yönlendirilmeleri gerekir. Söz konusu görüntüler, aynı alanı paralel perspektiflerle belgeleyen eşlenik görüntülerdir [169].

Bu yöntemler göz önünde bulundurulduğunda, çağdaş uygulamalar için en az iki fotoğraf gerekli olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır. Mimari amaçlı stereo fotoların

çekimi için stereo fotoğraf makinesi, bir stereo baz çubuğuna monte edilmiş ikiz makineler veya çubuk üzerinde kaydırılan tek makine kullanılır [169]. Elde edilen stereo görüntü çiftleri birlikte gözlenerek ölçümler bilgisayar ortamında gerçekleştirilir. Bu uygulamalar kısmen dijital uygulamalar olup halen ölçekli çizim üretimi için analitik veya otomatik çiziciler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak tümüyle dijital sistemlerin başarımı ve kullanım yoğunluğu hızla artmaktadır [170].

Işın demetleri yöntemi ise, karmaşık bir nesnenin hassas bir şekilde ölçülerek geometrisinin ortaya çıkmasına olanak sağlayan fotogrametri yöntemidir. Üçgenleme (fotogrametrik nirengi) kavramına dayanır. Fotoğraf makinesinin konumlandığı noktalar, belgelenen alan merkezleri ve kontrol noktaları arasında üçgenlerden oluşan bir ağ kurulur [171]. Fotoğraflar rasgele seçilmiş noktalardan çekilir ve makinenin konumlandığı noktaların belgelenmesi gerekmez. Nesnenin tamamını kaplayan benzer fotoğrafların elde edilmesi ve kontrol amaçlı ölçüm yapılabilmesine olanak sağlanması gereklidir. Bu nedenle fotoğraf yönlendirmelerinin birbirini takip eder şekilde, ancak farklı açılardan gerçekleştirilmesi ve kısmi çakışmaların sağlanması uygundur. Aynı yüzeyi belgeleyen farklı görüntüler üzerindeki eşlenik noktaların işaretlenmesi ile yazılım, bu noktaların 3B koordinatlarını hesaplar [168].



Şekil 2. 87 Işın demetleri yönteminde kamera konumlandırılması

Işın demetleri yöntemi, günümüzde en yaygın uygulanan yöntemdir. Bunu nedenleri aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Farklı özelliklerdeki fotoğraf makineleri ile yapılmış çekimler, birbiri ile kısmen çakışan fotoğraflar bu yöntem sayesinde birlikte değerlendirilebilir.
- Bu yöntemle elde edilen sonuçlar güvenilir, hassas ve bilgisayar destekli tasarım (CAD) ortamında gerçekleştirilecek uygulamalara doğrudan aktarılabilir niteliktedir [168].

2.16 Stereo Yöntem

Stereo yöntem, bir nesne noktasının iki farklı açıdan elde edilmiş görüntülerinin izdüşümleri arasındaki farkı bulmaya çalışır. Bu işlem görüntülerden birinin tüm pikselleri için yapılır ve sonuç fark haritası üretilir. Bulunan fark değerleri nesnelerin kamera düzlemine olan uzaklıklarıyla ters orantılıdır. Bu yüzden stereo probleminde çözülmesi gereken ilk ve temel problem aynı nesne noktalarına denk gelen görüntü piksellerini eşleştirmektir [172, 173]. Eşleşme problemini zorlaştıran temel nedenler:

- Gürültü,
- Tekrar eden desen
- Kapanma problemi

olarak sıralanabilir.

2.17 3B Yeniden Oluşturma İşleminde Yöntem Seçimi

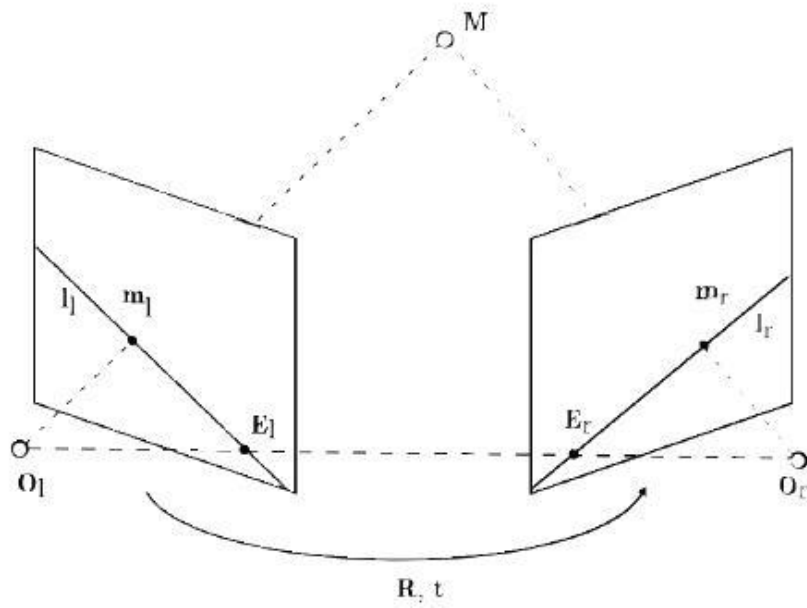
Bugüne dek geliştirilmiş 3B yeniden oluşturma yöntemlerinde üretilen sonuçların başarısı, büyük oranda kamera kalibrasyonunun belirlenmesi ve kamera hareketinin tespit edilmesi işlemlerinde yakalanan başarı ile ilgilidir. İç yöneltme parametrelerinin belirlenmesi için kalibrasyon deseni ile alınmış görüntüleri kullanarak iyi sonuçlar üreten algoritmalar mevcuttur, 2007 yılında Bouguet tarafından geliştirilen ve MATLAB ortamında çalışan algoritma da bunlardan birisidir [174].

Otomatik hareket kestirimi için günümüze dek birçok yaklaşım önerilmiştir [86, 175, 176]. Zaman içerisinde yapılan çalışmalar da bu ön çalışmalar üzerine geliştirilmiş ve önceki yöntemlerde elde edilen sonuçların başarı oranını artırma üzerine yoğunlaşmıştır. 2008 yılında mevcut yöntemler üzerine geliştirilen yeni bir yöntemde,

nokta eşleştirme için SIFT [149] kullanılmış, dengeleme işlemi için seyrek toplu düzenleme [177] gerçekleştirilmiş ve sonuçların doğruluğunda artış sağlanmıştır [178].

2.18 Epipolar Geometri

Epipolar geometri, 3B gerçek dünyaya ilişkin bir nokta ile bu noktanın bir görüntü üzerindeki iz düşüm konumları arasındaki geometrik ilişkiyi tanımlayan matematiksel modeldir [87].



Şekil 2. 88 Epipolar geometri

2.18.1 Epipolar Geometri İle İlgili Bazı Tanımlar

Tanım 3.1 Epipol: Bir kameranın görüntü düzlemlerinden birisi içerisindeki odak noktası izdüşümünün diğer görüntü düzlemi içerisindeki izdüşümüne epipol denilmektedir. E_l noktası sağ kameranın asal noktasının görüntü noktası olan O_r noktasının sol kameradaki görüntü noktasıdır. Benzer şekilde E_r noktası, O_l noktasının sağ kameradaki görüntü noktasıdır. O_l , E_l , E_r ve O_r noktaları tek bir doğru üzerinde yer alırlar.

Tanım 3.2 Epipolar çizgi; m_r 'nin M noktasının sağ kamera görüntüsündeki izdüşümü olduğu durumda, sağ kameradaki (E_r, m_r) çizgisine epipolar çizgi denilmektedir. Bu çizgi (O_l, M) çizgisinin sağ kameradaki projeksiyonudur. Bu çizginin özelliği, sol kamera tarafından bir nokta olarak görülmesi, sağ kamera tarafından ise E_l epipolu üzerinden

geçen bir çizgi olarak görülmesidir. Tüm epipolar çizgiler E_l epipolünde kesişirler. Simetrik olarak (E_l, m_l) çizgisi de sol kamerada bir epipolar çizgi tanımlamaktadır.

Tanım 3.3 Epipolar düzlem; O_l , O_r ve M noktaları ile tanımlanan düzlemdir. M noktasına ilişkin epipolar çizgiler, kameraların görüntü düzlemleri ile epipolar düzlemin kesişimi olarak görülecektir. Epipoller, epipolar çizgiler ve epipolar düzlem arasındaki geometrik ilişkiler asal matris denilen bir matris ile tanımlanır.

Tanım 3.4 Asal matris; M noktasının sol ve sağ pinhole kameradaki projeksiyonları (2.11) denklemleri ile yazılmaktadır.

$$\begin{aligned} m_l &= A_l * M_l \\ m_r &= A_r * M_r \end{aligned} \quad (2.11)$$

(2.11) denklemlerinde yer alan A_l ve A_r matrisleri, sol ve sağ kameranın iç yöneltme elemanlarına ilişkin matrislerdir. M_l , M noktasının sol kameranın koordinat sistemindeki koordinatları, M_r ise M noktasının sağ kameranın koordinat sistemindeki koordinatlarıdır.

Sağ kameranın koordinat sistemi, R dönüklüğü ve t ötelemesi ile sol kameranın koordinat sistemi cinsinden (2.12) denklemlerindeki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} m_l &= A_l * [I0] M_l \\ m_r &= A_r * [Rt] M_l \end{aligned} \quad (2.12)$$

(2.11) denklemleri ile (2.12) denklemleri birleştirilerek M_l kaldırılır ve $m_l - m_r$ ifadeleri (2.13) denklemlerindeki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} m_r^T * \underbrace{A_r^{-T} * \hat{t} * R * A_l^{-1}}_{F_{lr}} * m_l &= 0 \\ \hat{t} &= \begin{bmatrix} 0 & -t_z & t_y \\ t_z & 0 & -t_x \\ -t_y & t_x & 0 \end{bmatrix} \\ A_r^{-T} &= (A_r^T)^{-1} \end{aligned} \quad (2.13)$$

(2.13) denklemlerindeki t matrisi, ötelemeleri ifade eden matristir. Asal matris (F) (2.14) denkleminde görüldüğü gibi yazılabilir.

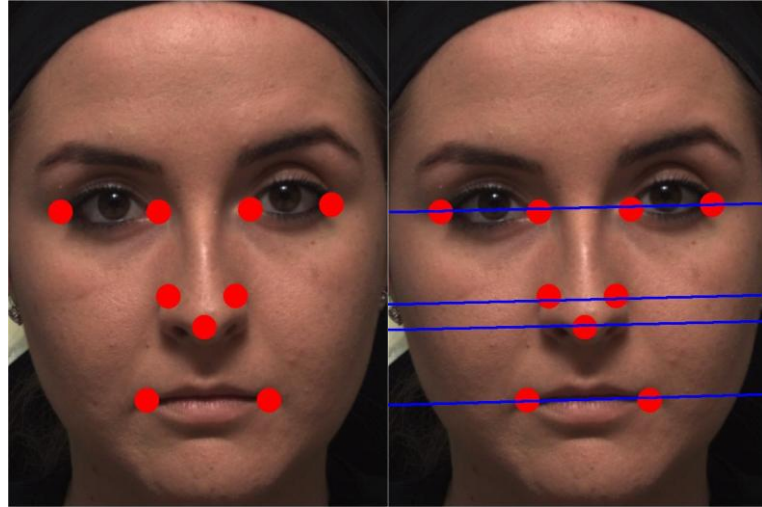
$$F_{lr} = A_r - T^* \hat{T}^* R^* A_l - 1 \quad (2.14)$$

Asal matris, kameraların iç yöneltme elemanları matrisine (A_r, A_l) ve kameraların rölatif konumlarına (R, t) bağımlıdır. Bu nedenle de kameraların rölatif konumlarının ve kalibrasyon parametrelerinin bilindiği bir durumda asal matris kolaylıkla hesaplanabilir. F_{lr} 3x3'lük ve 2 rank değerinde bir matristir. Asal matris, bir çift kamera arasındaki epipolar geometriyi tanımlar ve bir M noktasının her iki kameradaki projeksiyon noktalarını veren (2.15) denklemlerini üretir.

$$\begin{aligned} m_r^T * F_{lr} * m_l &= 0 \\ m_l^T * F_{lr}^T * m_r &= 0 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Asal matris kullanılarak epipolar çizgilere ilişkin denklemler (2.16)'da gösterildiği gibi tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} F_{lr} * E_l &= 0 \\ F_{lr}^T * E_r &= 0 \end{aligned} \quad (2.16)$$



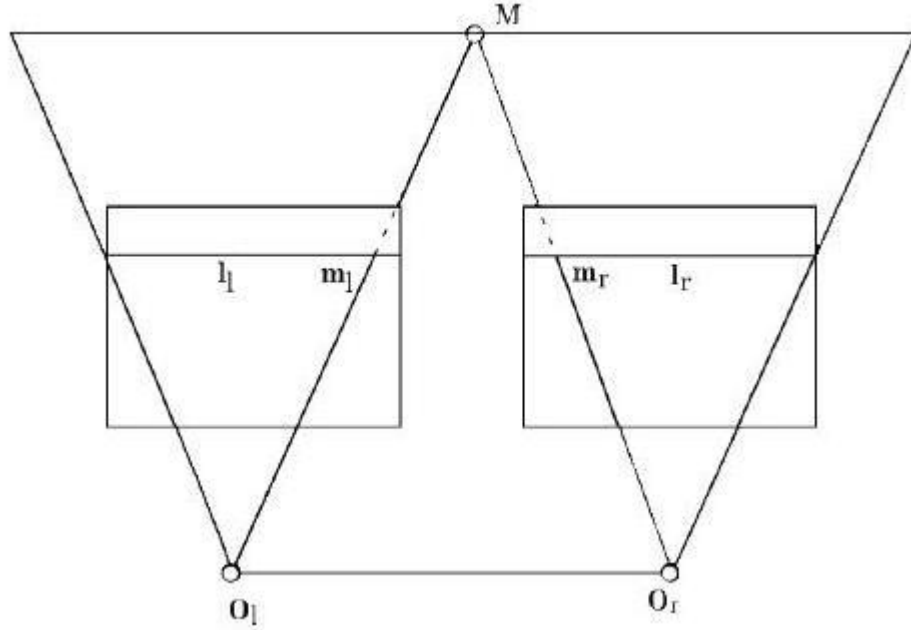
Şekil 2. 89 Epipolar noktalar ve epipolar çizgiler

2.18.2 Epipolar Sınırlama

Sol görüntüde yer alan her m_l noktasının sağ görüntü içerisinde $m_r^T \cdot F_{lr} \cdot m_l = 0$ eşitliğini sağlaması gereklidir. m_l noktası, $l_r = F_{lr} \cdot m_l$ ile belirlenen epipolar çizgi üzerine olacaktır. Bu kurallara epipolar sınırlamalar denilir. Stereo görüntülemedeki temel problem, aynı 3B noktaya ait olan projeksiyon izlerinin farklı görüntüler içerisinde bulunmasıdır.

Epipolar sınırlamalar, arama alanını küçültür. 3B bir noktanın bir görüntü içerisindeki projektif izinin, diğer görüntüdeki projektif izi, bu görüntüdeki ona ilişkin olan epipolar çizgi üzerinde yer alacaktır. Epipolar sınırlamalar, stereo eşleştirme probleminin karmaşıklığını 2B durumdan 1B duruma indirgeyerek azaltır.

Eşleştirme probleminin karmaşıklığı, standart epipolar geometri denilen özel bir konfigürasyon kullanılarak daha da azaltılabilir.

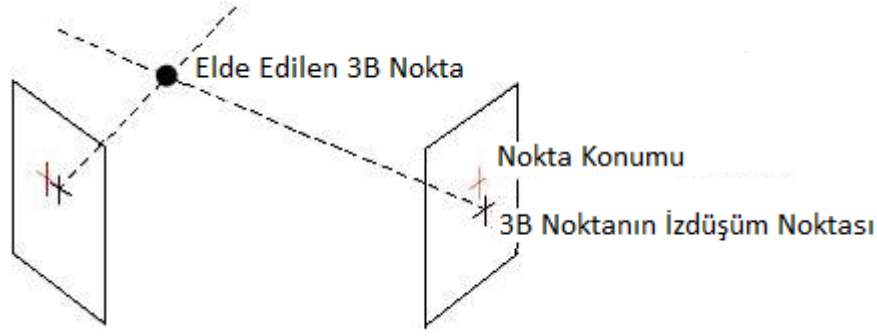


Şekil 2. 90 Standart geometri

2.18.3 Epipolar Geometrinin Avantaj ve Dezavantajları

Epipolar geometri uygulanması, standart Tekil Değer Ayrışımı (TDA) algoritmasının [179, 180] kullanılmasıyla kıyaslandığında daha hızlı çalışmaktadır. Çünkü detay noktalarının aranması için tüm bir resmin taranması yerine, epipolar çizgi boyunca sıralanmış olan noktalar taranacaktır. Ancak epipolar geometri algoritması da ilk kamera ile alınmış görüntü içerisinde doğru detay noktasına konumlanıldığı varsayımına dayanmaktadır. Eğer detay noktasına konumlanmada bir hata var ise, epipolar çizgi de hatalı oluşacaktır.

Detay noktalarına yanlış konumlanması durumunda en iyi ve doğruya en yakın sonucu üretecek olan algoritma TDA yöntemini uygulayan algoritmadır.



Şekil 2. 91 Epipolar geometri hataları

TDA yönteminin kullanılması durumunda eğer detay noktasına her iki görüntü içerisinde de doğru bir şekilde konumlanılmışsa, ikinci kamera ile alınan görüntüdeki detay noktası, birinci kamera ile alınan görüntüdeki detay noktasının epipolar çizgisi üzerinde yer alacaktır.

2.19 Kamera Kalibrasyonu

Metrik olmayan amatör kameralar ile alınmış 2B görüntülerin kullanılmasıyla, 3B bilgi elde edilebilmesi için bazı koşulların oluşması gerekmektedir. Bu koşullar seçilen yönteme göre değişiklik göstermekle birlikte genellikle 3B ölçüm yapabilmeleri için kamera kalibrasyon değişkenleri, ışıklandırma koşulları gibi koşullardır. Bunun yanı sıra, çoğu teknik aynı nesnenin en az iki farklı açıdan görüntüsünün olmasını gerektirmektedir [181].

Metrik nitelik taşımayan amatör kameraların, iç yöneltme elemanları olarak adlandırılan, kamera odak uzaklığı, asal nokta koordinatları ve mercek distorsiyonları bilinmemektedir. Dijital bir görüntünün metrik anlamda değerlendirilebilmesi ve görüntü sistemi ile uzay sistemi arasında bir ilişkinin kurulabilmesi için çekilen kameranın iç yöneltme elemanlarının belirlenmesi gereklidir. Görüntüler yardımıyla 3B model oluşturabilmek için, bu iç yöneltme elemanlarının ve kameranın dış yöneltme elemanları olarak bilinen kameranın konumunun da belirlenmesi gerekmektedir. İç ve dış yöneltme elemanları ayrı ayrı belirlenebileceği gibi, aynı zamanda da (demet dengelemesi gibi) belirlendiği çok sayıda teknik vardır [182]. En etkin yöntemlerden birisi olan ışın demetleri dengelemesi, 1950'li yıllarda geliştirilmiş ve 1970'li yıllarda self-kalibrasyon olarak genişletilmiştir [183]. Geometrik kamera kalibrasyonunun

amacı, kameranın iç yöneltme elemanlarını belirlemek ve perspektif geometriden, sistematik sapmaları modellemektir.

Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için her bir görüntü üzerinde en az 5 noktada görüntü noktası koordinatı bilinmelidir. Nokta sayısı arttıkça daha duyarlı sonuçlar elde etmek mümkün hale gelmektedir. Bu bilgilerle her bir görüntüye ilişkin dönüklük ve öteleme parametreleri hesaplanabilir. Söz konusu parametreler ışın demetleri ile dengeleme sonucu bulunmaktadır [184].

Kamera kalibrasyon işlemi, kameranın iç geometrik ve optik karakteristiğinin ve/veya üç boyuttaki konumu ve belirli koordinat sistemine göre açısal konumunun ve metrik potansiyellerinin belirlenmesi, bu sistemlerdeki sistematik hataları denetlemek, düzeltmek için gerçekleştirilir. Kalibrasyon, ölçülen büyüklüğün gerçek değeri ile onu ölçen cihazın verdiği sonuç arasındaki ilişkiyi bulma işlemidir. Bir resim çekme makinesinin kalibrasyonu fotogrametrik nokta belirleme işleminin tersi olarak da ifade edilebilir. Fotogrametrik nokta belirlenmesinde iç yöneltme elemanları bilinir ve cisim noktalarının koordinatları bulunur. Kalibrasyonda ise cisim noktalarının koordinatları bilinir ve iç yöneltme elemanları bulunur [181, 185, 186, 187, 188, 189, 190].

2.19.1 Kamera Kalibrasyonu Nasıl Gerçekleştirilir?

Pinhole kamera modeli, eş doğrusallık (kolinearite) temeline dayanmaktadır. Buna göre nesne uzayındaki her bir nokta, görüntü düzlemine projeksiyon merkezinden geçen bir düz çizgi ile iz düşürülür. Bu model, nesne ve görüntü koordinatları arasındaki ilişkinin basit matematiksel formüller ile tanımlanabilmesini sağlar. Modelin içerdiği parametreler iki grupta ele alınabilir:

- İç yöneltme parametreleri: Görüntü düzlemi özelliklerine ilişkin değerleri ifade eder.
- Dış yöneltme parametreleri: Kamera pozuna ilişkin değerleri ifade eder.

olarak ikiye ayrılabilir.

Kamera koordinat sisteminin merkezi, nesne koordinat sistemine göre (x_0, y_0, z_0) konumunda yer alan projeksiyon merkezidir. Kamera z eksen, görüntü düzlemine

diktir. ω , ϕ , κ Euler açıları ile gösterilen dönüklükler, x, y ve z eksenleri etrafındaki saat yönündeki dönme miktarlarını belirtir. İlki x eksen etrafındaki, ikincisi daha önce döndürülmüş y eksen etrafındaki, üçüncüsü daha önceki aşamalarda iki defa döndürülmüş olan z eksen etrafındaki miktarı belirtir.

