

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

**HAREKETLİ RGB-D GÖRÜNTÜLERİNDEN EL PARMAKLARININ TESBİTİ**

**HAKAN ONGÜL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
YRD. DOÇ. DR. M. ELİF KARSLIĞİL YAVUZ**

**İSTANBUL, 2014**

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

**HAREKETLİ RGB-D GÖRÜNTÜLERİNDEN EL PARMAKLARININ TESBİTİ**

Hakan ONGÜL tarafından hazırlanan tez çalışması 05.05.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Yrd. Doç. Dr. M. Elif KARSLIGİL YAVUZ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Yrd. Doç. Dr. M. Elif KARSLIGİL YAVUZ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Nizamettin AYDIN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Doç. Dr. Yusuf Sinan AKGÜL  
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

\_\_\_\_\_

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2012-04-01-YL02 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

---

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübesi ile beni yönlendiren, sabır ve özveri ile yardımını esirgemeyen hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Elif KARSLIGİL YAVUZ'a teşekkür ederim.

Ayrıca, maddi ve manevi destekleri ile hayatımın her aşamasında yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2014

Hakan ONGÜL

## İÇİNDEKİLER

---

|  | Sayfa |
|--|-------|
| SİMGE LİSTESİ .....                                | vii   |
| KISALTMA LİSTESİ .....                             | viii  |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                | ix    |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                              | xi    |
| ÖZET .....   | xii   |
| ABSTRACT .....                                     | xiv   |
| <b>BÖLÜM 1</b>                                     |       |
| GİRİŞ .....  | 1     |
| 1.1 Literatür Özeti.....                           | 1     |
| 1.2 Tezin Amacı.....                               | 4     |
| 1.3 Hipotez .....                                  | 5     |
| <b>BÖLÜM 2</b>                                     |       |
| ÖNERİLEN YÖNTEM .....                              | 7     |
| 2.1 Görüntünün Alınması .....                      | 9     |
| 2.1.1 Kinect RGB-D Kamera Görüntü Formatları ..... | 11    |
| 2.1.1.1 Derinlik Görüntüsü .....                   | 11    |
| 2.1.1.2 RGB-D kamera ile Renkli Görüntü Alımı..... | 15    |
| Bayer Renk Filtresi .....                          | 16    |
| 2.2 Elin Bölütlenmesi .....                        | 18    |
| 2.2.1 Elin Yerinin Bulunması .....                 | 18    |
| 2.2.2 El Bölgesinin Bölütlenmesi.....              | 19    |
| 2.2.2.1 İkili Görüntüler.....                      | 21    |
| 2.2.2.2 Kinect İskelet Çıkarma Fonksiyonu .....    | 22    |
| Vücut Bölümü İsimlendirmesi.....                   | 23    |
| Derinlik Görüntüsü Özellikleri.....                | 24    |
| Rastgele Karar Ormanı .....                        | 25    |
| İskelet Pozisyonu Önerisi .....                    | 26    |

|                         |  |    |
|-------------------------|--|----|
| 2.2.3                   | Bileğin Bulunması .....  | 27 |
| 2.2.4                   | Damla Algılama .....   | 30 |
| 2.2.4.1                 | Bağlı Bileşen Analizi .....                                      | 31 |
|                         | Piksel Bağlanabilirliği .....                                    | 31 |
|                         | İki Geçişli Bağlı Bileşen Etiketleme Algoritması .....           | 32 |
| 2.2.5                   | Elin Yerinin Renk Bilgisi Kullanılarak Bulunması.....            | 34 |
| 2.2.5.1                 | Renk Uzayları .....  | 35 |
|                         | RGB Renk Uzayı.....  | 35 |
|                         | HSV Renk Uzayı .....   | 35 |
|                         | YCbCr Renk Uzayı.....  | 37 |
| 2.2.5.2                 | YCbCr Uzayında El Bölütme .....                                  | 37 |
|                         | Renkli Görüntü ve Derinlik Görüntüsü Arasında Koordinat Dönüşümü | 40 |
| 2.3                     | El Görüntüsünün İyileştirilmesi.....                             | 42 |
| 2.3.1                   | Aşındırma (Erosion) Morfolojik İşlemi .....                      | 42 |
| 2.3.2                   | Genişletme (Dilation) Morfolojik İşlemi.....                     | 44 |
| 2.3.3                   | Açma (Opening) Morfolojik İşlemi .....                           | 46 |
| 2.4                     | El Sınırlarının Elde Edilmesi.....                               | 46 |
| 2.4.1                   | Moore-Neighbor Takip Etme Algoritması .....                      | 47 |
| 2.5                     | Parmakların ve Parmak Uçlarının Çıkarılması .....                | 49 |
| 2.5.1                   | Dış Bükey Örtünün Bulunması .....                                | 52 |
| 2.5.2                   | İskeletleme .....  | 55 |
| 2.5.2.1                 | Bağlanabilirlik Sayısı.....                                      | 56 |
| 2.5.2.2                 | Zhang – Suen İnceltme Algoritması .....                          | 56 |
| 2.6                     | Parmakların Tanınması .....                                      | 57 |
| 2.6.1                   | Elin İklendirilmesi.....   | 59 |
| 2.6.2                   | Parmakların Yerlerinin Belirlenmesi .....                        | 60 |
| <br>                    |  |    |
| BÖLÜM 3                 |  |    |
| <br>                    |  |    |
| DENEYSEL SONUÇLAR ..... |  | 63 |
| <br>                    |  |    |
| BÖLÜM 4                 |  |    |
| <br>                    |  |    |
| SONUÇ VE ÖNERİLER ..... |  | 73 |
| KAYNAKLAR .....         |  | 75 |
| ÖZGEÇMİŞ .....          |  | 79 |

## SİMGE LİSTESİ

---

|                  |   |
|------------------|---|
| $m$              | Metre   |
| $cm$             | Santimetre  |
| $mm$             | Milimetre   |
| $d_I(x)$         | $I$ görüntüsündeki $x$ pikselinin derinlik bilgisi  |
| $f_\theta(I, x)$ | $I$ görüntüsündeki $x$ pikselinin derinlik bilgisine göre özellik değeri                            |
| $T$              | Eşik değeri   |
| $P(c I, x)$      | $I$ görüntüsündeki $x$ pikselinin $c$ vücut bölümü etiketi için dağılımı                            |
| $\theta$         | Özellik parametresi   |
| $\emptyset$      | $\theta$ özellik parametreleri ve $T$ eşik değerlerinden oluşan ayırıcı aday                        |
| $Q$              | Rastgele seçilmiş derinlik pikselleri kümesi  |
| $G(\emptyset)$   | Bilgideki kazanç  |
| $H(Q)$           | Shannon entropisi   |
| $x^{\wedge}$     | Üç boyutlu dünya uzayındaki koordinat   |
| $\omega_{ic}$    | Piksel ağırlığı   |
| $b_c$            | $c$ vücut bölümü için öğrenilen bant genişliği  |
| $\lambda_c$      | $c$ vücut bölümü için eşik değeri   |
| $\zeta_c$        | Vücut yüzeyinde bulunan $c$ eklem konumunun gerçek yerini bulabilmek için kullanılan öteleme sabiti |
| $N_x(p)$         | $p$ pikselinin $x$ bağlanabilirlik sayısı   |
| $\max()$         | Maksimum fonksiyonu   |
| $\min()$         | Minimum fonksiyonu  |
| $\sigma$         | Standart dağılım  |
| $K$              | Sobel operatörü   |
| $G$              | Eğim  |
| $d$              | Uzaklık   |
| $O()$            | Algoritmanın karmaşıklığı   |
| $C_n$            | Bağlanabilirlik sayısı  |
| $P$              | Parmağın benzerlik puanı  |

## KISALTMA LİSTESİ

---

|       |   |
|-------|---|
| CMOS  | Complementary Metal Oxide Semiconductor (Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken)     |
| HSB   | Hue, Saturation, Brightness (Renk özü, Doğunluk, Parlaklık)                       |
| HSV   | Hue, Saturation, Value (Renk özü, Doğunluk, Değer)                                |
| RGB   | Red, Green, Blue (Kırmızı, Yeşil, Mavi)   |
| RGB-D | Red, Green, Blue, Depth (Kırmızı, Yeşil, Mavi, Derinlik)                          |
| SDK   | Software Development Kit (Yazılım Geliştirme Kiti)                                |
| YCbCr | Luminance, Chrominance blue, Chrominance red (Parlaklık, Mavi-Fark, Kırmızı-Fark) |
| YUV   | Luminance, Chrominance1, Chrominance2 (Parlaklık, Mavi-Fark, Kırmızı-Fark)        |



## ŞEKİL LİSTESİ

---

|  | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 2.1 Sistem blok diyagramı .....  | 8     |
| Şekil 2.2 Kinect RGB-D kamera [18] .....   | 9     |
| Şekil 2.3 İskelet izleme fonksiyonun ayırt ettiği ve takip edebildiği kişiler [20].....        | 10    |
| Şekil 2.4 İskelet izleme fonksiyonun ürettiği iskelet ve eklem bilgileri [21] .....            | 11    |
| Şekil 2.5 Kızılötesi yayıcı tarafından yansıtılan yalancı rastgele model [23] .....            | 12    |
| Şekil 2.6 Stereo üçgenleme [25] .....  | 13    |
| Şekil 2.7 RGB-D kamera derinlik sensörü derinlik aralıkları [26].....                          | 14    |
| Şekil 2.8 UYVY formatı [29].....   | 15    |
| Şekil 2.9 Bayer renk filtresi şablonu [32] .....   | 16    |
| Şekil 2.10 Bayer filtresi [33] .....   | 17    |
| Şekil 2.11 Bayer filtresi ile alınan renkli görüntü [34].....                                  | 17    |
| Şekil 2.12 Elin bölütlenmesi.....  | 18    |
| Şekil 2.13 Sisteme iklendirilmesi gereken el şekli.....  | 19    |
| Şekil 2.14 Bölütleme öncesi derinlik görüntüsü .....   | 19    |
| Şekil 2.15 İkili formatta bölütlenmiş el görüntüsü.....  | 20    |
| Şekil 2.16 Derinlik görüntüsünün bölütlenmesi .....  | 21    |
| Şekil 2.17 Piksel bazında sınıflama ile vücut bölümü çıkarımı [39].....                        | 23    |
| Şekil 2.18 Yapay ve gerçek derinlik görüntüleri ve etiketlenmiş vücut bölümleri [39]..         | 23    |
| Şekil 2.19 Derinlik görüntüsü özellikleri [39] .....   | 24    |
| Şekil 2.20 Rastgele karar ormanı [39] .....  | 25    |
| Şekil 2.21 Sabit el için farklı resimlerde el, bilek ve dirsek bilgilerinin yer aldığı alanlar | 27    |
| Şekil 2.22 El noktasının farklı konumlarda önerilmesi ile oluşan bilek hatları .....           | 28    |
| Şekil 2.23 Bilek hattının bulunması.....   | 28    |
| Şekil 2.24 Bilek hattı ile bölütlenmiş el ve kol görüntüsü .....                               | 29    |
| Şekil 2.25 Omuz ve dirseğin hareketlerinden etkilenmeyen bilek hattı .....                     | 29    |
| Şekil 2.26 Bağlı bileşen analizi ile bölgelere ayrılan ön plan pikseller.....                  | 30    |
| Şekil 2.27 Damla algılama ile bulunan el görüntüsü .....                                       | 31    |
| Şekil 2.28 4-bağlı bileşenler [43].....  | 32    |
| Şekil 2.29 8-bağlı bileşen analizi ile etiketlenecek ikili görüntü [44] .....                  | 32    |
| Şekil 2.30 İlk geçiş sonrası ön plan piksellere atanan etiketler.....                          | 33    |
| Şekil 2.31 İkinci geçiş sonrası bulunan bağlı bileşenler.....                                  | 34    |
| Şekil 2.32 RGB renk uzayı [47] .....   | 35    |
| Şekil 2.33 HSV renk uzayı [48] .....   | 36    |
| Şekil 2.34 RGB uzayının YCbCr uzayında görünümü [49].....                                      | 37    |
| Şekil 2.35 Ten rengine göre bölütlenmiş ikili görüntü .....                                    | 38    |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2.36 YCbCr uzayındaki avuç içi ve avuç dışı görüntüsü .....                       | 39 |
| Şekil 2.37 El bölgesi piksellerinin Cr dağılım grafiği .....                            | 39 |
| Şekil 2.38 El bölgesi piksellerinin Cb dağılım grafiği .....                            | 39 |
| Şekil 2.39 El olmamasına rağmen el olarak bölütlenen nesnelər .....                     | 40 |
| Şekil 2.40 Derinlik görüntüsündeki noktaların renkli görüntüdeki karşılıkları [52]..... | 41 |
| Şekil 2.41 Morfolojik açma işlemi .....   | 42 |
| Şekil 2.42 Genel olarak kullanılan yapısal elemanlar [54] .....                         | 43 |
| Şekil 2.43 Aşındırma işlemi [54].....   | 43 |
| Şekil 2.44 Aşındırma işlemi uygulanmış el görüntüsü .....                               | 44 |
| Şekil 2.45 Genişletme işlemi [54] .....   | 45 |
| Şekil 2.46 Genişletme işlemi uygulanmış el görüntüsü .....                              | 45 |
| Şekil 2.47 Açma işleminden önce ve sonra el görüntüsü .....                             | 46 |
| Şekil 2.48 Moore-Neighbor takip etme algoritması uygulanmış ikili el görüntüsü.....     | 47 |
| Şekil 2.49 Moore komşuluğu [57].....  | 47 |
| Şekil 2.50 Moore-Neighbor algoritması ile kenar piksellerin bulunması [57].....         | 48 |
| Şekil 2.51 Moore-Neighbor algoritması hatalı kenar çıkarımı [57].....                   | 49 |
| Şekil 2.52 Kenar piksellerini içine alan dış bükey örtü .....                           | 50 |
| Şekil 2.53 Dış bükey örtü kullanılarak oluşturulan parmaklar .....                      | 52 |
| Şekil 2.54 Dış bükey örtü [58] .....  | 52 |
| Şekil 2.55 Graham's scan algoritması için sağa ve sola dönüş örneği [58] .....          | 54 |
| Şekil 2.56 El kenar görüntüsünden bulunan dış bükey örtü .....                          | 55 |
| Şekil 2.57 İskeletleme işleminden önce ve sonra el görüntüsü .....                      | 56 |
| Şekil 2.58 Bağlanabilirlik sayısı [61] .....  | 56 |
| Şekil 2.59 Zhang – Suen algoritması uygulaması [61] .....                               | 57 |
| Şekil 2.60 Parmakların tanınması için kullanılan özellikler .....                       | 58 |
| Şekil 2.61 Sisteme tanıtılacak el şekli .....   | 59 |
| Şekil 3.1 Parmak şekillerinin ve isimlerinin çıkarılacağı el şekilleri .....            | 63 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

|  | Sayfa |
|--|-------|
| Çizelge 3.1 Sağ el – aydınlık ortam, el ve parmak şekillerinin çıkarımı sonuçları        | 64    |
| Çizelge 3.2 Sağ el – alacakaranlık ortam, el ve parmak şekillerinin çıkarımı sonuçları   | 65    |
| Çizelge 3.3 Sol el – aydınlık ortam, el ve parmak şekillerinin çıkarımı sonuçları        | 65    |
| Çizelge 3.4 Sol el – alacakaranlık ortam, el ve parmak şekillerinin çıkarımı sonuçları   | 65    |
| Çizelge 3.5 Sağ el, el ve parmak şekillerinin çıkarımı sonuçları                         | 66    |
| Çizelge 3.6 Sol el, el ve parmak şekillerinin çıkarımı sonuçları                         | 66    |
| Çizelge 3.7 El ve ortam ayrımı yapılmadan el ve parmak şekillerinin çıkarımı sonuçları   | 66    |
| Çizelge 3.8 Sağ el ve aydınlık ortam, parmakların birbirlerine benzetilme ilişkisi       | 68    |
| Çizelge 3.9 Sağ el ve alacakaranlık ortam, parmakların birbirlerine benzetilme ilişkisi  | 68    |
| Çizelge 3.10 Sol el ve aydınlık ortam, parmakların birbirlerine benzetilme ilişkisi      | 69    |
| Çizelge 3.11 Sol el ve alacakaranlık ortam, parmakların birbirlerine benzetilme ilişkisi | 69    |
| Çizelge 3.12 Sağ el, parmakların birbirlerine benzetilme ilişkisi                        | 70    |
| Çizelge 3.13 Sol el, parmakların birbirlerine benzetilme ilişkisi                        | 70    |
| Çizelge 3.14 El ve ortam ayrımı olmadan, parmakların birbirlerine benzetilme ilişkisi    | 71    |

---

## HAREKETLİ RGB-D GÖRÜNTÜLERİNDEN EL PARMAKLARININ TESBİTİ

Hakan ONGÜL

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. M. Elif KARSLIGİL YAVUZ

Bilgisayarların, hayatımızın değişilmez bir parçası haline geldiği günümüzde, herkes tarafından etkili ve verimli bir şekilde kullanılabilmesi için, insan bilgisayar etkileşimine dayalı ara yüzlerin geliştirilmesi, klavye ve farenin yanı sıra günlük hayatta kullandığımız iletişim yöntemlerinden vücut dili ile de bilgisayarı kontrol edebilmek için gerekli hale gelmiştir.

Sanal gerçeklik uygulamalarında da her zaman bir araştırma konusu olan elin yerinin ve şeklinin çıkarımı için, sanal gerçeklik uygulamalarının ilk zamanlarından itibaren eldiven kullanımı, görüntü algılama yöntemleri ile ten rengine göre veya arka plan görüntü çıkarımı yöntemi ile bölütleme, kızılötesi kamera kullanımı gibi yöntemler kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında, görüntü ve derinlik bilgisi veren RGB-D kameradan alınan derinlik verisi kullanılarak, görüntüdeki elin açık parmaklarının konumunu ve şeklini anlayan bir sistem tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Parmakların konumlarının ve şekillerinin görüntüde belirlenmesi, insan bilgisayar etkileşimine dayalı ara yüzlerin tasarımında parmak bilgilerinin de kullanılmasını sağlamaktadır.

RGB-D kamera olarak Kinect kullanılan bu çalışmada ilk olarak, RGB-D kameradan alınan derinlik bilgisinin işlenmesi ile oluşturulmuş iskelet verisinden kamera önündeki aktif kullanıcının eli belirlenerek, el görüntüsü derinlik görüntüsünden ikili görüntü formatında bölütlenmiştir.

Parmakların çıkarımında kullanılacak ikili el görüntüsünden daha iyi sonuç alabilmek için, görüntü ön işlemeden geçirilerek morfolojik açma işlemi ile iki parmak arası boşluğun belirginleşmesi sağlanmıştır.

Eli içine alan bir dış bükey örtünün olduğu varsayılırsa, parmak uçları dış bükey örtünün köşe noktalarında yer alacaktır. Kenar takibi yöntemi ile elin kenar görüntüsü çıkartılarak, kenar görüntüsünden dış bükey örtü çıkartılmış ve belirli koşulları sağlayan köşe noktaları parmak ucu olarak algılanmıştır. Parmak uçları ve bilek noktasından ise parmak iskeletleri oluşturulmuştur.

Açık parmakların tanınması için, parmak iskeletlerinin ayırt edici şekilsel özellikleri çıkartılmıştır. Başlangıç durumunda, tüm parmakların açık şekilde olduğu el görüntüsü alınarak, parmakların belirleyici şekilsel özellikleri sisteme tanıtılmaktadır. Açık parmakların tanınması işlemi, belirlenen parmağın şekilsel özellikleri sisteme tanıtılan tüm parmakları ile karşılaştırılıp, kendine en çok benzeyen parmağın belirlenmesi yöntemi ile yapılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** RGB-D kamera, görüntüden el şekli çıkarımı, insan bilgisayar etkileşimi, sanal gerçeklik uygulamaları

**HAND FINGER RECOGNITION FROM RGB-D VIDEO IMAGES**

Hakan ONGÜL

Department of Computer Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Dr. M. Elif KARSLIGİL YAVUZ

Nowadays that computer have been an indispensable part of our lives, developing interfaces that enable body language as an input device as well as mouse and keyboard for human-computer interaction is essential for using the computers more efficiently.

Finding the location and shape of the human hand has always been studied in the field of virtual reality, too. Glove based techniques had been widely studied in the early years of the field. Then, image processing techniques color segmentation and background subtraction were used. Finally, in the last years of the field infrared camera is started to use.

In this thesis study, an application that finds locations and shapes of the open fingers in the depth image taken from RGB-D camera which provides color and depth data was developed. Finding the locations and shapes of the fingers in the image makes fingers available for the design of interfaces that enables human computer interaction.

First of all, in this study where Kinect used as RGB-D camera in binary hand image was segmented from the depth image after finding the location of hand that belongs to active user in front of the camera using skeleton data which is produced via processing the depth data of RGB-D camera.

For getting better results from binary hand image, binary image was preprocessed and gaps between the fingers were made clear with morphological opening operation.

If it is considered that the hand is surrounded by a convex hull, finger tips will lie on the edges of convex hull. Contour tracing followed by convex hull extraction was performed and the edge points that provide some specific conditions of convex hull were extracted as finger tips. Finger skeletons were produced with using the finger tips and wrist point.

To recognize the open fingers, characteristic attributes of finger skeletons were extracted. Initial hand image that all the fingers are open in is taken and the characteristic attributes of fingers are introduced to system at the beginning. Open fingers are recognized by comparing characteristic attributes of finger skeletons with the ones that are introduced to system and finding the most similar one.

**Keywords:** RGB-D camera, hand extraction, human computer interaction, virtual reality applications

### GİRİŞ

Bu tez çalışmasında, RGB-D kamera olarak kullanılan Kinect'den alınan derinlik ve iskelet verisi kullanılarak, görüntüdeki el şeklinin çıkarılması ve açık olan parmakların belirlenmesini sağlayan bir sistem gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Literatürdeki uygulamaların aksine, eğitim seti kullanılmadan, el şeklinden bağımsız olarak açık olan parmakların çıkarımı yapılarak, insan bilgisayar etkileşimine dayalı uygulamalarda parmak bilgisinin ön tanımlı şekillerle sınırlı olmaksızın kullanılabilmesi ve el şekillerinin açık parmakların kombinasyonları ile herhangi bir zamanda tanımlanabilmesi sağlanmıştır. Bu sayede, yeni bir el şeklinin tanınmasına ihtiyaç duyulduğunda, eğitim seti genişletilerek sistemin yeniden eğitilmesine gerek olmadan, ilgili kombinasyon sisteme tanıtılarak ihtiyaç giderilmiş olacaktır.

#### 1.1 Literatür Özeti

Elin yerinin ve şeklinin bulunması, sanal gerçeklik uygulamalarında her zaman bir araştırma konusu olmuştur.

Sanal gerçeklik uygulamalarının ilk zamanlarında, elin yerinin ve şeklinin, eldiven tarzı cihazlar kullanılarak bulunması oldukça yaygındı. Bu tür cihazlarda, parmakların eklem noktaları optik veya mekanik algılayıcılar ile belirlenmekte, elin yeri ise bunlardan farklı diğer bir algılayıcı ile bulunmaktadır. Bu tür cihazların en bilinen olanı VPL Research tarafından geliştirilen, el şekli çıkarımı için optik fiber teknoloji, el yerinin bulunması ve takibi için ise manyetik algılayıcı kullanan DataGlove'dur [1].

Genel olarak, eldiven tarzı cihazlar ile elin yeri ve şekli hızlı ve doğru bir şekilde bulunabilmesine rağmen, kontrol cihazlarına fiziksel olarak bağlı olmasından ötürü



insan bilgisayar etkileşimi uygulamaları için uygun değildir. Bu nedenle, görüntü işleme tekniklerine dayalı yöntemler araştırılmıştır.

Görüntü işleme tekniklerine dayalı yöntemlerden biri, Cipolla vd.'nin [2] uygulamasındaki gibi, kullanıcının el ve parmaklarına işaretler yapıştırılarak, bu noktaların görüntüde bulunmasına dayanmaktadır. Maggioni [3] ise el takibi için özel işaretlenmiş eldiven tasarlamıştır. Bu eldivende, farklı renklerde, merkezleri birbirine çok yakın iki bölge bulunmaktadır. Elin pozisyonu ve yönü, tek bir kamera ile alınan görüntüden, bu yuvarlak bölgelerin belirlenmesi ile çıkarılmaktadır.

İnsan tenine ait bölgelerin renge göre bölütlenmesi, el şeklinin çıkarılmasında kullanılan diğer bir yöntemdir. Ten rengi kişiden kişiye değişebildiği ve ışık etkisinin ten renginin değişmesine neden olduğu için, renge göre bölütleme yöntemleri kullanıcının tenine ait bölgeleri yanlış çıkarabilmektedir. Bu sorunu çözebilmek için renge göre bölütleme yapan bazı uygulamalar, kullanıcının belirli renkteki eldiven giymesini gerektirmiştir [4].

Görüntü farkı yöntemi de, görüntü işleme teknikleri ile el şeklinin çıkarılması uygulamalarında sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir. Hardenberg'in [5] çalışması, ön plan el bölgesinin görüntü farkı yöntemi ile bölütlendiği örneklerden biridir. Parmaklar, bölütlenmiş el görüntüsünden şablon eşleme yöntemi ile çıkarılmış; parmakların yön ve pozisyon bilgisi ile avuç içi noktası kullanılarak da sınıflandırılmıştır. Arka plan görüntü çıkarımına dayalı yöntemler, arka planın karışık olduğu ya da arka planın sürekli değişiklik gösterdiği görüntülere uygulandığında, hatalı sonuçlar alınmasına neden olmaktadır [4].

Rehg ve Kanade [6], eli üç boyutlu olarak modellemiştir. Bu yöntemde el şeklinin çıkarımı, bir veya daha fazla sayıda kameradan alınan el görüntülerinin eşleştirilmesi ile yapılmaktadır. Diğer yöntemlerin aksine, bu yöntemde elin üç boyutlu şeklinin çıkarımı yapılabilmektedir. Ancak bu yöntem, el şeklinin tanınması için yüksek hesaplama maliyeti oluşturmaktadır.

Görüntüdeki renk bilgisinin kullanılmasıyla el şeklinin bulunması yöntemlerinde karşılaşılan sorunlar nedeniyle, renk bilgisinin yerine kullanılabilecek yöntemler araştırılmaya başlanmıştır. Bunlardan biri, Sato vd.'nin [4] ısıya dayalı kızılötesi kamera

ile alınan görüntüden el şeklinin çıkarımını yaptığı çalışmadır. İnsan vücudu, görüntüdeki diğer nesnelere ayırt edilmesini sağlayacak ısı aralığı belirlenerek, eşik değerine göre karşılaştırma ile bölütlenmiştir. Bölütlenmiş görüntüde, parmak uçları şablon eşleme yöntemi ile bulunarak el şekli tanınmıştır. Bu yöntemde, insan vücudu ile aynı ısı değerine sahip nesnelere de görüntüye dahil olması, hatalı sonuçların oluşmasına neden olmaktadır.