Görüntü koordinat sisteminde (X_i , Y_i , Z_i) konumunda yer alan bir P nesne noktasını ifade etmek için, öncelikle bu koordinat değeri, (x_i , y_i , z_i) kamera koordinat sistemine dönüştürülmelidir. Bu dönüşüm, bir öteleme ve bir dönüklükten oluşmaktadır ve (2.17) denklemleri ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} r_{12} &= \sin \omega \sin \phi \cos \kappa - \cos \omega \sin \kappa, r_{11} = \cos \phi \cos \kappa \\ r_{22} &= \sin \omega \sin \phi \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa, r_{21} = \cos \phi \sin \kappa \\ r_{13} &= \cos \omega \sin \phi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa, r_{31} = -\sin \phi \\ r_{23} &= \cos \omega \sin \phi \sin \kappa - \sin \omega \cos \kappa, r_{32} = \sin \omega \cos \phi \\ r_{33} &= \cos \omega \cos \phi \end{aligned} \quad (2.17)$$

İç kalibrasyon parametreleri aşağıdaki elemanlardan oluşur.

- f odak uzaklığı
- s ölçek faktörü
- (u_0 , v_0) görüntü merkezi, asal nokta

Dış kamera kalibrasyonu işleminin amacı, bilinen bir 3B hedefin görüntüsünün gözlenmesine dayanarak, bu parametreler için en optimum değerleri belirleyebilmektedir. Self-kalibrasyon olarak da adlandırılan bu durumda, hedef noktaların 3B koordinat karşılıkları da bilinmeyen parametrelere eklenirler.

Kamera Kalibrasyonu temel olarak iki temel grupta sınıflandırılır;

- Örtük fonksiyonlarla (explicit) ifade edilen yöntemler: Bu grupta bulunan yöntemler parametrik kamera kalibrasyon yöntemleri olarak adlandırılırlar. Bu yöntemler kamera kalibrasyonunu çeşitli parametrik modellerle ifade ederler. Bu yöntemler genellikle bir kamera modeli varsayımından yola çıkar. Bu amaçla en sık Pinhole kamera modeli veya karmaşık fotogrametrik kamera modellerinden

herhangi birisi kullanılır. Ardından kameranın kalibrasyonu parametrik ($f_x, f_y, u_0, v_0, k_1, k_2, p_1, p_2$ v.s.) [191, 192] olarak ifade edilir.

- Kapalı fonksiyonel modeller (implicit) kullanan yöntemler: Bu yöntemlerde, kamera kalibrasyonu parametrik değerlere bağlı olarak değil doğrudan fonksiyonel modeller kullanılarak açıklanır. Bu teknikler genel olarak zeki optimizasyon tekniklerinden yararlanmaktadır.

Kapalı fonksiyonel modeller kullanan kamera kalibrasyon yöntemleri üzerine gerçekleştirilen çalışmalar bu yöntemlerin sağladıkları doğruluğun henüz klasik teknikler kadar yüksek olmadığını göstermekle birlikte ilgili yöntemlerin hesaplama yüklerinin azlığı, uzman bilgisi gerektirmemeleri, kolay uygulanabilir olmaları ve esnek yapıları nedeni ile hızla yaygınlaştıklarını göstermektedir. Kamera kalibrasyonu sonucunda görüntülenen 3B ortamın 3B fiziksel ortamdan 2B görüntü yüzeyine dönüşümünü açıklayan kamera parametreleri elde edilir. Bahsedilen dönüşüm iki temel parametre grubu içermektedir.

- İç yöneltme elemanları
- Dış yöneltme elemanları

Dış yöneltme elemanları ($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \chi$) [191] her bir resim çekim noktasında görüntüler üzerinde gözlenen en az üç kontrol noktası kullanılarak uzaysal geriden kestirme ile elde edilmektedir. Uzaysal geriden kestirme yolu ile görüntülerin elde edildiği anda kameranın konum ve dönüklük değerlerinin nasıl hesaplanabileceği ayrıntılı ve örnek uygulamalarla [191] ve [192]'te verilmiştir. Kamera iz düşüm noktasına ait dış yöneltme elemanları belirlendikten sonra kamera-projektif dönüşüm matrisi M hesaplanmakta ve silüet-konileri (2.18) denklemleri ile oluşturulmaktadır [193].

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u' \\ v' \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -f \frac{x'}{z'} \\ -f \frac{y'}{z'} \end{bmatrix}$$

(2.18) denklemlerinde x, y ve z , 3B görüntü öğelerinin referans koordinatları; x', y', z' ise 3B görüntü öğelerinin kamera sistemindeki karşılıklarıdır. (u, v) görüntü koordinatları; (u_0, v_0) görüntü ana noktasına ait koordinatlarıdır. (f) odak uzaklığıdır. M matrisi, (2.19) ifadesindeki gibi yazılır.

$$M = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & X_0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & Y_0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

$(a_{ii} \ i=1,2,3)$ matris elemanları, kamera projektif dönüşüm matrisi elemanlarıdır ve (ω, ϕ, χ) değişkenlerine bağlı olarak hesaplanırlar [17].

2.20 Eşlenik Görüntüler Arasında Özellik Noktalarının Eşleştirilmesi ve Kamera Geometrisinin Belirlenmesi

Birbirlerine yakın açılarda alınmış ardışık yüz görüntüleri üzerinde ilinti bölgeleri ve ardından ilinti noktalarının belirlenmesinin ardından kamera geometrisi hesaplanabilir. Başlangıç eşleştirmesi ilinti noktalarının ilk elde edildiği anda ilinti noktası tanımlayıcıları vasıtasıyla gerçekleştirilir. Tespit edilen eşlenik noktalar ile epipolar geometri (temel matris F ya da öz matris E) tespit edilir ve RANSAC algoritması [194] çalıştırılarak epipolar geometriye uymayan eşlenikler elenir.

F temel matrisi, eşlenik görüntüler arasındaki 2B eşlenik noktaları (2.20) formülleri ile ilişkilendiren 3×3 'lük bir matristir.

$$x_2 F x_1 = 0 \quad (2.20)$$

Kamera parametrelerinin bilindiği durumda, E öz matrisi de (2.21) ifadesi kullanılarak üretilebilir.

$$E = K_2^T F K_1 \quad (2.21)$$

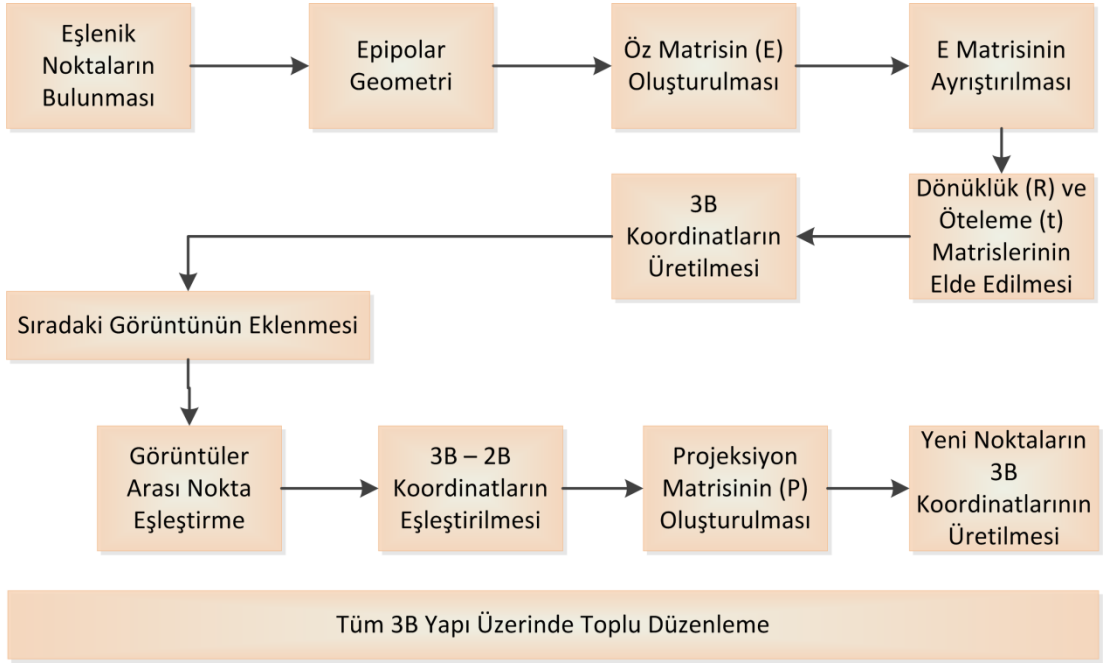
E öz matrisi, kameralar arasındaki dönüklük ve ötelemeleri (2.22)'de verilen denklemlere göre ilişkilendirmektedir.

$$E = R t_{[x]} \quad (2.22)$$

E matrisi kullanılarak ikinci görüntünün ilk görüntüye göre dönme matrisi (R) ve öteleme vektörü (t) elde edilir ve son olarak eşlenik noktaların 3B koordinatları doğrusal üçgenleme ile kestirilir. Bu adımlar için Hartley ve Zisserman [195] tarafından önerilen yöntemler kullanılmıştır.

Her bir RANSAC [194] iterasyonunda, 8 nokta algoritması [196] kullanılarak, aday F asal matrisi hesaplanır, ardından non-linear iyileştirme uygulanır. İlinti noktalarının daha doğru bir şekilde eşleştirilebilmesi için epipolar geometri kısıtlamaları da uygulanır ve bu kısıtlara kısıtlarına uygun olmayan eşleşmeler silinir. Bu sayede kamera parametreleri ve 3B yeniden oluşturma nokta bulutuna ilişkin bir başlangıç veri seti elde edilir. Yeni kamera pozları ve 3B nokta bulutunun iyileştirmeleri için, geri iz düşüm hatası, bunu minimize edecek maliyet fonksiyonu olarak alınır.

Ardışık görüntülerden oluşan bir dizi görüntü kümesi ile çalışıldığında, ilk iki görüntü için işlemler gerçekleştirilir ve daha sonraki her görüntü için, nokta bulma ve eşleştirme kendisinden önceki görüntü ile yapılır. Ayrıca, bu eşlenik noktalar için daha önce tespit edilmiş olan 3B koordinatlar da belirlenir. Yine RANSAC tabanlı bir hesaplama ile yeni görüntünün projeksiyon matrisi (P) hesaplanır. Bu arada ilk defa eşlenmiş olan noktalar için 3B koordinatlar hesaplanarak nokta kümesine eklenir. Her yeni görüntü ekleme işleminin ardından etkili bir algoritma olan 'seyrek toplu düzenleme' [177] kullanılarak çıkarılan 3B yapı tekrar-iz düşüm (reprojection) hatasını minimize edecek şekilde çalışmaktadır.

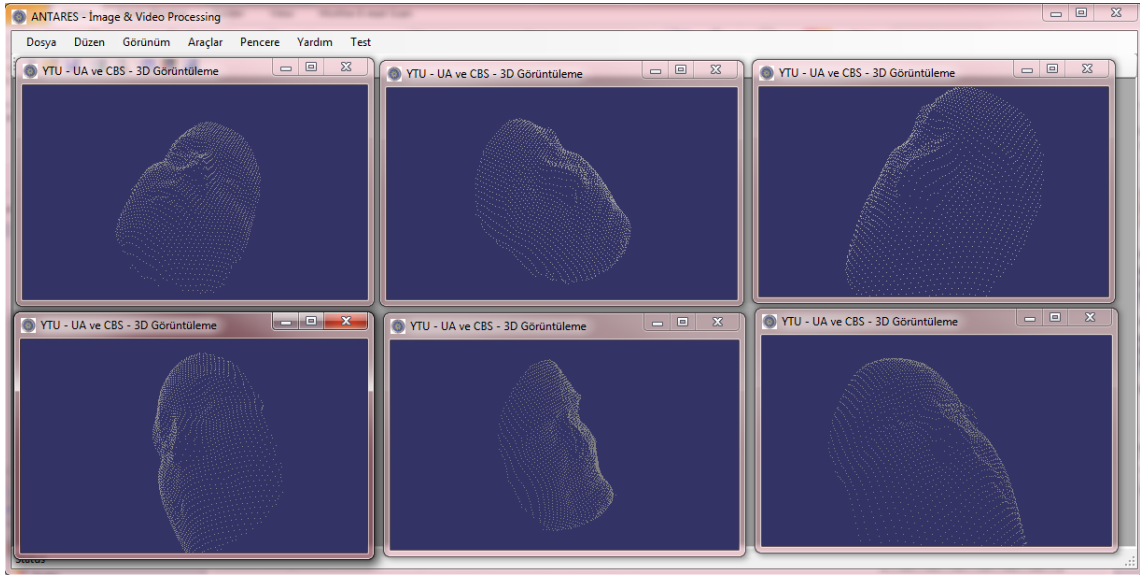


Şekil 2. 92 3B yeniden oluşturma iş akışı

2.21 Işın Demetleri Dengelemesi

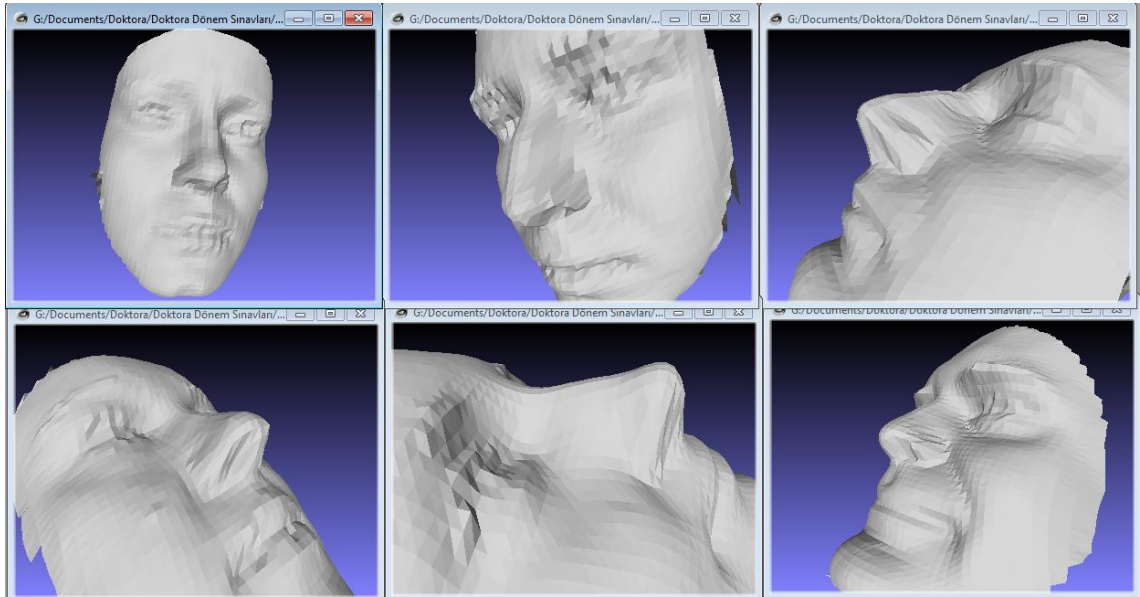
Ardışık eşlenik görüntülerin sonuncusu sisteme eklendiğinde, son kamera pozlarının eklenmesi için, Lourakis ve Argyros [177] tarafından geliştirilmiş ‘sparse Levenberg-Marquadt’ algoritmasına dayanan ışın demetleri dengelemesi yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Işın demetleri dengelemesi, geri iz düşüm hataları giderilene kadar hesaplanmaya devam edilir. Başlangıç 2B-3B eşleşmeler, ışın demetleri dengelemesi ile iyileştirilir ve son kamera pozunun hesaplanması için kullanılır. 3B nokta bulutu, tüm 2B kamera görüşleri ve 3B kamera bilgileri kullanılarak 3B yeniden oluşturma işlemi gerçekleştirilir.

3B yeniden oluşturma gerçekleştirmek için, 2B eşlenik noktaların ışın demetleri ile dengelenmesi ve epipolar geometri ile eşlenikliklerin üretilmesi sonucunda elde edilen 3B nokta bulutu görüntüleri Şekil 2.93’ te verilmiştir.



Şekil 2. 93 3B nokta bulutu

Elde edilen 3B nokta bulutlarına yüzey giydirerek 3B modeller elde edilmiş ve MeshLab [197] programı ile görüntülenmiştir (şekil 3.93, şekil 2.94).



Şekil 2. 94 3B yüzey görüntüleri

2.22 Artırılmış Gerçeklik

Artırılmış gerçeklik, gerçek dünya görüntüsüne, sanal olarak üretilmiş bilgi, görüntü, model gibi iki ve 3B sanal nesnelerin eklenmesiyle gerçek dünyanın zenginleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır [200]. Gerçek görüntü üzerine, gerçek zamanlı olarak 3B model, animasyon, film, ses gibi nesneler ekleyip daha zenginleştirilmiş bir ortam

sağlayan teknoloji olarak tanımlanabilir [201]. Artırılmış gerçeklik teknolojisi kullanılarak etkileşim içinde olunması istenen herhangi bir nesne akıllı telefonlarda ya da bilgisayardaki bir kamera aracılığıyla ya da bir perdede gerçek dünyada pozisyonlandırılabilir ve işlevsel hale getirilebilir. Yaratılan görüntü neredeyse gerçek dünyanın içindeymiş gibi gösterilebilir [201]. Artırılmış gerçeklik 3B bir ortamda kullanıcı etkileşimini destekleyen bir ortamdır; gerçek ve sanal nesneleri, kullanıcıya, aynı ortamda birlikte sunar.



Şekil 2. 95 Artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, karıştırılmış gerçeklik

2.22.1 Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik

1965 yılında Ivan Sutherland tarafından yapılan tanıma göre sanal gerçeklik, bir ekrandaki sanal dünyanın gerçek görünmesi, gerçek duyulması, gerçek hissedilmesi ve gözlemci hareketlerine gerçekçi tepkiler vermesidir [202]. Sanal gerçeklik, insan algılarının gerçek olmayan bir dünya ile yanıltılması üzerine kuruludur. Bu özelliğiyle, kullanıcıya, gerçekte var olmayan, sanal olarak yaratılan dünyada etkileşimli bir şekilde var olma duygusu deneyimi sunmaktadır.

Sanal gerçeklik uygulamalarında, endüstriyel ve mimari verilerin üretim sürecinden önce belirli etkenlere göre önceden sanal ortamda test edilmesi ve sorunların bilinerek son halinin üretilmesi, üretim sürecinin kısaltılması ve tekrarlardan dolayı artan maliyetin düşürülmesi amaçlanmaktadır [203].

Temel bir sanal gerçeklik sistemi, gerekli görüntüleme ve mekanik geri besleme elemanları, bilgisayar sistemi ve bu sistem üzerinde çalışan yazılım bileşenlerinden oluşmaktadır. Sanal gerçeklik sisteminde, bilgisayar ortamında sayısal olarak oluşturulan yapay dünyanın görüntü özellikleri ve bakış açısı kullanıcı hareketlerine

uygun olacak şekilde değiştirilerek sanal ortamdaki nesnelerle etkileşimli olacak şekilde bir gerçeklik hissi yaratılmaktadır.

Artırılmış gerçeklik uygulamalarında kullanılan donanımlar, sanal gerçeklik donanımlarına benzer özellikler göstermektedir. Ancak bu iki teknolojinin gereksinim duyduğu donanımlar arasında temel bazı farklılıklar da mevcuttur [203]. Bu farklılıklar aşağıda listelenmiştir:

- **Görüntü Aktarma:** Gerçek dünya görüntülerinin ve sanal nesnelerin bir arada sunulabilmesi için, hem gerçek görüntü kaynağına hem de sanal ve gerçek görüntüleri birleştirecek bir ortam gereklidir. Bu ortam, optik görme ya da video görme ortamları olabilir.
- **Çevreyi Algılama:** Sanal gerçeklikte algılanan sanal dünya tamamen bilgisayar ortamındadır. Buna bağlı olarak uzaklık değerlerinin ve referans nokta konumlarının seçiminde serbestlik vardır. Artırılmış gerçeklikte, bundan farklı olarak, gerçek boyut ve uzaklıklarla çalışılmaktadır. Bu nedenle de gerçek koordinat dönüşümleri yapılması gereklidir.
- **Mekanik Geri Besleme:** Gerçek dünya tepkilerinin doğru olarak yorumlanabilmesi için, bu tepkilerin gerginlik, sertlik gibi, gerçek nitelik taşıyan özellikleri algılanabilmelidir [203].

Artırılmış gerçekliğin en çok kullanılan fonksiyonlarından birisi de coğrafi etiketleme (geotagging)'dir. Bunun en büyük sebebi, coğrafi etiketlemenin altyapısının artırılmış gerçekliğin cep telefonlarına girmesinden daha önceki bir dönemine, Google maps'e dayanıyor olmasıdır. Google maps'in hizmete girmesinin ardından Google firması, bu ürünü ile ilgili olarak bir çok geliştiriciyi de beraberinde yayınlamıştır. Zamanla kullanıcıların Google map üzerine işaret, etiket, video, fotoğraf, simge, 3B yapılar gibi girişleri yapmalarına olanak sağlamıştır. Kullanıcılardan zaman içerisinde toplanmış bu veriler artık artırılmış gerçeklik ile aktif olarak kullanılabilir durumdadır [204].

2.22.2 Artırılmış Gerçeklik İle Sağlanan Avantajlar

Artırılmış gerçeklik teknolojisinin sunduğu en büyük fayda, etkileşim kavramıdır. Etkileşim özelliğine sahip olmasıyla artırılmış gerçeklik, kullanıcıya diğer sanal ortamlara

nazaran daha zengin bir ortam sunmaktadır. Artırılmış gerçeklik teknolojisinde kullanıcıya, gerçek dünya nesneleri ile sanal nesneler bir arada aynı ortamda sunulmaktadır. Artırılmış gerçeklik, gerçek zamanlı olarak dinamik gerçek nesneler ile etkileşim kurarak çalışabilme özelliği ile klavye ve fare gibi ekipmanların kullanılma zorunluluğunu da ortadan kaldırmaktadır [198].