Microsoft'un XBOX oyun konsolu için Kinect'i piyasaya sunmasıyla, el şekli çıkarımı için Kinect'in derinlik bilgisinin kullanıldığı çalışmalar başlamıştır. RGB-D kamera kızılötesi kamera kullandığı için ışık etkisi, kıyafet, ten rengi ve arka plan görüntüsünün sistemin performansına etkisi oldukça düşüktür. Bu nedenle RGB-D kamera el şekli tanınması çalışmalarında oldukça popüler konuma gelmiştir.

Hongyong ve Youling [7], el ve parmak şekillerinin renk bilgisi kullanılarak bölütlenmesinde karşılaşılan ten rengine sahip el olmayan nesnelere de yanlış olarak bölütlenmesi sorununu giderebilmek için, eşik değeri kullanarak RGB-D kameradan alınan derinlik görüntüsüne göre de bölütleme yapmış, bu iki işlemde çıkarılan ön plan piksellerin kesişimi ile el şeklini oluşturmuştur. Bu çalışmada renk bilgisi kullanılarak bölütleme işleminin başarısı artırılmış olmasına rağmen, derinlik görüntüsü için belirlenen eşik değerinin sabit olması, elin bu alanın dışında olduğu durumlarda düzgün olarak bölütlenememesine neden olacaktır.

Minnen ve Zafrulla [8], elin vücudun merkez noktasından her zaman en uzakta olduğunu varsayıp, RGB-D kameranın derinlik görüntüsünden çıkarılan yerel minimum ve maksimum noktalara, bağlı bileşen analizi uygulayarak el şeklini bulmuştur. Çıkarılan el şekli, rastgele karar ağaçları ile eğitim setindeki el şekillerine göre sınıflandırılarak tanınmıştır. Polrola ve Wojciechowski [9] ise, RGB-D kameranın derinlik görüntüsünden sabit bir eşik değerine göre bölütleyerek çıkardığı el şeklini kullanarak, rastgele karar ormanı ile, Minnen ve Zafrulla'dan farklı olarak el şekli değil piksel bazında sınıflayarak, parmakların yerini tespit etmeye çalışmıştır. Rastgele karar ağaçları ve ormanı hızlı sonuç üretmesine rağmen, sistemin başarısı eğitim setinin çeşitliliği ve genişliği ile değişmektedir.

Raheja vd. [10], RGB-D kameradan alınan derinlik görüntüsünü kullanarak, parmak uçlarının ve avuç içi merkezinin yerini tespit etmeye çalışmıştır. El şekli görüntüsü,

derinlik görüntüsünden sabit eşik değeri belirlenerek bölütlenmiştir. Bölütlenmiş görüntü kullanılarak, bu görüntüye sığan maksimum daire avuç içi, dairenin görüntüden çıkarılmasıyla kalan ön plan pikseller de parmaklar olarak belirlenmiştir. Avuç içini oluşturan dairenin merkezi avuç içi merkezi, parmak piksellerinden kameraya en yakın olanlar ise parmak uçları olarak belirlenmiştir. Derinlik görüntüsünde, bölütleme için belirlenen eşik değeri sabit olduğu için sistem yalnızca belli aralıklarda çalışacak, parmak uçlarının kameraya en yakın olmadığı durumlarda parmak uçları da düzgün olarak bulunamıyor olacaktır.

Fрати ve Prattichizzo [11], el ve parmakların yerini belirleyebilmek için RGB-D kameradan aldığı derinlik görüntüsünü kullanmıştır. Kameraya en yakın nesnenin el olduğu varsayımıyla, el görüntüsü derinlik görüntüsünden bölütlenmiştir. Parmak uçları, bölütlenmiş el görüntüsünde kenar pikselleri ile kenar piksellerini çevreleyen dış bükey çokgenin kesişim noktaları olarak belirlenmiştir. Li [12] de aynı yöntemle parmak uçlarını belirlemiş, kenar pikselleri içine sığan en büyük daireyi bularak, dairenin merkezini avuç içi merkezi olarak belirlemiştir. El şekilleri, parmak uçlarının birbirlerine göre konumları ile avuç içi ve parmak uç noktalarının oluşturduğu vektörlerin, eğitim setindeki sisteme tanımlı el şekillerininki ile kıyaslanarak minimum %84 başarı ile sınıflandırılmıştır.

## 1.2 Tezin Amacı

İlk başta sınırlı sayıda üretilebilen ve yalnızca uzmanları tarafından kullanılabilen bilgisayarlar, günümüzde günlük hayatın vazgeçilmez bir parçası konumuna gelmiştir. Eskiden fare ve klavye ile kontrolün yeterli olduğu bilgisayarların, artık herkes tarafından etkili ve verimli bir şekilde kullanılabilmesi için yeni ara yüzlerin geliştirilmesi gitgide önem kazanmıştır.

İnsan iletişimi incelendiğinde vücut dili, ses tonu ve söz olmak üzere üç ana eylem ön plana çıkmaktadır. Yapılan bir araştırmaya göre [13] iletişimde vücut dilinin etkisi %55, ses tonunun etkisi %38 ve içeriğin etkisi ise %7 olarak ölçülmüştür. Vücut dili ve ses tonunu kullanılmadan, basit anlamda fare ve klavye ile bilgisayarla %7'lik bir oranda etkileşim gerçekleştirilebilmektedir. Bilgisayarla etkileşimin arttırılabilmesi için, yeni geliştirilen ara yüzlerde ses ve vücut dilinin kullanılması önem kazanmıştır.

Oyun sektöründeki gelişmeler; bilgisayarla kontrolün askeri, eğitim, sağlık, afet kurtarma gibi sektörlerde de yaygın olarak kullanılıyor olması, sanal gerçeklik uygulamalarına olan ihtiyacın da artmasına neden olmuştur.

İnsan bilgisayar etkileşimi için gerekli olan elin yerinin ve şeklinin bulunması, sanal gerçeklik uygulamalarında da her zaman bir araştırma konusu olmuştur.

Sanal gerçeklik uygulamalarının ilk zamanlarında, elin yerinin ve şeklinin eldiven tarzı cihazlar kullanılarak bulunması oldukça yaygındı. Ancak kontrol cihazlarına fiziksel olarak bağlı olunmasından ötürü, insan bilgisayar etkileşimi uygulamaları için çok uygun olmamıştır. Bu nedenle, görüntü işleme tekniklerine dayalı yöntemler, mekanik cihazların yerini almaya başlamıştır.

El şeklinin, görüntü işleme teknikleri ile renk bilgisi kullanılarak bulunması yöntemlerinde de sistemin başarısını etkileyen sorunlar olması, renk bilgisi yerine kullanılabilir yöntemlerin araştırılmasına neden olmuştur. Microsoft Kinect, sağladığı renk ve derinlik bilgisi ile 3 boyutlu görüntünün düşük maliyetle kullanılmasını sağlayarak, el şeklinin bulunması çalışmalarında sıklıkla kullanılıyor olmuştur.

Bu tez çalışmasında, RGB-D kamera olarak kullanılan Kinect'den alınan derinlik verisi ve derinlik verisinin işlenmesi ile oluşturulmuş iskelet verisi kullanılarak, görüntüdeki el şeklinin çıkarılması ve açık olan parmakların belirlenmesini sağlayan bir sistem gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

### 1.3 Hipotez

Literatürde, RGB-D kamera ile yapılan el ve parmak şekli çıkarımı uygulamalarında, derinlik görüntüsünden el bölgesinin çıkarılması için özel bir işlem uygulanmamıştır. Genellikle el kameraya en yakın nesne olarak kabul edilmiş ve sabit bir eşik değeri belirlenerek eşik değerine göre bölütleme yöntemi ile el bölgesi görüntüden bölütlenmiştir.

Kinect yazılım geliştirme kitindeki (Kinect for Windows SDK [14]) iskelet verisi kullanılarak, el bilgisinin dinamik olarak alınabileceği, bu sayede elin, sadece kameraya belli uzaklıkta olduğu durumlarda değil, iskelet verisinin çıkarılabildiği aralık içinde bölütlenebileceği düşünülmüştür.

Literatürdeki uygulamalarda el şekli, eğitim seti kullanılarak şeklin bütün olarak değerlendirilmesi ile sınıflandırılmıştır. Eğitim seti kullanılmadan, el şeklinden bağımsız olarak açık olan parmakların çıkarımı yapılabilirse, insan bilgisayar etkileşimine dayalı uygulamalarda parmak bilgisi ön tanımlı şekillerle sınırlı olmaksızın kullanılabilir ve el şekilleri açık parmakların kombinasyonları ile herhangi bir zamanda tanımlanabilir. Bu sayede, yeni bir el şeklinin tanınmasına ihtiyaç duyulduğunda, eğitim seti genişletilerek sistemin yeniden eğitilmesine gerek olmadan, ilgili kombinasyon sisteme tanıtılarak ihtiyaç giderilmiş olacaktır.

### ÖNERİLEN YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, RGB-D kamera olarak kullanılan Kinect'den alınan derinlik verisi ve Kinect yazılım geliştirme kitinin sağladığı iskelet verisi kullanılarak görüntüdeki el ve parmak şekillerinin çıkarılması ve açık olan parmakların belirlenmesini sağlayan bir sistem tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak, Kinect yazılım geliştirme kitinden alınan iskelet verisinden kamera önündeki aktif kullanıcının eli belirlenerek, el derinlik görüntüsünden ikili görüntü formatında bölütlenmektedir.

Ardışık iki derinlik görüntüsünden çıkarılan el görüntülerinin karşılıklı pikselleri karşılaştırılarak, arka plan çıkarımı yöntemi [15] ile, görüntüde değişim olup olmadığına karar verilir. Görüntüler arasında karşılıklı eş olmayan piksellerin toplam sayısı, birinci görüntüdeki el çerçevesinin toplam piksel sayısının %20'sinden fazla ise, el görüntüsünde değişim olduğu, yani elin hareket ettiği, algılanır ve yeni el görüntüsü için parmakların çıkarımı işlemi yapılır. Aksi takdirde, elin hala aynı şekilde olduğu düşünülür ve el görüntüsünde işlem yapılmasına gerek duyulmaz.

Parmakların çıkarımında kullanılacak ikili el görüntüsünden daha iyi sonuç alabilmek için, görüntü ön işlemeden geçirilerek morfolojik açma (opening) [16] işlemi ile iki parmak arası boşluğun belirginleşmesi sağlanmaktadır.

Eli içine alan bir dış bükey örtünün olduğu varsayılırsa, parmak uçları dış bükey örtünün köşe noktalarında yer alacaktır. Elin kenar görüntüsünden dış bükey örtü çıkartılıp, belirli koşulları sağlayan köşe noktaları parmak ucu olarak algılanır. Parmak iskeletleri, belirlenen parmak uçları ve bilek noktası yardımı ile oluşturulmaktadır.

Açık parmakların tanınması için, parmak iskeletlerinin ayırt edici şekilsel özellikleri kullanılmaktadır. Başlangıç durumunda, tüm parmakların açık şekilde olduğu el görüntüsü alınarak, parmakların belirleyici şekilsel özellikleri sisteme tanıtılmaktadır. Açık parmakların tanınması işlemi, belirlenen parmağın şekilsel özellikleri sisteme tanıtılan tüm parmakları ile karşılaştırılıp, kendine en çok benzeyen parmağın belirlenmesi yöntemi ile yapılmaktadır.

Sistemin blok diyagramı Şekil 2.1' de görüldüğü gibidir.

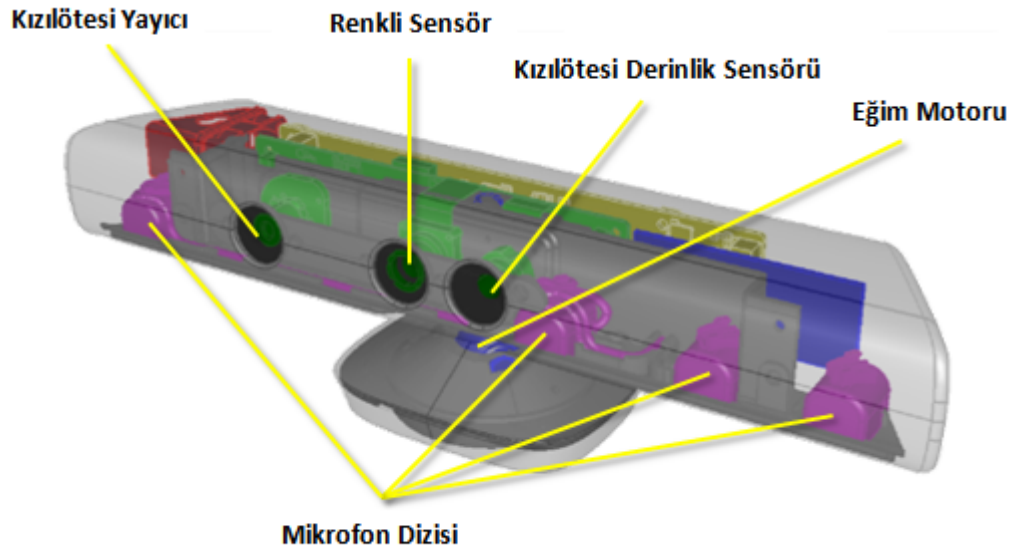


Şekil 2.1 Sistem blok diyagramı

## 2.1 Görüntünün Alınması

Bu çalışmada görüntü alımı için, Microsoft'un Xbox 360 platformu için 2010 yılında satışa sunduğu, herhangi bir kontrolör olmadan oyun oynama imkanı veren Kinect RGB-D kamera [17] kullanılmıştır.

RGB-D kamera Şekil 2.2'de görüldüğü gibi, ortamın derinlik haritasını çıkarabilecek kızılötesi kamera ve kızılötesi yayıcı, renkli görüntü sağlayabilmek için RGB kamera ve arka plan gürültüsünü azaltarak ortam hakkında ses bilgisi toplayabilecek dört adet mikrofon ile donatılmıştır.



Şekil 2.2 Kinect RGB-D kamera [18]

Kinect RGB-D kamera, Xbox 360 oyun konsolu için üretilmiş olmasına rağmen, görüntüye dayalı Yapay Zeka uygulamalarında da büyük bir ilgi çekmiştir. Microsoft, 2012 yılında Windows işletim sisteminde çalışan yeni bir versiyonu çıkarmış ve bilgisayarın bu cihazla iletişim sağlayabilmesi için de yazılım geliştirme kiti yayımlamıştır (Kinect for Windows SDK [14]).

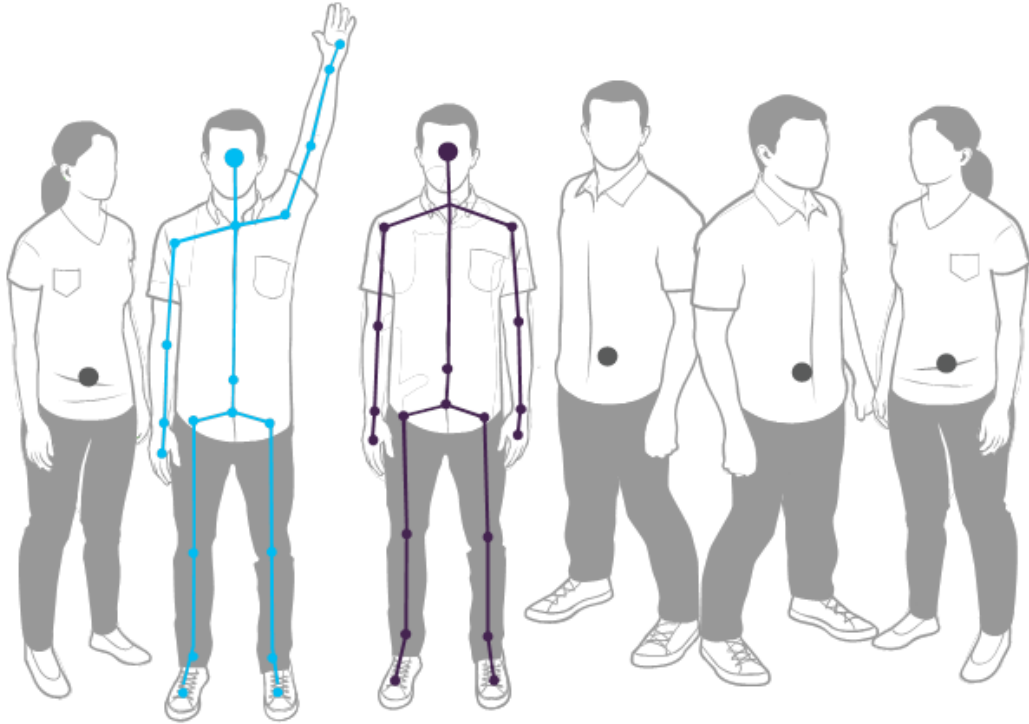
Bu çalışmada Microsoft'un Kinect RGB-D kamera için yayımladığı yazılım geliştirme kitinin 1.6 versiyonu kullanılmıştır. Bu versiyonun sağladığı hazır fonksiyonlar yardımı ile:

- Derinlik sensöründen gelen derinlik görüntüsüne, renkli sensörden gelen renkli görüntüye ve dörtlü mikrofon dizisinden gelen ses verisine erişilebilir,

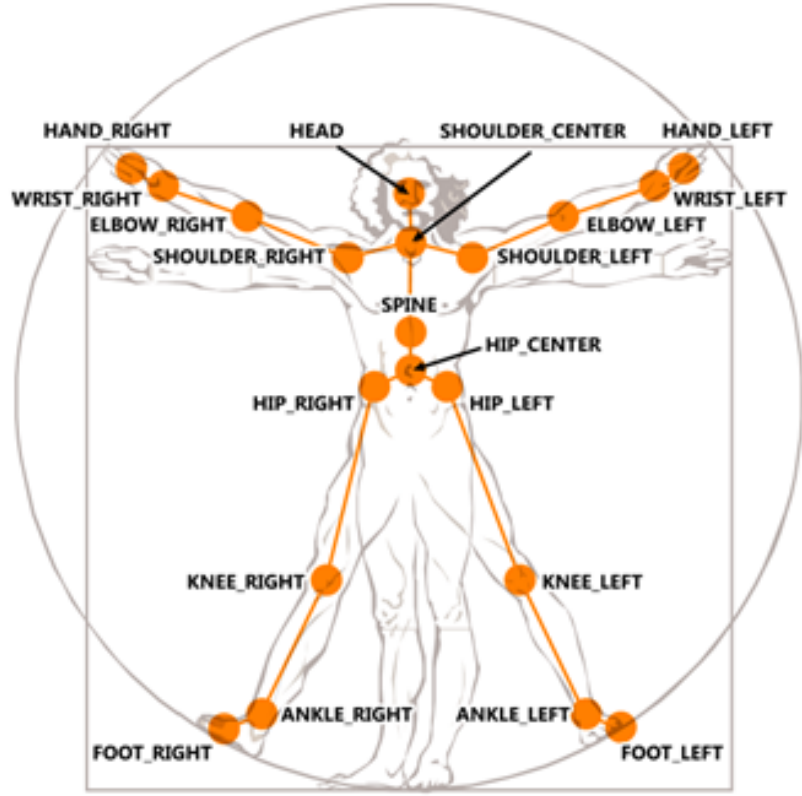


- Sensörün algılama alanındaki, RGB-D kameraya yüzü dönük şekilde hareket eden insanlar, iskelet takibi yöntemi ile ayırt edilebilir ve takip edebilir,
- Sensör kamera ile görüş alanındaki bir nesne arasındaki uzaklık derinlik kamerası ile belirlenebilir,
- Gürültü ve yankı filtreleme özelliği ile ses alınabilir veya ses kaynağının yeri tespit edilebilir [19].

Yazılım geliştirme kitindeki iskelet izleme fonksiyonu, renk sensörü ve tek renkli CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor (Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken)) sensör ile birlikte kızılötesi lazer projektörden oluşan derinlik sensöründen gelen veriyi kullanarak makine öğrenmesi teknikleri ile, görüş açısındaki -varsayılan çalışma türünde 0.8 ile 4 m arası, yakın çalışma türünde ise 0.4 ile 3 m arası- yüzü RGB-D kameraya dönük altı kişiyi ayırt edebilmekte ve bunların ikisinin hareketlerini aynı anda detaylı olarak takip edebilmektedir (Şekil 2.3). Detaylı olarak takip ettiği iki kişi için Şekil 2.4'de görüldüğü gibi iskeletlerini çıkarabilmekte ve iskelet üzerindeki eklemlerin pozisyon bilgilerini -X, Y, Z koordinatlarındaki yerini- bulabilmektedir.



Şekil 2.3 İskelet izleme fonksiyonunun ayırt ettiği ve takip edebildiği kişiler [20]



Şekil 2.4 İskelet izleme fonksiyonun ürettiği iskelet ve eklem bilgileri [21]

### 2.1.1 Kinect RGB-D Kamera Görüntü Formatları

Kinect RGB-D kamera , üzerindeki RGB kamera ile renkli görüntü, derinlik sensörü ve CMOS sensör birlikte kullanılarak ortamın 3 boyutlu haritasının çıkarılması ile oluşturulan derinlik görüntüsü olmak üzere iki farklı formatta video görüntü sağlayabilmektedir.

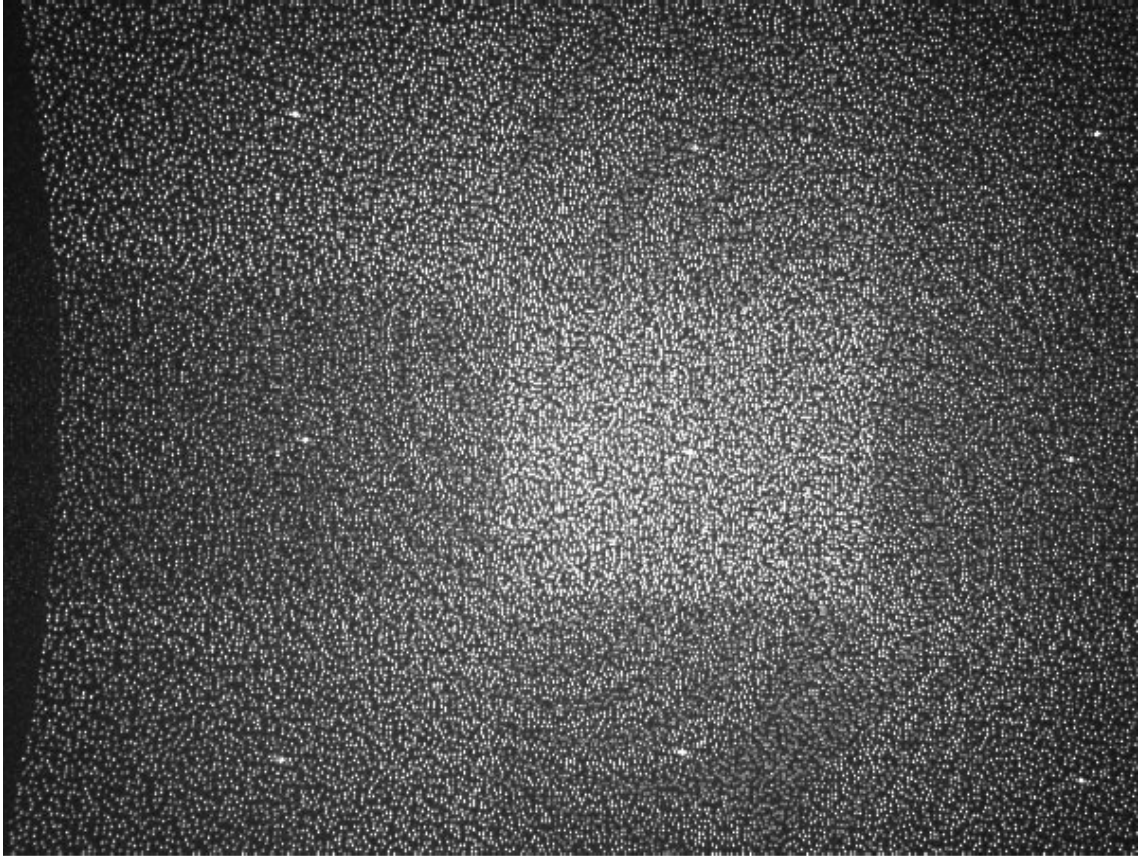
#### 2.1.1.1 Derinlik Görüntüsü

Derinlik sensörünün geliştiricisi PrimeSense [22], derinlik çıkarımını nasıl yaptıklarını açıklamasa da, bir sistemin çalışmasını akıl yürütme analiziyle keşfeden bazı tersine mühendislik çalışmaları [23], [24] ile derinlik bilgisinin nasıl hesaplandığına dair tahminler üretilmiştir.

PrimeSense açık bir şekilde, kamera karşısındaki nesnelerin kameraya olan uzaklığının hesaplanması için ışığın uçuş zamanını (kaynaktan çıkan modüle ışığın, kamera karşısındaki nesneden yansıyorak tekrar kaynağa ulaşma zamanı) kullanmadıklarını,

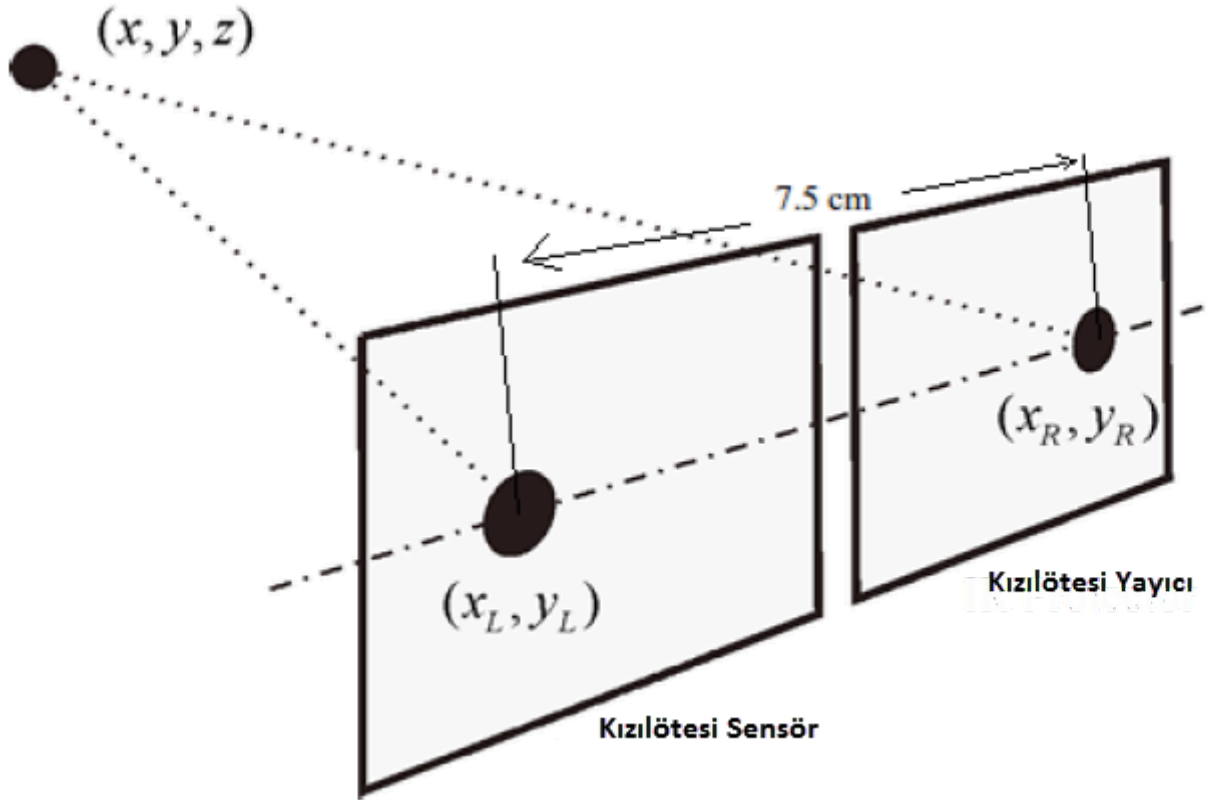
modüle ışığın dönüş zamanını hesaplayamayacak nitelikte hazır CMOS sensör kullandıklarını söylemektedir. Işığın kaynaktan çıkış ve kaynağa dönüş süresi kullanılmadan, nesnelerin kameraya olan uzaklığının stereo üçgenleme yöntemi ile hesaplandığı düşünülmektedir [24].