2.22.3 Artırılmış Gerçeklik Önündeki Engeller ve Kısıtlamalar

Artırılmış gerçeklik teknolojisinin önündeki en büyük engel, insan vücuduna konforlu bir şekilde adapte edilebilen görüntüleme sistemlerinin oluşturulması konusu olarak belirtilmektedir. Bu konu, üzerinde yoğun bir şekilde çalışılan ve her geçen gün biraz daha gelişme sağlanan bir konudur. Özellikle insan vücuduna adapte edilebilecek donanımlar geliştirilmesi, önümüzdeki yıllarda popülerliğini artıracak alanlardan birisidir. Washington Üniversitesi'nde yapılan bazı çalışmalarda, artırılmış gerçeklik ekipmanlarının tamamını ortadan kaldıran bir kontakt lens geliştirildiği açıklanmıştır. Bu lens, bilimkurgu filmlerindeki arttırılmış gerçekliğin çok yakınında olduğumuzun açıkça ortaya koyan bir yenilik olarak nitelendirilmektedir [204]

BÖLÜM 3

UYGULAMA

Geliştirilen tez kapsamında tez konusunu destekleyen ve uygulayan iki farklı konu başlığı (sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik) altında üç farklı uygulama geliştirilmiştir.

3.1 Artırılmış Gerçeklik Uygulaması 1 – İnsan Yüzü Görüntüsünün Sanal Nesneler ile Zenginleştirilmesi

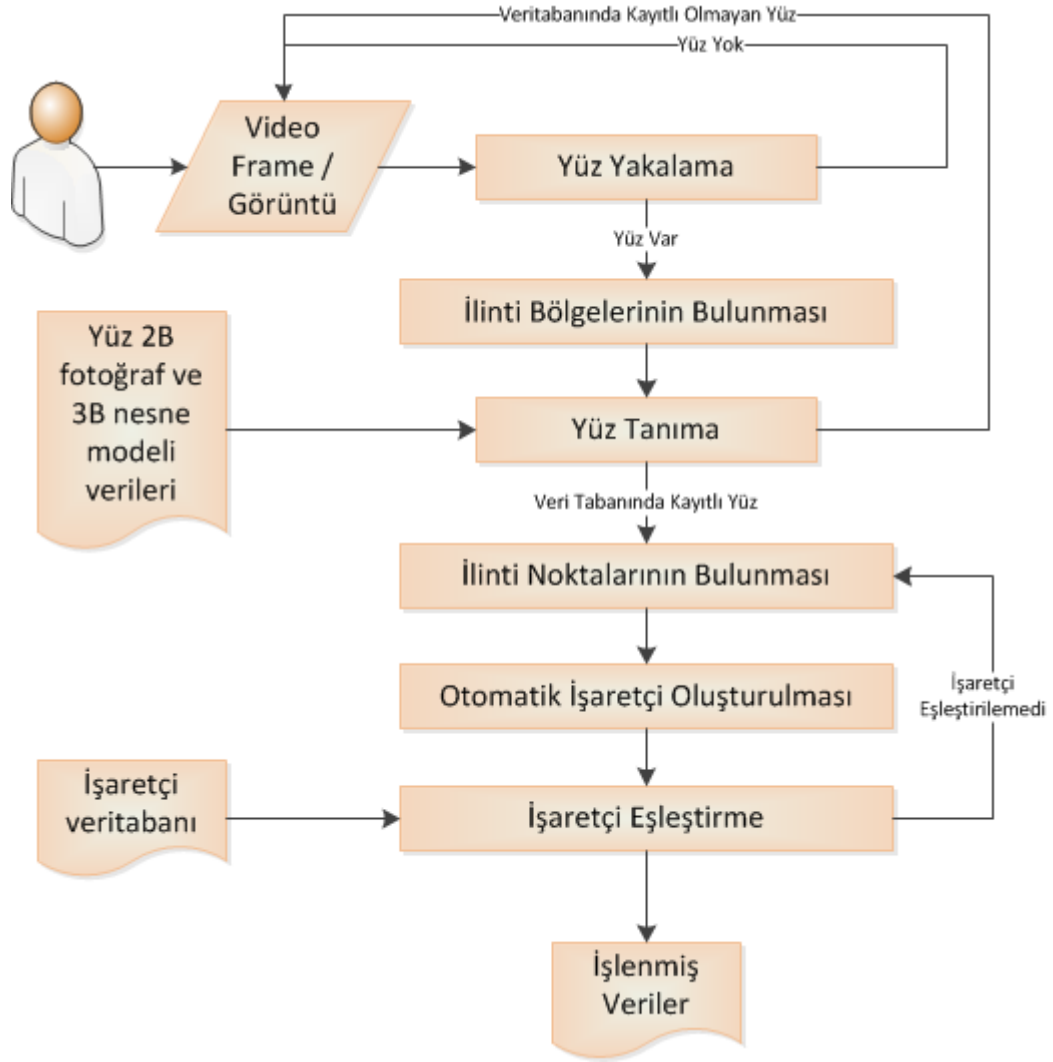
Artırılmış gerçeklik uygulaması, otomatik olarak bulunan yüz ilinti noktaları kullanılarak dinamik bir şekilde işaretçilerin oluşturulması, bu işaretçilerin sistem tarafından otomatik olarak algılanarak gerçek dünya görüntüsü üzerine iki ve 3B sanal nesnelerin eklenmesi işlemlerini kapsamaktadır.

Bir web kamerası ile sürekli olarak alınan görüntüler ya da manuel olarak sisteme sunulan ardışık yüz görüntüleri işlenerek sırasıyla yüz yakalama, yüz tanıma, yüz ilinti noktalarını belirleme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Otomatik olarak belirlenen yüz ilinti noktalarından dinamik olarak işaretçiler oluşturulmakta ve gerçek dünya görüntüsü üzerinde gösterilmektedir. İşaretçinin de eklendiği yeni görüntüler tekrar işlenerek işaretçiler otomatik olarak belirlenmekte ve sistemde önceden tanımlı olan işaretçiler ile eşleşme sağlandığında, tanınan yüz ile önceden ilişkilendirilmiş iki ve 3B sanal nesneler gerçek görüntüye eklenmektedir.

Uygulama için “coğrafi etiketleme” konusundan esinlenilmiştir. Coğrafi etiketlemede, kamera ile alınan görüntülerde yer alan bina/müze gibi mekanlar otomatik olarak tanınarak bu mekanlara ilişkin sisteme daha önceden girilmiş olan veriler, mekan üzerinde sanal olarak gösterilmektedir. Aynı fonksiyonelliği insan yüzü özelinde düşünecek olursak, kamera ile alınan görüntülerde insan yüzlerini otomatik olarak

belirleyerek bu kişilerin kim olduğunun bulunması ve bu kişiler ile ilgili olarak sisteme daha önceden girilmiş olan verilerin kişi üzerinde sanal olarak gösterilmesi gerekli olacaktır.

Sisteme ilişkin iş akışı şekil 3.1’ de verilmiştir.



Şekil 3. 1 Yüz tanıma ve artırılmış gerçeklik uygulaması

Şekil 3.2’ de sisteme sırasıyla verilen görüntüler gösterilmiştir.



Şekil 3. 2 Sisteme verilen yüz görüntüleri

Görüntüler sisteme aktarıldığında ilk olarak yüz yakalama işlemi gerçekleştirilir. Eğer yüz bulunursa yüze ait bölge görüntü içerisinde kesilerek görüntü boyutu, ilinti bölgesi boyutlarına getirilir. Elde edilen yeni görüntü yüz tanıma işleminden geçirilerek daha önce veritabanına kaydedilmiş kişilerden birisine ait bir görüntü olup olmadığı kontrol edilir. Eğer yüzün, veritabanında kayıtlı kişilerden birisine ait olduğu tespit edilirse, bu kişinin kimlik bilgileri kullanıcıya gösterilir.

Geliştirilen uygulama kapsamında oluşturulmuş yüz veritabanı şekil 3.3' te görülen kişilerden oluşmaktadır.

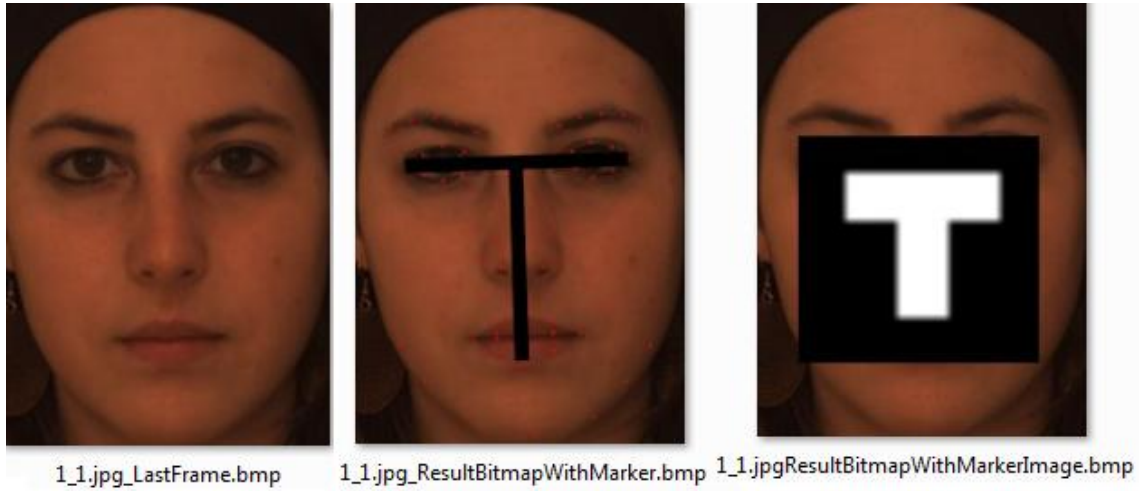


Şekil 3. 3 Sistemde kullanılmak üzere oluşturulmuş yüz veritabanı

Bu veritabanında yer alan kişilerden bazıları, güvenlik birimlerince aranan kişiler olarak etiketlenmişlerdir. Sistem bu veritabanında yer alan kişilerden birisi ile karşılaştığında veritabanında kişinin kayıtlı olup olmadığını kontrol edecek ve eğer kayıtlı ise aranan bir kişi olup olmadığına bakacaktır. Eğer bu kişi aranan bir kişi ise sistemden alarm üretmesi beklenmektedir.

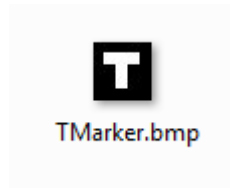
Sistem şekil 3.3' te verilen kişiyi veritabanında yer alan kişilerden birisiyle eşleştirebildiği için bir sonraki adıma geçmeye hazır duruma gelir. Yüz veritabanında, kişi bilgilerinin yanı sıra, bu kişilerin görüntüleri sisteme geldiğinde, artırılmış gerçeklik nesnesi olarak kullanılacak 2B ve 3B veriler de saklanmaktadır. Sonraki aşamada yapılması gereken, bulunan ve tanınan yüz üzerinde yüz ilinti noktalarını tespit ederek bu noktalardan geçen bir işaretçinin dinamik olarak oluşturulması ve işaretçi görüntüsünün, kişi görüntüsü üzerine yapıştırılmasıdır.

Yüz ilinti noktalarının bulunması ve bu noktaların kullanımıyla işaretçinin dinamik olarak oluşturulması sonucunda elde edilen sonuçlar şekil 3.4' te gösterilmiştir.



Şekil 3. 4 Yüz ilinti noktaları ile dinamik işaretçilerin oluşturulması

Geliştirilen sistemde, noktaların konumları itibariyle de “T” şeklinde bir işaretçinin kullanılması uygun görülmüştür. Bu şekil, sol gözün sol noktası ve sağ gözün sağ noktasından geçen doğru ile dudak alt orta noktası ve iki gözün orta noktasından geçen doğrunun birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Şekil 3.4’ te ortada yer alan görüntüde “T” şekli görülmektedir. İşaretçinin görüntü içerisinde çizgisel olarak oluşturulmasının ardından daha önce oluşturularak sisteme tanıtılmış olan “T” işaretçisine ait görüntü yüz görüntüsü üzerine uygun konumda eklenir. Bu konum, çizgisel işaretçinin sınırlarından oluşan dörtgensel bölgedir. Şekil 3.5’ te sistemde kullanılan “T” işaretçisinin görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3. 5 Sistemde tanımlı işaretçinin görüntüsü

Bu işaretçi sisteme üç farklı tipte sanal nesne ile birlikte tanıtılmıştır. Bu sanal nesneler:

- Yazı bilgisi: Yüz tanıma işlemi gerçekleştiğinde veritabanından kişinin adı okunarak yazı bilgisi sanal nesnesi olarak işaretçiye atanmaktadır.
- Görüntü (2B sanal nesne): Şekil 3.6’ da verilen görüntü bu işaretçiye atanmaktadır.

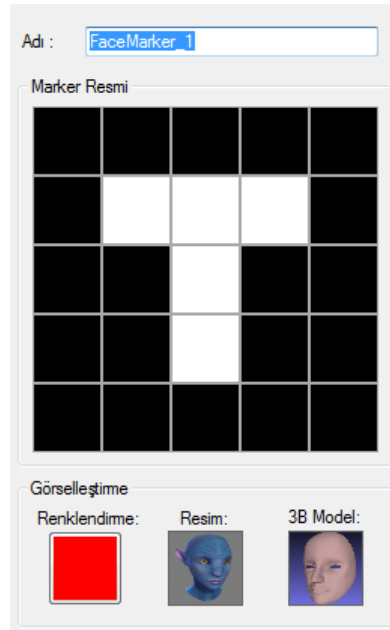
- Model (3B sanal nesne): Şekil 3.6’ da verilen 3B model bu işaretçiye atanmaktadır.

Sistem bu aşamada işaretçiyi şekil 3.6’ da görülen sanal nesneler ile birlikte tanımış durumdadır. İzlenilen görüntülerde işaretçi ile karşılaşılması durumunda sisteme kayıtlı sanal nesneler görüntü üzerine eklenerek artırılmış gerçeklik oluşturulmaktadır.



Şekil 3. 6 İşaretçiye atanan 2B ve 3B sanal nesneler [205, 206]

“T” işaretçisinin çizgisel olarak elde edilmesinin ardından şekil 8’de görülen işaretçi görüntüsü çizgisel “T” işaretçisinin koordinatlarına sığacak şekilde boyutlandırılarak yüz görüntüsü üzerine eklenir ve şekil 3.4’ te verilen üçüncü görüntü elde edilir. Sistem bu görüntüyü yeniden işleme alarak işaretçi görüntüsünü tespit eder ve artırılmış gerçeklik uygulamasını tetikler.



Şekil 3. 7 “T” işaretçisi ve T işaretçisine ilişkin sanal nesneler

Elde edilen sonuçlar şekil 3.8, şekil 3.9, şekil 3.10 ve şekil 3.11’ de gösterilmiştir.



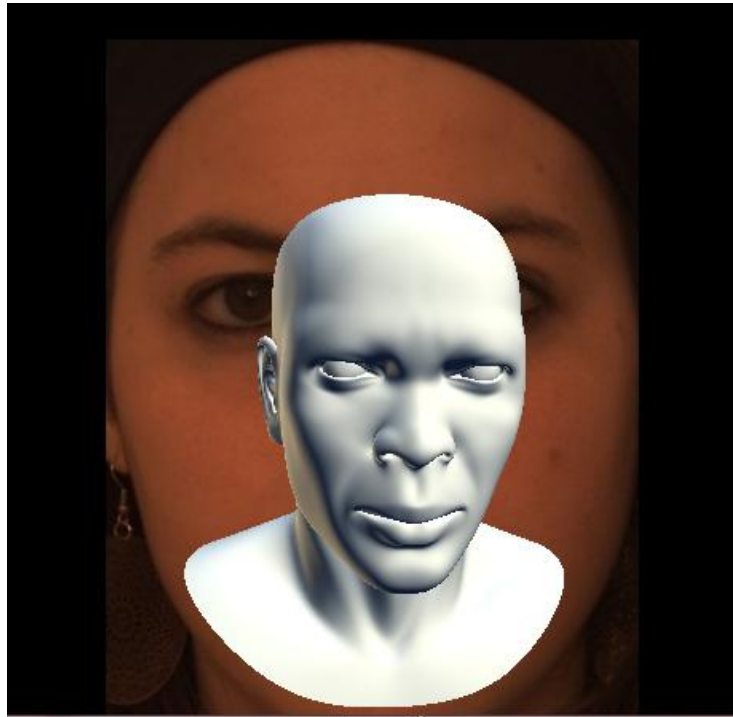
Şekil 3. 8 Kişi isim bilgisinden oluşan sanal nesne ile artırılmış gerçeklik



Şekil 3. 9 2B sanal nesne (görüntü) ile artırılmış gerçeklik



Şekil 3. 10 3B sanal nesne (model) ile artırılmış gerçeklik - 1

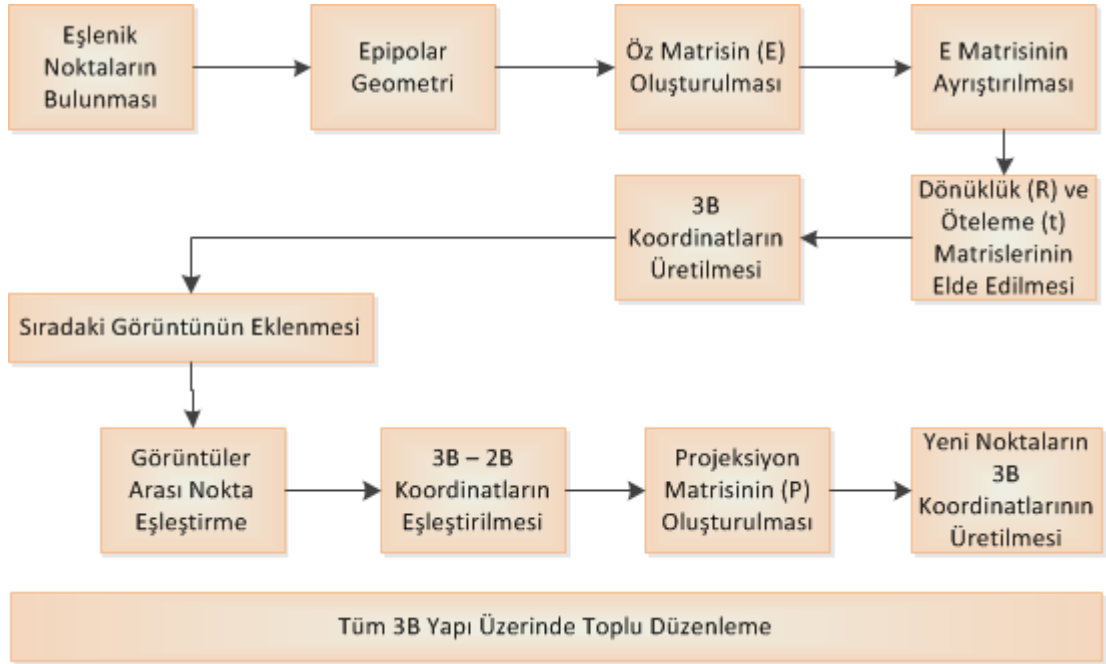


Şekil 3. 11 3B sanal nesne (model) ile artırılmış gerçeklik - 2

Sanal nesneler, işaretçinin boyutlarına göre oluşturulup gerçek görüntüye eklenmektedir. Bu nedenle gerçek ortamda kapladıkları alan da yüz bölgesinin olduğu yer değil, işaretçinin sınırları içerisinde kalan bölgedir.

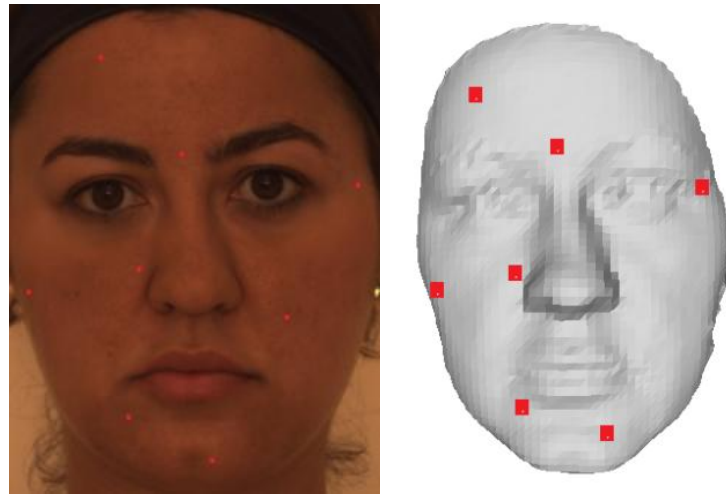
3.2 Sanal Gerçeklik Uygulaması – Üç Boyutlu Nokta Bulutu Oluşturma

Sanal gerçeklik uygulamasına ilişkin mimari şekil 3.12’ de verilmiştir.



Şekil 3. 12 Sanal gerçeklik uygulamasına ait akış diyagramı

3B nokta bulutunun üretilmesi için, yüz görüntüsü üzerinde homojen olarak dağılmış bir şekilde bulunan 8 farklı nokta seçilmiştir. Bu 8 noktaya ait, 2B fotoğraf koordinatları ve 3B nesne modeli koordinatları elle ölçülmüştür.