Kızılötesi kamera ve kızılötesi yayıcı en fazla 7,5 cm temel çizgisinde stereografik çift oluşturmaktadır [23]. Kızılötesi yayıcı Şekil 2.5'deki gibi yalnızca hafızasındaki sabit yalancı rastgele modeli yansıtabilmektedir.



Şekil 2.5 Kızılötesi yayıcı tarafından yansıtılan yalancı rastgele model [23]

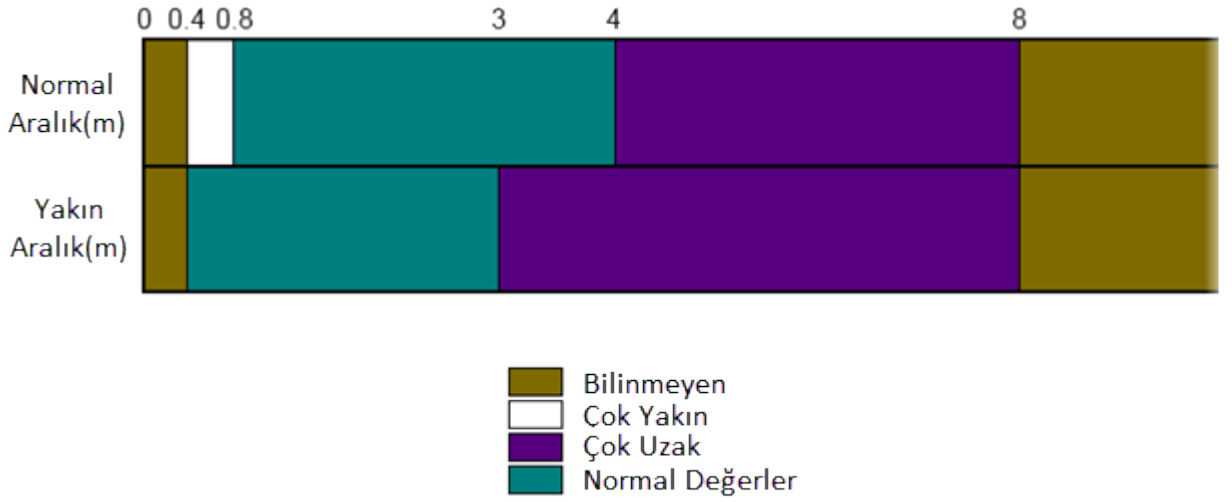
Stereo üçgenleme, her noktanın derinliğini algılayabilmek için iki görüntüye ihtiyaç duyar. İlk görüntü kızılötesi kameradan alınır, ikinci görüntü ise görünmez, kızılötesi yayıcının yansıttığı donanımla bütünleşik yalancı rastgele modeldir. İkinci görüntü yongaya gömülü kodlanmış olmalıdır. Bu iki görüntü eşit olmayıp, yayıcı ve sensör arasında mesafe olduğundan görüntüler Şekil 2.6'daki gibi farklı kamera pozisyonlarına karşılık gelmektedir. Bu da her noktanın derinliğini hesaplayabilmek için stereo üçgenleme tekniğinin kullanılmasını sağlamaktadır [24].



Şekil 2.6 Stereo üçgenleme [25]

Burada fark kızılötesi yayıcıdaki ikinci görüntünün hayali olmasıdır. İkinci noktanın pozisyon bilgisi  $(x_R, y_R)$  hafızaya zaten gömülü kodlanmıştır. Yayıcı ve sensör hizalanmış olduğundan, yapılması gereken yalnızca birinci görüntüdeki nokta ile ikinci görüntüdeki ilgili gömülü kodlanmış nokta arasındaki yatay ötelenmiş uzaklığın hesaplanmasıdır [24].

Kinect RGB-D kamera, normal ve yakın olmak üzere iki farklı türde derinlik bilgisi sağlamaktadır. Normal çalışma türünde Şekil 2.7'de görüldüğü gibi 800 mm ile 4000 mm, yakın çalışma türünde ise 500 mm ile 3000 mm arasındaki nesnelere için derinlik bilgisi üretebilmektedir. Buna rağmen, RGB-D kamera Windows SDK ile kullanılıyorsa sadece normal çalışma türü kullanılabilir [21].



Şekil 2.7 RGB-D kamera derinlik sensörü derinlik aralıkları [26]

RGB-D kamera, oluşturduğu derinlik görüntüsünü, saniyede 30 resim olarak; 640\*480, 320\*240 ve 80\*60 piksel çözünürlükte olmak üzere 3 farklı türde sağlamaktadır.

Derinlik görüntüsü, kamera düzleminden en yakın nesneye olan uzaklığın milimetre cinsinden tutulduğu piksellerden oluşmaktadır. Derinlik verisi akışı iki farklı verinin birleşimi ile oluşmaktadır:

- Milimetre cinsinden derinlik bilgisi,
- Kullanıcı bölütleme verisi. Bölütlenmiş her kullanıcı verisi, sahnede bulunan kişinin indeksinin tutulduğu tam sayıdır.

RGB-D kamera, derinlik verisini kullanarak bölütleme haritasında altı kişiyi ayırt edebilmektedir. Bölütleme haritası, piksellerin görüntüdeki ilgili piksel noktasında kameranın görüş alanındaki en yakın kişinin indeksinin oluşturduğu bitmap'tir. Kullanıcı bölüt verisi, sadece iskelet izleme fonksiyonu aktif olduğu zaman derinlik verisinde yer almaktadır.

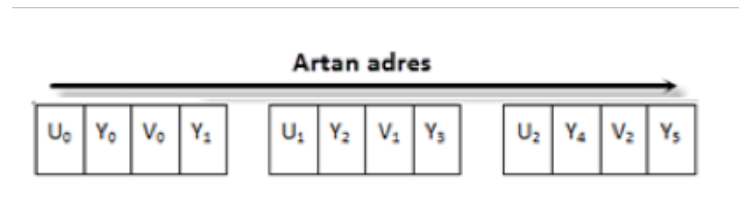
Derinlik resmindeki her piksel, kullanıcı bölütleme verisi ile derinlik verisini içeren 16 bitten oluşmaktadır. İlk 13 bit uzaklığın milimetre cinsinden değerini tutmakta, son 3 bit ise kullanıcının indeksini tutmaktadır. "0" o piksel konumunda hiç bir kullanıcının olmadığını, "1" ile "6" arasındaki değerler ise kullanıcının indeksini gösterir [27].

### 2.1.1.2 RGB-D kamera ile Renkli Görüntü Alımı

RGB-D kamera, aynı anda yalnızca bir çözünürlük ve format kullanılmak üzere, farklı çözünürlük ve formatta renkli veri görüntü verisi sağlayabilmektedir. Format, renkli görüntü veri akışının RGB, YUV veya Bayer'den hangisi ile kodlanmış olduğunu gösterir. Çözünürlük ise, veri aktarımında kullanılan bant genişliğinin ayarlanmasında etkilidir. Yüksek çözünürlüklü görüntüler resim başına daha fazla veri gönderip resmi daha seyrek güncellerken, düşük çözünürlüklü görüntüler resmi daha sık günceller ama resim kalitesi sıkıştırılmadan ötürü daha düşüktür [28].

RGB görüntü formatında 640\*480 piksel çözünürlükte saniyede 15 veya 30 resim, 1280\*960 piksel çözünürlükte ise saniyede 12 resim veri gönderilmektedir. Her piksel 32 bit ile gösterilmektedir. 32 bit verinin ilk 8 bit'i boş olup, ardından sırasıyla 8 bit kırmızı, 8 bit yeşil, kalan 8 bit ise mavi renk bilgisini tutar.

YUV görüntü formatında 640\*480 piksel çözünürlükte saniyede 15 resim veri gönderilmektedir. YUV görüntü formatında renk ve parlaklık bilgisi birbirinden ayrı tutulmakta olup "Y" parlaklığı, "UV" ise rengi temsil etmektedir. YUV görüntü formatı için 4:4:4, 4:2:2, 4:2:0 gibi çeşitli örnekleme metodu [29] olmasına rağmen, RGB-D kamera 4:2:2 örnekleme metodunu kullanmaktadır. Bu yöntemde parlaklık bilgisi için renk bilgisine göre daha fazla bant genişliği ayrılır. Parlaklık değerinin her 4 örneğine karşı, "U" ve "V" için 2'şer örnek bulunur [28]. Her piksel Şekil 2.8'deki gibi UYVY formatında 16 bit ile gösterilmektedir.



Şekil 2.8 UYVY formatı [29]

Bayer görüntü formatında 1280\*960 piksel çözünürlükte saniyede 12 resim, 640\*480 piksel çözünürlükte saniyede 30 resim veri gönderilmektedir [30]. Her piksel 32 bit ile gösterilmektedir. 32 bit verinin ilk 8 bit'i boş olup, ardından sırasıyla 8 bit kırmızı, 8 bit yeşil, kalan 8 bit ise mavi renk bilgisini tutar.

Bayer formatındaki görüntü, mavi ve kırmızı piksellere oranla daha fazla yeşil piksel değeri içermesi sayesinde, insan gözünün fizyolojik yapısına daha uygundur. Görüntünün Bayer renk filtresi [31] ile alınıyor olmasından dolayı yeşil piksel değerleri daha fazladır [28].

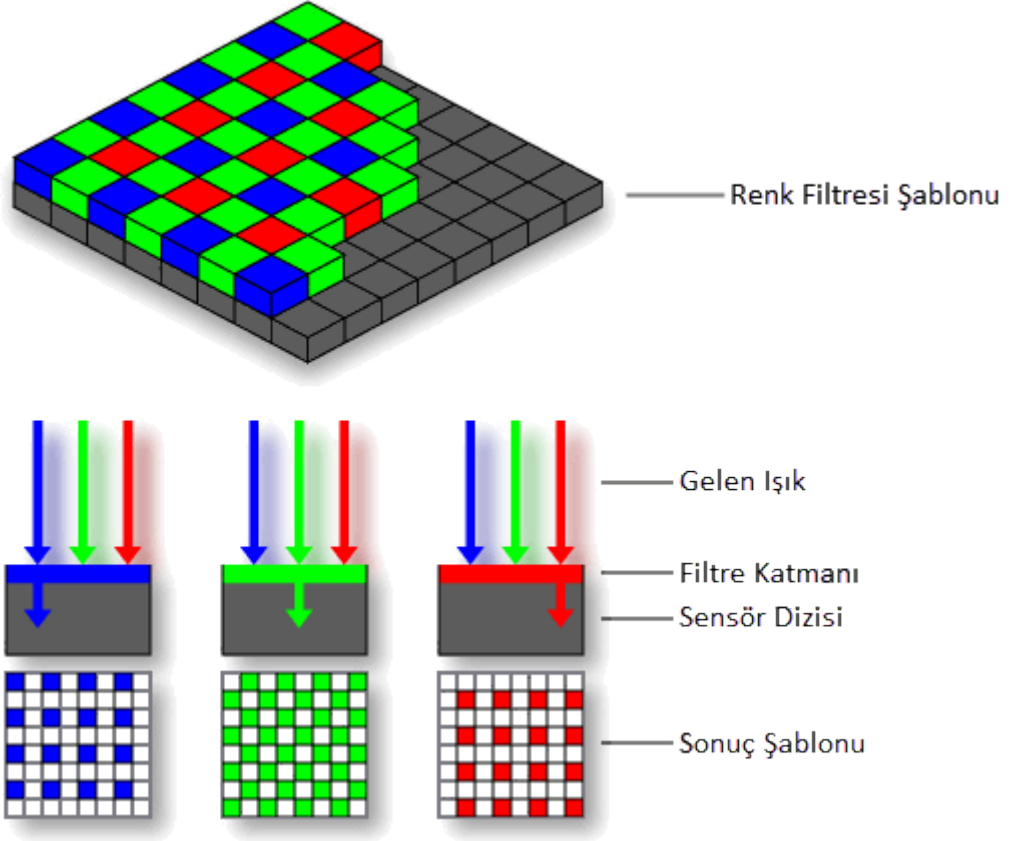
### **Bayer Renk Filtresi**

Bayer renk filtresi renkli görüntü alımı için yaygın kullanılan bir formattır [31]. Renk filtresinin şablonu, Şekil 2.9'da görüldüğü gibi her mavi (B) ve kırmızı (R) için birer adet yeşil (G) ışık algılayıcıdan oluşmaktadır [32].



Şekil 2.9 Bayer renk filtresi şablonu [32]

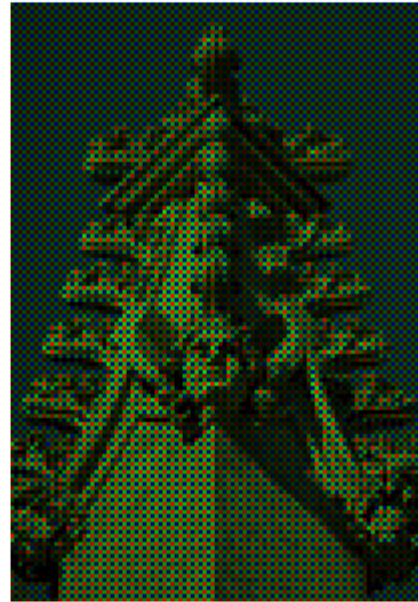
Renk ışık algılayıcıları, ışığın sadece belirli renklerini geçirirken, diğer renklerini geçirmez. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi, renk filtresi dizisi şablonundaki ışık algılayıcılarının olduğu alanlarda ışığın sadece belirtilen rengi geçmekte ve sadece o rengin oluşması sağlanmaktadır. Şekil 2.11'de Bayer filtresi ile alınan renkli görüntü, şablondaki yeşil renk ışık algılayıcılarının daha fazla olmasından dolayı, yeşil renk ağırlıklı olarak görülmektedir.



Şekil 2.10 Bayer filtresi [33]



Orjinal Sahne



Bayer Filtresi ile Alınan Görüntü

Şekil 2.11 Bayer filtresi ile alınan renkli görüntü [34]

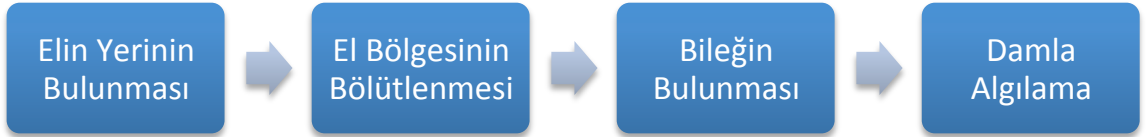


## 2.2 Elin Bölütlenmesi

Bu çalışmada el şekli tanınması yapılacağı için, tüm görüntünün işlemde kullanılması yerine, sadece el ile ilgili olan alan görüntüden çıkartılarak görüntü işleme yapılacak alan daraltılıp, işlem hızının artırılması düşünülmüştür.

İskelet alma fonksiyonu ile bulunan el koordinatlarından faydalanılarak elin görüntüden çıkarılması için renkli kamera yerine derinlik kamerasından gelen görüntü bilgisinin kullanılması uygun görülmüştür. Bu işlem için de saniyede 30 kare 640\*480 piksel çözünürlükteki derinlik görüntüleri kullanılmıştır.

El görüntüsünü görüntüden çıkarma işlemi için, Şekil 2.12’de görüldüğü gibi, ilk olarak elin yeri bulunmuştur. El bölgesi, el noktasının koordinat bilgileri ve deneylerle belirlenmiş eşik değerleri kullanılarak, derinlik görüntüsünün ikili görüntüye dönüştürülmesi ile bölütlenmiştir. Bölütlenmiş el görüntüsü içerisinde elin yanı sıra kolun bir kısmının da yer aldığı gözlemlendiğinden, bileğin bulunmasıyla el ve kol bölgesinin birbirinden ayrılabilceği düşünülmüştür. Son olarak ikili görüntü formatında bölütlenmiş görüntü üzerinde, damla algılama [35] yöntemi ile el görüntüsü bulunarak, görüntüde sadece el kalacak şekilde görüntü kırılmıştır.



Şekil 2.12 Elin bölütlenmesi

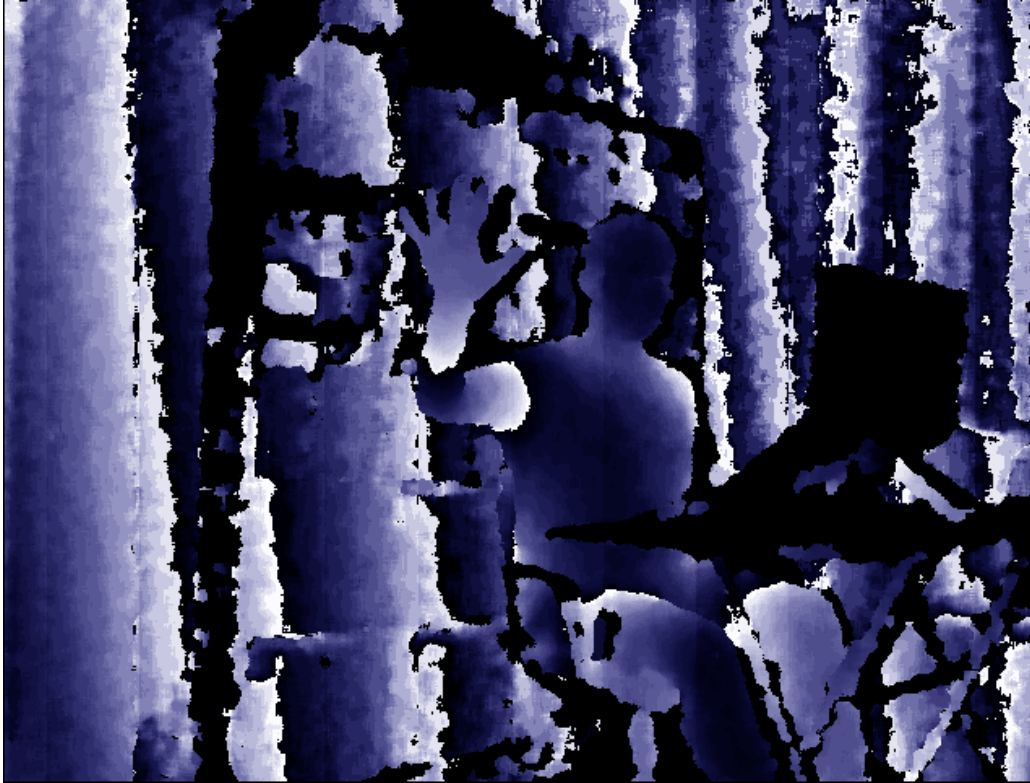
### 2.2.1 Elin Yerinin Bulunması

Elin yeri, iskelet izleme fonksiyonundan alınan iskelet verisi ile bulunmaktadır. Uygulamanın kameraya en yakın kişi tarafından kullanılacağı varsayılmıştır. Bu nedenle, elin şeklinin sisteme tanıtıldığı ilklendirme aşamasında, iskelet izleme fonksiyonunun takip ettiği kişilerden, Z eksenine göre eli RGB-D kameraya en yakın kişi geçerli kullanıcı olarak kabul edilir. Bu kişinin de Z eksenine göre RGB-D kameraya en yakın eli, programı yönlendirecek el olarak seçilir. İlklendirme işleminden sonra, sadece sisteme tanıtılan el takip edilmekte ve bu elin şekli için tanıma yapılmaktadır. İlklendirme işleminde sisteme tanıtılması gereken elin şekli, Şekil 2.13’de gösterilmektedir.



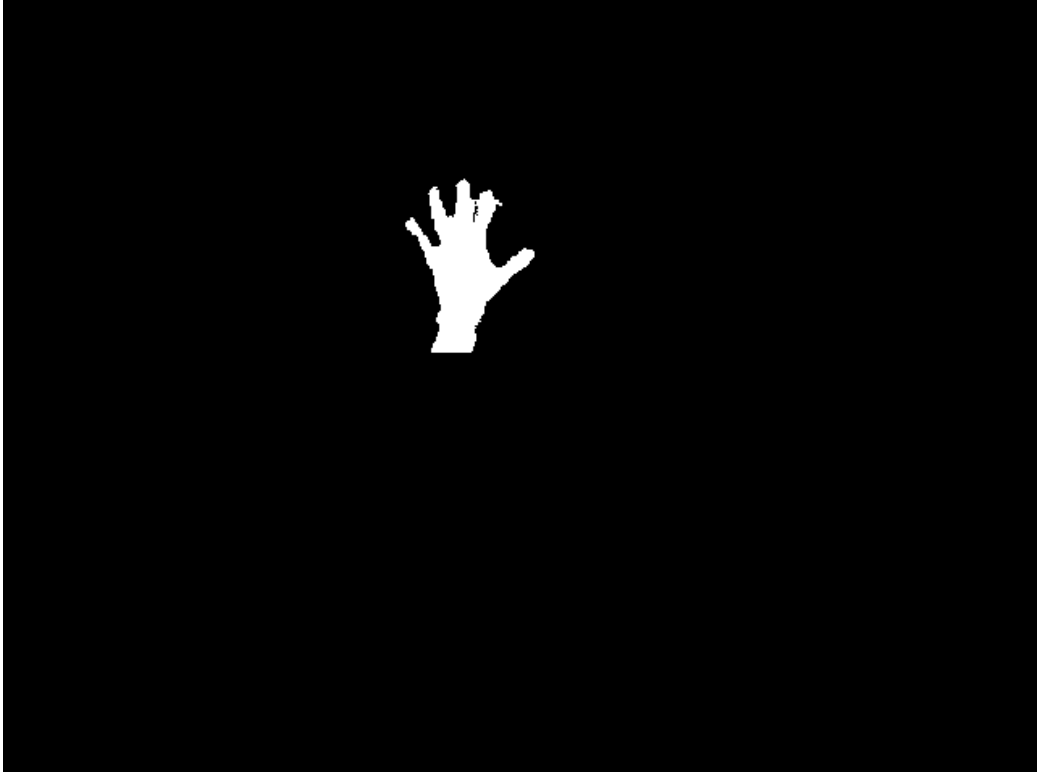
Şekil 2.13 Sisteme ilklendirilmesi gereken el şekli

### 2.2.2 El Bölgesinin Bölütlenmesi



Şekil 2.14 Bölütleme öncesi derinlik görüntüsü

RGB-D kameradan alınan derinlik görüntüsünde el görüntüsünün yanı sıra, Şekil 2.14'deki gibi kameranın görüş alanındaki diğer nesnelere de yer almaktadır. El görüntüsünün bölütlenmesi için Şekil 2.15'deki gibi el bölgesi, el noktasının koordinat bilgileri ve deneylerle belirlenmiş eşik değerleri kullanılarak, derinlik görüntüsünün ikili görüntüye dönüştürülmesi ile bölütlenmiştir.



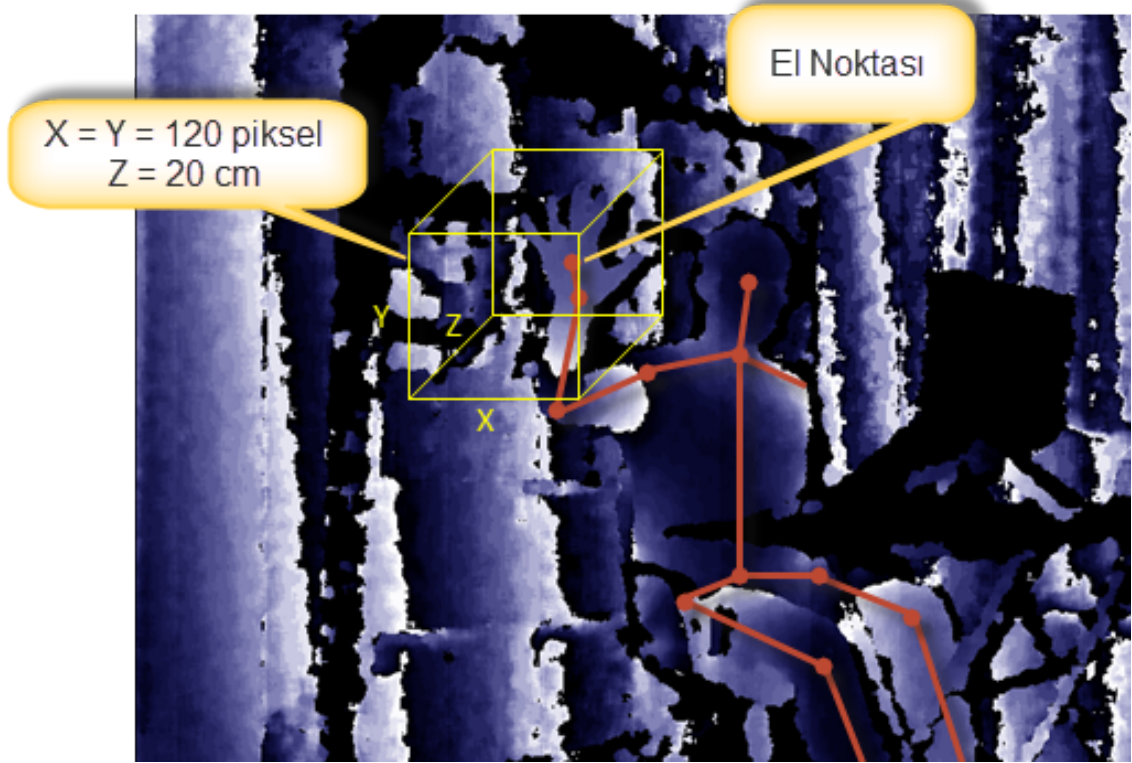
Şekil 2.15 İkili formatta bölütlenmiş el görüntüsü

RGB-D kamera sensörün güvenilir maksimum ve minimum derinlik eşiği (800 mm – 4000 mm) ile iskelet üzerinden alınan el koordinatı ile oluşturulan eşik değerinin kullanılmasının, derinlik görüntüsünü bölütleyerek ikili görüntüye dönüştürmek için yeterli olduğu görülmüştür. Kinect yazılım kitinin iskelet bulma fonksiyonundan alınan eklemlerin (Şekil 2.4) koordinat bilgilerinden Z ekseninde kameraya en yakın olan elin koordinat bilgileri kullanılarak, derinlik görüntüsünü oluşturan pikselleri bölütlemek için X, Y ve Z koordinatlarında eşik değerleri belirlenmiştir.