Şekil 3. 13 Fotoğraf ve model üzerinde seçilen noktalar

```

İki kaş ortası
2B: 502 437
3B: -29,95 44,31 -72,82

Sol dudak köşesi altı
2B: 346 1209
3B: -49,09 -52,53 -84,81

Çene üstü - dudak altı
2B: 591 1335
3B: -16,76 -65,12 -79,35

Sağ dudak - sağ burun ortası
2B: 807 916
3B: -0,92 -19,98 -81,13

Sol - burun hizasında - göz altı
2B: 55 841
3B: -85,71 -4,2809 -98,70

Sağ - göz hizasında
2B: 1016 529
3B: 27,90 31,78 -98,14

Burnun solunda - burun ortası hizasında
2B: 378 775
3B: -49,29 0,63 -79,13

Alın - sol kaş üstü
2B: 266 153
3B: -68,86 73,18 -79,87

```

Şekil 3. 14 Fotoğraf ve model üzerinde seçilen noktaların koordinatları

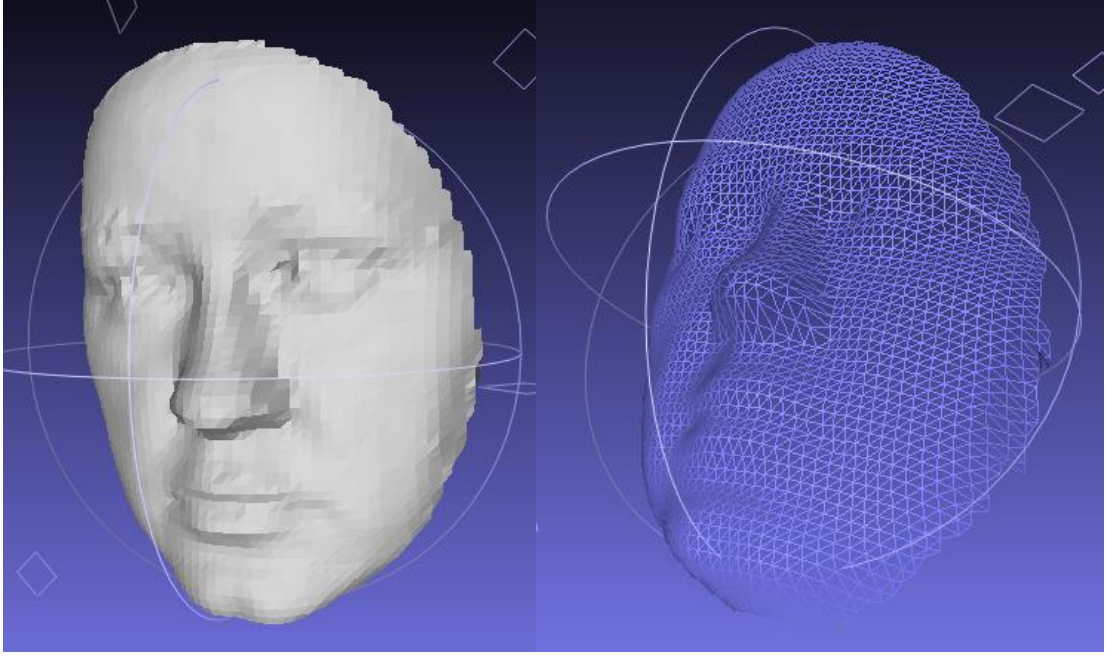
Veritabanında 2B görüntü koordinatları ve 3B nesne modeli koordinatları bilinen ilinti noktalarını bilerek kullanılmamıştır. Bu noktaların koordinat değerleri geliştirilen algoritmaların çalıştırılması sırasında hesaplanmış ve verilen değerler ile karşılaştırılarak doğruluk analizi yapılması amacıyla kullanılmıştır.

8 eşlenik noktanın kullanımı ile nokta bulutu üretilmesi için yapılan işlemler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

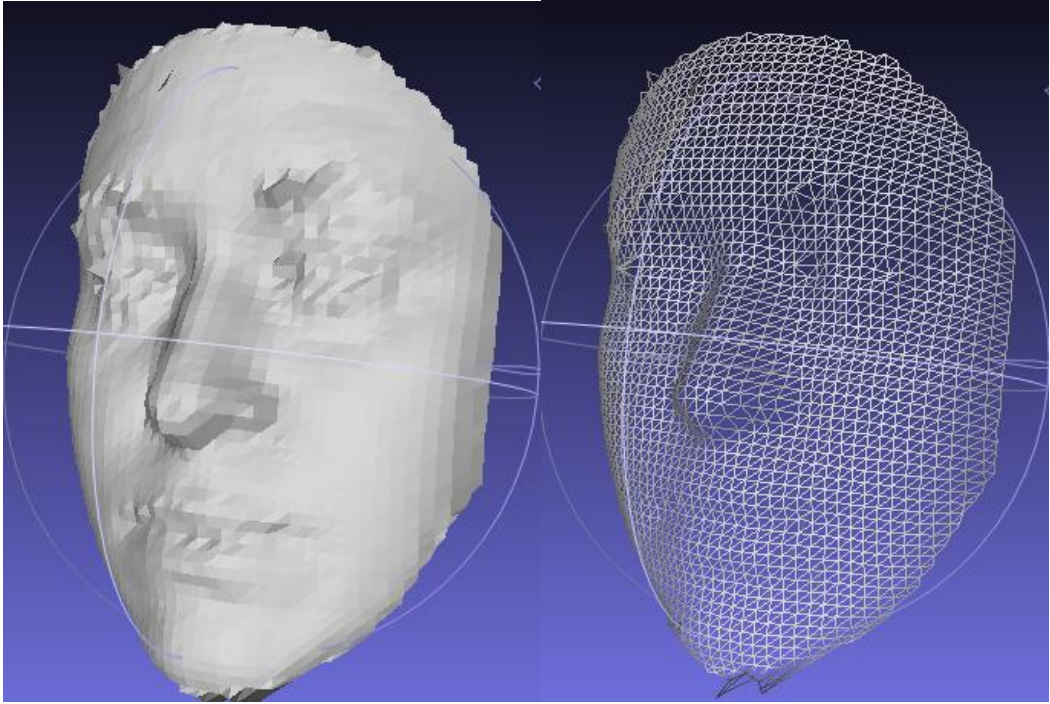
- Stereo görüntüler üzerinde homojen olarak dağılmış bir şekilde bulunan 8 eşlenik nokta çiftinin seçilmesi
- Seçilen noktaların fotoğraf koordinatlarının elle ölçülmesi
- Seçilen noktaların 3B nesne modeli koordinatlarının elle ölçülmesi
- 3B koordinat değeri hesaplanacak olan tüm noktaların bulunması ve epipolar geometri ile eşlenik nokta çiftlerinin oluşturulması

Levenberg – Marquardt algoritmasına dayanan dağınık blok dengeleme [207](sparse bundle adjustment) uygulamasının kullanımıyla 3B koordinat değerleri üretilmiştir.

Şekil 3.15 ve şekil 3.16' da oluşturulan nokta bulutları görülmektedir.



Şekil 3. 15 Örnek olarak oluşturulmuş bir yüz nokta bulutu



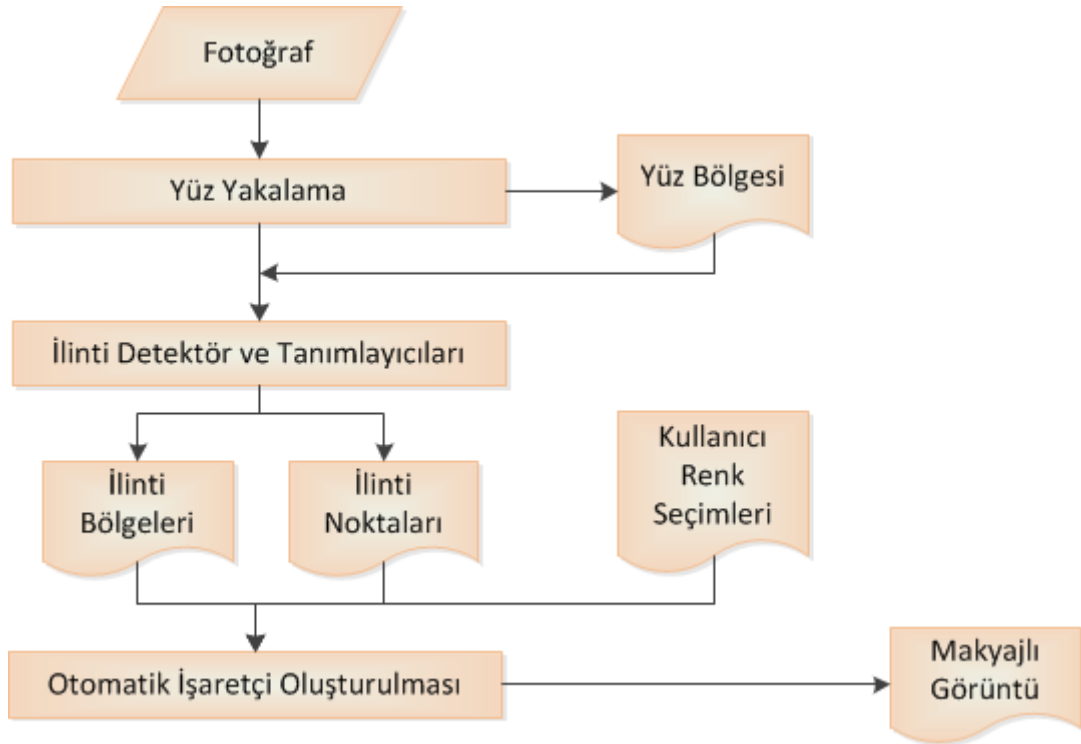
Şekil 3. 16 Örnek olarak oluşturulmuş bir yüz nokta bulutu

3.3 Artırılmış Gerçeklik Uygulaması 2 – Sanal Makyaj

Sanal makyaj, video kamera ya da fotoğraf kamerası ile alınan insan yüzü görüntüleri üzerinde, makyaj bölgelerine kullanıcı tarafından seçilen renklerin uygulanması ile gerçek ve sanal görüntünün bir arada sunulduğu bir artırılmış gerçeklik uygulamasıdır.

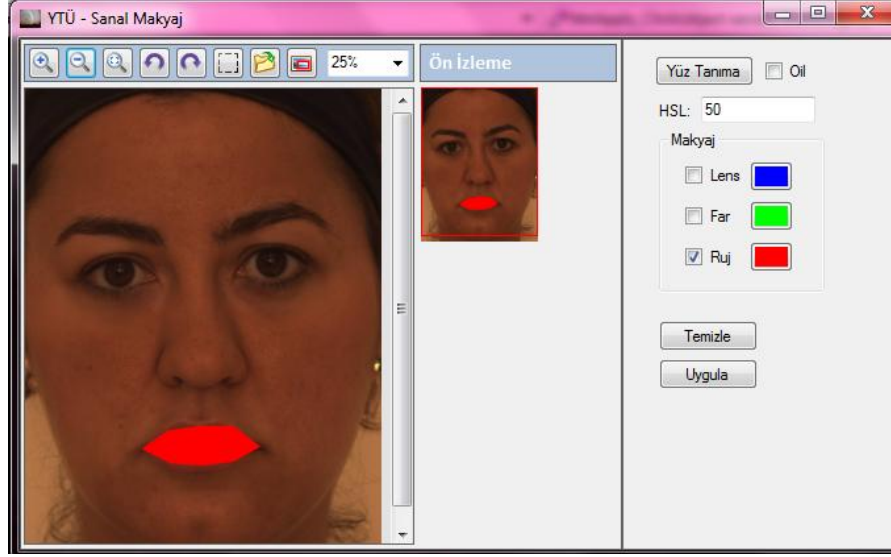
Yüz ilinti bölgelerinin ve ilinti noktalarının bulunması sonrasında, göz ve dudak bölgelerine far ve ruj sürülmüş izlenimi yaratacak şekilde renklendirme yapılmış, göz iris bölgesine seçilen renge göre lens giydirilmiştir.

Sanal makyaj uygulamasının akış diyagramı şekil 3.17’ de gösterilmiştir.



Şekil 3. 17 Sanal makyaj uygulaması akış diyagramı

Seçilen renklerin ilinti bölgesine uygulanması sırasında renk RGB değerlerinin bölge piksellerine doğrudan uygulanması yüz üzerinde yapay bir görüntü oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum şekil 3.18’ de gösterilmiştir:

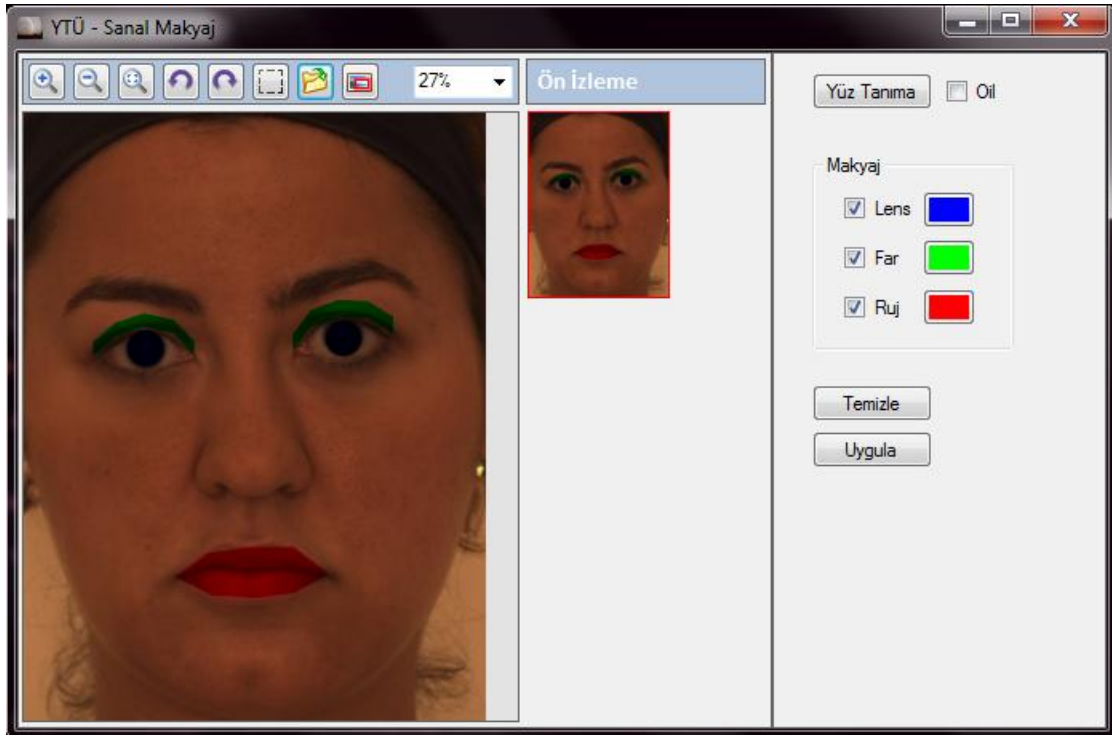


Şekil 3. 18 Sanal makyaj – Yapay görünüm

Bu yapay görünümün oluşmaması için seçilen rengin RGB değerleri, rengin uygulanacağı piksellerin RGB değerlerine oranlanarak daha doğal görünüm sağlayacak RGB değerleri elde edilmiş ve piksellere bu değerler uygulanmıştır. Yeni RGB değerlerinin hesaplanması sırasında uygulanan formüller 3.1’de verilmiştir.

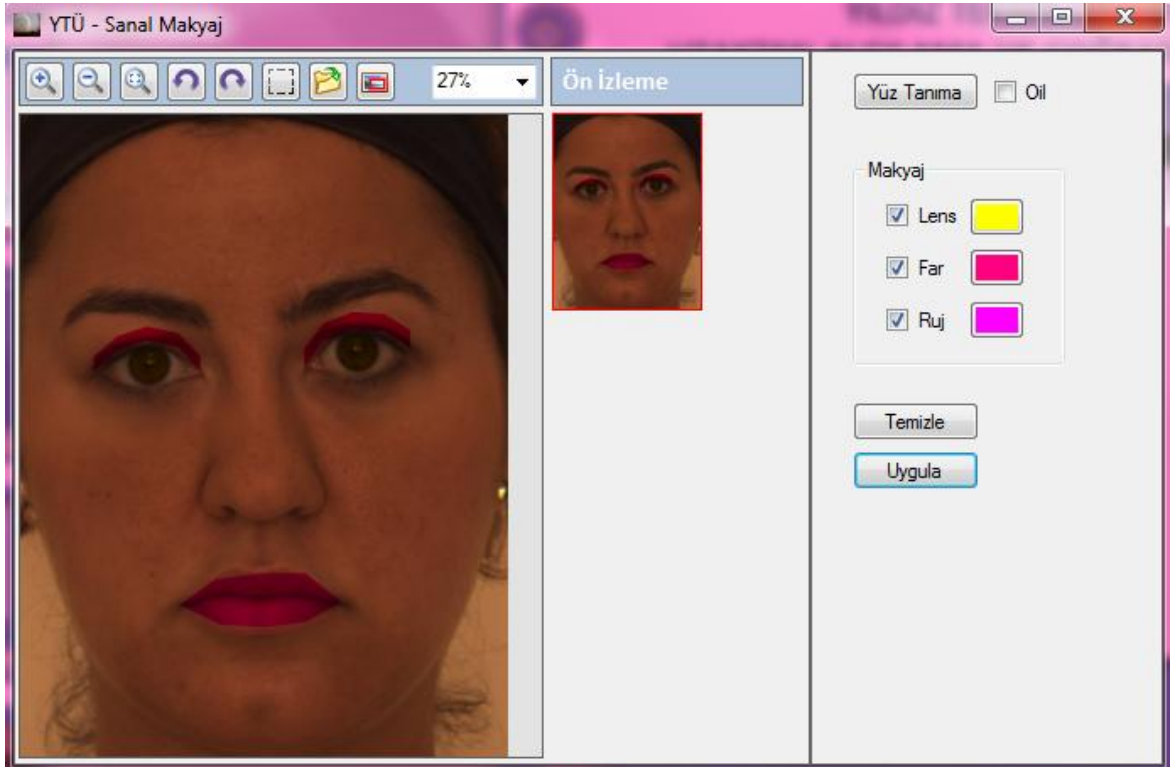
$$\begin{aligned}
 R_{Yeni} &= R_{PikselRengi} / 256 * R_{SeçilenRenk} \\
 G_{Yeni} &= G_{PikselRengi} / 256 * G_{SeçilenRenk} \\
 B_{Yeni} &= B_{PikselRengi} / 256 * B_{SeçilenRenk}
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Formül 3.1 ile hesaplanan renk değerlerinin ilti bölgesi üzerinde ilgili piksellere uygulanması sonucunda elde edilen görüntüler aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Şekil 3.19’ da lens rengi olarak mavi, far rengi olarak yeşil ruj rengi olarak kırmızı seçilmiştir.



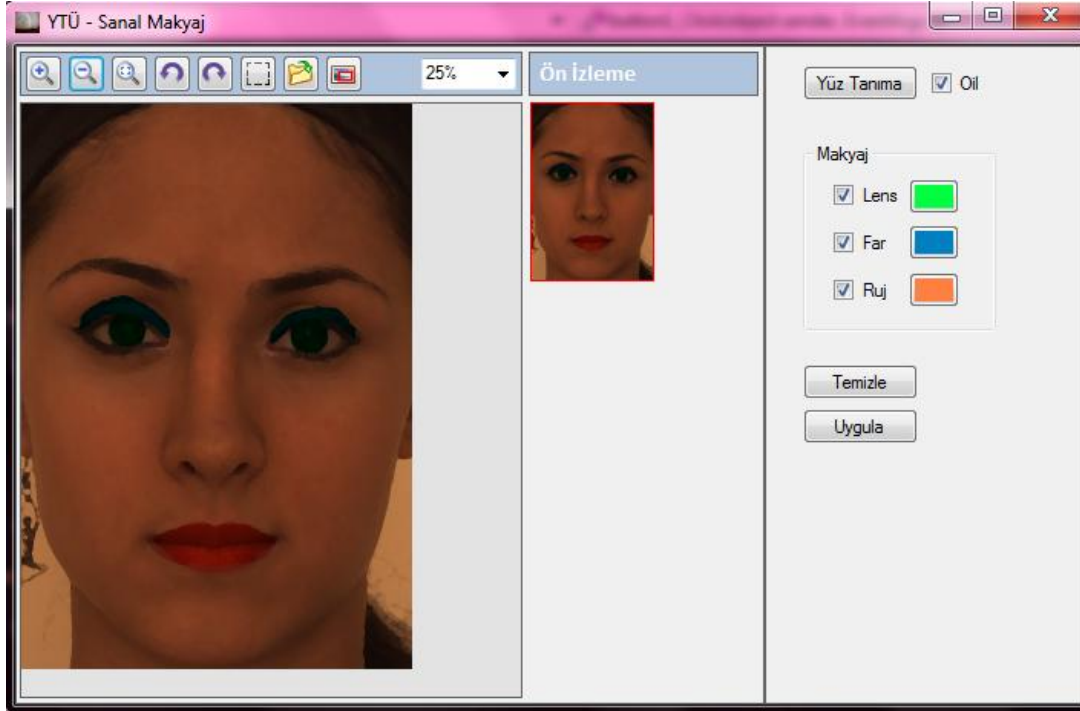
Şekil 3. 19 Sanal makyaj – 1

Şekil 3.20' de lens rengi olarak sarı, far rengi olarak pembenin bir tonu, ruj rengi olarak pembenin farklı bir tonu seçilmiştir.