Yapılan deneylerde derinlik görüntüsündeki el ve parmakların, RGB-D kameranın derinlik sensörünün güvenilir maksimum ve minimum değerleri arasında kalmak koşulu ile, iskelet üzerinden alınan el noktasının Z koordinatından +10 cm ve -10 cm derinlik aralığında yer aldığı belirlenmiştir. Aynı deneylerde derinlik görüntüsünde el ve parmakların, görüntünün sınırları içerisinde kalmak koşulu ile, iskelet üzerinden alınan el noktasının X ve Y koordinatlarından en fazla +60 piksel ve -60 piksel aralığında yer aldığı belirlenmiştir.

Derinlik görüntüsündeki bir pikselin, derinliği iskelet üzerindeki el noktasının Z koordinatının +/- 10 cm aralığında, X koordinatı iskelet üzerindeki el noktasının X

koordinatının +/- 60 piksel aralığında ve Y koordinatı da iskelet üzerindeki el noktasının Y koordinatının +/- 60 piksel aralığında ise bu piksel ele ait kabul edilmiştir. Eğer piksel bu koşulu sağlamıyorsa, piksel arka plan olarak kabul edilmiştir. Şekil 2.16'daki gibi derinlik görüntüsü eşik değerler ile bölütlendikten sonra oluşan ikili görüntü Şekil 2.15'de gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Derinlik görüntüsünün bölütlenmesi

### 2.2.2.1 İkili Görüntüler

İkili görüntüler, her pikselin 1 bit (0 veya 1) ile gösterildiği sayısal görüntülerdir [36]. Görüntüde nesnelere için kullanılan renk ön plan, görüntünün kalanı ise arka plan olarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada ikili görüntüye dönüştürme, arka plan ve ön plan nesnelere birbirinden ayırmak için kullanılmıştır. Bu işlem bölütleme, iskeletleme veya eşik değeri kullanarak renk kodlarını iki sınıfa ayırma olabilir. Eşik değeri kullanılarak ikili görüntüye dönüştürme işleminde, renk kodlarını iki gruba ayıracak eşik değeri belirlenir. Eşik değerinin altındakiler arka plandaki nesnelere, üzerindeki ise ön plandaki nesnelere gösterir.

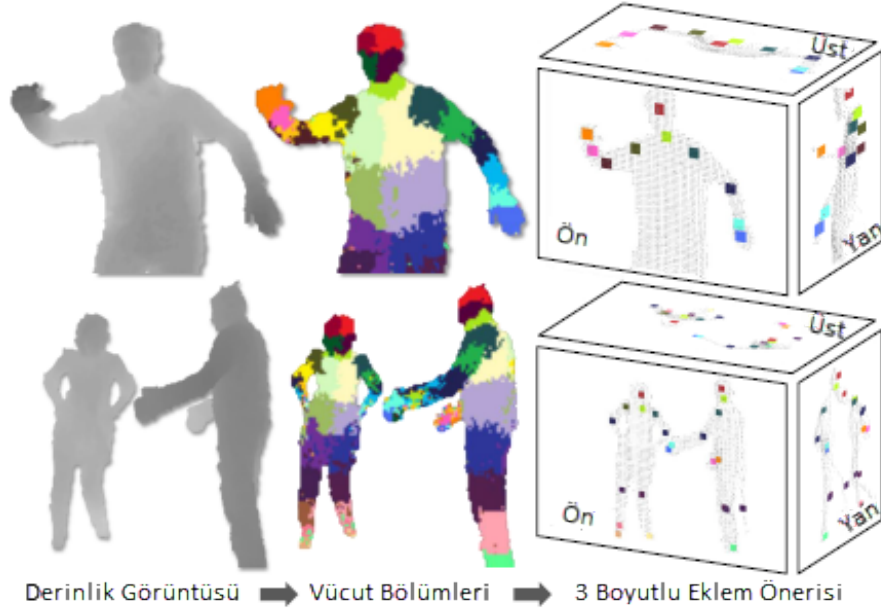
### 2.2.2.2 Kinect İskelet Çıkarma Fonksiyonu

Görüntüdeki kişilerin iskelet bilgileri, “Kinect for Windows SDK” yazılım geliştirme kitindeki “Skeleton” sınıfından alınmaktadır. “Skeleton” sınıfı, iskelet hakkındaki bilgileri şu özellikleri ile sağlamaktadır [37]:

- “BoneOrientations”: İskeletin yönünün alınmasını sağlar,
- “ClippedEdges”: İskelet verisi ile kesişen derinlik görüntüsünün kenar bilgilerinin alınmasını ya da belirlenmesini sağlar,
- “Joints”: İskeletin eklem bilgilerinin alınmasını ya da belirlenmesini sağlar. Her eklem bilgisi, eklem tipini, pozisyonunu ve takip edilip edilmediğini içerir,
- “Position”: İskeletin pozisyonunun alınmasını ya da belirlenmesini sağlar,
- “TrackingId”: Takip edilen her iskelet için benzersiz olan takip kimliğinin alınmasını ya da belirlenmesini sağlar,
- “TrackingState”: İskelet verisinin takip edilme durumunun alınmasını ya da belirlenmesini sağlar.

Kinect RGB-D kamera , eklemlerin üç boyutlu pozisyon bilgilerini, tek derinlik görüntüsü kullanarak nesne tanıma yöntemi ile çıkarmaktadır.

Zor pozların çıkarımı sorununu çözebilmek için ara vücut bölümü temsilleri tasarlanmıştır. Görüntüyü oluşturan pikseller, piksel bazında derin rastgele karar ormanı (deep randomized decision forest) [38] ile sınıflanarak, olasılıksal olarak vücut bölümü etiketleri -eklemlere yakın olan tanımlı vücut bölüm isimleri- ile bölütlenmiştir. Her pikselin ayrı değerlendirilmesi farklı eklemler üzerinde birleşimsel arama yapılmasını engellemiş; ancak aynı vücut bölümünün bağlamsal görünümü içerisinde çeşitli farklılıkların oluşmasına neden olmuştur. Her eklem için üç boyutlu konum bilgisinin çıkarımı için bölütlenmiş parçaların konumlarını belirten orta noktaları, orta kaydırma (mean shift) algoritması ile alınarak Şekil 2.17’deki gibi güven ağırlıklı konum önerileri oluşturulmuştur.



Şekil 2.17 Piksel bazında sınıflama ile vücut bölümü çıkarımı [39]

Eğitim verisi için, çeşitli şekil ve büyüklükteki insanların, çeşitli varyasyonlardaki pozlarını içeren gerçeğe uygun yapay derinlik görüntüleri oluşturulmuştur. Derin rastgele karar ormanının, büyük ölçekli ve yüksek varyasyondaki yüz binlerce eğitim görüntüsü ile eğitilmesi sayesinde vücut bölümleri poz, vücut şekli, kıyafet gibi değişkenlerden etkilenmeden sınıflandırılabilir [39].

### Vücut Bölümü İsimlendirmesi

Ara vücut bölümü temsili, uygulamanın ana parçasını oluşturmaktadır. Şekil 2.18’de gösterildiği gibi vücudu kaplayan çeşitli vücut bölümü etiketleri tanımlanmıştır. Bu etiketlerden bazıları doğrudan eklemleri lokalize ederken, diğerleri boşlukları doldurmakta ya da diğer etiketlerle kombinasyonlar şeklinde diğer eklemlerin tahmininde kullanılabilir [39].

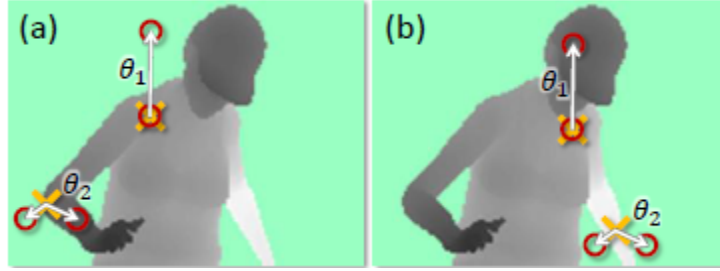


Şekil 2.18 Yapay ve gerçek derinlik görüntüleri ve etiketlenmiş vücut bölümleri [39]

## Derinlik Görüntüsü Özellikleri

Bir  $x$  pikselinin derinlik bilgisini karşılaştırabilmek için oluşturulan özellikler (2.1) denklemi ile hesaplanmaktadır.  $d_I(x)$ ,  $I$  görüntüsündeki  $x$  pikselinin derinliğini;  $\theta = (u, v)$  ise  $u$  ve  $v$  konumlarını gösterir. Vücut üzerindeki bir nokta için, pikselin kameradan uzak ya da yakın olduğunu gösteren dünya uzayındaki sabit  $u$  ve  $v$  konumlarının  $\frac{1}{d_I(x)}$  ile normalize edilmesi, özelliklerin derinlikten bağımsız olmasını sağlar. Bu sayede, özellikler ölçekli perspektif etkilerinden (modulo perspective effects) etkilenmez. Eğer bir konum pikseli ( $u$  veya  $v$ ) arka planda ya da görüntünün sınırları dışındaysa,  $d_I(x')$  derinlik araştırmasına büyük bir pozitif sabit değer verilir [39].

$$f_{\theta}(I, x) = d_I\left(x + \frac{u}{d_I(x)}\right) - d_I\left(x + \frac{v}{d_I(x)}\right) \quad (2.1)$$

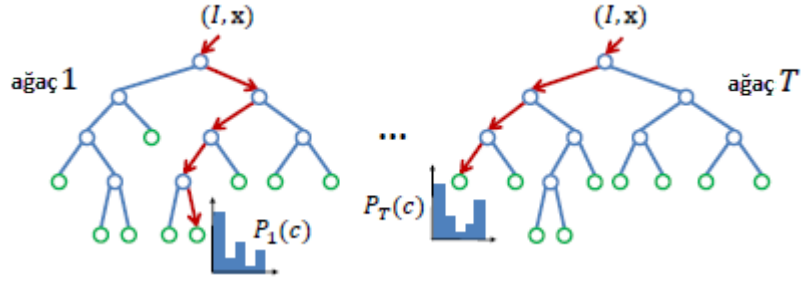


Şekil 2.19 Derinlik görüntüsü özellikleri [39]

Şekil 2.19,  $x$  piksel konumlarındaki farklı iki özelliği göstermektedir. Sarı çarpılar sınıflanan pikseli gösterirken, kırmızı daireler (2.1) denklemdeki konum piksellerini göstermektedir. (2.1) denklemi ile, Şekil 2.19(a)'daki iki örnek özellik için derinlik farkı yüksek sonuçlar oluşurken; aynı özellikler için Şekil 2.19(b)'deki gibi farklı görüntü konumlarında, derinlik farkı daha düşük sonuçlar oluşur.  $f_{\theta_1}$  özelliği yukarıya doğru baktığı için (2.1) denklemi, vücudun üst kısımlarına yakın  $x$  piksellerinde büyük bir pozitif değer üretirken, vücudun alt kısmındaki  $x$  pikselleri için 0'a yakın bir değer üretecektir.  $f_{\theta_2}$  özelliği ise, kol gibi dikey yapıları bulmaya yardımcı olacaktır [39].

Tek başına değerlendirildiğinde pikselin hangi vücut bölümüne ait olduğuna dair küçük bir ipucu veren bu özellikler, karar ormanındaki kombinasyonlarıyla, eğitilen bölümlerin düzgün olarak tanınmasında yeterli olmuştur [39].

## Rastgele Karar Ormanı



Şekil 2.20 Rastgele karar ormanı [39]

Bir karar ormanı, Şekil 2.20'deki gibi  $T$  karar ağacı grubundan; her ağaç da birbirinden  $f_\theta$  özelliği ve  $T$  eşik değerinden oluşan ayrı yaprak düğümlerden oluşur.  $I$  görüntüsündeki  $x$  pikselini sınıflandırabilmek için, kök düğümden başlanarak (2.1) denklemi tekrarlı olarak uygulanıp  $T$  eşik değerine göre ağaçta sola ya da sağa dallanılır.  $t$  ağacındaki yaprak düğüme erişildiğinde,  $c$  vücut bölümü etiketi için öğrenilen  $P_t(c|I, x)$  dağılımı saklanır. (2.2) denklemi ile ormandaki tüm ağaçların dağılımının ortalaması alınarak sonuç olarak belirlenecek sınıfın dağılımı bulunur [39].

$$P(c|I, x) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T P_t(c|I, x) \quad (2.2)$$

Her ağacın eğitiminde, rastgele seçilmiş farklı yapay görüntü setleri kullanılmış, vücut bölümlerinin eşit olarak dağılımını sağlayabilmek için de her görüntüden rastgele 2000 piksel seçilmiştir. Her ağaç aşağıdaki algoritma ile eğitilmiştir [38]:

1. Bir dizi  $\emptyset = (\theta, T)$  ayırıcı adayı ( $\theta$  özellik parametreleri,  $T$  eşik değeri) rastgele belirle.
2.  $Q = \{(I, x)\}$  örnek grubunu, her  $\emptyset$  için sol ve sağ alt kümelere ayır:

$$Q_l(\emptyset) = \{(I, x) | f_\theta(I, x) < T\} \quad (2.3)$$

$$Q_r(\emptyset) = Q / Q_l(\emptyset) \quad (2.4)$$

3. Bilgideki en fazla kazancı sağlayan  $\emptyset'$  yi hesapla:

$$\emptyset^* = \operatorname{argmax}_{\emptyset} G(\emptyset) \quad (2.5)$$

$$G(\emptyset) = H(Q) - \sum_{s \in \{l, r\}} \frac{|Q_s(\emptyset)|}{|Q|} H(Q_s(\emptyset)) \quad (2.6)$$



Shannon entropisi  $H(Q)$ , her  $(I, x) \in Q$  için  $l_I(x)$  vücut bölümü etiketlerinin normalleştirilmiş histogramları kullanılarak hesaplanır.

4. Eğer en büyük kazanç  $G(\emptyset^*)$  yeterli ve ağaçtaki derinlik bir maksimum değerini atıyorsa, sol ( $Q_l(\emptyset^*)$ ) ve sağ ( $Q_r(\emptyset^*)$ ) alt kümeler için yinelemeye devam et.

### İskelet Pozisyonu Önerisi

Eklemlerin üç boyutlu pozisyonlarının bulunabilmesi için piksel bazındaki bilgilerin tüm piksellerle bir araya getirilmesi gerekir. Bunun için orta kaydırma algoritması ile ağırlıklı Gauss çekirdeğine dayalı orta alma işlemi uygulanmıştır [39].

Vücut bölümleri için (2.7) denklemindeki gibi yoğunluk kestiricisi tanımlanmıştır [39].

$$f_c(x) \propto \sum_{i=1}^N \omega_{ic} \exp\left(-\left\|\frac{x-x_i}{b_c}\right\|^2\right) \quad (2.7)$$

$x$  üç boyutlu dünya uzayındaki koordinatı,  $N$  görüntüdeki piksel sayısını,  $\omega_{ic}$  piksel ağırlığını,  $x_i$   $x_i$  görüntü pikselinin  $d_I(x_i)$  derinliğindeki dünya uzayına yeniden yansıtılmasını ve  $b_c$  de vücut bölümü için öğrenilen bant genişliğini göstermektedir.  $\omega_{ic}$  piksel ağırlığı hem pikseldeki çıkarılmış vücut bölümü olasılığını, hem de pikselin dünya yüzeyi alanını hesaba katar [39]:

$$\omega_{ic} = P(c|I, x_i) \cdot d_I(x_i)^2 \quad (2.8)$$

Bu işlem, kestirilen yoğunluğun derinlikten bağımsız olmasını garanti eder ve tahmin edilen eklem doğruluğunda küçük ama önemli bir gelişme sağlar. Vücut bölümünün tanımına bağlı olarak sonsal  $P(c|I, x)$ , küçük bir vücut bölümleri grubunun bir araya getirilmesi ile oluşmuş olabilir. Örneğin, insanın başını çevreleyen dört vücut bölümü, başın eklem bilgisini oluşturmak için birleştirilmiştir [39].

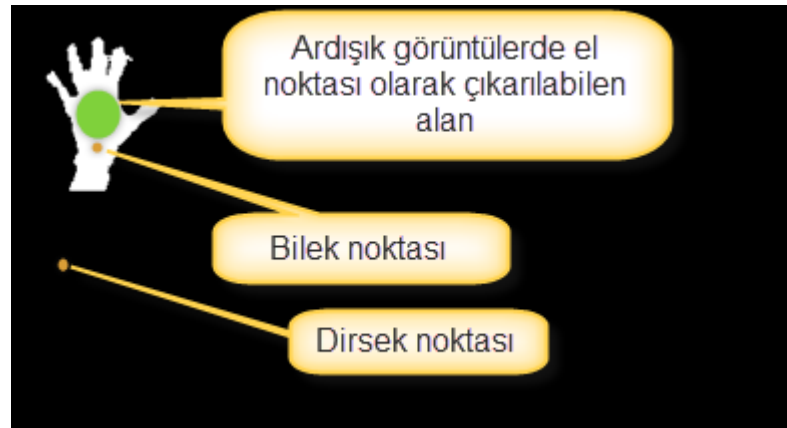
Yoğunlukların orta değerlerinin efektif olarak bulunabilmesi için, orta kaydırma algoritması kullanılmıştır. Öğrenilen bir  $\lambda_c$  eşik değerinin üzerindeki tüm pikseller  $c$  bölümünün başlangıcı olarak kullanılmıştır. En son güvenilir tahmin, her orta değerine ulaşan piksel ağırlıklarının toplamı olarak verilmiştir. Bu işlem, yoğunlukların ortalaması alınarak tahmin oluşturulmasından daha güvenilir sonuç vermektedir [39].

Eklemi oluşturmak için belirlenen orta değerleri vücudun yüzeyinde yer almaktadır. Bu yüzden, bulunan her orta değeri, öğrenilen bir z konumu  $\zeta_c$  ile sahneye ötelenerek eklem pozisyonunun son hali verilmiştir [39].

### 2.2.3 Bileğin Bulunması

Bölütlenerek bulunan el bölgesinde, el ile beraber kolun bir bölümünün de yer aldığı gözlemlenmiş (Şekil 2.15), el şeklinin yorumlanmasında bu şekillerin kullanılması hatalı sonuçların alınmasına neden olmuştur. Bu nedenle, el şeklinin yorumlanmasında başarı oranını arttırabilmek için elin gerçek şeklinin çıkarılmasını sağlayan ikinci bir işleme ihtiyaç duyulmuştur.

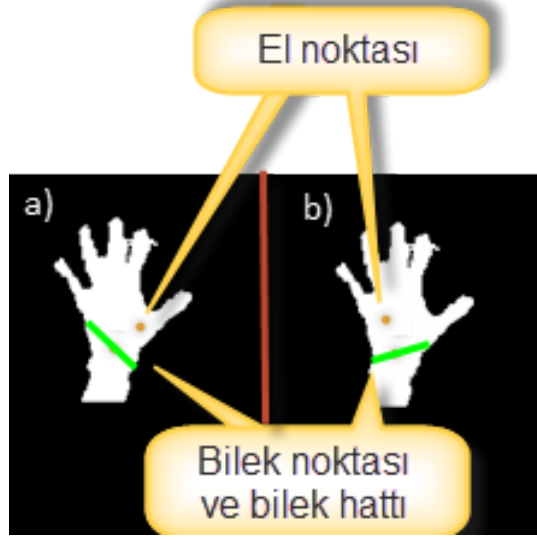
El bileği, pozisyonu itibari ile eli ve kolu birbirinden ayıran bir hat şeklindedir. Eğer el bileği tespit edilebilirse, elin kolaylıkla koldan ayrılabilceği görülmüştür.



Şekil 2.21 Sabit el için farklı resimlerde el, bilek ve dirsek bilgilerinin yer aldığı alanlar

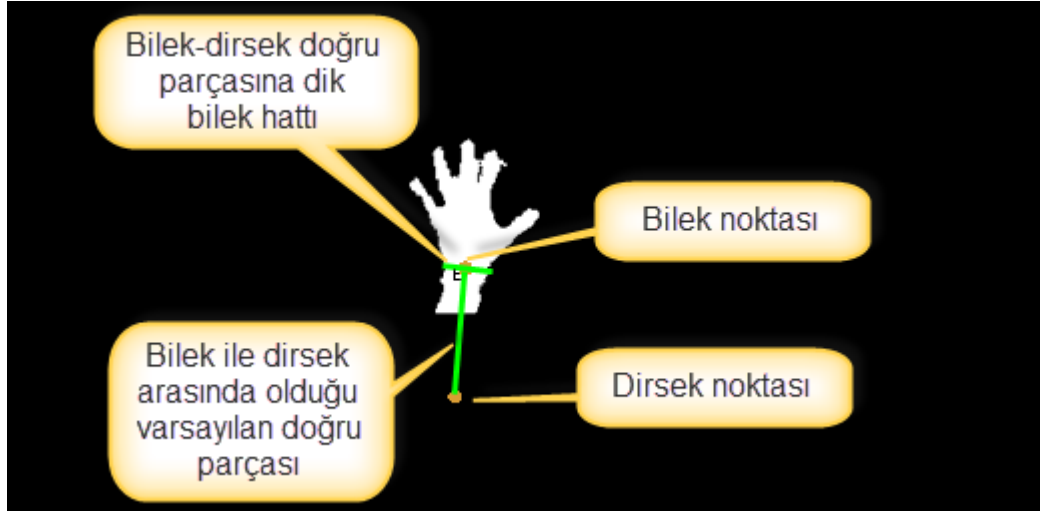
El bileği hattının, elin rotasyonundan bağımsız olarak belirlenebilmesi için RGB-D kameranın yazılım geliştirme kitindeki iskelet izleme fonksiyonundan alınan el ve bilek noktalarının (Şekil 2.4) kullanılabileceği düşünülmüştür. Ancak iskelet izleme fonksiyonu, bilek noktasını tutarlı olarak belirlemesine rağmen, el noktasını tutarlı olarak belirleyememektedir.

Elin sabit olarak tutulduğu farklı görüntülerde el noktası, Şekil 2.21’de yeşil daire ile gösterilen alan içerisinde farklı noktalarda önerilebilmektedir. El pozisyonu ve şekli sabit kalmak koşulu ile iskelet izleme fonksiyonunun farklı görüntülerde önerdiği el noktasının birbirinden farklı konumlarda olması durumunda, el ve bilek noktası ile oluşturulan bilek hattı Şekil 2.22’deki gibi birbirinden farklı bulunacaktır.



Şekil 2.22 El noktasının farklı konumlarda önerilmesi ile oluşan bilek hatları

RGB-D kamera, iskelet izleme fonksiyonu ile dirsek noktasını da bilek noktası gibi Şekil 2.21'deki gibi tutarlı olarak önerebilmektedir. Bu nedenle, aynı el şeklinin bilek hattını farklı görüntülerde düzgün olarak belirleyebilmek için bilek ve dirsek noktaları kullanılmıştır.



Şekil 2.23 Bilek hattının bulunması

Bilek hattı, Şekil 2.23'deki gibi bilek ve dirsek noktaları arasında oluşan doğru parçasına dik, bilek noktasından geçen doğru olarak tanımlanmış ve bilek hattının oluşturulmasında aşağıdaki yöntem kullanılmıştır:

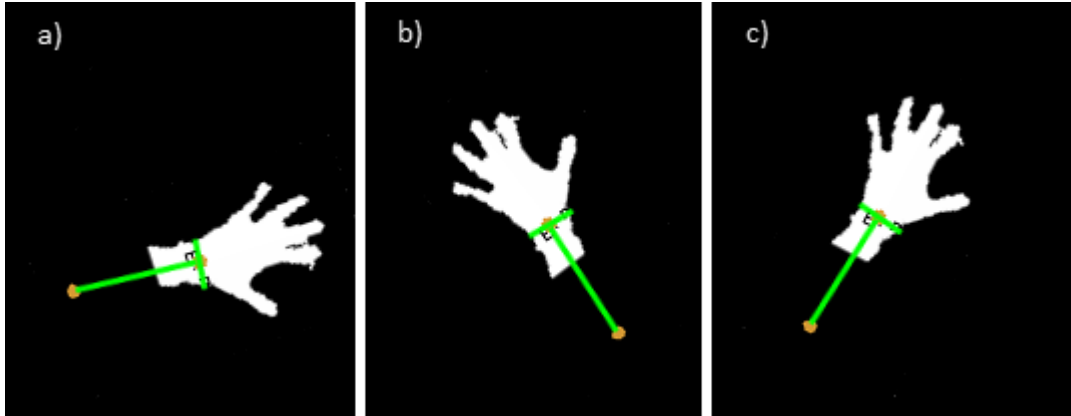
- Kinect iskelet izleme fonksiyonundan bilek ve dirsek pozisyonlarını al,
- Şekil 2.23'deki gibi bilek ve dirsek noktaları arasında bir doğru parçası oluştur,

- Şekil 2.23'deki gibi bilek-dirsek doğru parçasına dik, bilek noktasından geçen 3 piksel kalınlığında bir doğru oluştur,
- 3 piksel kalınlığındaki doğrunun geçtiği, ön plan olarak bölütlenen, pikselleri arka plan olarak bölütle (Şekil 2.24).



Şekil 2.24 Bilek hattı ile bölütlenmiş el ve kol görüntüsü

Bilek hattı, bilek ve dirsek noktaları kullanılarak belirlendiği için, elin her zaman dirsek doğrultusunda tutulduğu, bileğin hareket ettirilmediği varsayılmaktadır. Bilek hattı, omzun ve dirseğin hareketlerinden bağımsız olarak Şekil 2.25'deki gibi elin farklı açılardaki pozisyonu için doğru bir şekilde oluşturulacaktır; ancak bileğin hareket ettirilmesi durumunda oluşturulan bilek hattı doğru pozisyonu yansıtmayabilir.



Şekil 2.25 Omuz ve dirseğin hareketlerinden etkilenmeyen bilek hattı

Bilek çizgisinin bilek hareketlerinden de bağımsız olabilmesi için, gelecek çalışmalarda, eli temsil edecek el noktasının (avuç içi merkez noktası kullanılabilir) görüntü işleme teknikleri ile belirlenmesi gerekmektedir. Bu sayede, el ve bilek noktalarından geçen doğruya dik, bilek noktasından geçen doğru, elin bilekten yapılan hareketlerinden bağımsız olarak bilek çizgisini her zaman doğru olarak belirleyecektir.

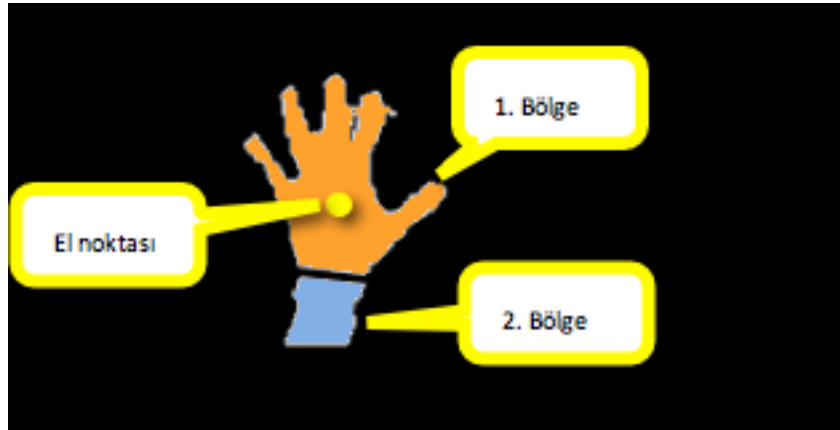
#### 2.2.4 Damla Algılama

Damla algılama, çevresindeki piksellerden renk veya parlaklık bakımından farklılık gösteren bölgelerin çıkarılması işlemidir [35].

Damla algılayıcı yöntemler iki ana sınıfa ayrılabilir: pozisyon ile ilgili fonksiyonun türevlerine dayalı diferansiyel yöntemler (Gauss Laplace [40]), fonksiyonun yerel maksimum ve minimumlarının bulunmasına dayalı yöntemler (maksimum istikrarlı uç bölgeleri (MSER) [41]). Bu yöntemler, ilgi noktası operatörleri veya ilgi bölgesi operatörleri olarak da adlandırılır [35].

Damla algılama için kullanılan yöntemlerden biri de, bu çalışmada da kullanılan, bağlı bileşen analizidir. İkili görüntü formatında bölütlenmiş el bölgesi görüntüsündeki ön plan piksellere bağlı bileşen analizi uygulanarak, görüntüdeki bölgeler etiketlenmektedir.

Etiketlenen bölgelerden Kinect iskelet bulma fonksiyonundan alınan el noktasını X ve Y koordinatlarına göre içine alan bölge, el olarak belirlenerek görüntüden bölütlenmektedir.



Şekil 2.26 Bağlı bileşen analizi ile bölgelere ayrılan ön plan pikseller

Şekil 2.24'deki gibi bölütlenmiş görüntüdeki ön plan piksellere bağlı bileşen analizi uygulanacak olursa, Şekil 2.26'daki gibi bilek hattı ile birbirinden ayrılan iki bölge oluşur. RGB-D kamera iskelet bulma fonksiyonundan alınan el noktası 1. bölge içerisinde yer aldığı için, bu bölge el görüntüsü olarak bölütlenir (Şekil 2.27).



Şekil 2.27 Damla algılama ile bulunan el görüntüsü

#### 2.2.4.1 Bağlı Bileşen Analizi

Bağlı bileşen analizi, bir görüntüdeki pikselleri, piksel bağlanabilirliklerine göre gruplama işlemidir [42]. Bir görüntü için piksel bağlanabilirliğini, piksellerin komşu olduğu piksellerle ortak özellikleri belirler. Bu çalışmada, piksellerin bağlı olma koşulu için renk bilgisi kullanılmıştır.

#### Piksel Bağlanabilirliği

Piksel bağlanabilirliği iki veya daha fazla pikselin ilişkisini tanımlar. İki pikselin bağlı olabilmesi için piksellerin renk değerlerinin ve komşuluklarının bazı koşulları sağlıyor olması gerekir [43].

İlk olarak, iki pikselin bağlı olarak kabul edilebilmesi için, her iki pikselin de renk değerleri aynı  $V$  değer kümesinden olması gerekir. Gri tonlu bir görüntü için  $V = \{22, 23, \dots, 40\}$  gibi herhangi bir gri ton aralığı olabilirken, ikili görüntü için bu değer  $V = \{1\}$ 'dir [43].

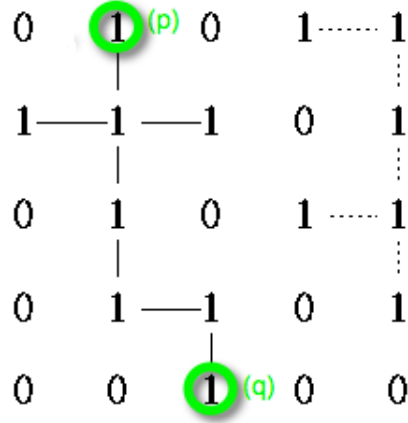
Komşuluk, ortama göre (2.9)'daki gibi 4-komşu ve (2.10)'daki gibi 8-komşu olabilir.  $(x, y)$  koordinatlarındaki  $p$  pikseli için komşuluk pikselleri [43]:

$$N_4(p) = \{(x + 1, y), (x - 1, y), (x, y + 1), (x, y - 1)\} \quad (2.9)$$

$$N_8(p) = N_4 \cup \{(x + 1, y + 1), (x + 1, y - 1), (x - 1, y + 1), (x - 1, y - 1)\} \quad (2.10)$$

Aynı  $V$  kümesinden renk değerine sahip  $p$  ve  $q$  pikselleri için:  $q$ ,  $N_4(p)$  kümesi içerisinde ise 4-bağlı;  $N_8(p)$  kümesi içerisinde ise 8-bağlı olarak adlandırılır [43].

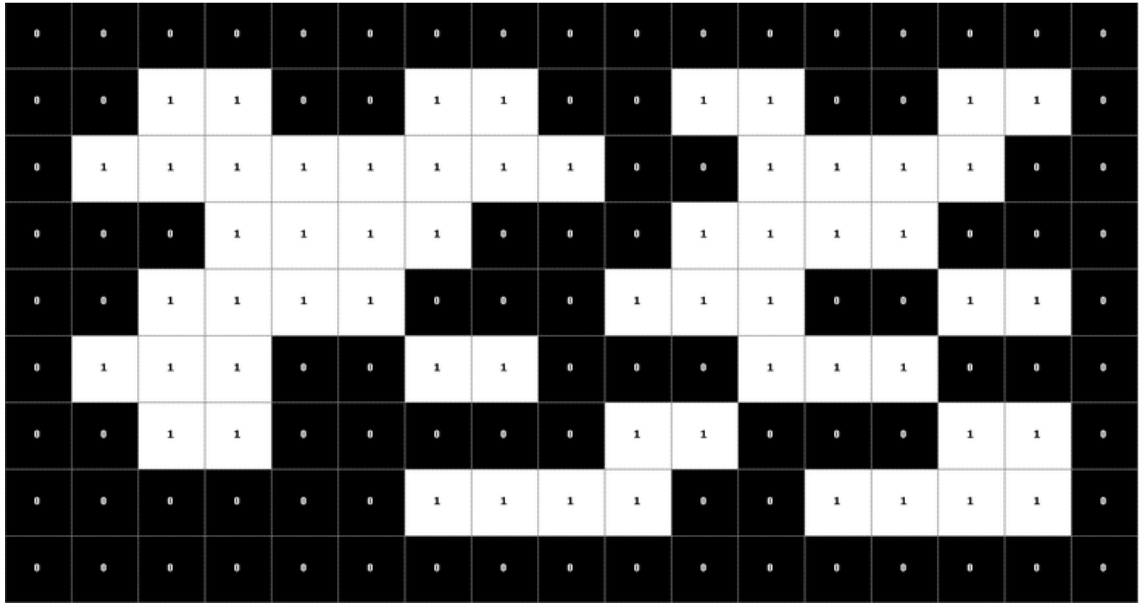
$p$  pikseli  $q$  pikseline 4-bağlı ise veya  $p$  pikseli  $q$  pikseline bağlı diğer bir piksele 4-bağlı ise,  $p$  pikseli  $q$  pikseline bağlıdır. Bir başka deyişle, Şekil 2.28'deki gibi  $p$ 'den  $q$ 'ya her pikselin bir sonrakine 4-bağlı olduğu bir yol varsa,  $p$  ve  $q$  pikselleri bağlıdır [43].



Şekil 2.28 4-bağlı bileşenler [43]

### İki Geçişli Bağlı Bileşen Etiketleme Algoritması

İki geçişli algoritmada [42] bağlı bileşenler, görüntüyü oluşturan 2 boyutlu matris üzerinden iki kere geçilerek etiketlenir. İlk geçişte geçici etiketler tanımlanır ve eşitlikler bulunur, ikinci geçişte ise geçici etiketler eşitlik sınıfındaki en küçük etiket ile değiştirilir.



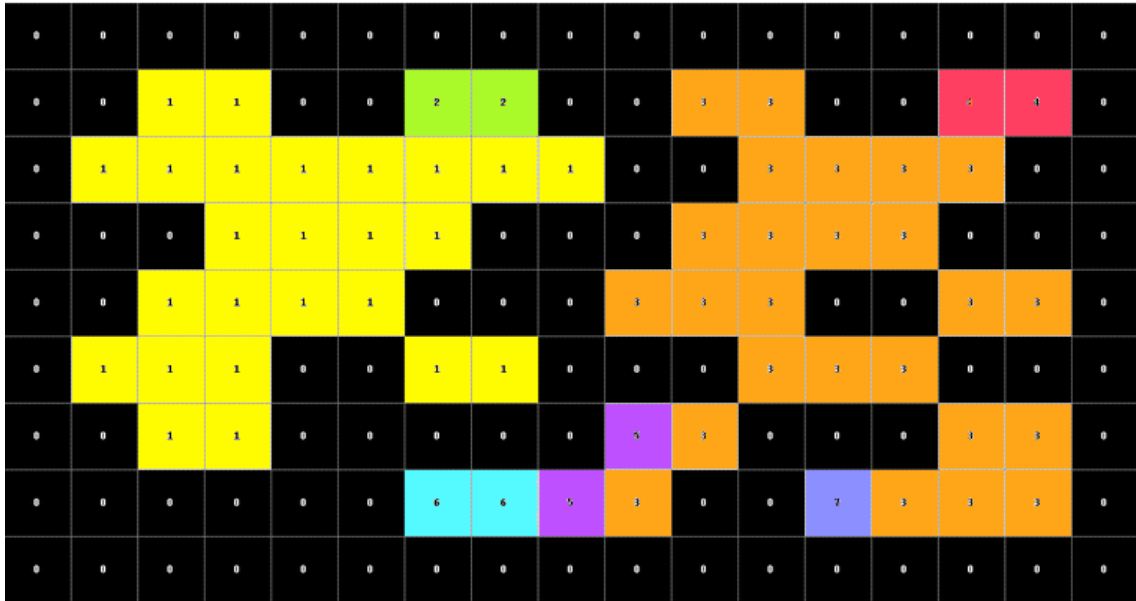
Şekil 2.29 8-bağlı bileşen analizi ile etiketlenecek ikili görüntü [44]

Bağlı bileşen analizinde (bu çalışmada 8-bağlı kullanılmıştır) görüntüyü oluşturan pikseller, aynı  $V$  kümesindeki (ikili görüntü üzerinde çalışıldığı için, bu çalışmada  $V = \{1\}$ 'dir) parlaklık değerlerine sahip komşu piksellerin bulunabilmesi için, yukarıdan aşağıya ve soldan sağa taranır. Görüntü satır boyunca taranırken  $p$  ön plan pikseli

bulunduğu zaman, daha önce işlenmiş komşu pikselleri  $((x - 1, y), (x - 1, y - 1), (x, y - 1), (x + 1, y - 1))$  ile karşılaştırılarak, bu piksele etiket ataması yapılır [45]:

- Eğer komşu dört pikseli de arka plan ise,  $p$  pikseline yeni bit etiket ata. Aksi takdirde,
- Eğer yalnızca bir komşu pikseli ön plan pikseli ise, bu pikselin etiketini  $p$  pikseline ata. Aksi takdirde,
- Eğer komşu piksellerden birden fazlası ön plan pikseli ise, herhangi bir pikselin etiketini  $p$  pikseline ata ve eşitlik bilgisini sakla.

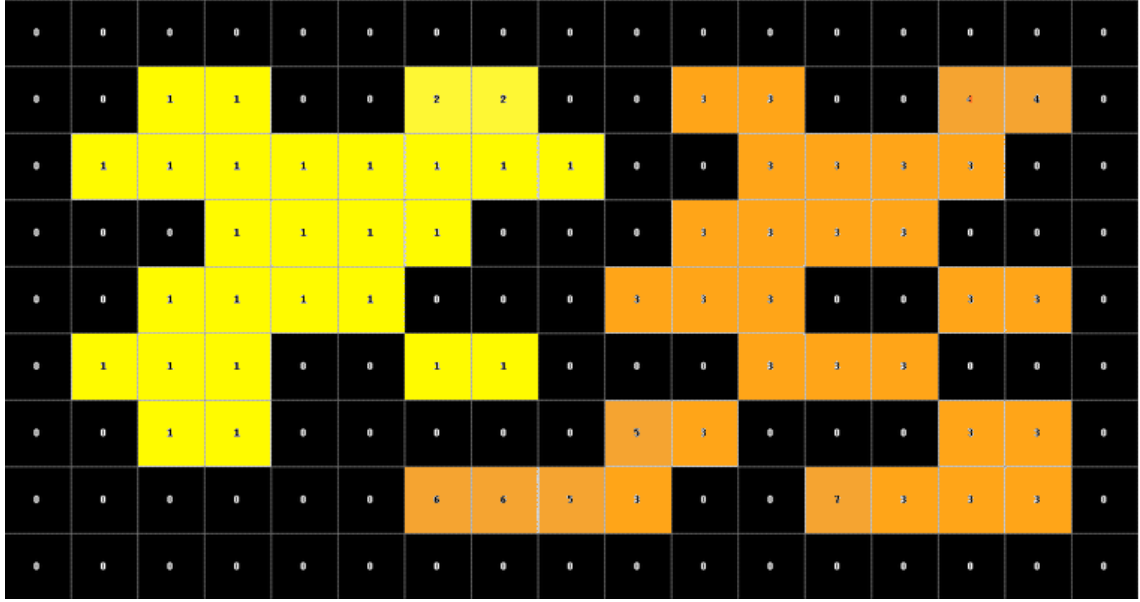
Şekil 2.29'daki görüntüye iki geçişli bağlı bileşen etiketleme uygulanırsa, ilk geçiş sonunda ön plan pikseller Şekil 2.30'daki gibi 7 farklı etiket ile etiketlenir.



Şekil 2.30 İlk geçiş sonrası ön plan piksellere atanan etiketler

Bir pikselin, birden fazla ön plan piksel komşusu olduğu durumda elde edilen eşitlik bilgilerinden sarı ve yeşil etiketin birbiri ile, geri kalan diğer etiketlerin ise birbirleri ile aynı olduğu çıkarılmıştır. Bu bilgi kullanılarak, ikinci geçişte Şekil 2.31'deki gibi sarı ve yeşil ile etiketlenmiş pikseller sarı ile, diğerleri ise turuncu ile etiketlenmiştir.





Şekil 2.31 İkinci geçiş sonrası bulunan bağlı bileşenler

### 2.2.5 Elin Yerinin Renk Bilgisi Kullanılarak Bulunması

Derinlik görüntüsünün kapalı alanlarda kullanımında renkli görüntülerde karşılaşılan ortam ışığının ve arka plan görüntü karmaşıklığının etkisi gibi sorunlar yaşanmasa da, Kinect RGB-D kameranın geliştiricileri cihazın açık alanlarda kullanılması durumunda derinlik bilgisinin tam olarak doğru üretileceğini garanti edememektedir. Bunun yanı sıra, derinlik görüntüsünden çıkarılan el görüntüsünde parmak araları normalden daha kapalı çıktığı, parmakların birbirlerinden net bir şekilde ayrılmadığı görülmüştür. Bu nedenlerle, RGB-D kamera iskelet bulma fonksiyonundan el noktasının koordinatları alındıktan sonra, elin yerinin bulunması için derinlik bilgisi yerine renk bilgisi kullanılmasının parmakların çıkarılmasında daha iyi sonuç elde edilip edilemeyeceği araştırılmıştır.

Renkli görüntülerde el bölütlemesi genellikle ten rengi kullanılarak yapılmaktadır. Görüntüde, renk bileşenleri arasında korelasyon olduğu için genellikle RGB uzayı yerine HSV veya YCbCr renk uzayları kullanılmaktadır. Bu çalışmada da renk uzayının kullanılmasının işleme katkısını inceleyebilmek için, derinlik görüntüsünün alındığı aynı ortam koşullarında, RGB-D kameradan alınan 640\*480 piksel çözünürlükte saniyede 15 çerçeve YCbCr renk uzayı kullanılarak kodlanmış YUV video formatı kullanılmıştır.

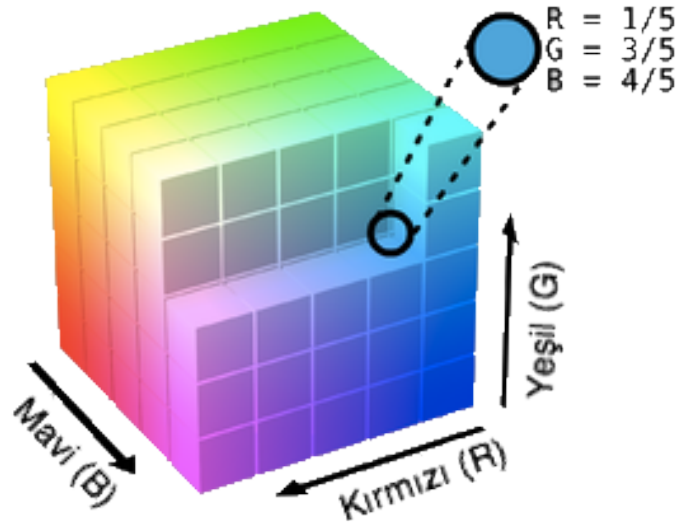
### 2.2.5.1 Renk Uzayları

Renk uzayları, renkleri tanımlamak için kullanılan matematiksel modellerdir. Bütün renkleri temsil edecek şekilde oluşturulur ve Şekil 2.32'deki gibi üç boyutlu olarak tasarlanır. Çünkü renkmetri bilimine göre, bir rengi belirlemek için birbirinden bağımsız üç değişkene ihtiyaç vardır. Renklerin renk uzayındaki yerleri, bu değişkenlere göre belirlenir.

Her renk uzayının kendine özgü biçimde renk oluşturma için bazı standartları vardır [46].

#### RGB Renk Uzayı

RGB renk uzayı, (Şekil 2.32) kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) ana renklerden oluşan; en sık kullanılan renk uzayıdır. Işığın temel olarak, doğadaki tüm renklerin kodları bu üç temel renge dayalı olarak belirtilir. Her renk %100 oranında karıştırıldığında beyaz, %0 oranında karıştırıldığında siyah elde edilir [46].



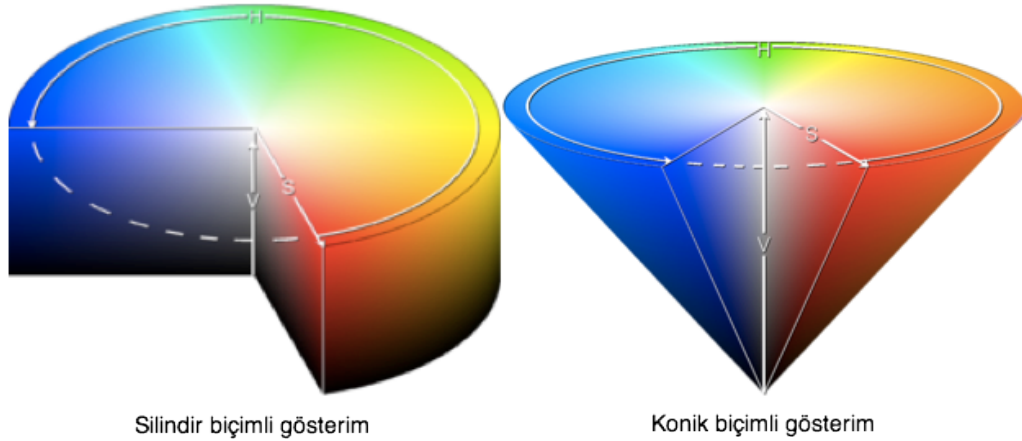
Şekil 2.32 RGB renk uzayı [47]

#### HSV Renk Uzayı

HSV (Hue, Saturation, Value) veya HSB (Hue, Saturation, Brightness) olarak bilinen renk uzayı, renkleri sırasıyla renk özü, doygunluk ve parlaklık değerleri ile tanımlar. RGB uzayına göre insan görüşüne daha yakın bir yapı oluşturmak için 1978 yılında Alvy Ray Smith tarafından tanımlanmıştır. Renk özü, açısal bir değerdir ( $0^\circ - 360^\circ$ ) ve rengin

baskın dalga uzunluğunu (örneğin sarı, mavi, yeşil vb.) belirler. Doygunluk, rengin canlılığını belirler; doygunluk değerinin yüksek olması rengin canlı olmasını sağlarken, düşük olması rengin gri tonlarına yaklaşmasını sağlar. Parlaklık ise rengin aydınlığını, yani içindeki beyaz oranını belirler [48].

HSV uzayı (Şekil 2.33), ilk olarak konik bir biçimde tanımlanmıştır. Ancak sonraki yıllarda, gerçek zamanlı geçerli koordinat denetimi için zamanın bilgisayarları yeterli olmadığından silindir biçimine dönüştürülmüştür. Konik biçimde, aydınlık düzeyi azaldıkça koninin genişliği azalır, dolayısıyla, insan görüşüne uygun olarak, düşük aydınlıkta algılanabilen farklı doygunluk düzeyleri de azalır. Diğer yandan, silindir biçimi ile sıfır aydınlık düzeyinde bile yüksek doygunluk düzeyleri tanımlanabilir, böylece geçersiz renkler elde edilebilir [48].



Şekil 2.33 HSV renk uzayı [48]

RGB uzayındaki bir renk, silindir biçimli HSV uzayına  $H \in \{0, 360\}$ ;  $S, V, R, G, B \in \{0, 1\}$ ;  $MAX = \max(R, G, B)$ ;  $MIN = \min(R, G, B)$  olmak üzere şu şekilde dönüştürülür [48]:

$$H = \begin{cases} \text{tanımsız} & , \text{ eğer } MAX = MIN \\ 60 \frac{G-B}{MAX-MIN} + 0 & , \text{ eğer } MAX = R \text{ ve } G \geq B \\ 60 \frac{G-B}{MAX-MIN} + 360, & \text{ eğer } MAX = R \text{ ve } G < B \\ 60 \frac{B-R}{MAX-MIN} + 120, & \text{ eğer } MAX = G \\ 60 \frac{R-G}{MAX-MIN} + 240, & \text{ eğer } MAX = B \end{cases} \quad (2.11)$$

$$S = \begin{cases} 0 & , \text{ eğer } MAX = 0 \\ 1 - \frac{MIN}{MAX}, & \text{ diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.12)$$

$$V = MAX \quad (2.13)$$

## YCbCr Renk Uzayı

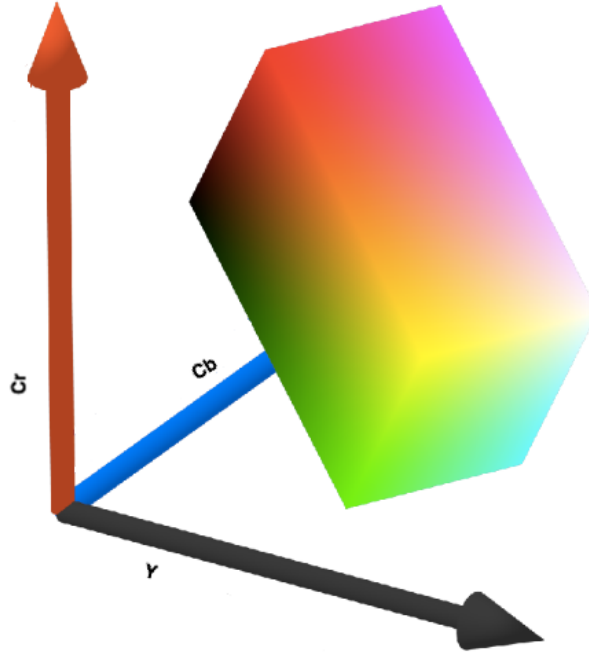
YCbCr renk uzayı, dünya çapında sayısal video standardı oluşturma çabaları sırasında ortaya çıkmıştır. Y parlaklık (luminance) sinyalini, Cb (mavi-fark) ve Cr (kırmızı-fark) ise renk (chrominance) bilgilerini saklamaktadır [46].

YCbCr uzayındaki her rengin RGB uzayında karşılığı yoktur. RGB uzayı, Şekil 2.34'de görüldüğü gibi, YCbCr uzayının yalnızca bir bölümünde yer almaktadır. RGB uzayındaki bir rengin YCbCr uzayındaki karşılığı aşağıdaki şekilde bulunur:

$$Y = 0.257 * R + 0.504 * G + 0.098 * B + 16 \quad (2.14)$$

$$Cb = 0.148 * R - 0.291 * G + 0.439 * B + 128 \quad (2.15)$$

$$Cr = 0.439 * R - 0.368 * G - 0.071 * B + 128 \quad (2.16)$$



Şekil 2.34 RGB uzayının YCbCr uzayında görünümü [49]

### 2.2.5.2 YCbCr Uzayında El Bölütleme

Elin bölütlenmesi, el ve parmakların yer alabileceği alanın sınırları içerisinde ten renginde piksellerin olup olmadığı değerlendirilerek yapılmıştır.

RGB-D kamera kullanılarak iskelet bulma fonksiyonundan alınan el noktasından, el ve parmakların yer alabileceği alan belirlenmiş ve bu bölge içerisinde ten rengindeki pikseller ön plan piksel, görüntünün diğer pikselleri ise arka plan piksel olacak şekilde

renkli görüntü ikili görüntüye dönüştürülmüştür (Şekil 2.35). İskelet bulma fonksiyonundan alınan el noktası derinlik görüntüsünde olduğu için, ilgili noktanın renkli görüntüdeki karşılığı yazılım geliştirme kitindeki koordinat dönüşümü fonksiyonu [50] ile bulunmuştur.



Şekil 2.35 Ten rengine göre bölütlenmiş ikili görüntü

Ten rengine göre bölütleme yapılacak el bölgesi, yapılan deneyler sonucunda, renkli görüntüdeki el noktasının X koordinatı değerinden +/- 60 piksel aralığında ve Y koordinatı değerinden +/- 60 piksel aralığında yer alan dörtgen olarak belirlenmiştir.