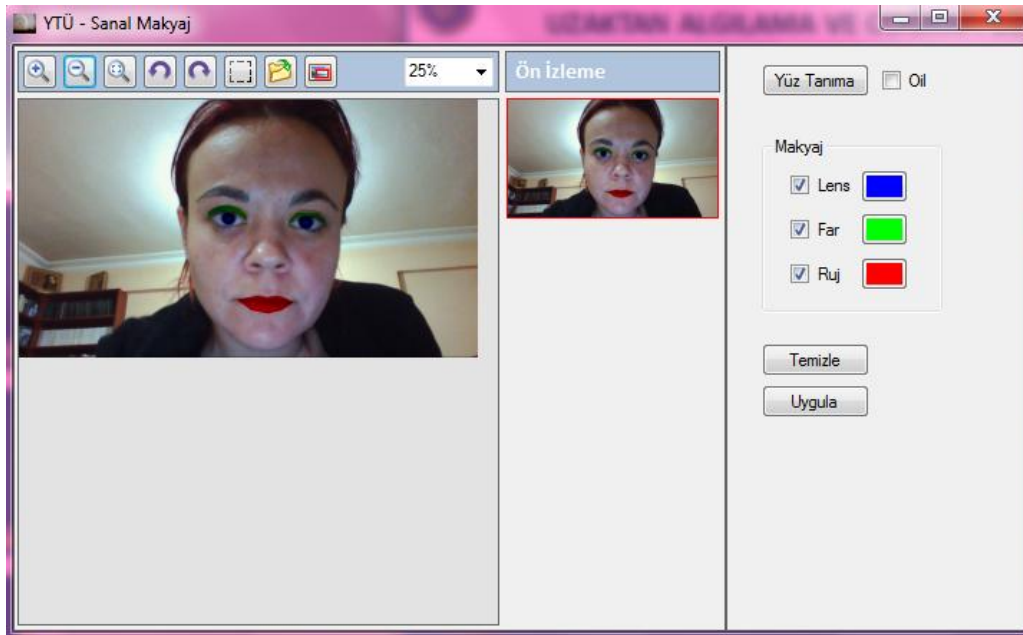
Şekil 3. 20 Sanal makyaj – 2

Şekil 3.21' de ise seçilen renklerin farklı bir test görüntüsü üzerinde verdiği sonuçlar görülmektedir:

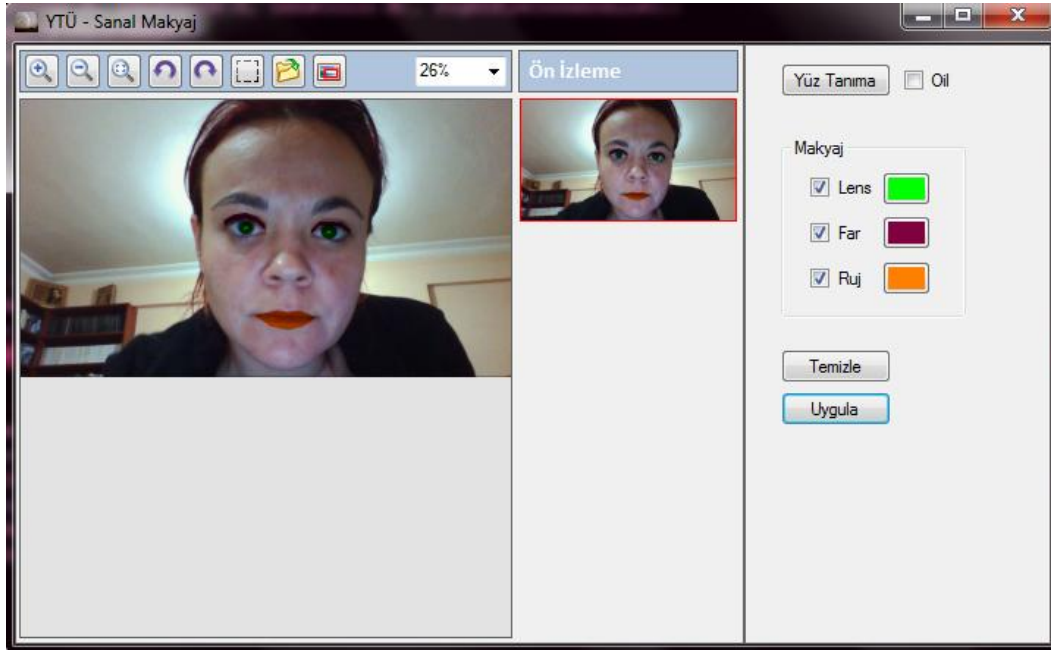


Şekil 3. 21 Sanal makyaj – 3

Aşağıdaki şekil 3.22 ve şekil 3.23' te web kamerası ile anlık olarak alınan yüz görüntüsü üzerinde sanal makyaj uygulamasının sonuçları görülmektedir:

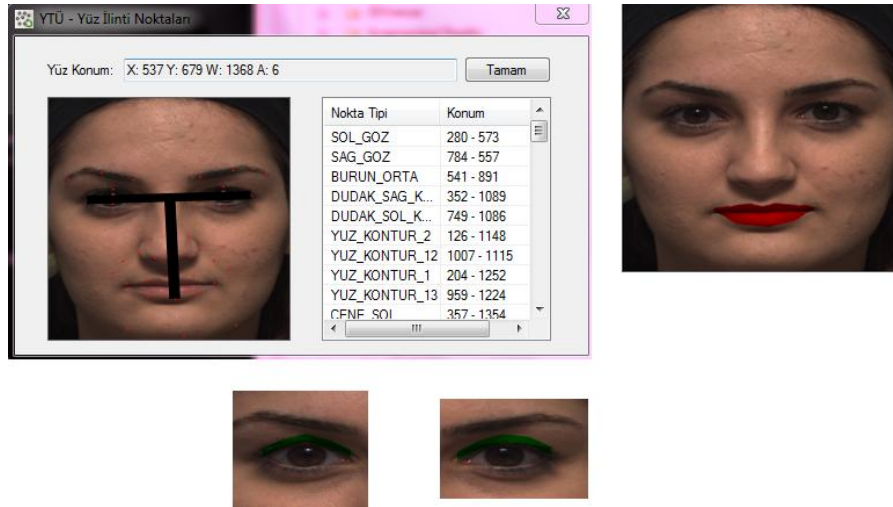


Şekil 3. 22 Sanal makyaj – 4



Şekil 3. 23 Sanal makyaj – 5

Şekil 3.24' te otomatik olarak bulunan ilinti noktası koordinatları ve bu koordinatların kullanımı ile ilgili bölgelere sanal makyaj uygulanmasının sonuçları gösterilmektedir:



Şekil 3. 24 Sanal makyaj – 6

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

1950'li yıllarda temelleri atılan artırılmış gerçeklik teknolojisi, yazılım ve donanım alanlarında yaşanan gelişmeler ile günümüzde oldukça ilgi gören bir konuma gelmiştir. Sağlıktan eğitime, sanayiden reklamcılığa kadar birçok alanda kullanım alanı bulan artırılmış gerçeklik teknolojisi, insan yüzü üzerine geliştirilebilecek uygulamalarda da oldukça ilgi görmüştür. Gelişmeye başladığı ilk yıllarda, sanal nesnelerin gösterimi için kullanıcıya görünen işaretçiler kullanılması gerekliliği, daha sonradan bu işaretçilerin kullanıcıdan gizlenmesi ve arka planda uygulama tarafından işlenmesi yoluyla, artırılmış gerçeklik teknolojisi ile sunulan gerçeklik izlenimi de artmıştır.

İnsan yüzlerinin görüntülerden otomatik olarak bulunması işlevini sunan uygulamalar, estetik, yüz nakli, kimliklendirme, güvenlik gibi alanlarda, artırılmış gerçeklik teknolojisi ile de entegre olarak çok daha kullanışlı özellikler sunar hale gelmişlerdir. Kullanıcıya sunulan gerçeklik izleniminin artırılmasının çok önemli olması nedeniyle, insan yüzlerinin otomatik olarak bulunmasının ardından, yüz bölgesine ilişkin ilinti bölgeleri ve ilinti noktalarının da otomatik olarak ve yüksek doğrulukta bulunabilmesi önem kazanmıştır. Gerçek dünya ortamında çalışan uygulamalarda, bir fotoğraf kamerası ya da video kamera ile alınan veriler içerisinde yer alan insan yüzleri, profilden alınmış görüntüler ya da ön yüz pozları olabilir. Bu nedenle yüz ilinti bölgeleri ile noktalarını bulan algoritmaların görüntü alım yönünden bağımsız olacak şekilde çalışmaları gereklidir. Sunulan tezde yapılan testler sonucunda, görüntü alım açısından bağımsız olarak yüz ilinti noktalarının bulunabileceği, bu noktaları kullanarak artırılmış gerçeklik işaretçilerinin otomatik olarak oluşturulabileceği ve kullanıcıya hiç gösterilmeden arka

planda işlenerek, gerçek dünya görüntüsü üzerine iki veya 3B sanal nesneler eklenebileceği gösterilmiştir.

Doğruluk Analizi: 10 örnek veriye ilişkin 2B ve 3B nokta koordinatlarının hesaplanması sonucunda elde edilen Δxy ve Δxyz değerleri için 2,04086 (piksel) ve 1,83971 (mm) ortalama değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 1 Doğruluk analizi ortalama değerleri

Ortalama Δxy (piksel)	Ortalama ΔXYZ (mm)
2,04086	1,83971

Sağ ve Sol Göz Uzunlukları: 10 örnek veriye ilişkin sol ve sağ gerçek göz uzunlukları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin, insan gözü ortalama uzunlukları içerisinde kalıp kalmadığı kontrol edilmiş ve kaldığı gözlenmiştir.

Çizelge 4. 2 Sağ ve sol gözler için hesaplanan uzunluk değerleri

Veri Adı	Sol Göz	Sağ Göz
	Uzunluk (mm)	Uzunluk (mm)
1.Bs026	28,2533	29,8599
2.Bs029	28,0042	28,1932
3.Bs031	27,5771	27,2603
4.Bs045	32,2406	32,5900
5.Bs052	31,6035	29,0569
6.Bs069	31,0157	35,2323
7.Bs071	28,4323	28,1501
8.Bs074	31,3871	31,4169
9.Bs083	28,9615	28,8145
10.Bs096	30,4809	30,6251

Göz bazı uzunlukları: Elle ölçülen ve hesaplanan ilinti noktası koordinatları ile göz bazı mesafeleri hesaplanmış ve ölçülen değerler ile hesaplanan değerler arasındaki fark kontrol edilmiştir.

Çizelge 4. 3 Sağ ve sol göz bazı uzunlukları (mm)

Veri Adı	Nokta	3B Koordinatlar						Göz Bazı		Fark
		Ölçülen			Hesaplanan			Ölçülen	Hesaplanan	
		x	y	z	x'	y'	z'			
1.Bs026	Sol Göz İris	-60,95	27,03	-88,62	-61,28	27,98	-87,45	76,6180879	77,3689873	0,75089938
	Sağ Göz İris	15,61	29,7	-87,29	16,04	30,65	-86,78			
2.Bs029	Sol Göz İris	-59,68	-11,57	-93,37	-60,45	-11,89	-93,89	60,9723265	61,9288382	0,95651168
	Sağ Göz İris	1,1	-6,86	-92,26	1,4	-8,97	-92,78			
3.Bs031	Sol Göz İris	-16,78	13,3	45,46	-16,97	13,5	44,89	60,1486933	60,0463363	-0,10235698
	Sağ Göz İris	43,26	9,81	44,52	42,98	10,1	44,89			
4.Bs045	Sol Göz İris	-27,14	-11,2	6,97	-27,98	-11,8	7,45	64,4056566	66,2172402	1,81158362
	Sağ Göz İris	37,01	-9,14	1,62	37,98	-9,78	1,98			
5.Bs052	Sol Göz İris	-43,53	31,69	34,67	-42,78	31,77	33,48	63,0850283	61,9433951	-1,14163321
	Sağ Göz İris	19,47	34,87	35,45	19,02	35,78	34,77			
6.Bs069	Sol Göz İris	-5,26	-1,1	-42,29	-5,98	-1,35	-42,78	58,3066111	59,7685687	1,46195755
	Sağ Göz İris	53,03	-0,92	-43,67	53,78	-1,14	-43,77			
7.Bs071	Sol Göz İris	-45,64	11,4	28,36	-45,99	11,75	28,78	64,4485911	64,0388484	-0,40974277
	Sağ Göz İris	18,78	10,79	30,18	18,01	11,45	30,99			
8.Bs074	Sol Göz İris	-42,49	0,33	19,66	-42,78	0,58	20,45	59,7736815	60,8165479	1,04286641
	Sağ Göz İris	17,27	-0,72	20,39	17,99	-1,78	20,75			
9.Bs083	Sol Göz İris	-16,61	13,98	-17,73	-16,78	14,05	-18,02	59,8662	60,7061628	0,8399628
	Sağ Göz İris	43,24	15,35	-17,48	43,89	15,88	-17			
10.Bs096	Sol Göz İris	-11,3	5,61	30,75	-11,78	6,01	31,45	63,3525958	64,7873707	1,43477484
	Sağ Göz İris	52,03	6,13	29,14	52,98	6,88	29,78			

Yöntemlerin birlikte kullanımı: Görüntülerde otomatik yüz bulmada, Viola Jones yöntemi ile ten rengi analizi yönteminin birlikte kullanılması yoluyla yüz bulma doğruluğu artırılmıştır.

Yüz yönü bulma: Stereo yüz görüntülerinin eşleştirilmesi sırasında kullanılacak nokta çiftlerinin yüz yönüne göre seçilmesi görüntü eşleştirmede yapılacak hataları azaltmıştır.

Artırılmış gerçeklik işaretçilerinin otomatik oluşturulmasının faydaları: Yüz üzerine yapılacak artırılmış gerçeklik uygulamalarında, gerçek dünya görüntüsü üzerine işaretçi yapıştırılması mümkün olmadığından, işaretçilerin otomatik olarak oluşturulması gereklidir. Yüz özellik noktalarının otomatik olarak bulunması yöntemi ile işaretçilerin

de arka planda otomatik olarak oluşturulması ve kullanıcıya göstermeden işlem yapılması mümkündür.

Yüz ilinti noktalarının bulunması için özel operatör geliştirilmesi zorunluluğu: Bilinen özellik operatörleri özel bir veri olan insan yüzü üzerinde hatalı sonuçlar üretirler. Bu nedenle yüze özel operatörlerin geliştirilmesi zorunludur.



Şekil 4. 1 Fast operatörü ile elde edilen sonuçlar



Şekil 4. 2 Harris operatörü ile elde edilen sonuçlar



Şekil 4. 3 Surf operatörü ile elde edilen sonuçlar

Kod istatistikleri:

Proje Adı	Açıklama	Kod Satır Sayısı
3DConsole	Epipolar geometri fonksiyonları	2946
Antares	Uygulama kullanıcı arayüzleri	54579
AntaresBaseLibrary	Görüntü işleme kütüphanesi - Temel işlevler	827
AntaresLibrary	Görüntü işleme kütüphanesi - Özel işlevler	164628
AntaresModules	Uygulama test arayüzleri	10382
ColorLibrary	Renk uzayları ile ilgili kütüphane	2010
ConvexHullLibrary	Convex hull bulma fonksiyonları	492
DetectSkinBlobs	Yüz yakalama - Ten rengi analizi	561
FaceRecognition	Yüz tanıma fonksiyonları	1938
FaceTracking	Yüz izleme fonksiyonları	6165
AugmentedReality	Artırılmış gerçeklik fonksiyonları ve uygulamaları	9226
OpenCvLibrary	OpenCv kütüphanesini sarmalayan kütüphane	5293
Toplam:		259047

Şekil 4. 4 Tüm çalışmalar sonucunda elde edilen kod istatistikleri

Özellik operatörlerinin test görüntülerine uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar Ek-E’de verilmiştir.

Geliştirilen algoritmalara ilişkin kısıtlamalar aşağıda verilmiştir:

- Özellik noktalarının bulunması ile ilgili kısıtlamalar: Geliştirilen algoritmaların testleri ve doğruluk analizleri Bosphorus veritabanı içerisindeki görüntüler üzerinde yapılmıştır. Bu nedenle algoritmalar en doğru sonuçları bu veritabanındaki görüntü setleri üzerinde vermektedir.
- Sanal makyaj uygulaması ile ilgili kısıtlamalar: Sanal makyaj uygulaması sadece göz ve dudak bölgesi üzerinde çalışmaktadır. Göz bölgesi üzerinde çalıştırılması sırasında gözün hep açık olacağı kabul edilmiştir. Gözün kapalı olması durumunda uygulama göz bölgesini bulamamaktadır. Dudak bölgesi üzerinde çalıştırılması sırasında dudakların kapalı olacağı kabul edilmiştir. Dudak bölgesinin açık olması durumunda uygulama hatalı sonuç üretmektedir.
- 2B/3B sanal nesnelerin gerçek görüntüye giydirilmesi ile ilgili kısıtlamalar: Sadece XNA kütüphanesi ile oluşturulmuş model dosyaları kullanılabilir.

Geliştirilen ilinti noktası ve bölgesi bulma algoritmaları, sadece görüntü alım açısından değil, alım ortamına ilişkin ışıklandırma, arka plan görünümü gibi koşullardan, alım sırasında kullanılan fotoğraf kamerası ya da video kameraya ilişkin özelliklerden de bağımsız olmasıdır. Sunulan tezde algoritmaların geliştirilmesi sırasında, ışık, arka plan görünümü, kamera özellikleri gibi değişkenlerin yarattığı durumlardan uzak kalınması

ve sonuca odaklanması için test veritabanı kullanılmış ve görüntü özellikleri sabitlenmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda, farklı alım koşullarında oluşan görüntü bozulmalarını giderebilecek ön işlemler yapılarak uygulamanın genişletilmesi düşünülmektedir.

Artırılmış gerçeklik uygulamasının gerçek dünya ortamında çalıştırılması durumunda görüntülerin bir video kamerası aracılığıyla alınması gerekecektir. Bu durumda video kamera ile alınan ardışık görüntülerin işlenebilmesi için algoritma performanslarının artırılması düşünülmektedir. Video kameradan elde edilen ardışık görüntüler söz konusu olduğunda, her bir ardışık görüntü içerisinde, yüz yakalama, kişiyi kimliklendirme, yüz ilinti bölgesi ve ilinti noktası bulma işlemlerinin ayrı ayrı yapılması yerine, yüz izleme, yüz ilinti bölgesi izleme ve yüz ilinti noktaları izleme gibi işlevler eklenerek uygulama performansı artırılabilir. İzleme algoritmalarının kullanılması sonucunda, her bir ardışık görüntü için, kişi kimliklendirme işlemi yapılması gerekliliği de ortadan kalkacak ve sadece izlemenin sona erdiği durumda, yeni bir kişi görüntülendiğinde kimliklendirme yapılabilecektir.

Tez çalışması sırasında geliştirilen algoritmaların yeni eklentilerle zenginleştirilmesi ve geliştirilmesi ile ileride yapılabilecek çalışmalar aşağıda listelenmiştir:

- Sanal makyaj uygulaması ile 3B nokta bulutu arasında ilişki kurularak, yapılan makyajın 3B ortamda eş zamanlı olarak gösterilebilmesi
- Sanal bijuteri uygulaması
- Otomatik işaretçi oluşturma yönteminin farklı birçok alanda kullanımı
- Yüz özellik noktası bulma yöntemlerinin veri setinden tam bağımsız hale getirilmesi

KAYNAKLAR

- [1] Mikolajczyk, K., Zisserman, A. ve Schmid, C., (2002). "An Affine Invariant Interest Point Detector", In Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision, Copenhagen, Denmark.
- [2] Tuytelaars, T. ve Van Gool, L., (2001). "Content-Based Image Retrieval Based on Local Affinely Invariant Regions", In Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, Hawaii, USA, 247-254.
- [3] Tuytelaars, T. ve Van Gool, L., (2000). "Wide Baseline Stereo Matching Based on Local, Affinely Invariant Regions", In Proceedings of the 11th British Machine Vision Conference, Bristol, UK, 412-425.
- [4] Kadir, T., Zisserman, A. ve Brady, M., (2004). "An Affine Invariant Salient Region Detector", In Proceedings of the 8th European Conference on Computer Vision, Prague, Czech Republic, 345-457.
- [5] Matas, J., Chum, O., Urban, M. ve Pajdla, T., (2002). "Robust Wide-Baseline Stereo From Maximally Stable Extremal Regions", In Proceedings of the British Machine Vision Conference, Cardiff, UK, 384-393.
- [6] Trucco, E. ve Verri, A. (1998). Introductory Techniques for 3-D Computer Vision, Prentice Hall.
- [7] Martin, W.N. ve Aggarwal, J.K., (1983). "Volumetric Descriptions Of Objects From Multiple Views", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 5 (2): 150–158.
- [8] Hatzitheodour, M. ve Kender, M., (1988). "An Optimal Algorithm For The Derivation Of Shape From Shadows," Proc. of Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Ann Arbor, 486–491.
- [9] Savarese, S., Rushmeier, H., Bernardini, F. ve Perona, P., (2001). "Shadow Carving," Proc. of the Ninth IEEE International Conference on Computer Vision, Vancouver, CA.
- [10] Olsson, K. ve Persson, T., (2001). Shape From Silhouette Scanner, Master's Thesis, University of Linköping, Sweden.
- [11] Cheung, K.M., (2003). Visual Hull Construction, Alignment and Refinement for Human Kinetic Modelling, Motion Tracking and Rendering, PhD Thesis, Carnegie Mellon University.

- [12] Matusik, W., Buehler, C. ve McMillan, L., (2001). "Polyhedral Visual Hulls for Realtime Rendering", Proceedings of Twelfth Eurographics Workshop on Rendering, 115–125.
- [13] Lorensen, W.E. ve Cline, H.E., (1987). "Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Reconstruction", Computer Graphics, 21(4): 163–166.
- [14] Nielson, G.M. ve Hamann, B., (1991). "The Asymptotic Decider: Resolving The Ambiguity In Marching Cubes", Proceedings of Visualization, 29–38.
- [15] Montani, C., Scateni, R. ve Scopigno R., (1994). "Discretized Marching Cubes", Visualization Proceedings USA, 281–287.
- [16] Niem, W. ve Buschmann, R., (1994). "Automatic Modelling of 3D Natural Objects from Multiple Views", European Workshop on Combined Real and Synthetic Image, Hamburg, Germany.
- [17] Beşdok, E., Özkan, C., ve Palancıoğlu, H.M., (2006). "Fotogrametrik Siluet İmgelerinden 3D Model Geri-Çatımı", Akademik Bilişim ve Bilgi Teknolojileri Kongresi, Denizli.
- [18] Koschan, A., (1993). "What is New in Computational Stereo since 1989 : A Survey On Current Stereo Papers", Technical University of Berlin, Berlin.
- [19] Scharstein, D. ve Szeliski, R., (2002). "A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms", International Journal of Computer Vision, 47 (1-3): 7-42.
- [20] Brown, M. Z., Burschka, D. ve Hager, G. D., (2003). "Advances in Computational Stereo", 25(8): 993-1008.
- [21] Davison, A. ve Angeli, A., Practical 7: Place Recognition, Robotics, Lecture Notes, <http://www.doc.ic.ac.uk/~ajd/Robotics/>, 01.01.2011.
- [22] Martin, C., (2006). "Evolving Visual Sonar: Depth from Monocular Images", Mobile Robotics Laboratory, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, United States, Pattern Recognition Letters 27.
- [23] Henrichsen, A., (2000). 3D Reconstruction and Camera Calibration from 2D Images, in Department of Electrical Engineering, Master of Science Thesis, University of Cape Town.
- [24] Liu, J., (2005). A Review of 3D Model Reconstruction from Images, Advanced Interfaces Group, Department of Computer Science, Manchester.
- [25] Hartley, R. I., (1997). "Triangulation", Computer Vision and Image Understanding : CVIU, 68(2): 146-157.
- [26] Onofrio, D., Rama, A. ve Tarres, F., (2006). "3D Face Reconstruction with a Four Camera Acquisition System", VISNET European Network of Excellence.
- [27] Hu, Y., Yan, S., Zhang, L. ve Zhang, H., (2004). "Automatic 3D Reconstruction for Face Recognition", IEEE Automatic Face and Gesture Recognition.
- [28] CMU Multi Pie Face Database, Yüz veritabanı, <http://www.multipie.org/>, 01.09.2011.

- [29] Vetter, T., (1996). Sythesis of Novel Views from a Single Face Image, Max-Planck Institut fur Biologische Kybernetik.
- [30] 3DMD Imaging Systems, Shape Based Classification of 3D Facial Data, <http://www.3dmd.com/>, 01.10.2011.
- [31] Goesele, M. ve Seitz, A. M., (2006). "Multi-View Stereo Revisited", CVPR New York, USA.
- [32] Gökmen, M., Kurt, B., Kahraman, F. ve Çapar, A., (2007). Çok Amaçlı Gürbüz Yüz Tanıma, İstanbul Teknik Üniversitesi, TÜBİTAK: EEEAG-104E121.
- [33] Kıymacı, K., (2010). Yüz Tanıma Sistemi Algoritmalarının Geliştirilmesi, Bitirme Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [34] Bledsoe, W. W., (1966). "Man-Machine Facial Recognition", Technical Report PRI:22, Panoramic Research Inc., Palo Alto, CA.
- [35] Goldstein, A. J., Harmon, L.D. ve Lesk, A. B., (1971). "Identification of Human Faces", Proc. IEEE, 59(5): 460-748.
- [36] Kanade, T., (1973). Picture Processing System by Computer Complex and Recognition of Human Faces, PhD. Thesis, Kyoto University, Japan.
- [37] Yuille, A., Cohen, D. ve Hallinan, P., (1989). "Feature Extraction from Faces Using Deformable Templates", In IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Templates, 104-109.
- [38] Craw, I., Tock, D. ve Bennett, A., (1992). "Finding Face Features", In Second European Conference on Computer Vision, 92-96.
- [39] Roeder, N. ve Li, X., (1995). "Experiments in Analyzing the Accuracy of Facial Feature Detection", In Vision Interface '95, 8-16.
- [40] Colombo, C., Del Bimbo, A. ve Magistris, S. D., (1995). "Human-Computer Interaction Based on Eye Movement Tracking", Computer Architectures for Machine Perception, 258-263.
- [41] Reisfeld, D., (1994). Generalized Symmetry Transforms : Attentional Mechanisms and Face Recognition, Phd. Thesis, Technical report, Tel-Aviv University.
- [42] Graf, H. P., Chen, T., Petajan, E. ve Cosatto, E., (1995). "Locating Faces and Facial Parts", In International Workshop on Automatic Face and Gesture Recognition, 41-46.
- [43] Jebara T., (1996). "3D Pose Estimation and Normalization for Face Recognition", McGill University, Montreal, Quebec, Canada.
- [44] Manjunath, B.S., Chellappa, R ve Malsburg, C.V.D., (1992). "A Feature Based Approach to Face Recognition", In Proceedings, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 373-378.
- [45] Turk, M.A. ve Pentland, A.P., (1991). "Face Recognition Using Eigenfaces", In IEEE Computer Society Conference Computer Vision and Pattern Recognition, 586- 591.

- [46] Pentland, A., Moghaddam, B. ve Starner, T., (1994). "View-Based and Modular Eigenspaces for Face Recognition", In Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 84-91.
- [47] Xiaoguang L., Hsu R. ve Jain A.K., (2004). "Face Recognition with 3D Model-Based Synthesis", International Conference on Bioinformatics and its Applications, Florida, USA.
- [48] Lee, K.C., Ho, J. ve Kriegman, D.J., (2001). "Nine Points of Light: Acquiring Subspaces for Face Recognition Under Variable Lighting", In: Proc. CVPR. 519-526.
- [49] Sim, T. ve Kanade, T., (2001). "Combining Models and Exemplars for Face Recognition: An Illuminating Example", In: Proc. CVPR 2001 Workshop on Models versus Exemplars in Computer Vision.
- [50] Samaria, F. ve Young, S., (1994). "Hmm-Based Architecture for Face Identification", Image and Vision Computing 12 (8), 537-543.
- [51] Sirovich, L. ve Kirby, M., (1987). "Low-Dimensional Procedure for the Characterization of Human Faces", Journal of Optical Society of America, 4: 519.
- [52] Kirby, M. Ve Sirovich, L., (1990). "Application of the Karhunen-Loeve Procedure for the Characterization of Human Faces.", IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell. 12(1): 103-108.
- [53] Turk, M. ve Pentland, A., (1991). "Face Recognition Using Eigenfaces", Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 586-591.
- [54] Pentland, A., Moghaddam, B., Starner, T., Oliyide, O. ve Turk, M., (1993). "View-Based and Modular Eigenspaces for Face Recognition", Technical Report 245, M.I.T Media Lab.
- [55] Zhang, J., Yan, Y. ve Lades, M., (1997). "Face Recognition: Eigen Face, Neural Nets and Elastic Matching", Proceedings of IEEE, 85: 1423-1436.
- [56] O'Toole, A., Abdi, H., Deffenbacher, K. ve Valentin, D., (1993). "A Low Dimensional Representation of Faces in the Higher Dimensions of the Space", Journal of the optical Society of America, 405 - 411.
- [57] O'Toole, A., Deffenbacher, K.", Abdi, H. ve Bartlett, J., (1991). "Simulating the Other Race Effect as a Problem in Perceptual Learning", Connection Sciences, 163-178.
- [58] Jacobs, C. E. ve Finkelstein, A., (1995). "Fast Multiresolution Image Querying", Proceedings of SIGGRAPH 95, in Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 277-286.
- [59] Garcia, C., Zikos, G. ve Tziritas, G., (2000). "Wavelet Packet Analysis for Face Recognition", Image and Vision Computing, 18(4): 289-297.
- [60] Belhumeur, P.N., Hespanha, J.P. ve Kriegman, D.J., (1997). "Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition Using Class Specific Linear Projection", IEEE Trans. PAMI 19 711-720.

- [61] Yılmaz, A. ve Gökmen, M., (2001). "Eigenhills vs Eigenface and Eigenedge", Pattern Recognition, 2001, 34: 181-184.
- [62] Liu, W., Wang, Y., Li, S. Z. ve Tan, T., (2004). "Null Space-Based Kernel Fisher Discriminant Analysis for Face Recognition", Proc. Of the 6th IEEE Int. Conf. On Face and Gesture Recognition FGR'04.
- [63] Webrazzi, Arttırılmış Gerçeklik, <http://www.webrazzi.com/2011/12/25/arttirilmis-gerceklik/>, 01.01.2012
- [64] The Father of Virtual Reality: Morton Heilig, Inventor VR, <http://mortonheilig.com/>, 01.09.2010.
- [65] From Wager To Virtual Reality, Multimedia, <http://www.w2vr.com/timeline/Heilig.html>, 01.11.2010.
- [66] Hand Picked, Videoplace, <http://itnimoy.net/itp/newmediahistory/videoplace/>, 01.12.2010.
- [67] Inventing Interactive, Myron Krueger, <http://www.inventinginteractive.com/2010/03/22/myron-krueger/>, 01.12.2011.
- [68] ID Employee, Human Computer Interaction, <http://www.idemployee.id.tue.nl/g.w.m.rauterberg/presentations/hci-history/tsld096.htm>, 01.01.2012.
- [69] Manifest Technology, Augmented Reality, http://www.manifest-tech.com/society/augmented_reality.htm, 01.02.2012.
- [70] Rosenberg, L. B., (1993). "Virtual Fixtures : Perceptual Tools for Telerobotic Manipulation", In : Proc. IEEE Virtual Reality Annual Intl. Symposium 76-82.
- [71] Feiner, S., Macintyre, B. ve Seligmann, D., (1993). "Knowledge-based Augmented Reality", Communications of the ACM - Special Issue on Computer Augmented Environments : Back to the Real World, Volume 36 Issue 7 New York, USA.
- [72] Computer Sciences, Örnek projeler, <http://monet.cs.columbia.edu/projects/karma/karma.html>, 01.03.2010.
- [73] Wordpress, Virtuality, <http://erealityhome.wordpress.com/2008/10/18/paul-milgram-and-fumio-kishino-virtuality-continuum/>, 01.01.2010.
- [74] Azuma, R. T., (1995, 1997). "A Survey of Augmented Reality", Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, 4 (August 1997), pp. 355 - 385. Earlier version appeared in Course Notes #9: Developing Advanced Virtual Reality Applications, ACM SIGGRAPH 1995 (Los Angeles, 6-11 August 1995), 20:1 – 20:38.
- [75] Piekarski, W. ve Thomas, B., (2002). "ARQuake: The Outdoor Augmented Reality Gaming System", Communications of the ACM - Internet Abuse in the Workplace and Game Engines in Scientific Research, Volume 45 Issue 1, New York, USA.

- [76] Wikitude, Augmented Reality, <http://www.wikitude.com/>, 01.01.2012.
- [77] Ng, E. S. ve Kingsbury, N. G., (2010). "Matching of Interest Point Groups With Pairwise Spatial Constraints", Signal Processing and Communications Laboratory, Department of Engineering, University of Cambridge, Image Processing (ICIP), 17th IEEE International Conference.
- [78] Gil, A., Mozos, O. M., Ballesta, M. ve Reinoso, O., (2010). "A Comparative Evaluation of Interest Point Detectors and Local Descriptors for Visual SLAM", Machine Vision and Applications, 21(6): 905-920.
- [79] Aanæs, H., Dahl, A. L. ve Pedersen, K. S., (2011). "Interesting Interest Points, A Comparative Study of Interest Point Performance on a Unique Data Set", Springer Science Business Media.
- [80] Schmid, C., Mohr, R. ve Bauckhage, C., (2000). "Evaluation of Interest Point Detectors", International Journal of Computer Vision, 37.
- [81] Harris, C. ve Stephens, M., (1988). "A Combined Corner and Edge Detector", Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, 147–151.
- [82] Mikolajczyk, K. ve Schmid, C., (2005). "Detectors And Descriptors For Photogrammetric Applications", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 27(10).
- [83] Baillard, C., Schmid, C., Zisserman, A. ve Fitzgibbon, A., (1999). "Automatic Line Matching and 3D Reconstruction of Buildings from Multiple Views", Department of Engineering Science, University of Oxford, ISPRS Conference on Automatic Extraction of GIS Objects from Digital Imagery, 69-80.
- [84] Hou, Z. J., Wei, G.W., (2001). A New Approach to Edge Detection, Department of Computational Science, Faculty of Science, National University of Singapore, Elsevier, Pattern Recognition, 35(7): 1559-1570.
- [85] Miegheem, J. A., Avi, H. I. Ve Melen, R. D., (1995). "Straight Line Extraction Using Iterative Total Least Squares Methods", Canon Research Center America, Journal of Visual Communication and Image Representation.
- [86] Marks, J., Andalman, B., Beardsley, P. A., Freeman, W., Gibson, S., Hodgins, J., Kang, T., Mirtich, B., Pfister, H., Ruml, W., Ryall, K., Seims, J. ve Shieber, S., (2007). "Design Galleries: A General Approach to Setting Parameters for Computer Graphics and Animation", SIGGRAPH'97: Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques.
- [87] Schmid, C. ve Zisserman, A., (2000). "The Geometry and Matching of Lines and Curves Over Multiple Views", Journal International Journal of Computer Vision, 40(3): 199 – 233.
- [88] S. Günel, S. (2008). Örüntü Tanıma Uygulamalarında Altuzay Analiziyle Öznetelik Seçimi ve Sınıflandırma, Doktora Tezi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

- [89] Kuncheva, L., (2004). Combining Pattern Classifiers: Methods and Algorithms, John Willey and Sons Inc., New Jersey.
- [90] Duda, R., Hart, P. ve Stork, D., (2001). Pattern Classification, John Willey and Sons Inc, USA.
- [91] Gonzales, R. ve Woods, R., (2007). Digital Image Processing, Prentice Hall.
- [92] Jain, Chandrasekaran, Krishnaiah, P. R. ve Kanal, L. N., (1982). Dimensionality and Sample Size Considerations in Pattern Recognition Practice, in Handbook of Statistics, North-Holland, Amsterdam.
- [93] Kohavi, R. ve John, G. H., (1996). Wrappers for Feature Subset Selection, Data Mining and Visualization, Silicon Graphics.
- [94] Narendra, P. M. ve Fukunaga, K., (1977). "A Branch and Bound Algorithm for Feature Subset Selection", IEEE Transactions, C-26(9): 917 – 922.
- [95] Ünsalan, C. ve Erçil, A., (1998). "Öznitelik Seçme Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Başarı Kriteri", Proceedings of IEEE SIU'98, 60-65.
- [96] Marill, T. ve Green, D., (1963). "On the Effectiveness of Receptors in Recognition Systems", Information Theory, IEEE Transactions, 9: 11 - 17.
- [97] Stearns, S. D., (1976). "On Selecting Features for Pattern Classifiers", In Proceedings of the Third International Conference on Pattern Recognition, 71–75, Coronado, CA.
- [98] Ferri, F.J., Pudil, P., Hatef, M. ve Kittler, J., (1994). "Comparative Study of Techniques for Large-Scale Feature Selection", In : Gelsema, Pattern Recognition in Practice IV. Elsevier, 403±413, Amsterdam.
- [99] Siedlecki, W. W. ve Sklansky, J., (1989). "Constrained Genetic Optimization via Dynarnic Reward-Penalty Balancing and Its Use in Pattern Recognition", ICGA 1989: 141-150.
- [100] Yang, J. ve Honavar, V., (1998). "Feature Subset Selection Using a Genetic Algorithm", IEEE Intelligent Systems 13, 44-49.
- [101] Webb, A., (2002). Statistical Pattern Recognition, John Wiley and Sons Ltd, England.
- [102] Theodoridis, S. ve Koutroumbas, K., (2003). Pattern Recognition: Theory and Applications, 2, Academic Press.
- [103] Scholkopf, B. ve Smola, A. J., (2001). Learning with Kernels, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England.
- [104] Face Recognition, Yüz veritabanı, <http://www.face-rec.org/databases/>, 01.01.2011.
- [105] Eser, S., (2006). Yapay Sinir Ağları İle Yüz Sezimi ve Takibi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı Elektronik Programı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- [106] Gu, H., Su, G. ve Du, C., (2003). Feature Points Extraction From Faces, Image and Visual Computing, Research Institute of Image and Graphics of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing, China.
- [107] Ar. İ., (2010). Videolarda İnsan Eylemlerinin Tanınması, Seminer Raporu, Bilgisayar Mühendisliği, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmit.
- [108] Bosphorus Face Database, Yüz veritabanı, Face <http://bosphorus.ee.boun.edu.tr>, 01.01.2010.
- [109] Biyometri, Yüz veritabanı, <https://biometrics.cie.put.poznan.pl>, 01.01.2010.
- [110] Max Plank Institute, Yüz veritabanı, <http://faces.kyb.tuebingen.mpg.de>, 01.01.2010.
- [111] Stephen Milborrow, Locating Facial Features With Active Shape Models, <http://www.milbo.org/muct>, 01.12.2010.
- [112] BIOID to Recognized, Yüz veritabanı, <http://support.bioid.com/downloads/facedb/index.php>, 01.01.2011.
- [113] Savran, A., Alyüz, N., Dibeklioglu, H., Çeliktutan, O., Gökberk, B., Sankur, B. ve Akarun, L., (2008). "Bosphorus Database for 3D Face Analysis", Book Biometrics and Identity Management, 47 – 56, İstanbul.
- [114] Wordpress, Yüz Resimlerinde Özellik Noktalarının Belirlenmesi, <http://yavuzbugra.wordpress.com/2010/12/29/yuz-resimlerinde-ozellik-noktalarinin-belirlenmesi/>, 01.12.2010.
- [115] Kapur, J.P., (1997). Face Detection in Color Images, EE499 Capstone Design Project, University of Washington, Department of Electrical Engineering.
- [117] Menser, B. ve Müller, F., (1999). "Face Detection in Color Images using PCA", Proc. Seventh Int. Conf. on Image Processing and Its Applications, 620-624, Manchester.
- [118] Yang, M. H. ve Ahuja, N., (1998). "Detecting Human Faces in Color Images", TR Beckman Institute, UIUC.
- [119] Rowley, H. A., Baluja, S. ve Kanade, T., (1995). "Human Face Detection in Visual Scenes", Technical Report CMU-CS-95-158R, Carnegie Mellon University.
- [120] Viola, P. ve Jones, M., (2001). "Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features", IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, 1: I-511 – I-518.
- [121] Intel, Object Detection Using Haar Like Features, http://software.intel.com/sites/products/documentation/hpc/ipp/ippi/ippi_c_h14/ch14_object_detection_using_haar_like_features.Html, 01.10.2010.
- [122] Kim, I., Shim, J. H. ve Yang, J., (2003). Face Detection, EE368 Final Project, Stanford University, http://www.stanford.edu/class/ee368/Project_03/Project_reports/ee368group02.pdf, 01.12.2011.

- [123] Shin, M. C., Chang, K. I. ve Tsap, L. V., (2002). "Does Colorspace, Transformation Make any Difference on Skin Detection?" In IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 275-279.
- [124] Ford, A. ve Roberts, A., (1998). Colour Space Conversions, <http://www.poynton.com/PDFs/coloureq.pdf>, 01.12.2012.
- [125] Gonzalez, R. C. ve Woods, R. E., (1992). Digital Image Processing, Addison Wesley.
- [126] Jain, A. K., (1989). Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice-Hall International.
- [127] Foley, J. D., (1990). Computer Graphics : Principles and Practices, 2. Addison-Wesley.
- [128] Russ, J., (1999). The Image Processing Handbook, 3.
- [129] Yılmaz, İ., (2002). "Renk Sistemleri, Renk Uzayları Ve Dönüşümler", Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya.
- [130] Derpanis, K. G., (2007). "Integral Image-Based Representations" Department of Computer Science and Engineering, York University.
- [131] Computer Science Sources, Integral Image, <http://computersciencesource.wordpress.com/2010/09/03/computer-vision-the-integral-image/>, 01.12.2012.
- [132] Freund, Y., Schapire, R. E., (1995). "A Decision-Theoretic Generalization of on-Line Learning and an Application to Boosting", Journal of Computer and System Sciences 55(1): 119–139.
- [133] Rojas, R., (2009). "AdaBoost and the Super Bowl of Classifiers A Tutorial Introduction to Adaptive Boosting", Computer Science Department Freie Universität Berlin.
- [134] Hsu, R. L., Abdel-Mottaleb, M., ve Jain, A. K., (2002). "Face Detection in Color Images, Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions, 24(5): 696-706.
- [135] Haberdar, H., (2005). Saklı Markov Modeli İle İşaret Tanıma, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [136] Terrillon, J.C., Shirazi, M. N., Fukamachi, H. ve Akamatsu, S., (2000). "Comparative Performance of Different Skin Chrominance Models and Chrominance Spaces for the Automatic Detection of Human Faces in Color images", Automatic Face and Gesture Recognition, Proceedings. Fourth IEEE International Conference, 54-61.
- [137] Yılmaz, İ., (2002). "Renk Sistemleri, Renk Uzayları ve Dönüşümler", Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya.
- [138] OpenCV, API Kütüphanesi, <http://www.opencv.org>, 01.09.2009.

- [139] Rosenfeld, A., (1970). "A Connectivity in Digital Pictures", Journal of the ACM (JACM), 17(1): 146 – 160.
- [140] Rosenfeld, A. ve Kak, A. C., (1976). "Digital Picture Processing", Academic Press, New York, 81.
- [141] Gonzalez, R.C. ve Woods, R.E., (1993). Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA.
- [142] Güney, M. ve Arica, N., (2009). "Desen Tabanlı İlgili Bölgesi Tespiti", Journal of Naval Science and Engineering, 5(1): 94 – 106.
- [143] Zhang, J. (2001). "Dimension Overlap and S-S and S-R Compatibility: A Structural Model.", In L. Chen and Y. Zhuo (Eds.) Proceedings of the Third International Conference on Cognitive Science (ICCS2001), Heifei, China: Press of University of Science and Technology of China. 377-381.
- [144] Sonka, M., Hlavac, V. ve Boyle, R., (1993). "Image Processing, Analysis and Machine Vision", 74-76. Chapman And Hall.
- [145] Schenk, T., (1999). "Digital Photogrammetry", TerraScience, Laurelville, 246-247.
- [146] McGlone, J. C. (Editor), Mikhail, E. M. (Editor), Bethel, J. S. (Editor) ve Mullen, R. (Contributor), (2004). Manual of Photogrammetry, 5.
- [147] Bailard, C. ve Dissard, O., (2000). "A Stereo Matching Algorithm for Urban Digital Elevation Models", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 66(9): 1119-1128.
- [148] Belongie, S., Malik, J. ve Puzicha, J., (2002). "Shape Matching and Object Recognition Using Shape Contexts", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24(4): 509-522.
- [149] Lowe, D. G., (2004). "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints", Computer Science Department University of British Columbia, Vancouver, B.C., Canada.
- [150] Mikolajczyk, K. ve Schmid, C., (2005). "A Performance Evaluation of Local Descriptors", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 27(10).
- [151] Bay, H., Tuytelaars, T. ve Gool, L. C., (2004). "SURF: Speeded Up Robust Features", ETH Zurich, Katholieke Universiteit Leuven.
- [152] Ok, A.Ö., Wegner, J.D., Heipke, C., Rottensteiner, F., Sörgel, U. ve Toprak, V., (2010). "Çok Bantlı Stereo Hava Fotoğraflarından Doğrusal Çizgilerin Otomatik Geri Çatımı İçin Yeni Bir Yaklaşım", III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, İzmit.
- [153] Collins, R. T., Jaynes, C. O., Cheng, Y. Q., Wang, X., Stolle, F., Riseman, E. M., ve Hanson, A. R., (1998). "The Ascender System: Automated Site Modeling from Multiple Aerial Images", Computer Vision and Image Understanding, 72(2): 143-162.