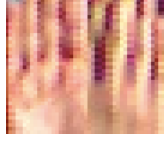
Ten rengine göre bölütleme yapılacak alanda,  $(x, y)$  koordinatlarındaki YCbCr uzayındaki bir  $p$  pikselinin Cb ( $p_{Cb}$ ) ve Cr ( $p_{Cr}$ ) bileşenleri (2.17) denklemindeki gibi sabit  $T$  eşik değerleri ile karşılaştırılarak, piksel ön plan (1) veya arka plan (0) olarak bölütlenir.

$$p(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } T_{Cb1} \leq p_{Cb} \leq T_{Cb2} \\ & T_{Cr1} \leq p_{Cr} \leq T_{Cr2} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (2.17)$$

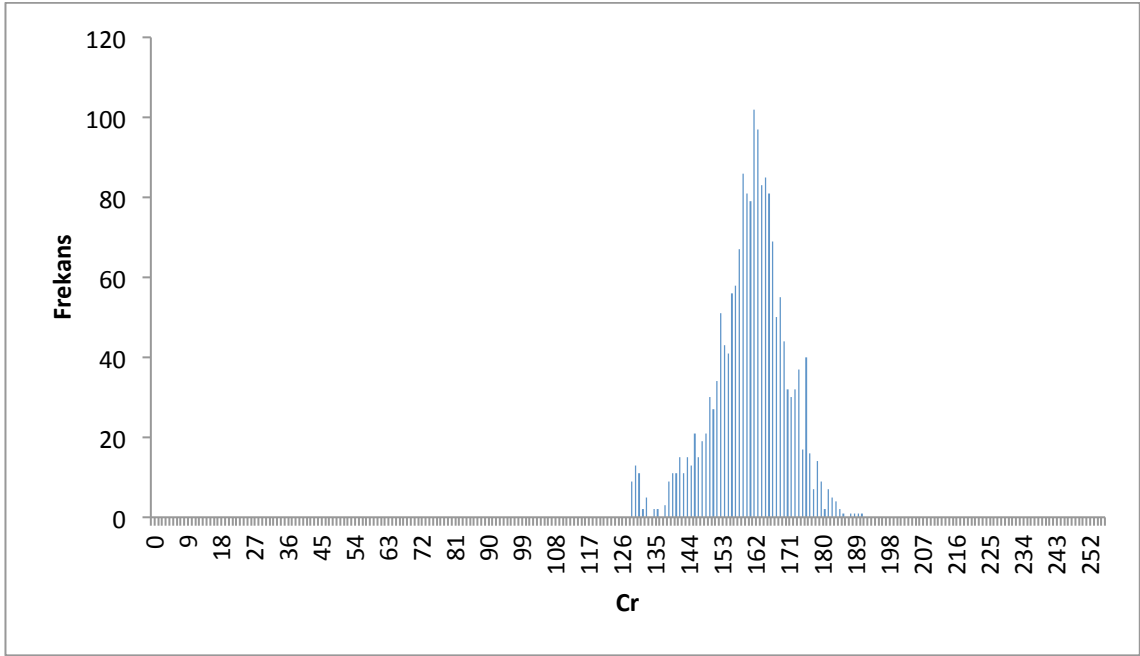
YCbCr uzayında ten renginin bulunması üzerine yapılan çalışmalarda, Chai ve Ngan [51] ten rengini en çok temsil eden değerleri  $77 \leq Cb \leq 127$  ve  $133 \leq Cr \leq 173$  olarak bulmuştur.

Chai ve Ngan'ın değerlerinin yanı sıra, RGB-D kamera ile alınan, yalnızca avuç içi ve avuç dışının olduğu, Şekil 2.36'daki gibi YCbCr uzayındaki görüntüde ten rengini niteleyebilecek eşik değerleri araştırılmıştır. Bu görüntüdeki Cb ve Cr bileşenlerinin değerlerinden Şekil 2.37'deki Cr dağılım grafiği ve Şekil 2.38'deki Cb dağılım grafiği oluşturulmuştur. Bu dağılımlardan  $139 \leq Cr \leq 183$  ve  $89 \leq Cb \leq 133$  değerlerinin,

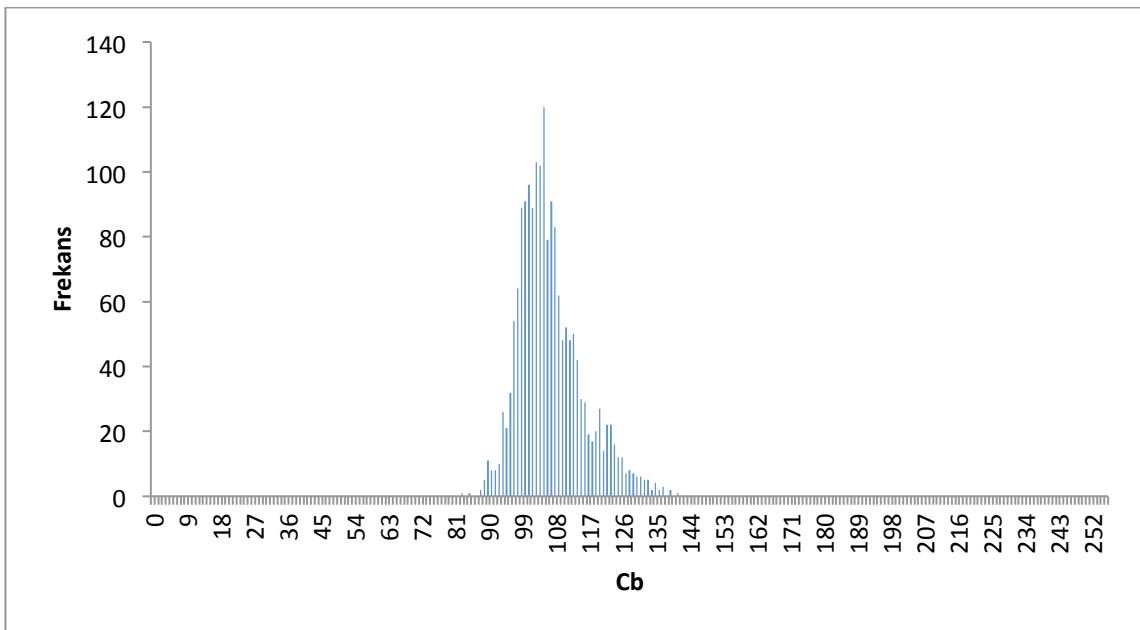
avuç içi ve avuç dışı için ten rengini temsil edebilecek eşik değerleri olabileceği çıkarılmıştır.



Şekil 2.36 YCbCr uzayındaki avuç içi ve avuç dışı görüntüsü



Şekil 2.37 El bölgesi piksellerinin Cr dağılım grafiği



Şekil 2.38 El bölgesi piksellerinin Cb dağılım grafiği

Ten rengi kullanılarak yapılan bölütleme işleminde, elin çıplak olarak kullanılması zorunluluğu doğmaktadır. Ten renginden farklı bir eldiven kullanılması durumunda ten rengine göre bölütleme yapılacak alanda el bulunamayacaktır. Derinlik bilgisi kullanılarak yapılan bölütlemelerde ise renk bilgisi kullanılmadığı için, eldiven kullanılmış olsa dahi el başarılı bir şekilde bölütlenecektir.

Ten rengi kullanılarak yapılan bölütleme işleminde diğer bir sorun ise, elin kameraya olan uzaklığı işleme katılmadığı için, görüntüde ten rengine sahip diğer vücut bölümleri de el olarak bölütlenebilir. Şekil 2.39'daki gibi, bölütleme yapılacak alanda el ve yüzün birbiri ile bütünmüş gibi görüldüğü durumlarda, yüz de elin bir parçası gibi değerlendirilecek ve el şekli düzgün çıkarılamamış olacaktır. Vücudun el olmayan diğer bölümlerinin yanı sıra, ten rengi olarak belirlenen eşik değerleri aralığında kalan arka plan nesnelere de el olarak bölütlenecektir.

Hem Chai ve Ngan'ın [51] ten rengini betimleyen eşik değerleri ile, hem de dağılım grafiklerinden elde edilen eşik değerleri ile yapılan deneyler sonucunda, bölütleme işleminde derinlik bilgisinin kullanılmasının, renk bilgisi kullanılmasına göre daha iyi sonuçlar ürettiğine karar verilmiştir.

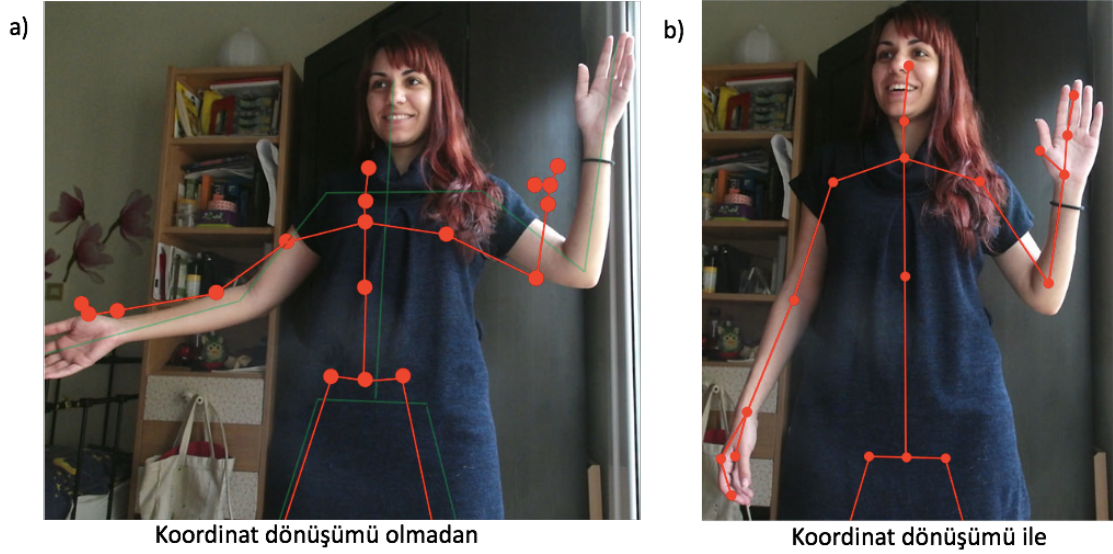


Şekil 2.39 El olmamasına rağmen el olarak bölütlenen nesnelere

### **Renkli Görüntü ve Derinlik Görüntüsü Arasında Koordinat Dönüşümü**

RGB-D kamera, renk ve derinlik bilgisini farklı algılayıcılardan sağladığı için, aynı X ve Y koordinatlarındaki bir piksel, renk ve derinlik görüntülerinde aynı nesneyi göstermeyebilir. Örneğin, iskelet bulma fonksiyonundan alınan el noktasının koordinatları, renkli görüntüde Şekil 2.40(a)'daki gibi elin dışındaki bir noktayı gösteriyor olabilir. Bu nedenle, derinlik görüntüsünde bulunan el noktasının renkli görüntüdeki koordinatları, bir pikselin koordinatlarının derinlik ve renk bilgisi

arasındaki dönüşümü sağlayan yazılım geliştirme kitindeki koordinat dönüşümü fonksiyonu (“Kinect for Windows SDK”, “CoordinateMapper” sınıfı) ile elde edilmiştir. Koordinat dönüşümü fonksiyonu ile derinlik bilgisindeki bir pikselin, renkli görüntüde Şekil 2.40(b)’deki gibi ilgili koordinatlarda karşılığı bulunmaktadır.



Şekil 2.40 Derinlik görüntüsündeki noktaların renkli görüntüdeki karşılıkları [52]

Kinect yazılım kitindeki “CoordinateMapper” sınıfı bir noktanın iskelet, renk ve derinlik bilgileri arasındaki koordinat dönüşümlerini aşağıdaki metotları ile yapmaktadır [50]:

- “MapColorFrameToDepthFrame”: Renk uzayındaki bir resmin derinlik uzayındaki karşılığını bulur,
- “MapColorFrameToSkeletonFrame”: Renk uzayındaki bir resmin iskelet uzayındaki karşılığını bulur,
- “MapDepthFrameToColorFrame”: Derinlik uzayındaki bir resmin renk uzayındaki karşılığını bulur,
- “MapDepthFrameToSkeletonFrame”: Derinlik uzayındaki bir resmin iskelet uzayındaki karşılığını bulur,
- “MapDepthPointToColorPoint”: Derinlik uzayındaki bir noktanın renk uzayındaki karşılığını bulur,
- “MapDepthPointToSkeletonPoint”: Derinlik uzayındaki bir noktanın iskelet uzayındaki karşılığını bulur,



- “MapSkeletonPointToColorPoint”: İskelet uzayındaki bir noktanın renk uzayındaki karşılığını bulur,
- “MapSkeletonPointToDepthPoint”: İskelet uzayındaki bir noktanın derinlik uzayındaki karşılığını bulur.

### 2.3 El Görüntüsünün İyileştirilmesi

Bölütlenerek oluşturulan ikili el görüntüsünde, parmakların yeri bulunurken daha iyi sonuçlar elde edebilmek için görüntünün ön işleme ile iyileştirilmesine gerek duyulmuştur. Bu nedenle, görüntüdeki parmakların birbirinden daha belirgin bir şekilde ayrılmasını sağlamak için, görüntüye sırasıyla Şekil 2.41’deki gibi aşındırma (erosion) ve genişletme (dilation) morfolojik işlemleri uygulanarak, morfolojik açma (opening) işlemi gerçekleştirilmiştir.



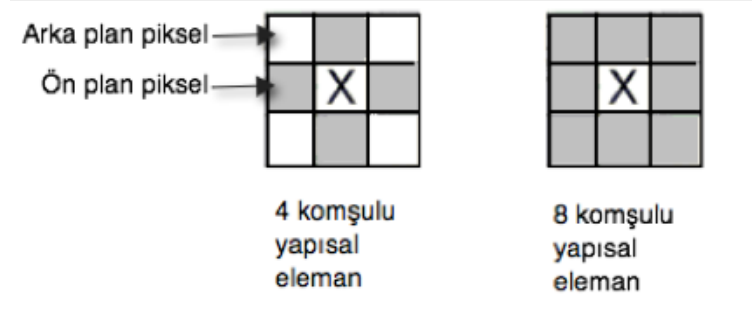
Şekil 2.41 Morfolojik açma işlemi

#### 2.3.1 Aşındırma (Erosion) Morfolojik İşlemi

Aşındırma, diğer tüm morfolojik işlemlerin temelini oluşturan iki matematiksel morfolojik işlemden biridir ve (2.18) bağıntısı ile gösterilmektedir [53]. Genellikle ikili görüntülere uygulanır; ancak gri görüntülere de uygulanması mümkündür.

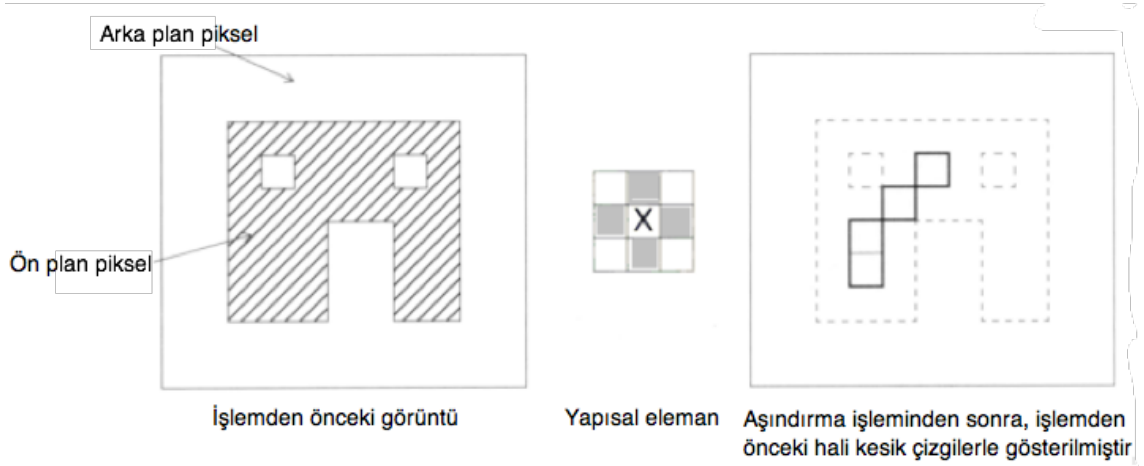
$$A \ominus B = \bigcap_{b \in B} A_{-b} \quad (2.18)$$

Aşındırma işleminin amacı, bir görüntüyü ( $A$ ) ön tanımlı, yapısal eleman ( $B$ ) adı verilen basit bir şekil ile budamaktır. Yapısal eleman, herhangi bir şekilde olabilir; ancak genel olarak Şekil 2.42’deki şekiller kullanılmaktadır. Aşındırma işlemi, ön plan bölgelerinin iç ve dış sınır piksellerini aşındırarak küçük detayları ortadan kaldırır, farklı ön plan bölgeleri arasındaki boşluğu arttırarak istenmeyen küçük bağlantıları koparır.



Şekil 2.42 Genel olarak kullanılan yapısal elemanlar [54]

Aşındırma işleminde, aşındırma işlemini gerçekleştirecek yapısal eleman görüntü üzerinde gezdirilerek, yapısal elemanın merkezinin denk geldiği görüntüdeki piksel ön plan piksele ve aşındırma işleminin koşulları sağlanıyorsa, piksel arka plan piksele dönüştürülür. Şekil 2.43'deki örnekte, yapısal eleman görüntüdeki pikseller üzerinde gezdirilerek aşındırma işlemi uygulanmış ve sonuç olarak ön plan piksellerin oluşturduğu bölge küçülmüştür.

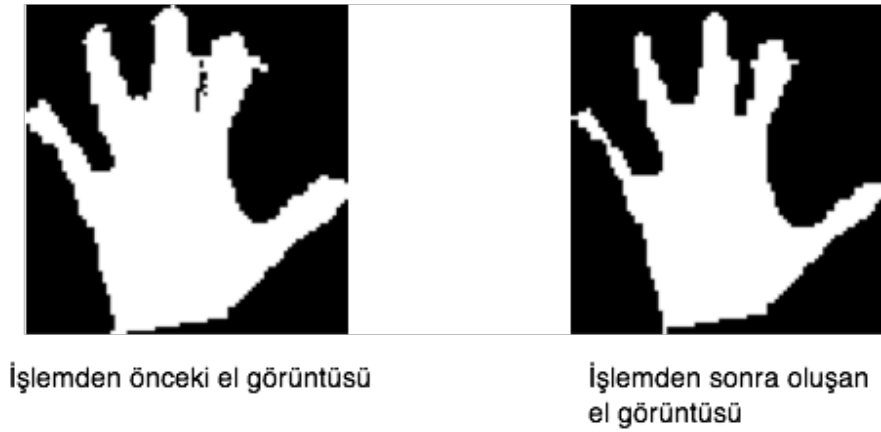


Şekil 2.43 Aşındırma işlemi [54]

Aşındırma işleminde bir pikselin arka plan piksele dönüştürülüp dönüştürülmeyeceğine şu şekilde karar verilir [54]:

- Görüntüde yapısal elemanın merkezinin oturduğu piksel, arka plan bir piksele değişiklik yapılmaz.
- Görüntüde yapısal elemanın merkezinin oturduğu piksel, ön plan bir piksele ve yapısal elemanı oluşturan ön plan piksellerden en az birinin yeri görüntüde arka plan piksele denk geliyorsa, üzerinde işlem yapılan ön plan piksel arka plan piksele dönüştürülür.

Aşındırma işlemi, ikili el görüntüsüne uygulanırsa Şekil 2.44'deki gibi parmakların arasındaki boşluk artacaktır.



Şekil 2.44 Aşındırma işlemi uygulanmış el görüntüsü

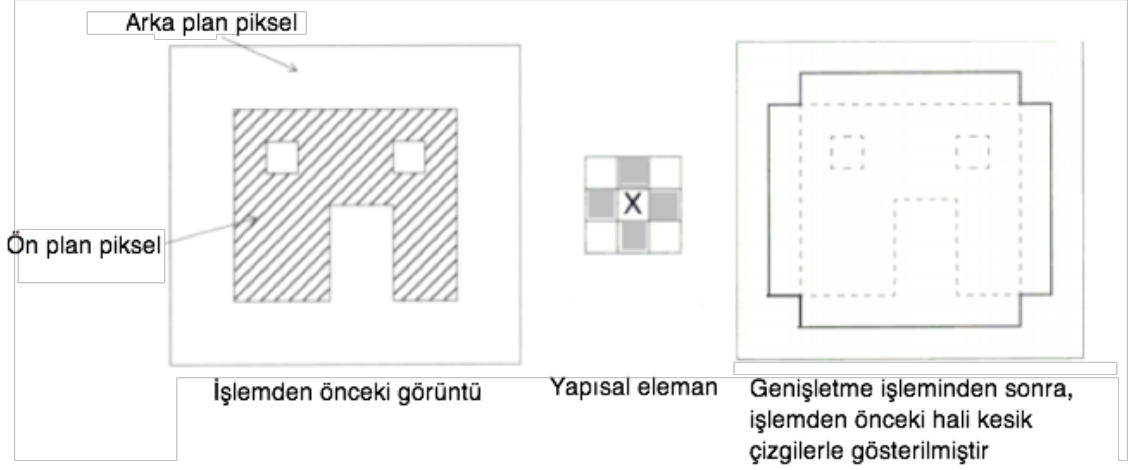
### 2.3.2 Genişletme (Dilation) Morfolojik İşlemi

Genişletme, diğer tüm morfolojik işlemlerin temelini oluşturan iki matematiksel morfolojik işlemden biridir ve (2.19) bağıntısı ile gösterilmektedir [55]. Genellikle ikili görüntülere uygulanır; ancak gri görüntülere de uygulanması mümkündür.

$$A \oplus B = \bigcup_{b \in B} A_b \quad (2.19)$$

Genişletme işleminin amacı, bir görüntünün ( $A$ ) sınırlarını ön tanımlı, yapısal eleman ( $B$ ) adı verilen basit bir şekil ile genişletmektir. Yapısal eleman, herhangi bir şekilde olabilir; ancak genel olarak Şekil 2.42'deki şekiller kullanılmaktadır. Genişletme işlemi, aşındırma işleminin aksine, ön plan bölgelerinin iç ve dış sınır piksellerine yeni pikseller ekleyerek, ön plan bölgenin genişlemesini ve bölge içerisindeki boşlukların daralmasını sağlar.

Genişletme işleminde, genişletme işlemi gerçekleştirecek yapısal eleman görüntü üzerinde gezdirilerek, yapısal elemanın merkezinin denk geldiği görüntüdeki piksel ön plan pikseli, yapısal elemanın ön plan piksellerinin denk geldiği pikseller ön plan piksele dönüştürülür. Şekil 2.45'deki örnekte, yapısal eleman görüntüdeki pikseller üzerinde gezdirilerek genişletme işlemi uygulanmış ve sonuç olarak ön plan piksellerin oluşturduğu bölge genişlemiştir.

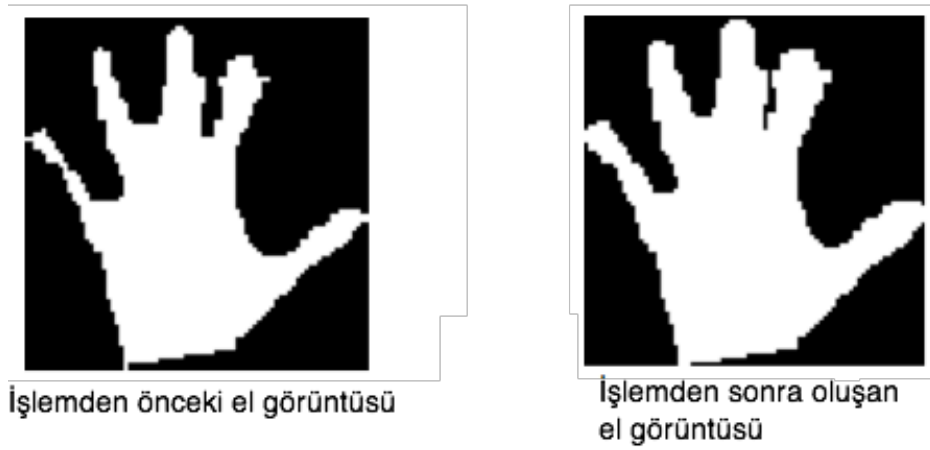


Şekil 2.45 Genişletme işlemi [54]

Genişletme işlemi şu şekilde uygulanır [54]:

- Yapısal elemanın merkezinin oturduğu görüntüdeki piksel arka plan piksel ise işlem yapılmaz.
- Yapısal elemanın merkezinin oturduğu görüntüdeki piksel ön plan pikselse, yapısal elemanın ön plan piksellerinin görüntüde denk geldiği ilgili pikseller ön plan piksele dönüştürülür.

Genişletme işleminin ikili el görüntüsüne uygulanmasıyla, Şekil 2.46'daki gibi parmaklardaki aşındırma işlemi ile oluşan şekil bozukluklarında düzelme gözlemlenmiştir.



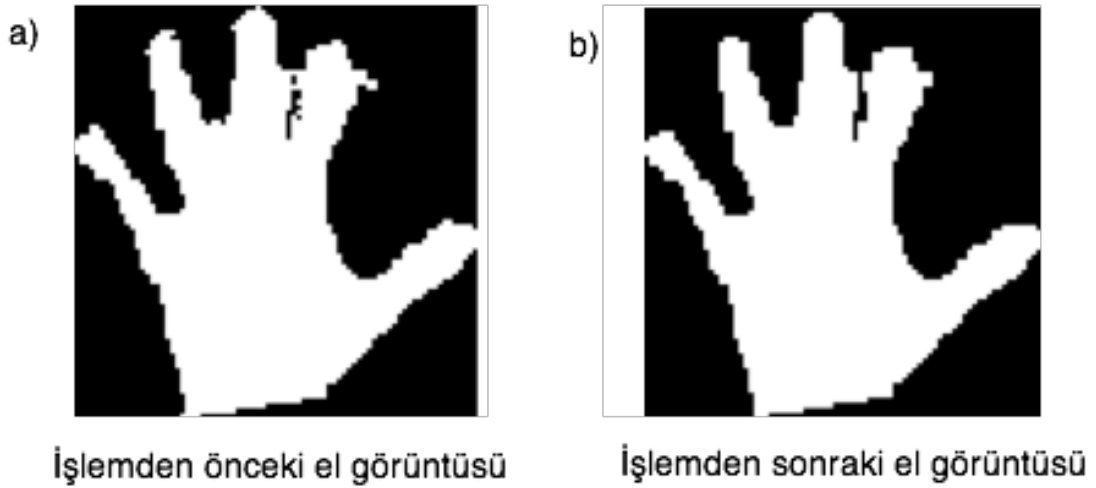
Şekil 2.46 Genişletme işlemi uygulanmış el görüntüsü

### 2.3.3 Açma (Opening) Morfolojik İşlemi

Matematiksel morfolojide açma, A kümesinin B yapısal elamanı ile aşındırıldıktan sonra genişletilmesidir.  $\ominus$  aşındırma,  $\oplus$  genişletme olmak üzere açma ( $\circ$ ) işlemi (2.20) bağıntısı ile gösterilir [16].