- [154] Noronha, S. ve Nevatia, R., (2001). "Detection and Modeling of Buildings from Multiple Aerial Images", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 23(5): 501-518.
- [155] Kim, Z., ve Nevatia, R., (2004). "Automatic Description of Complex Buildings from Multiple Images", Computer Vision and Image Understanding, 96(1): 60-95.
- [156] Suveg, I., ve Vosselman, G., (2004). "Reconstruction of 3D Building Models from Aerial Images and Maps", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 58: 202-224.
- [157] Zhang, J., (2005). "A Method to Unconfound Orientation and Direction Tunings in Neuronal Response to Moving Bars and Gratings" Journal of Optical Society of America.
- [158] Henricsson, O., (1998). "The Role of Color Attributes and Similarity Grouping in 3D Building Reconstruction", Computer Vision and Image Understanding, 72(2), 163-184.
- [159] Scholze, S., Moons, T., Ade, F. ve Van Gool, L., (2000). "Exploiting Color for Edge Extraction and Line Segment Stereo Matching", IAPRS, 815-822.
- [160] Zhang, C. ve E. P. Baltsavias, (2000). "Knowledge-Based Image Analysis for 3D Edge Extraction and Road Reconstruction", International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 33(B3/1): 1008-1015.
- [161] Yip, R. K. K. ve Ho, W. P., (1996), "Multi-Level Based Stereo Line Matching with Structural Information Using Dynamic Programming", International Conference on Image Processing, 2, 341-344.
- [162] Park, S., Lee, K. ve Lee, S., (2000). A Line Feature Matching Technique Based on an Eigenvector Approach", Computer Vision and Image Understanding, 77: 263-283.
- [163] Schmid, C. ve Zisserman, A., (1997). "Automatic Line Matching Across Views", Proceedings of CVPR, 666-671.
- [164] Jung, F. ve Paparoditis N., (2003). "Extracting 3D Free-Form Surface Boundaries of Man-Made Objects from Multiple Calibrated Images: A Robust, Accurate and High Resolving Power Edgel Matching and Chaining Approach. IAPRS, 34 (3/W8).
- [165] Taillandier F. ve Deriche, R., (2004). "Automatic Buildings Reconstruction from Aerial Images: A Generic Bayesian Framework", IAPRS, 35 (3A).
- [166] Habib, A. F., Zhai, R. ve Kim, C., (2010). "Generation of Complex Polyhedral Building Models by Integrating Stereoaerial Imagery and LIDAR Data", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 76(5): 609-623.
- [167] Aydın, T., (2011). "Çifte Ağ Metoduyla Stereo Odak ve Bulanıklık Bilgisini Kullanarak Resimlerden Derinlik Çıkarımı", Kocaeli Üniversitesi, İzmit.
- [168] Turan, M. H., (2004). "Mimari Fotogrametri Alanındaki Çağdaş Gelişimlerin Değerlendirilmesi", Mimari Restorasyon Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji

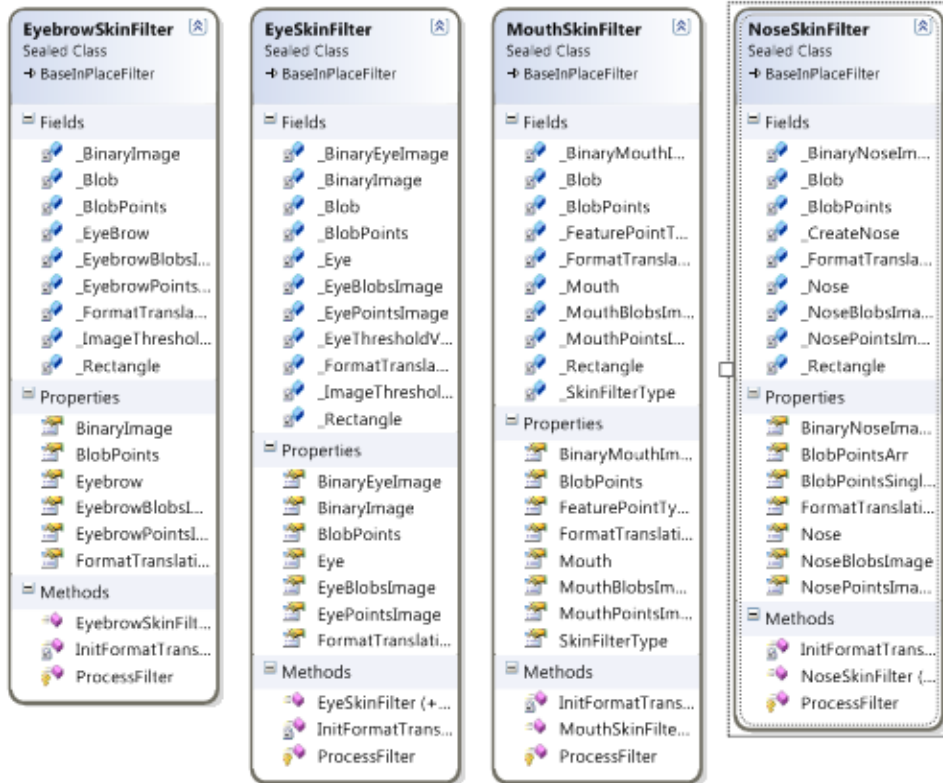
Enstitüsü, İzmir, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. 19(1): 43-50.

- [169] Pomaska, G., (1999). "Stereoscopic Images for Visualization of Cultural Heritage", Photogrametric Measurement, Object Modeling and Documentation in Architecture and Industry, Tsessaloniki, 153-159.
- [170] Hanke, K ve Grussenmeyer, P., (2002). "Architectural Photogrammetry: Basic Theory, Procedures, Tools", ISPRS Commission V Tutorial, Corfu.
- [171] Bock, I. ve Pomaska, G., (2002). "Software Development for Remote Control of Digital Metric Cameras via LAN and Internet", Proceedings of the Commision V Symposium, Close Range Imaging, Long Range Vision, Corfu, Greece, Cilt: XXXIV, 5(5): 3-11.
- [172] Horn, B., (1986). Robot Vision, MIT Press, Cambridge.
- [173] Blake, A. ve Zisserman, A., (1987). Visual Reconstruction, MIT Press.
- [174] California Institute Of Technology, Örnek Projeler, <http://www.vision.caltech.edu/bougueti/>, 01.12.2009.
- [175] Pollefeys, M., Koch, R. ve Van Gool, L., (1999). "Self-Calibration and Metric Reconstruction in Spite of Varying and Unknown Internal Camera Parameters", International Journal of Computer Vision, 32(1): 7-25.
- [176] Pollefeys, M., Van Gool, L., Vergauwen, M., Verbiest, F., Cornelis, K., Tops, J. ve Koch, R., (2004). "Visual Modeling with a Hand-Held Camera", International Journal of Computer Vision 59(3): 207-232.
- [177] Lourakis, M.I.A. ve Argyros, A.A., (2004). "The Design and Implementation of a Generic Sparse Bundle Adjustment Software Package Based on the Levenberg-Marquardt Algorithm", Institute of Computer Science - FORTH, Tech. Rep. FORTH-ICS TR-340.
- [178] Baştanlar, Y. ve Yardımcı, Y., (2008). "Corner Validation based on Extracted Corner Properties", Computer Vision and Image Understanding, Elsevier.
- [179] Garcia, E., (2006). Singular Value Decomposition (SVD), A Fast Track Tutorial, <http://www.miislits.com>, 01.02.2009.
- [180] Mining the Web, Information Retrieval Tutorial, <http://www.miislita.com/information-retrieval-tutorial/svd-lsi-tutorial-3-full-svd.html>, 01.02.2011.
- [181] Yaman, K., Sarucan, A., Atak, M. ve Aktürk, N., (2001). "Dinamik Çizelgeleme İçin Görüntü İşleme ve Arama Modelleri Yardımıyla Veri Hazırlama", Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 16(1): 19-40.
- [182] Khalil, O., (2002). Solutions for Exterior Orientation in Photogrammetry: A Review, Photogrametric Record.
- [183] Beyer, H., (1991). "An Introduction to Photogrammetric Camera Calibration", Seminaire Orasis Invited Paper, 37-42, St. Malo.

- [184] Karslı, F., Ayhan, E. ve Friedrich, J., (2001). "Dijital Fotogrametrik Tekniklerin Mimari Ve Tarihi Yapılara Uygulanması", 8. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 330-340, Ankara.
- [185] Boğaziçi Üniversitesi Robot Grubu Sitesi, Bilgisayar Görüşü ve İmge İşleme, http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/gorusimge/5_2_Kamera_kalibrasyonu.html, 15.01.2009.
- [186] Wang, J., Shi, F., Zhang, J. ve Liu, Y., (2008). "A New Calibration Model of Camera Lens Distortion", Pattern Recognition, 41: 607-615.
- [187] Karslı, F. ve Ayhan, E., (2005). "Orta Ve Yüksek Çözünürlüklü Dijital Kameraların Metrik Performanslarının Belirlenmesi", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı.
- [188] Beşdok, E. ve Kasap, B., (2006). "3D Nesne Modellemeye Yönelik Lazerli Bir Tarayıcı Sistemin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi", Eleco'2006, Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı Bildirileri.
- [189] Kapucu, S. ve Bayseç, S., (1995). "3 Nokta Tekniği İle Cisimlerin Koordinatlarının Video Görüntülerinden Elde Edilmesi", 7.Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu,Yıldız Teknik Üniversitesi, 454-463.
- [190] Yakar, M., (2004). Yakın Resim Fotogrametrisi ve Uygulama Alanları, Ders Notu, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [191] Wolf, P. R. ve Dewitt, B. A., (2000). "Elements of Photogrammetry with Applications in GIS", McGraw Hills Comp., USA.
- [192] Shapiro, L. G. ve Stockman, G. C., (2001). Computer Vision, Prentice Hall Inc. USA.
- [193] Bilkent Üniversitesi, Durupınar, F., (2004). Voxel-Based Object Reconstruction from Multiple Camera Views, <http://www.cs.bilkent.edu.tr/~duygulu/Courses/CS554/Fall2004/Projects.html>, 02.11.2010.
- [194] Fischler, M. A. ve Bolles, R. C., (1981). "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography", SRI International, Graphics and Image Processing Communications, 24(6).
- [195] Hartley, R. ve Zisserman, A., (2000). Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press.
- [196] Hartley, R. ve A. Zisserman, (2004). Multiple View Geometry in Computer Vision, 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK., ISBN: 9780521540513, 655.
- [197] Meshlab 3D Application, Uygulama, <http://meshlab.sourceforge.net/>, 01.09.2009.
- [198] Masters of Design, Zenginleştirilmiş Gerçeklik Nedir? Ne İşinize Yarar? Markanıza Ne Fayda Sağlar?, Communication for Digital, www.2fresh.com, 01.02.2012.

- [199] Gartner, Inovasyon Raporları, <http://www.gartner.com>, 01.02.2012.
- [200] Furht, B., (2011). Handbook of Augmented Reality.
- [201] Arox Bilişim Sistemleri, Artırılmış Gerçeklik, http://www.arox.net/augmented_reality.html, 01.03.2012.
- [202] Mazuryk, T. ve Gervautz, M., (1996). "Virtual Reality, History, Applications, Technology and Future".
- [203] Özkurt, A., (2003). "MEDVR: Tıpta Bir Geliştirilmiş Gerçeklik Uygulaması ve Başarıyı Etkileyen Faktörler", DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi.
- [204] Ovelf, Artırılmış Gerçeklik, <http://www.ovelf.com/2010/02/19/arttirilmis-gerceklik-ag-augmented-reality-ar/>, 01.03.2012.
- [205] Turbosquid, Üç Boyutlu Modeller, <http://www.turbosquid.com>, 01.09.2013.
- [206] Deniant Art, Fotoğraf, www.deviantart.com, 01.10.2013.
- [207] Forth Institute of Computer Science, SBA Örnek Kütüphane, <http://www.ics.forth.gr/~lourakis/sba/>, 01.10.2011.

İLİNTİ BÖLGESİ VE İLİNTİ NOKTASI BULMA SIRASINDA KULLANILAN FİLTRELERE İLİŞKİN SINIF DİYAGRAMLARI



Şekil EK-B. 1 İlinti bölgesi ve noktası filtreleri

YÜZ HARİTASI VERİ YAPISI

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<FaceMap>
  <Regions>
    <Region Name="Face">
      <Points>
        <Point> <X>278</X> <Y>4</Y> </Point>
        <Point> <X>282</X> <Y>4</Y> </Point>
        <Point> <X>301</X> <Y>5</Y> </Point>
        <Point> <X>318</X> <Y>7</Y> </Point>
        ...
      </Points>
    </Region>
    <Region Name="Region_1">
      <Points>
        <Point> <X>426</X> <Y>248</Y> </Point>
        <Point> <X>458</X> <Y>248</Y> </Point>
        <Point> <X>472</X> <Y>252</Y> </Point>
        <Point> <X>483</X> <Y>256</Y> </Point>
        ...
      </Points>
    </Region>
    <Region Name="Region_2">
      <Points>
        <Point> <X>157</X> <Y>260</Y> </Point>
        <Point> <X>183</X> <Y>260</Y> </Point>
        <Point> <X>191</X> <Y>261</Y> </Point>
        <Point> <X>196</X> <Y>262</Y> </Point>
        ...
      </Points>
    </Region>
    <Region Name="Region_3">
      <Points>
        <Point> <X>465</X> <Y>192</Y> </Point>
        <Point> <X>499</X> <Y>200</Y> </Point>

```

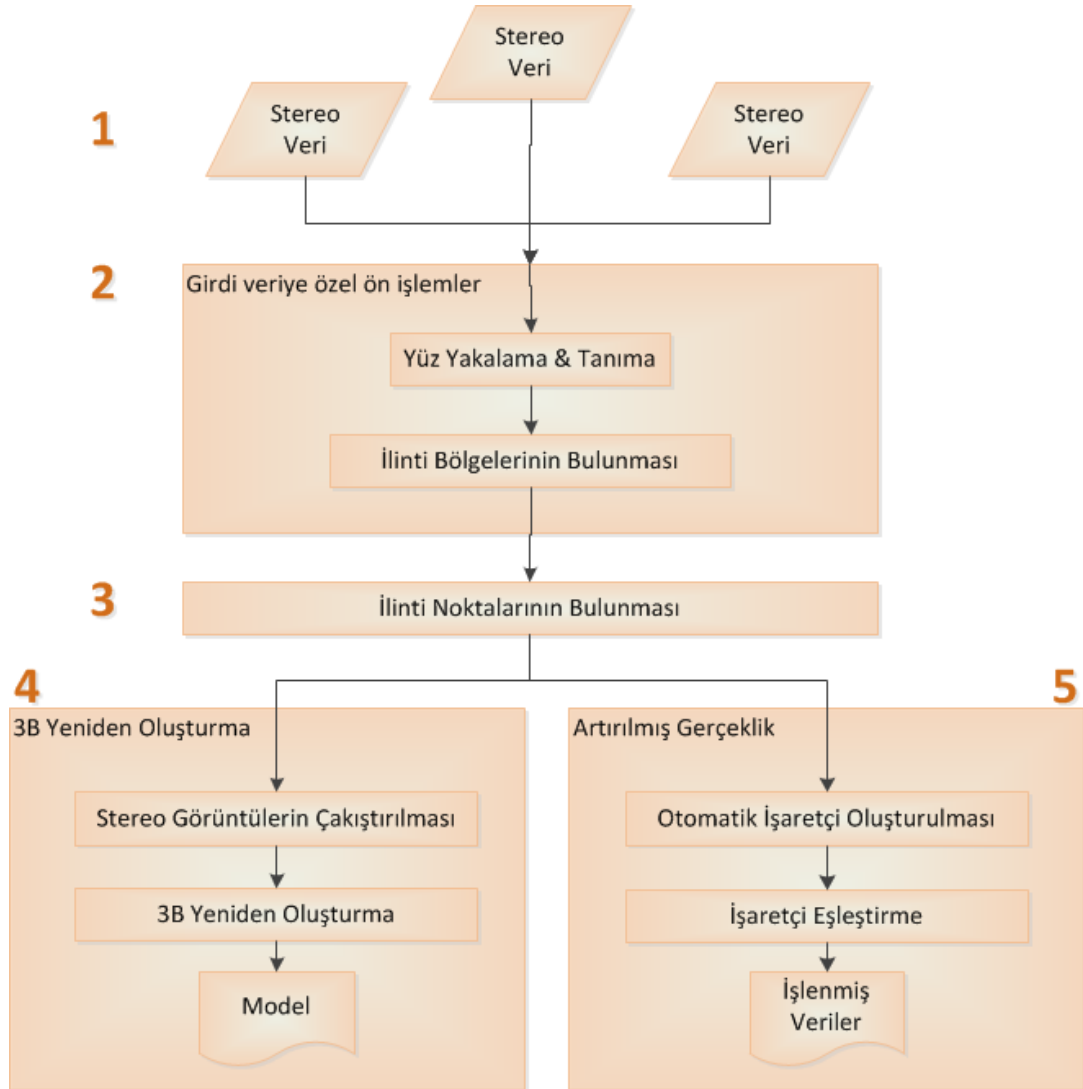
```