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (2.20)$$

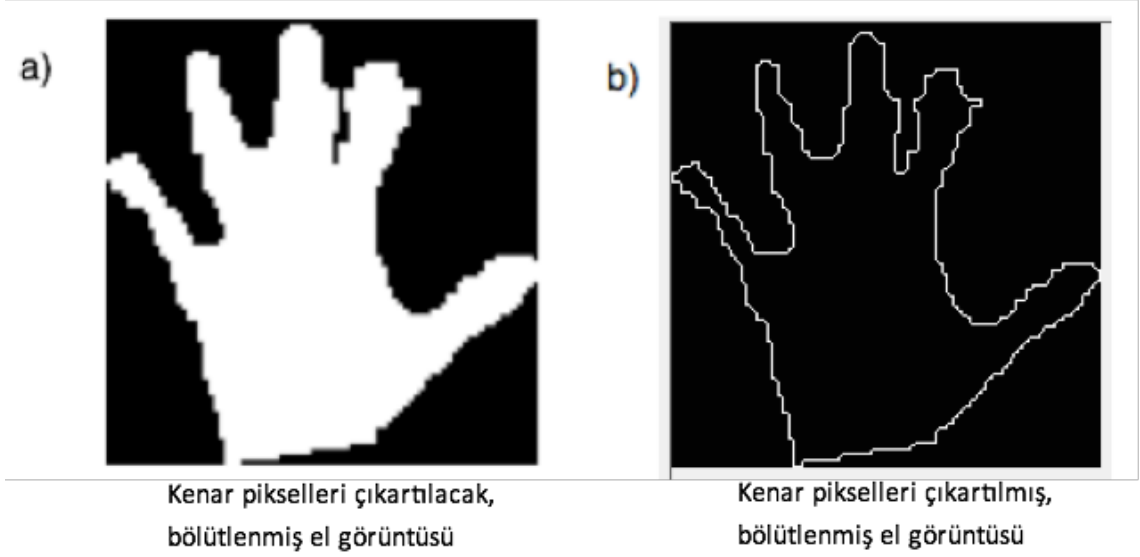
Şekil 2.47(a)'daki görüntüye açma işlemi uygulanarak işaret parmağı ile orta parmak arasındaki iki parmağı birbirine bağlayan ön plan pikseller, parmaklarda şekil kayıplarına neden olmadan, Şekil 2.47(b)'deki gibi arka plan piksellere dönüştürülmüş ve parmaklar birbirinden ayrılmıştır.



Şekil 2.47 Açma işleminden önce ve sonra el görüntüsü

### 2.4 El Sınırlarının Elde Edilmesi

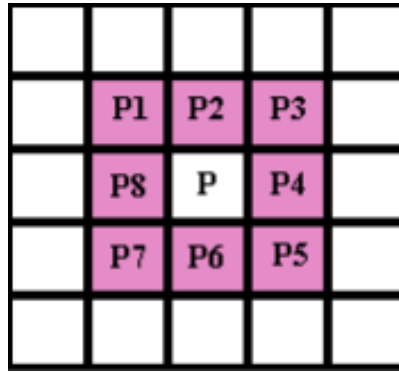
İkili formatta bölütlenmiş el görüntüsünde parmakların tespiti için, el görüntüsünün tamamının kullanılmasının yerine sadece eli oluşturan kenar piksellerinin kullanılmasının yeterli olduğu düşünülmüştür. Ön plan olarak belirlenmiş şeklin kenar piksellerinin belirlenmesi için, Şekil 2.48(a)'daki gibi ikili formattaki görüntüye Jacob'un durma kriteri ile güncellenmiş Moore-Neighbor takip etme algoritması [56] uygulanarak, 1 piksel kalınlığındaki kenar piksellerin dışındaki ön plan pikseller Şekil 2.48(b)'deki gibi arka plan piksellere dönüştürülmüştür.



Şekil 2.48 Moore-Neighbor takip etme algoritması uygulanmış ikili el görüntüsü

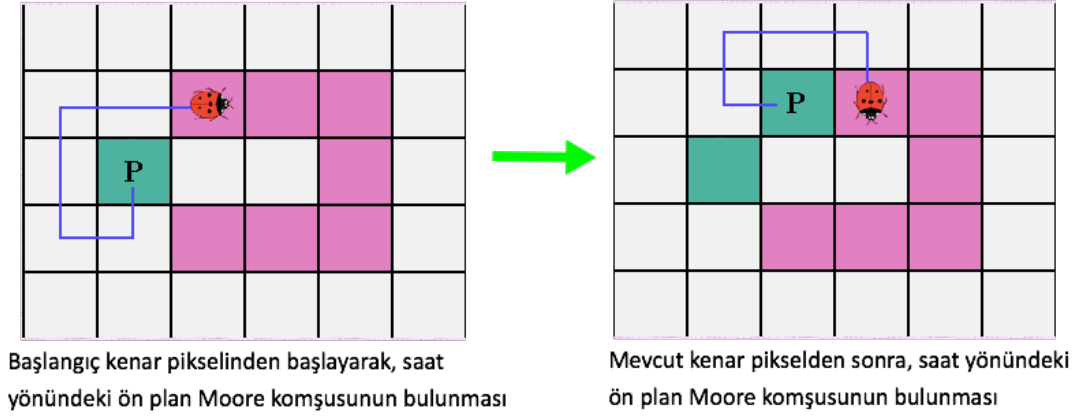
#### 2.4.1 Moore-Neighbor Takip Etme Algoritması

Moore-Neighbor takip algoritması, Şekil 2.49'daki P pikselinin 8 komşusundan (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 ve P8) oluşan Moore komşuluğunu kullanarak, görüntüyü oluşturan ön plan bölgenin kenar piksellerinin belirlenmesini sağlar.



Şekil 2.49 Moore komşuluğu [57]

Moore-Neighbor algoritması ön plan görüntüsünün kenar piksellerini, Şekil 2.50'deki gibi başlangıç ön plan pikselini belirleyip yinelemeli olarak Moore komşuluğuna göre saat yönünde ilerleyerek mevcut pikselin ön plan piksel komşusunu seçmesi ile belirler.

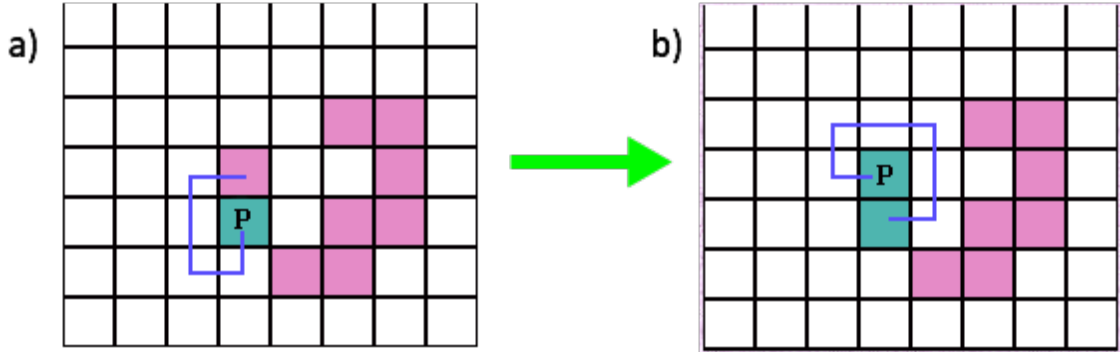


Şekil 2.50 Moore-Neighbor algoritması ile kenar piksellerin bulunması [57]

$M(a)$ ,  $a$  pikselinin Moore komşuluğu;  $p$ , mevcut kenar piksel;  $c$ ,  $M(p)$  koşulunu sağlayan mevcut piksel;  $s$ , başlangıç olarak seçilen kenar piksel;  $B$  de kenar pikselleri kümesi olmak üzere algoritma şu şekilde çalışır [57]:

- $B$  kümesini boşalt
- Bir ön plan piksel ( $s$ ) bulana kadar, sol alt köşeden başlamak üzere görüntüyü aşağıdan yukarı, soldan sağa tara.
- $s$ 'yi  $B$  kümesine ekle.
- $s$ 'yi mevcut kenar pikseli ( $p$ ) olarak belirle ( $p = s$ ).
- $s$ 'ye gelmeden kontrol edilen bir önceki piksele geri dön.
- $c$ 'yi  $M(p)$  dahilindeki saat yönünde bir sonraki piksel olarak belirle.
- while ( $c$ ,  $s$ 'den farklı)
  - if ( $c$  ön plan bir piksel)
    - $c$ 'yi  $B$  kümesine ekle
    - $p = c$  olarak belirle
    - $c$ 'yi  $p$ 'ye gelmeden kontrol edilen bir önceki piksel olarak belirle
  - else
    - $c$ 'yi  $M(p)$  dahilindeki saat yönünde bir sonraki piksel olarak belirle
- endwhile.

Moore-Neighbor algoritmasının temel sorunu, algoritmanın tamamlanma koşulunun belirlenmesindedir. Algoritmanın orijinal tanımlamasında tamamlanma koşulu, başlangıç pikseline tekrar gelme olarak belirlenmiştir. Bu durma koşulu ile kenar pikselleri belirlenecek olursa, Şekil 2.51(a)'da belirlenen başlangıç pikselinden yola çıkarak, Şekil 2.51(b)'de tüm kenarlar tam olarak belirlenmeden işlem sona erecektir.



Şekil 2.51 Moore-Neighbor algoritması hatalı kenar çıkarımı [57]

Jacob Eliosoff [56], Moore-Neighbor algoritmasındaki bu sorunu çözebilmek için tamamlanma koşulunu, başlangıç pikseline, başlangıç adımı sayılmaksızın, iki kez gelme olarak önermiştir. Bu yöntemle ön plan piksel grubunun şekli ne olursa olsun, kenar pikseller düzgün olarak belirlenecektir [57].

## 2.5 Parmakların ve Parmak Uçlarının Çıkarılması

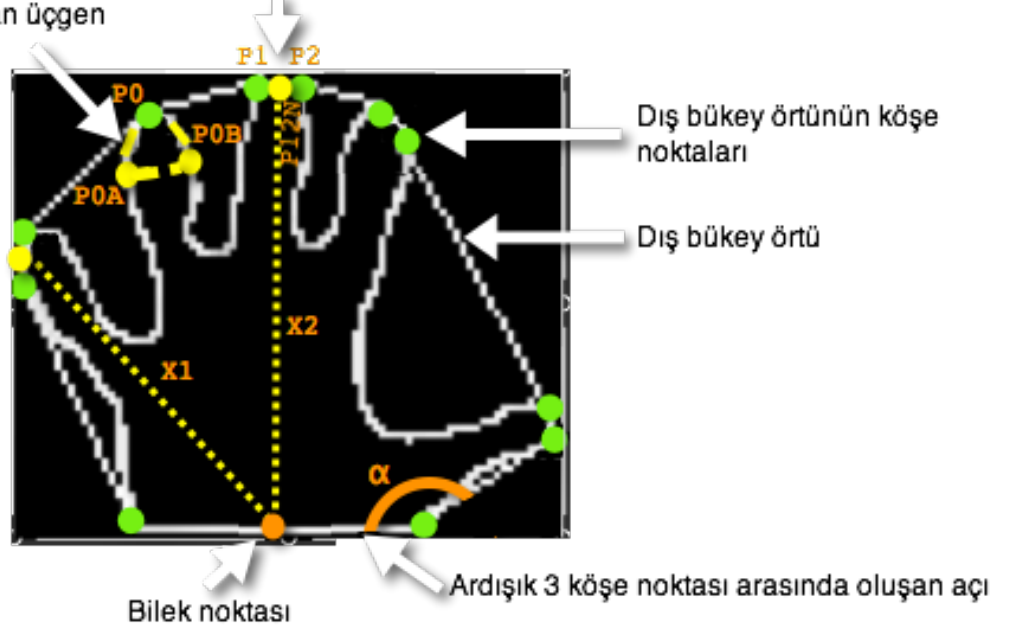
Parmak iskeleti, fizyolojik olarak, elin bilek noktası ile parmak ucu arasındaki doğru parçasından oluşmaktadır. Görüntüde parmak iskeletlerini oluşturabilmek için, iskeletlerin başlangıç noktası olan bilek noktası, RGB-D kamera için geliştirilmiş yazılım geliştirme kitindeki iskelet bulma fonksiyonundan alınmakta; bitiş noktası olan parmak ucu ise, Li'nin [12] parmak uçlarını bulabilmek için kullandığı yöntemdeki gibi eli çevreleyen dış bükey örtüden çıkarılmaktadır.

Parmak uçlarının belirlenebilmesi için ilk olarak, bölütlenmiş el görüntüsünden çıkarılan kenar piksellerini içine alacak şekilde Şekil 2.52'deki gibi dış bükey örtü bulunmaktadır. Parmak uçları el şeklinin uç noktaları olduğu için, parmak ucu noktaları eli içine alan dış bükey örtünün köşe noktaları arasında yer almaktadır.



Kenar pikselleri üzerinde,  
kendisinden eşit uzaklıktaki  
noktalar ile oluşan üçgen

Birbirine yakın köşe noktalarının aritmetik  
ortalamasının alınması ile oluşan temsili nokta



Şekil 2.52 Kenar piksellerini içine alan dış bükey örtü

El kenar görüntüsünün oluşturduğu çokgenin geometrik yapısından ötürü, dış bükey örtünün köşe noktaları, parmak uçlarının yanı sıra Şekil 2.52'deki gibi farklı kenar piksellerine de denk gelmektedir. Dış bükey örtünün köşe noktalarından parmak uçlarına denk gelenleri ayırt edebilmek için, kenar görüntüsü ve bu görüntüyü çevreleyen dış bükey örtü incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, bir köşe noktasını parmak ucu olarak nitelendirebilmek için:

- Ardışık üç köşe noktasının oluşturduğu kesişen iki doğru parçasının arasındaki açı (Şekil 2.52'deki  $\alpha$  açısı), belli bir eşik değerinin üzerinde ise doğru parçalarının kesişim noktasındaki köşe noktası, parmak ucu değildir. Yapılan deneylerle parmak uçlarının yer aldığı köşe noktalarını diğerlerinden ayıran en uygun açının 168 derece olduğu tespit edilmiştir. Dış bükey örtüdeki bir köşenin iç açısı 168 dereceden daha büyükse, bu nokta parmak ucu olamaz.
- Köşe noktası ile kesişen kenar pikselinden, önce ve sonra olmak üzere, eşit piksel uzaklıktaki kenar noktalarının (Şekil 2.52'deki P0 köşe noktası için P0A ve P0B noktaları) arasındaki uzaklık belli bir eşik değerinin üzerinde ise, bu köşe noktası parmak ucu değildir. Yapılan deneyler ile, P0 noktasından 7 piksel uzaklıktaki

P0A ve P0B kenar pikselleri arasındaki maksimum uzaklığın 9 piksel olabileceği çıkarılmıştır.

- P0 noktası parmak ucu ise, parmak şeklinin silindirik bir yapıda olmasından ötürü, P0A ve P0B noktalarının P0 noktası ile oluşturdukları açının 80 dereceden daha düşük olduğu görülmüştür. P0, P0A ve P0B noktalarının oluşturduğu ikizkenar üçgenden, 7 piksel kenar uzunluğundaki ikiz kenarlar ve maksimum 80 derece P0 noktasındaki açı ile (2.21) eşitliğindeki üçgende sinüs teoremine göre, iki nokta arasındaki maksimum uzaklık 9 olarak hesaplanmıştır. Eğer bulunan iki nokta arasındaki, (2.22) denklemindeki Öklid bağıntısı ile hesaplanan, uzaklık ( $d$ ) 9 pikselden daha büyük ise, bu nokta parmak ucu olamaz.

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} = 2r \quad (2.21)$$

$$d = \sqrt{(P0A_x - P0B_x)^2 + (P0A_y - P0B_y)^2} \quad (2.22)$$

- Ardışık köşe noktalarının, (Şekil 2.52'deki P1 ve P2 noktaları) parmak ucu olabilmesi için birbirlerine uzaklıkları ((2.22) denklemindeki Öklid bağıntısı ile hesaplanmıştır) belli bir eşik değerinin üzerinde olmalıdır. Yapılan deneyler sonucunda bu eşik değeri 10 olarak belirlenmiştir. P1 ve P2 köşe noktaları arasındaki mesafe belirlenen eşik değerinin altında ise, bu köşe noktalarının tek bir parmakta yer aldığı gözlemlenmiştir. Bu noktaların aritmetik ortalaması alınarak, bu noktalar tek bir köşe noktası (P12N) ile ifade edilmiştir.
- Normal bir insanın en kısa parmağının boyu en uzun parmağının boyunun %60'ından daha düşük olamayacağı düşünülmüştür. Bu nedenle, yukarıdaki koşulları sağlayan köşe noktaları ile bilek noktası arasında oluşan doğru parçalarının uzunlukları (2.22) denklemindeki Öklid bağıntısı ile hesaplanmıştır. En uzun doğru parçası (Şekil 2.52'deki X2 doğru parçası) referans alınarak, X1 doğru parçasını parmak olarak değerlendirebilmek için (2.23) eşitliğindeki koşulun sağlanması gerekir. Bu koşulu sağlamayan doğru parçaları parmak olarak değerlendirilmemiş ve köşe noktası dış bükey örtüden kaldırılmıştır.

$$X1/X2 \geq 0,6 \quad (2.23)$$

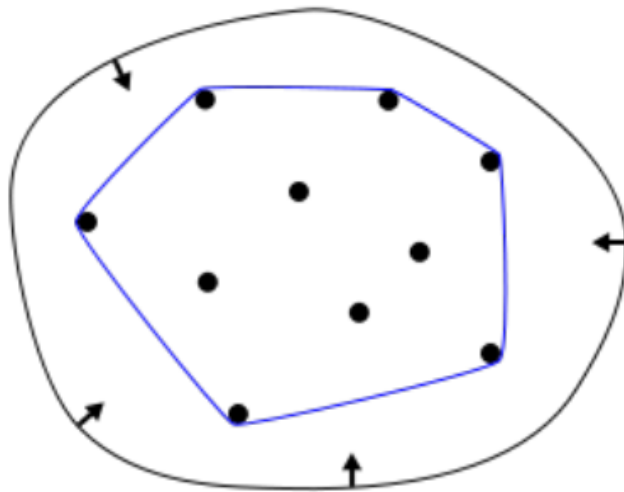
Kenar piksellerini içine alan dış bükey örtünün köşe noktalarından parmak ucu olma koşullarını sağlayanlarının, bilek noktası ile oluşturduğu parmaklar, Şekil 2.53’de gösterilmektedir.



Şekil 2.53 Dış bükey örtü kullanılarak oluşturulan parmaklar

### 2.5.1 Dış Bükey Örtünün Bulunması

Dış bükey örtü (convex hull), bir dizi  $Q$  noktasının, dizideki her noktayı içine alan en küçük dış bükey çokgeni oluşturan noktaların yer aldığı, alt kümesidir. Şekil 2.54’deki gibi dizideki noktaları çevreleyen elastik bir bant olduğu varsayılırsa, bant daraldığında, banda şeklini veren noktalar dış bükey örtünün köşe noktalarını oluşturur [58].



Şekil 2.54 Dış bükey örtü [58]

Bir dizi noktalar kümesinden dış bükey örtünün bulunabilmesi için çeşitli algoritmalar vardır. Bu algoritmalarından,  $O(n \log n)$  karmaşıklıkta, R. L. Graham'ın 1972'de bulduğu Graham's scan algoritması [59] kullanılmıştır.

Graham's scan algoritması, dış bükey örtüde olduğu kesin olan noktanın seçilmesi ile başlar ve yinelemeli olarak dış bükey örtüye nokta ekleyerek devam eder. Algoritmanın çalışması şu şekildedir [58]:

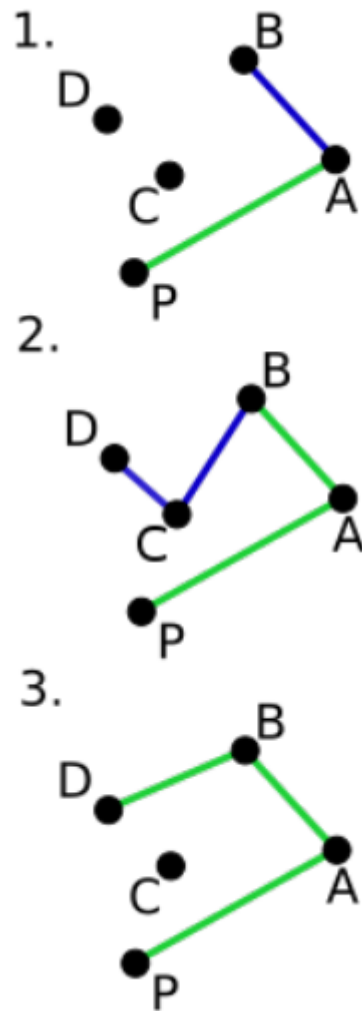
- H, dış bükey örtüyü oluşturan noktalar kümesi olsun. İlk olarak küme boşaltılır.
- Y koordinatı en küçük olan  $p_0$  noktası seçilir.  $p_0$  noktası kesinlikle dış bükey örtüde olacağı için H kümesine eklenir.
- $(p_1, p_2, \dots, p_n)$   $p_0$ 'a göre polar açıları ile küçükten büyüğe sıralanmış kalan noktalar olsun. Sıralı noktalar kullanılarak yapılan yineleme işlemi ile  $p_0$ 'ın etrafında saat yönünün tersine tarama yapılır.
- Her  $p_i$  noktası için:
  - $p_i$ 'nin dış bükey örtüye eklenmesi, sola dönme işlemini sağlıyorsa,  $p_i$  H kümesine eklenir,
  - $p_i$ 'nin dış bükey örtüye eklenmesi, sağa dönme işlemine yol açıyorsa,  $p_i$ 'nin eklenmesi ile sola dönme işlemi sağlanana kadar H kümesindeki elemanlar sırasıyla -son giren ilk çıkar yöntemi ile- kümeden çıkarılır, ardından  $p_i$  H kümesine eklenir.

Şekil 2.55'deki P, A, B, C ve D noktaları için Graham's Scan algoritması ile dış bükey örtü bulunmak istenirse, y koordinatı en küçük olan P noktası dış bükey örtü kümesinin (H) ilk elemanı olacaktır. Kalan noktalar, P noktasına göre polar açıları ile küçükten büyüğe A, B, C ve D olmak üzere sıralanır.

Şekil 2.55'in 1. adımında sırasıyla A ve B noktalarının H kümesine eklenmesi, sürekli sola dönüşü sağladığı için, bu noktalar H kümesine eklenir. 1. adım sonunda, dış bükey örtü kümesi  $H(P,A,B)$  olur. C'nin H kümesine eklenmesi, A'dan C'ye giderken B noktasında sola dönüşü sağladığı için, C de H kümesine eklenir ve H'nin son durumu  $H(P,A,B,C)$  olur [58].

Şekil 2.55'in 2. adımında D'nin H kümesine eklenmesi, B'den D'ye giderken C noktasında sağa dönüşe neden olduğu için dış bükey elde edilemez. Bu sorunu çözmek için, D'nin eklenmesiyle sola dönüş sağlanana kadar, H kümesinden, en son eklenenden başlamak koşuluyla, sırasıyla elemanlar çıkarılır. H kümesinden yalnızca C'nin çıkarılması sorunu çözer ve C çıkarıldıktan sonra H kümesine 3. adımdaki gibi D eklenir. Bu işlem sonrasında H'nin son durumu H(P, A, B, D) olur [58].

Sıralı dizideki son eleman D'nin de işlenmesi ile P, A, B, C ve D noktaları için dış bükey örtünün köşe noktaları H(P, A, B, D) olarak bulunur.



Şekil 2.55 Graham's scan algoritması için sağa ve sola dönüş örneği [58]

El kenar pikselleri için uygulanan Graham's Scan algoritması sonucu oluşan dış bükey örtü, Şekil 2.56'daki gibidir.



Şekil 2.56 El kenar görüntüsünden bulunan dış bükey örtü

### 2.5.2 İskeletleme

Parmakların, dış bükey örtü bulunmaksızın, ikili el görüntüsünden iskeletleme [60] işlemi ile bulunabileceği düşünülmüş ve iskeletleme yönteminin kullanılabilirliği araştırılmıştır. İkili görüntüye uygulanan iskeletleme işlemi ile parmakların birer piksel kalınlığında çizgiler şekline dönüşeceği, ekstra bir işlem uygulamaya gerek duymadan bu çizgiler takip edilerek parmak uç noktalarının ve parmak vektörlerinin bulunabileceği düşünülmüştür.

İskeletleme (skeletonization) görüntüdeki ön plan piksellerin sayısının, ön plan piksellerin oluşturduğu şeklin ana hatlarını bozmadan, azaltılması işlemidir. Diğer bir deyişle, fazla piksellerin çıkarılması ile şekil budandıktan sonra, görüntünün hala aynı şekilde tanınabilir hale getirilmesidir. İskeletleme için çeşitli algoritmalar olmakla beraber, bu çalışmada Zhang ve Suen'in [60] 1984'de yayımladığı inceltme algoritması kullanılmıştır.

İkili el görüntüsüne iskeletleme işlemi uygulanarak, Şekil 2.57'deki gibi sonuç elde edilmiştir. İskeletleme işlemi ile parmakların düşünüldüğü gibi bir piksel kalınlığındaki çizgiler şekline dönüşmediği, işlemin el şeklinde kayıplara neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, parmakların ve parmak uçlarının çıkarılması için bu işlemin tek başına kullanılamayacağına karar verilmiştir.

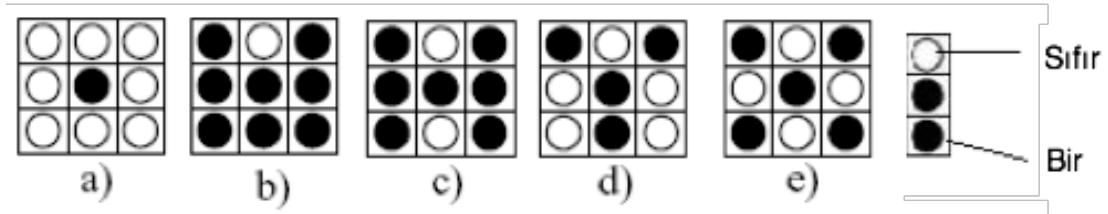


Şekil 2.57 İskeletleme işleminden önce ve sonra el görüntüsü

### 2.5.2.1 Bağlanabilirlik Sayısı

Bağlanabilirlik sayısı, belirli bir piksele kaç nesnenin bağlı olduğunu gösteren ölçüm değeridir ve (2.24) denklemi ile hesaplanır.  $S = \{1, 3, 5, 7\}$  ve  $N_k$  piksel parlaklık değeri:  $N_0$  merkezdeki piksel ( $P(x,y)$ ),  $N_1$  merkezdeki pikselin sağındaki piksel ( $P(x+1,y)$ ) ve diğerleri de  $P(x+1,y)$ 'den başlamak üzere sırasıyla merkezin etrafında saat yönünün tersi yönünde numaralandırılan pikseller olmak üzere [61]:

$$C_n = \sum_{k \in S} N_k - (N_k \cdot N_{k+1} \cdot N_{k+2}) \quad (2.24)$$



Şekil 2.58 Bağlanabilirlik sayısı [61]

Şekil 2.58'deki piksellerin bağlanabilirlik sayısı aşağıdaki gibidir [61]:

- a) Bağlanabilirlik sayısı = 0
- b) Bağlanabilirlik sayısı = 1
- c) Bağlanabilirlik sayısı = 2
- d) Bağlanabilirlik sayısı = 3
- e) Bağlanabilirlik sayısı = 4

### 2.5.2.2 Zhang – Suen İnceltme Algoritması

Bu iskeletleme algoritması, n. yinelemede oluşan yeni değerin, (n-1). yinelemede oluşan değere bağlı olduğu paralel bir yöntemdir. Geliştirmesi basit ve hızlı olan bu

algoritma, iki alt yinelemeden oluşmaktadır. Birinci alt yinelemede  $I(i,j)$  pikseli aşağıdaki koşulları sağlıyorsa silinmektedir [61]:

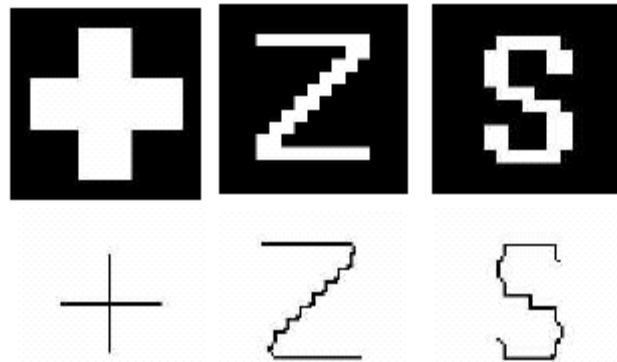
- Bağlanabilirlik sayısı 1 ise,
- En az 2 en fazla 6 ön plan komşusu varsa,
- $I(i,j+1)$ ,  $I(i-1,j)$  ya da  $I(i,j-1)$  piksellerinden en az 1'i arka plan pikseli,
- $I(i-1,j)$ ,  $I(i+1,j)$  ya da  $I(i,j-1)$  piksellerinden en az 1'i arka plan pikseli,

İkinci alt yinelemede 3. ve 4. koşul değişmektedir ve  $I(i,j)$  pikseli aşağıdaki koşulları sağlıyorsa silinmektedir [61]:

- Bağlanabilirlik sayısı 1 ise,
- En az 2 en fazla 6 ön plan komşusu varsa,
- $I(i-1,j)$ ,  $I(i,j+1)$  ya da  $I(i+1,j)$  piksellerinden en az 1'i arka plan pikseli,
- $I(i,j+1)$ ,  $I(i+1,j)$  ya da  $I(i,j-1)$  piksellerinden en az 1'i arka plan pikseli,

Her iki alt yinelemede de silinecek herhangi bir piksel bulunamazsa, işlem sona erer [61].