        <Point> <X>508</X> <Y>204</Y> </Point>
        <Point> <X>510</X> <Y>205</Y> </Point>
        ...
    </Points>
</Region>
<Region Name="Region_4">
    <Points>
        <Point> <X>120</X> <Y>203</Y> </Point>
        <Point> <X>151</X> <Y>208</Y> </Point>
        <Point> <X>175</X> <Y>214</Y> </Point>
        <Point> <X>224</X> <Y>228</Y> </Point>
        ...
    </Points>
</Region>
<Region Name="Region_5">
    <Points>
        <Point> <X>355</X> <Y>591</Y> </Point>
        <Point> <X>356</X> <Y>591</Y> </Point>
        <Point> <X>374</X> <Y>592</Y> </Point>
        <Point> <X>399</X> <Y>596</Y> </Point>
        ...
    </Points>
</Region>
<Region Name="Region_6">
    <Points>
        <Point> <X>339</X> <Y>482</Y> </Point>
        <Point> <X>346</X> <Y>482</Y> </Point>
        <Point> <X>348</X> <Y>483</Y> </Point>
        <Point> <X>349</X> <Y>484</Y> </Point>
        ...
    </Points>
</Region>
<Region Name="Region_7">
    <Points>
        <Point> <X>262</X> <Y>485</Y> </Point>
        <Point> <X>265</X> <Y>485</Y> </Point>
        <Point> <X>269</X> <Y>486</Y> </Point>
        <Point> <X>271</X> <Y>487</Y> </Point>
        ...
    </Points>
</Region>
</Regions>
</FaceMap>

```

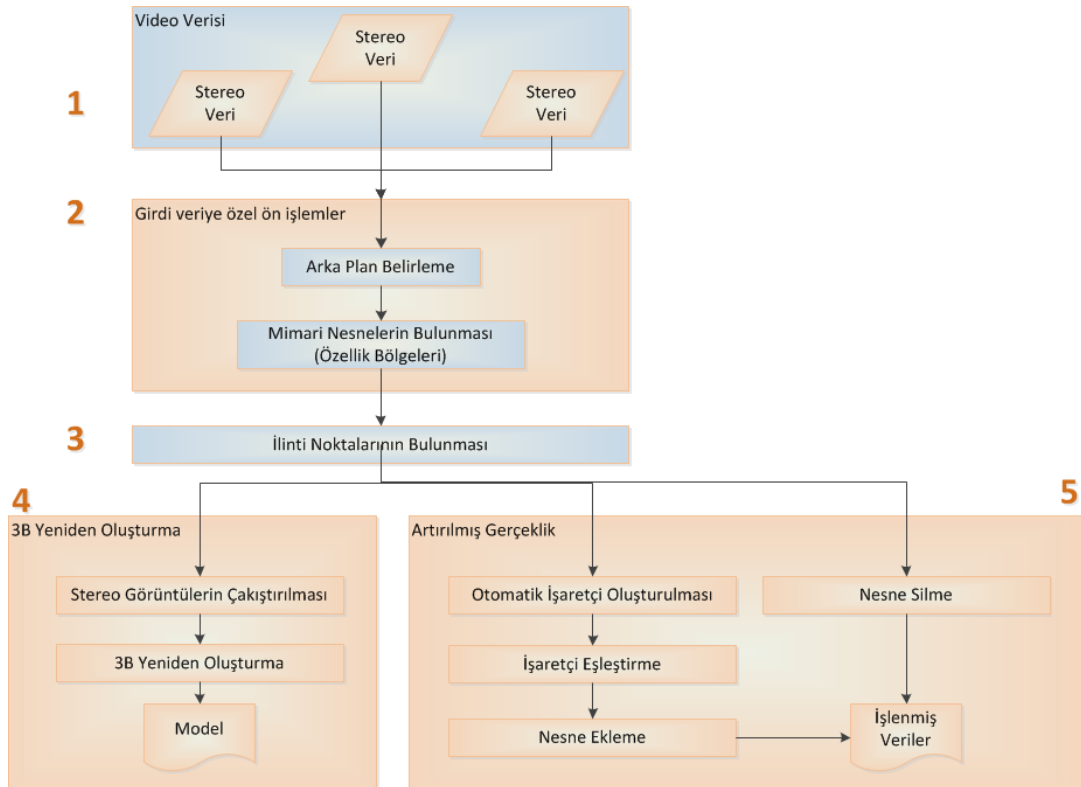
JENERİK ALTYAPININ BAŞKA BİR SİSTEME UYARLANMASI

Sunulan tezde tasarlanan mimari aşağıdaki şekilde gösterilmiştir:



Şekil EK-D. 1 Jenerik mimari

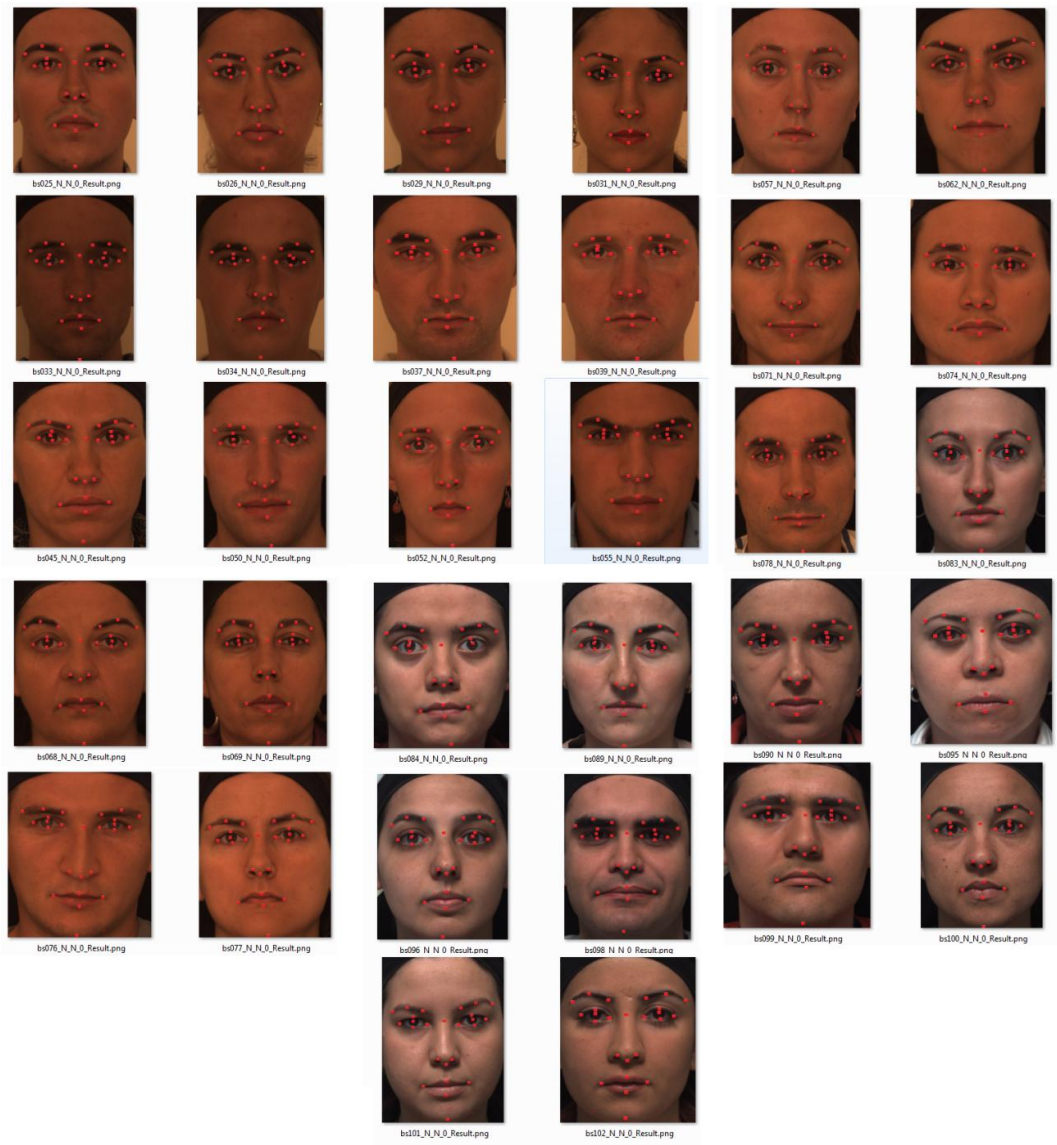
Mimaride (1) ile gösterilen kısım veri giriş katmanıdır. Sunulan tezde bu aşamada insan yüzü görüntüleri kullanılmıştır. (2) ile gösterilen kısım, girdi olarak alınan veriler üzerinde yapılan bazı ön işlemleri kapsar. Veri tipi ve niteliği değiştikçe burada yapılan işlemler de değişiklik gösterebilir. Örneğin gün boyu açık ortamda çalışan bir sistem tasarlanmak istendiğinde, gün ışığı değişiminden kaynaklanan gölge ve aydınlanma problemlerini ortadan kaldıracak ön işlemler eklenmelidir. (3) ile gösterilen kısım, modüler olarak hazırlanmış ilinti noktası operatör ve tanımlayıcılardır. Sunulan tezde insan yüzü içerisindeki ilinti noktalarını bulan algoritmalar geliştirilmiştir. Ancak jenerik yapı sayesinde, yüz verisi değiştirilerek, örneğin bina ilinti noktalarını bulan operatör ve tanımlayıcılar eklenebilir. İlinti noktalarının bulunmasının ardından yapılacak işlemler, sistemin gereksinimine göre değişiklik gösterebilir. Yukarıda önerilen sistemde, örnek olarak 3B yeniden oluşturma modülü ve artırılmış gerçeklik modülü gösterilmektedir. Sistem, mimari alanına uyarlanmak istendiğinde, jenerik yapısı ve esnekliği sayesinde, yeni operatör ve tanımlayıcıların, yeni gereksinimleri karşılayacak modüllerin sisteme eklenmesi ile aşağıdaki şekilde gösterilen durum elde edilir (Yeni eklenen modüller ve algoritması değiştirilen modüller mavi renk ile gösterilmiştir):



Şekil EK-D. 2 Jenerik mimarinin uygulanaşı

Bu proje önerisi, 22 Ağustos 2012 tarihinde, TÜBİTAK 1512 Bireysel Girişimcilik Aşamalı Destek Programı'na başvuru aşamasında kullanılmıştır ve sunulan proje önerisi ikinci aşamaya geçilmesi için başarılı bulunmuştur.

İLİNTİ OPERATÖRLERİNİN TEST GÖRÜNTÜLERİ ÜZERİNDEKİ SONUÇLARI



Şekil EK-E. 1 Yüz ilinti noktaları

EK-F

İLİNTİ OPERATÖRLERİ DOĞRULUK ANALİZİ

Çizelge EK-F. 1 İlinti operatörleri doğruluk analizi

Veri Adı	Nokta	2B Koordinatlar							3B Koordinatlar									
		Ölçülen (Referans Sistem)		Hesaplanan		Fark (piksel)			Ölçülen (Referans Sistem)			Hesaplanan			Fark(mm)			
		X	Y	X'	Y'	Δx	Δy	Δxy	X	Y	Z	X'	Y'	Z'	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔXYZ
1.Bs026	1	95	477	95	478	0	1	1,0000	-75,4768	28,3254	-90,2496	-75,1478	29,1258	-87,1458	0,3290	0,8004	3,1038	3,2222
	2	407	477	407	477	0	0	0,0000	-46,2998	28,1574	-85,1505	-46,9825	27,5247	-84,7458	0,6827	0,6327	0,4047	1,0149
	3	590	458	591	458	1	0	1,0000	-10,8543	31,5618	-84,8490	-11,8547	32,7458	-85,2147	1,0004	1,1840	0,3657	1,5926
	4	913	421	914	421	1	0	1,0000	18,0480	31,8741	-91,4524	17,4582	32,4584	-90,8965	0,5898	0,5843	0,5559	0,9991
	5	540	816	541	816	1	0	1,0000	-29,3908	-9,8956	-53,6701	-28,1247	-10,9258	-54,1257	1,2661	1,0302	0,4556	1,6947
	6	161	575	162	575	1	0	1,0000	-45,7675	-39,5090	-79,8646	-46,2547	-40,1254	-80,1254	0,4872	0,6164	0,2608	0,8278
	7	870	540	870	542	0	2	2,0000	-7,3061	-39,0978	-78,4847	-7,9851	-39,4785	-78,6582	0,6790	0,3807	0,1735	0,7975
	8	738	1099	738	1097	0	2	2,0000	-46,1405	44,0528	-74,5630	-46,5874	44,6254	-74,8987	0,4469	0,5726	0,3357	0,8002
Ort. Karesel Hata						0,5	0,63	1,1250							0,6851	0,7252	0,7070	1,3686
2.Bs029	1	132	533	133	532	1	1	1,4142	-75,9986	-9,4551	-88,8489	-75,3562	-9,9663	-89,4778	0,6424	0,5112	0,6289	1,0342
	2	392	536	392	537	0	1	1,0000	-48,0950	-9,3356	-87,2668	-47,4116	-9,9887	-86,1444	0,6834	0,6531	1,1224	1,4674
	3	581	513	580	511	1	2	2,2361	-17,0223	-6,0753	-88,2754	-17,5669	-6,1455	-88,9788	0,5446	0,0703	0,7034	0,8924
	4	841	485	839	485	2	0	2,0000	9,9170	-6,0618	-89,5061	10,5896	-6,9855	-90,1455	0,6726	0,9238	0,6394	1,3094
	5	493	781	491	780	2	1	2,2361	-27,8410	-47,1674	-57,3622	-28,1452	-46,7485	-57,9866	0,3042	0,4189	0,6244	0,8111
	6	314	1056	314	1054	0	2	2,0000	-41,1857	-76,8803	-81,0165	-40,9851	-77,4587	-81,9851	0,2006	0,5784	0,9686	1,1458
	7	680	1018	679	1015	1	3	3,1623	-5,8234	-77,2081	-87,1476	-6,4521	-76,4588	-86,7852	0,6287	0,7493	0,3624	1,0431
	8	357	397	358	397	1	0	1,0000	-46,1405	44,0528	-74,5630	-46,5874	44,6254	-74,8987	0,4469	0,5726	0,3357	0,8002
Ort. Karesel Hata						1	1,25	1,8311							0,6154	0,5697	0,6732	1,0630

Çizelge EK-F. 1 İlinti operatörleri doğruluk analizi (devamı)

Veri Adı	Nokta	2B Koordinatlar							3B Koordinatlar									
		Ölçülen (Referans Sistem)		Hesaplanan		Fark (piksel)			Ölçülen (Referans Sistem)			Hesaplanan			Fark(mm)			
		X	Y	X'	Y'	Δx	Δy	Δxy	X	Y	Z	X'	Y'	Z'	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔXYZ
3.Bs031	1	157	584	155	584	2	0	2,0000	-27,9623	8,5815	40,9196	-29,1455	9,2778	43,1556	1,1833	0,6963	2,2360	2,6238
	2	376	620	375	620	1	0	1,0000	-1,2208	11,4328	49,6567	-1,9665	12,9677	51,3365	0,7457	1,5349	1,6798	2,3945
	3	638	631	637	630	1	1	1,4142	27,9984	11,6596	47,8736	27,4558	12,9967	49,1778	0,5426	1,3371	1,3042	1,9450
	4	869	631	870	630	1	1	1,4142	55,1218	11,6928	44,0863	53,9988	13,1002	42,9664	1,1230	1,4075	1,1199	2,1204
	5	500	883	500	882	0	1	1,0000	13,6138	-23,1058	79,4393	14,2559	-24,7884	77,1778	0,6422	1,6827	2,2615	2,8910
	6	333	1140	330	1145	3	5	5,8310	-7,0188	-53,7919	47,0796	-7,9665	-54,9667	45,8856	0,9478	1,1748	1,1940	1,9245
	7	677	1132	678	1130	1	2	2,2361	31,6753	-53,6751	46,6166	33,1447	-54,8750	47,6332	1,4694	1,1999	1,0166	2,1523
	8	419	471	420	471	1	0	1,0000	-1,2514	32,0613	60,7313	-1,9778	31,8855	61,9778	0,7264	0,1758	1,2465	1,4534
Ort. Karesel Hata						1,25	1,25	1,9869							0,9225	1,1511	1,5073	2,1881
4.Bs045	1	218	490	216	489	2	1	2,2361	-40,6093	-13,4667	4,8428	-42,1005	-12,1447	5,2577	1,4912	1,3220	0,4150	2,0356
	2	443	507	442	506	1	1	1,4142	-9,9093	-7,3150	11,2178	-10,2339	-7,9887	11,9633	0,3247	0,6737	0,7455	1,0559
	3	721	500	720	499	1	1	1,4142	16,9987	-10,2667	6,3626	16,5587	-11,6638	5,1445	0,4400	1,3971	1,2181	1,9050
	4	949	473	950	472	1	1	1,4142	48,0089	-10,1557	4,0871	49,1455	-11,2366	4,9866	1,1366	1,0809	0,8995	1,8081
	5	607	775	607	775	0	0	0,0000	8,2438	-45,2026	47,7254	8,9644	-44,1033	49,1003	0,7206	1,0993	1,3749	1,9021
	6	396	1043	399	1045	3	2	3,6056	-9,5254	-79,4992	22,5456	-10,2533	-78,1442	22,9886	0,7279	1,3550	0,4430	1,6006
	7	832	1037	832	1035	0	2	2,0000	32,8023	-79,7728	15,5315	33,4775	-80,2541	15,1441	0,6752	0,4813	0,3874	0,9153
	8	480	400	481	398	1	2	2,2361	-9,9689	4,9450	23,2848	-10,4587	5,6997	22,9885	0,4898	0,7547	0,2963	0,9472
Ort. Karesel Hata						1,13	1,25	1,7900							0,7507	1,0205	0,7224	1,5212
5.Bs052	1	156	578	155	577	1	1	1,4142	-63,9885	36,1488	37,1315	-63,4788	37,9665	35,9887	0,5097	1,8177	1,1428	2,2068
	2	385	582	384	583	1	1	1,4142	-31,1066	33,2876	37,6268	-31,9887	35,9664	39,1445	0,8821	2,6788	1,5177	3,2027
	3	654	564	655	564	1	0	1,0000	4,5515	36,4198	39,6493	4,8874	36,5880	42,3665	0,3359	0,1682	2,7172	2,7430
	4	898	546	899	549	1	3	3,1623	31,2913	36,4531	35,8793	32,4480	37,1226	33,1778	1,1567	0,6695	2,7015	3,0140
	5	522	854	523	855	1	1	1,4142	-9,9267	0,9338	72,9470	-11,0112	2,8896	73,4558	1,0845	1,9558	0,5088	2,2935
	6	367	1116	368	1115	1	1	1,4142	-30,8506	-35,2084	38,5483	-32,4450	-35,8896	40,9663	1,5944	0,6812	2,4180	2,9754
	7	687	1105	689	1106	2	1	2,2361	7,4840	-35,1836	39,9066	8,4778	-35,0122	43,7880	0,9938	0,1714	3,8814	4,0103
	8	360	424	360	425	0	1	1,0000	-27,9658	45,0475	47,2425	-28,3669	46,1445	49,9630	0,4011	1,0970	2,7205	2,9606
Ort. Karesel Hata						1	1,13	1,6319							0,8698	1,1549	2,2010	2,9258

Çizelge EK-F. 1 İlinti operatörleri doğruluk analizi (devamı)

Veri Adı	Nokta	2B Koordinatlar							3B Koordinatlar									
		Ölçülen (Referans Sistem)		Hesaplanan		Fark (piksel)			Ölçülen (Referans Sistem)			Hesaplanan			Fark(mm)			
		X	Y	X'	Y'	Δx	Δy	Δxy	X	Y	Z	X'	Y'	Z'	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔXYZ
6.Bs069	1	185	542	185	546	0	4	4,0000	-21,0250	-1,9690	-45,0550	-21,0780	-2,4700	-45,1790	0,0530	0,5010	0,1240	0,5188
	2	426	527	428	527	2	0	2,0000	10,5000	-0,2480	-39,5340	9,7850	-0,2960	-40,4580	0,7150	0,0480	0,9240	1,1693
	3	621	530	623	530	2	0	2,0000	36,3540	-0,1010	-40,4430	35,7480	-0,1970	-40,7850	0,6060	0,0960	0,3420	0,7024
	4	876	538	877	534	1	4	4,1231	69,7170	-1,7480	-46,9000	70,1620	-2,7480	-47,8900	0,4450	1,0000	0,9900	1,4758
	5	553	726	555	723	2	3	3,6056	26,3390	-25,2150	-1,6740	25,4850	-24,7450	-2,7480	0,8540	0,4700	1,0740	1,4504
	6	362	1056	360	1055	2	1	2,2361	2,0720	-68,5870	-22,4030	1,7850	-68,9740	-22,9780	0,2870	0,3870	0,5750	0,7502
	7	704	1049	703	1052	1	3	3,1623	46,2850	-67,4890	-22,9360	46,2780	-66,7480	-23,7850	0,0070	0,7410	0,8490	1,1269
	8	426	388	421	390	4	2	4,4721	10,2400	17,6260	-34,5210	9,4780	18,7450	-35,1460	0,7620	1,1190	0,6250	1,4911
Ort. Karesel Hata						1,75	2,13	3,1999							0,4661	0,5453	0,6879	1,0856
7.Bs071	1	127	541	126	540	1	1	1,4142	-60,9985	14,3350	30,9516	-60,2558	16,0112	33,0112	0,7427	1,6762	2,0596	2,7574
	2	392	545	393	545	1	0	1,0000	-31,5379	11,4810	32,9595	-32,0255	12,6995	33,4887	0,4876	1,2185	0,5292	1,4151
	3	642	549	642	553	0	4	4,0000	4,1068	11,4753	34,8590	4,9887	11,7885	33,0114	0,8819	0,3132	1,8476	2,0711
	4	907	545	910	546	3	1	3,1623	31,1099	11,5728	29,2991	32,9885	12,0122	30,1148	1,8786	0,4394	0,8157	2,0947
	5	495	828	495	828	0	0	0,0000	-13,2023	-20,4725	70,2161	-13,9885	-21,0112	72,0011	0,7862	0,5387	1,7850	2,0235
	6	300	1049	300	1050	0	1	1,0000	-40,5509	-54,7016	28,1767	-40,9985	-55,0114	29,7885	0,4476	0,3098	1,6118	1,7012
	7	734	1063	731	1064	3	1	3,1623	10,3282	-54,3890	32,8306	11,9885	-55,8852	33,0114	1,6603	1,4962	0,1808	2,2423
	8	377	368	379	364	2	4	4,4721	-28,5103	26,3381	42,8066	-29,7785	25,0114	43,9885	1,2682	1,3267	1,1819	2,1830
Ort. Karesel Hata						1,25	1,5	2,2764							1,0191	0,9148	1,2515	2,0610
8.Bs074	1	187	520	189	518	2	2	2,8284	-62,9968	1,0964	24,1018	-62,3558	0,9987	23,5447	0,6410	0,0977	0,5571	0,8549
	2	407	530	410	531	3	1	3,1623	-30,3035	1,2176	23,2410	-30,9985	1,7885	24,7885	0,6950	0,5709	1,5475	1,7899
	3	655	544	658	541	3	3	4,2426	-2,1778	1,2663	21,7268	-2,5998	1,9885	22,7885	0,4220	0,7222	1,0617	1,3516
	4	892	520	890	519	2	1	2,2361	26,6230	1,1975	20,2372	28,7885	2,1225	21,4552	2,1655	0,9250	1,2180	2,6511
	5	531	767	530	768	1	1	1,4142	-11,7615	-28,0118	59,0058	-12,3665	-29,4558	60,1447	0,6050	1,4440	1,1389	1,9360
	6	297	1018	298	1015	1	3	3,1623	-35,8470	-61,6418	33,4485	-36,7885	-62,4778	31,0112	0,9415	0,8360	2,4373	2,7433
	7	734	1011	730	1009	4	2	4,4721	8,8519	-61,6250	32,4396	9,6554	-62,7885	33,8774	0,8035	1,1635	1,4378	2,0166
	8	407	399	405	397	2	2	2,8284	-24,1326	16,1816	32,7062	-23,7885	15,0012	31,0785	0,3441	1,1804	1,6277	2,0399
Ort. Karesel Hata						2,25	1,88	3,0433							0,8272	0,8675	1,3783	1,9229

Çizelge EK-F. 1 İlinti operatörleri doğruluk analizi (devamı)

Veri Adı	Nokta	2B Koordinatlar							3B Koordinatlar									
		Ölçülen (Referans Sistem)		Hesaplanan		Fark (piksel)			Ölçülen (Referans Sistem)			Hesaplanan			Fark(mm)			
		X	Y	X'	Y'	Δx	Δy	Δxy	X	Y	Z	X'	Y'	Z'	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔXYZ
9.Bs083	1	171	551	170	550	1	1	1,4142	-29,6801	13,2452	-19,0837	-31,7880	15,7885	-21,1223	2,1079	2,5433	2,0386	3,8817
	2	386	571	385	572	1	1	1,4142	-2,0111	16,2501	-13,8564	-2,9887	17,5885	-14,9960	0,9776	1,3384	1,1396	2,0114
	3	627	561	625	563	2	2	2,8284	25,1225	16,5463	-13,3168	25,4870	17,9660	-15,1445	0,3645	1,4197	1,8277	2,3428
	4	855	541	855	540	0	1	1,0000	53,6713	19,5836	-16,7430	53,9885	21,6996	-17,1447	0,3172	2,1160	0,4017	2,1770
	5	506	814	505	815	1	1	1,4142	13,2841	-16,9379	22,1695	15,9886	-18,0012	23,9886	2,7045	1,0633	1,8191	3,4284
	6	336	1037	336	1035	0	2	2,0000	-4,8151	-44,9466	-6,1841	-5,0145	-45,0336	-8,0112	0,1994	0,0870	1,8271	1,8400
	7	682	1030	683	1030	1	0	1,0000	35,2256	-44,9564	-10,0233	37,0112	-45,4889	-13,0036	1,7856	0,5325	2,9803	3,5148
	8	394	419	395	417	1	2	2,2361	0,9035	31,6868	-4,4664	1,1566	32,0188	-6,0225	0,2531	0,3320	1,5561	1,6111
Ort. Karese Hata						0,88	1,25	1,6634							1,0887	1,1790	1,6988	2,6009
10.Bs096	1	201	575	200	575	1	0	1,0000	-28,1002	9,7063	34,0435	-28,4478	10,2256	35,0011	0,3476	0,5193	0,9576	1,1435
	2	438	575	439	576	1	1	1,4142	0,6555	9,7409	35,9815	1,9985	10,5562	37,0011	1,3430	0,8153	1,0196	1,8730
	3	715	575	716	574	1	1	1,4142	36,4899	6,8565	35,1777	35,0011	7,9988	34,6699	1,4888	1,1423	0,5078	1,9440
	4	941	567	942	568	1	1	1,4142	63,5281	9,8836	29,3863	64,9963	10,4477	28,9964	1,4682	0,5641	0,3899	1,6204
	5	592	763	592	764	0	1	1,0000	24,1739	-19,0142	78,2489	22,9985	-19,9985	79,1145	1,1754	0,9843	0,8656	1,7606
	6	401	1107	405	1107	4	0	4,0000	0,7890	-58,4533	50,4413	1,8854	-59,1444	51,7788	1,0964	0,6911	1,3375	1,8624
	7	773	1099	775	1101	2	2	2,8284	42,3953	-58,2168	48,7855	41,3366	-57,7788	49,3665	1,0587	0,4380	0,5810	1,2846
	8	459	410	458	411	1	1	1,4142	0,7248	27,6351	43,7977	0,1145	28,9977	44,7885	0,6103	1,3626	0,9908	1,7919
Ort. Karese Hata						1,38	0,88	1,8107							1,0736	0,8146	0,8312	1,6600

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gülsüm Çiğdem ÇAVDAROĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 1981 / Denizli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : cavdarkizi@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri	Yıldız Teknik Üniversitesi	2006
Lisans	Matematik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2003
Lise	Fen Matematik	İzmir İnönü Lisesi	1998

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	Proline Bilişim	Ar-Ge Uzmanı

20010 – 2011	Nevotek Bilişim	Yazılım Geliştirme Takım Lideri
20010 – 2011	Softtech AŞ	Yazılım Analisti
2009 – 2010	Teknoloji Holding	Yazılım Uzmanı
2005 – 2009	Sampaş AŞ	Yazılım Geliştirme Uzmanı
2003 – 2005	Geocad Haritacılık Sistemleri	Yazılım Mühendisi