Şekil 2.59'da, ön plan piksellerin Zhang – Suen algoritması ile budanması işleminin sonucu gösterilmektedir.



Şekil 2.59 Zhang – Suen algoritması uygulaması [61]

## 2.6 Parmakların Tanınması

Görüntüdeki açık parmakların tanınabilmesi için, ikili görüntüden çıkarılan parmak, parmak uç noktası ve bilek noktası bilgileri kullanılarak, parmakların birbirinden ayırt

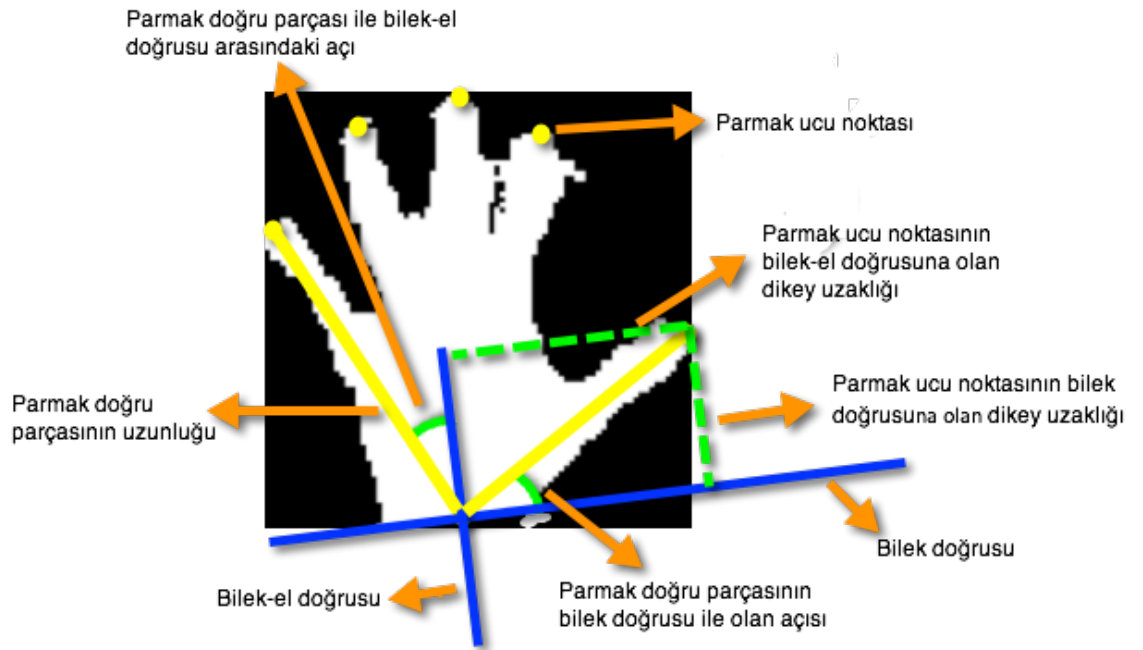


edilmesini sağlayacak istatistiksel özellikleri çıkarılmıştır. Bu özellikler yardımı ile açık parmak, ilklendirilen elin olası tüm parmaklarına göre benzerliği bulunarak isimlendirilmiştir.

Tanım için kullanılan özellikler şu şekildedir (Şekil 2.60):

- Parmak doğru parçasının uzunluğu
- Parmak doğru parçası ile bilek-el doğrusu arasındaki açı
- Parmak ucu noktasının bilek-el doğrusuna olan dikey uzaklığı
- Parmak doğru parçasının bilek doğrusu ile olan açısı
- Parmak ucu noktasının bilek doğrusuna olan dikey uzaklığı

Parmak doğru parçasının uzunluğu, parmak ucu noktasının bilek-el doğrusuna olan dikey uzaklığı ve parmak ucu noktasının bilek doğrusuna olan dikey uzaklığı özellikleri boyut belirttiği için, el şekli aynı olmasına rağmen elin kameraya olan uzaklığına göre bu özelliklerin değeri farklı bulunuyor olabilir. Elin kameraya olan konumuna göre bu özelliklerin değişmemesi için, bu özellikler Şekil 2.60'daki gibi eli çevreleyen pencerenin en ve boyuna oranlanarak, pencereye göre birim boyutları kullanılmıştır.

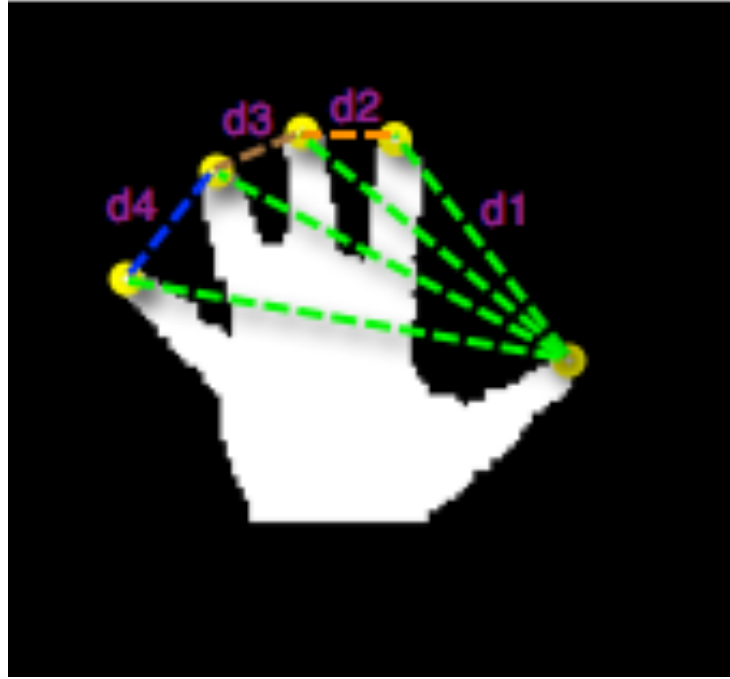


Şekil 2.60 Parmakların tanınması için kullanılan özellikler

### 2.6.1 Elin İklendirilmesi

Parmakların benzerliklerine göre isimlendirilebilmesi için, benzerlik kurulabilecek parmak özelliklerine gereksinim duyulmaktadır. Tüm insanların parmak ve el yapıları aynı olmadığından, ortalama bir el özelliği çıkarmak yerine, her kullanımın başlangıcında kullanıcı için el özellikleri çıkarılarak, sistemin programı kullanacak kişi için özel olarak çalışması hedeflenmiştir.

Elin başlangıç özelliklerinin, beş parmağın açık olduğu Şekil 2.61'deki el şekli için çıkarılmasının sisteminin başarısı için en uygun şekil olacağına karar verilmiştir. Bu şekilde çıkarılan parmak özellikleri ile parmakların birbirinden daha rahat ayırt edilebildiği görülmüştür. Parmakların beşinin de açık olmadığı, el şeklinin başlangıç olarak kabul edilen şekle uymadığı durumlarda, sistem uygun el şeklini yakalayana kadar bekleyerek, kullanıcıyı yönlendirmektedir.



Şekil 2.61 Sisteme tanıtılacak el şekli

Şekil 2.61'deki başlangıç el şeklinde parmakların birbirlerine göre konumları göz önüne alınırsa, baş parmak ucu diğer tüm parmak uçlarından daha uzakta durmaktadır. (2.22) denklemindeki Öklid bağıntısı ile parmak ucu noktalarının birbirlerine olan uzaklıkları dikkate alınarak (Şekil 2.61'deki  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  ve  $d_4$  uzunlukları), en uzak konumda olan parmak ucuna sahip parmak doğru parçası seçilir ve parmak için belirleyici özellikleri

çıkarılarak baş parmak olarak etiketlenir. Baş parmak ucuna en yakın olan parmak ucuna sahip doğru parçası işaret parmağı, diğerleri de sırasıyla orta parmak, yüzük parmağı ve serçe parmak olarak seçilir, ve bu parmaklara ait belirleyici özellikler de çıkarılarak ilgili parmakla etiketlenir.

### 2.6.2 Parmakların Yerlerinin Belirlenmesi

Görüntüden çıkarılan parmakların isimlendirilebilmesi için, bu parmakların sisteme tanıtilan parmaklarla olan benzerliklerini ölçen puanlandırma sistemi oluşturulmuştur. Benzerliği ölçülen her parmak için Şekil 2.60'da gösterilen özellikler kullanılarak bir benzerlik puanı hesaplanmış ve ilgili parmak en düşük puana sahip parmak etiketi ile etiketlenmiştir.

X mevcut görüntüden çıkarılan parmak, Y ilklendirilen parmak ve P de benzerlik puanı olsun. Şekil 2.60'da gösterilen özellikler: a (parmak doğru parçasının uzunluğu), b (parmak doğru parçası ile bilek-el doğrusu arasındaki açı), c (parmak ucu noktasının bilek-el doğrusuna olan dikey uzaklığı), d (parmak doğru parçasının bilek doğrusu ile olan açısı) ve e (parmak doğru parçasının bilek doğrusu ile olan açısı) ile gösterilmek üzere, puanlandırma (2.25) bağıntısı ile yapılmaktadır:

$$P = (X.a - Y.a) * (X.b - Y.b) * (X.c - Y.c) * (X.d - Y.d) * (X.e - Y.e) \quad (2.25)$$

$Y_j$  ilklendirilen parmak;  $X_i$  mevcut görüntüden çıkarılan parmak;  $X_i P_j$ ,  $X_i$ 'in  $Y_j$ 'ye benzeme puanı;  $\forall i \in \{1,2,3,4,5\}$  ve  $\forall j \in \{1,2,3,4,5\}$  olmak üzere, (2.26) bağıntısı ile her parmak için 5 tane olmak üzere toplam 25 benzerlik puanı hesaplanmaktadır.

$$X_i P_j = (X_i.a - Y_j.a) * (X_i.b - Y_j.b) * (X_i.c - Y_j.c) * (X_i.d - Y_j.d) * (X_i.e - Y_j.e) \quad (2.26)$$

n açık parmak sayısı,  $i = (1, \dots, n)$  ve  $j = (i+1, \dots, n)$  olmak üzere, (2.26) bağıntısı ile mevcut görüntüden çıkarılan her bir parmağın baş parmak, işaret parmağı, orta parmak, yüzük parmağı ve serçe parmak olma puanları çıkarılarak, ilgili parmağın hangi parmak olduğuna karar verebilmek için aşağıdaki yöntem uygulanır:

1. Her X parmağı için Y parmağına benzerlikleri ( $XP_1, \dots, XP_5$ ), en çok benzerden en az benzere doğru sıralanır. Benzerlik puanı en düşük olan ilk sırada yer alır. Benzerlik puanları aynı olması durumunda eşitlik bozulana dek sırasıyla; parmak

doğru parçası ile bilek-el doğrusu arasındaki açı, parmak doğru parçasının uzunluğu ve parmak doğru parçasının bilek doğrusu ile olan açısı özelliklerine bakılarak sıralama yapılır.

2.  $i$  için ilk değer ataması yapılır,  $i = 1$ .
3.  $X_i$ 'nin en çok benzediği  $Y_a$  ( $a = 1, \dots, 5$ ) parmağı seçilir.
4.  $j$  için ilk değer ataması yapılır,  $j = i + 1$ .
5.  $X_j$ 'nin en çok benzediği  $Y_b$  ( $b = 1, \dots, 5$ ) parmağı seçilerek,  $Y_a$  ve  $Y_b$  karşılaştırılır:

if ( $Y_a <> Y_b$ ) {

- $X_i$ 'nin  $Y_a$  olması  $X_j$ 'ye göre daha olası olduğu için,  $X_j$ 'nin  $Y_a$  parmağı olamayacağı düşünülür ve  $Y_a$  etiketli parmak  $X_j$ 'nin benzerlik kümesinden çıkarılır. Başlangıçta  $X_j$  5 parmaktan 1'i olabilirken, bu işlemden sonra  $X_j$  geriye kalan 4 parmaktan 1'i olabilir.
- $j = j + 1$ .
- $Y_a$ 'yı diğer açık parmaklar için de değerlendirebilmek için 5. adımdan yinelemeye devam edilir.

} else {

if ( $Y_a$ 'nın benzerlik puanı  $>$   $Y_b$ 'nin benzerlik puanı ) {

- $X_j$ 'nin  $Y_b$  olması  $X_i$ 'ye göre daha olası olduğu için,  $X_i$ 'nin  $Y_a$  parmağı olamayacağı düşünülür ve  $Y_a$  parmağı  $X_i$ 'nin benzerlik kümesinden çıkarılır.
- $X_i$ 'nin benzediği diğer parmakları değerlendirebilmek için 3. adımdan yinelemeye devam edilir.

} else {

- $X_i$ 'nin  $Y_a$  olması  $X_j$ 'ye göre daha olası olduğu için,  $X_j$ 'nin  $Y_b$  parmağı olamayacağı düşünülür ve  $Y_b$  parmağı  $X_j$ 'nin benzerlik kümesinden çıkarılır.
- $j = j + 1$ .

- $Y_a$ 'yı diğer açık parmaklar için de değerlendirebilmek için 5. adımdan yinelemeye devam edilir.

}

}

6.  $X_i$  tüm  $X_j$ 'ler ile karşılaştırıldıktan sonra,  $X_i$  hala  $Y_a$ 'ya en benzerse,  $X_i$   $Y_a$  parmağının etiketi ile etiketlenir.

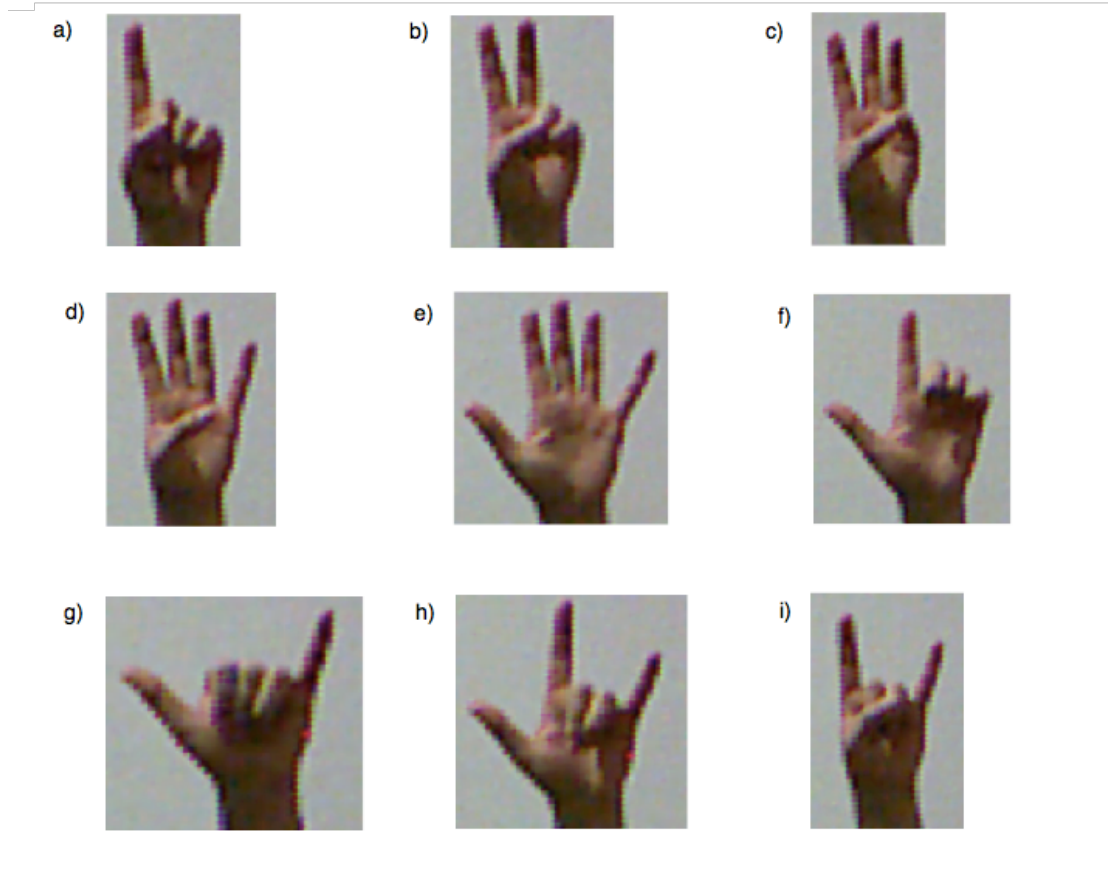
7. Açık olan diğer parmakların da tespit edilebilmesi için:

- $i = i + 1$ .
- 3. adımdan yinelemeye devam edilir.

Yukarıdaki işlemin uygulanması ile, görüntüden çıkarılan parmak doğru parçaları kendilerine en çok benzeyen parmak isimleri ile etiketlenir.

### DENEYSEL SONUÇLAR

Sistemin performansı (görüntüdeki açık parmakların çıkarımı ve çıkarılan parmakların isimlendirilmesi), ortamdaki ışığın etkisi ve kullanılan elin sistemin performansına etkisi, kapalı ortamda, farklı ışık şartlarında, RGB-D kamera kullanılarak alınan Şekil 3.1'deki gibi elin parmaklarının tamamının veya bir kısmının açık olduğu görüntüler kullanılarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.1 Parmak şekillerinin ve isimlerinin çıkarılacağı el şekilleri

Sistemin performansının değerlendirilmesinde kullanılan test veri seti, 13 farklı kişiden, Şekil 3.1'deki her el şekli için sağ ve sol elin kullanılması ile alınan 124 farklı görüntüden ve toplamda 1116 farklı görüntüden oluşmaktadır.

9 farklı el şekli için, görüntüden parmak şekillerinin çıkarılması ve açık parmakların isimlendirilmesi işleminden elde edilen deney sonuçları: sağ el ve aydınlık ortam Çizelge 3.1'de; sağ el ve alacakaranlık ortam Çizelge 3.2'de; sol el ve aydınlık ortam Çizelge 3.3'de; sol el ve alacakaranlık ortam Çizelge 3.4'de gösterilmektedir. Ayrıca, sağ el için ortamdaki ışığın ayrımı yapılmaksızın alınan tüm sonuçlar Çizelge 3.5'de, sol el için ise Çizelge 3.6'da gösterilmektedir. Son olarak, el ve ortamdaki ışığın ayrımı yapılmaksızın, kullanılan tüm örnekler için alınan sonuçlar da Çizelge 3.7'de gösterilmektedir.

Şekil 3.1'deki el şekilleri için alınan test sonuçlarının gösterildiği çizelgelerde, örnek sayısı yapılan test miktarını; doğru tahmin sayısı, test edilen örneklerdeki açık olan parmakların hepsinin doğru olarak tahmin edildiği miktarı; doğru şekil çıkarılma sayısı, örnek görüntüde el şeklinin ve parmak iskeletlerinin görüntüden düzgün olarak çıkarılma miktarını göstermektedir.

Çizelge 3.1 Sağ el – aydınlık ortam, el ve parmak şekillerinin çıkarımı sonuçları

| El şekli | Örnek sayısı | Doğru tahmin sayısı | Doğru şekil çıkarılma sayısı | Doğru tahmin oranı (%) | Doğru şekil çıkarılma oranı (%) |
|----------|--------------|---------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| a)       | 60           | 31                  | 47                           | 51,67                  | 78,33                           |
| b)       | 60           | 40                  | 56                           | 66,67                  | 93,33                           |
| c)       | 60           | 41                  | 52                           | 68,33                  | 86,67                           |
| d)       | 60           | 47                  | 53                           | 78,33                  | 88,33                           |
| e)       | 60           | 54                  | 54                           | 90,00                  | 90,00                           |
| f)       | 60           | 18                  | 46                           | 30,00                  | 76,67                           |
| g)       | 60           | 12                  | 54                           | 20,00                  | 90,00                           |
| h)       | 60           | 11                  | 57                           | 18,33                  | 95,00                           |
| i)       | 60           | 15                  | 60                           | 25,00                  | 100,00                          |
| Toplam   | 540          | 269                 | 479                          | 49,81                  | 88,70                           |

Çizelge 3.2 Sağ el – alacakaranlık ortam, el ve parmak şekillerinin çıkarımı sonuçları

| El şekli | Örnek sayısı | Doğru tahmin sayısı | Doğru şekil çıkarılma sayısı | Doğru tahmin oranı (%) | Doğru şekil çıkarılma oranı (%) |
|----------|--------------|---------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| a)       | 10           | 5                   | 5                            | 50,00                  | 50,00                           |
| b)       | 10           | 5                   | 8                            | 50,00                  | 80,00                           |
| c)       | 10           | 7                   | 10                           | 70,00                  | 100,00                          |
| d)       | 10           | 7                   | 10                           | 70,00                  | 100,00                          |
| e)       | 10           | 8                   | 8                            | 80,00                  | 80,00                           |
| f)       | 10           | 1                   | 9                            | 10,00                  | 90,00                           |
| g)       | 10           | 0                   | 10                           | 0,00                   | 100,00                          |
| h)       | 10           | 3                   | 10                           | 30,00                  | 100,00                          |
| i)       | 10           | 2                   | 10                           | 20,00                  | 100,00                          |
| Toplam   | 90           | 38                  | 80                           | 42,22                  | 88,89                           |

Çizelge 3.3 Sol el – aydınlık ortam, el ve parmak şekillerinin çıkarımı sonuçları

| El şekli | Örnek sayısı | Doğru tahmin sayısı | Doğru şekil çıkarılma sayısı | Doğru tahmin oranı (%) | Doğru şekil çıkarılma oranı (%) |
|----------|--------------|---------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| a)       | 44           | 31                  | 40                           | 70,45                  | 90,91                           |
| b)       | 44           | 31                  | 42                           | 70,45                  | 95,45                           |
| c)       | 44           | 34                  | 41                           | 77,27                  | 93,18                           |
| d)       | 44           | 34                  | 40                           | 77,27                  | 90,91                           |
| e)       | 44           | 33                  | 33                           | 75,00                  | 75,00                           |
| f)       | 44           | 17                  | 39                           | 38,64                  | 88,64                           |
| g)       | 44           | 9                   | 44                           | 20,45                  | 100,00                          |
| h)       | 44           | 7                   | 43                           | 15,91                  | 97,73                           |
| i)       | 44           | 9                   | 42                           | 20,45                  | 95,45                           |
| Toplam   | 396          | 205                 | 364                          | 51,77                  | 91,92                           |

Çizelge 3.4 Sol el – alacakaranlık ortam, el ve parmak şekillerinin çıkarımı sonuçları

| El şekli | Örnek sayısı | Doğru tahmin sayısı | Doğru şekil çıkarılma sayısı | Doğru tahmin oranı (%) | Doğru şekil çıkarılma oranı (%) |
|----------|--------------|---------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| a)       | 10           | 5                   | 7                            | 50,00                  | 70,00                           |
| b)       | 10           | 5                   | 8                            | 50,00                  | 80,00                           |
| c)       | 10           | 7                   | 10                           | 70,00                  | 100,00                          |
| d)       | 10           | 9                   | 10                           | 90,00                  | 100,00                          |
| e)       | 10           | 8                   | 8                            | 80,00                  | 80,00                           |
| f)       | 10           | 4                   | 9                            | 40,00                  | 90,00                           |
| g)       | 10           | 4                   | 10                           | 40,00                  | 100,00                          |
| h)       | 10           | 1                   | 9                            | 10,00                  | 90,00                           |
| i)       | 10           | 1                   | 10                           | 10,00                  | 100,00                          |
| Toplam   | 90           | 44                  | 81                           | 48,89                  | 90,00                           |



Çizelge 3.5 Sağ el, el ve parmak şekillerinin çıkarımı sonuçları

| El şekli | Örnek sayısı | Doğru tahmin sayısı | Doğru şekil çıkarılma sayısı | Doğru tahmin oranı (%) | Doğru şekil çıkarılma oranı (%) |
|----------|--------------|---------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| a)       | 70           | 36                  | 52                           | 51,43                  | 74,29                           |
| b)       | 70           | 45                  | 64                           | 64,29                  | 91,43                           |
| c)       | 70           | 48                  | 62                           | 68,57                  | 88,57                           |
| d)       | 70           | 54                  | 63                           | 77,14                  | 90,00                           |
| e)       | 70           | 62                  | 62                           | 88,57                  | 88,57                           |
| f)       | 70           | 19                  | 55                           | 27,14                  | 78,57                           |
| g)       | 70           | 12                  | 64                           | 17,14                  | 91,43                           |
| h)       | 70           | 14                  | 67                           | 20,00                  | 95,71                           |
| i)       | 70           | 17                  | 70                           | 24,29                  | 100,00                          |
| Toplam   | 630          | 307                 | 559                          | 48,73                  | 88,73                           |

Çizelge 3.6 Sol el, el ve parmak şekillerinin çıkarımı sonuçları

| El şekli | Örnek sayısı | Doğru tahmin sayısı | Doğru şekil çıkarılma sayısı | Doğru tahmin oranı (%) | Doğru şekil çıkarılma oranı (%) |
|----------|--------------|---------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| a)       | 54           | 36                  | 47                           | 66,67                  | 87,04                           |
| b)       | 54           | 36                  | 50                           | 66,67                  | 92,59                           |
| c)       | 54           | 41                  | 51                           | 75,93                  | 94,44                           |
| d)       | 54           | 43                  | 50                           | 79,63                  | 92,59                           |
| e)       | 54           | 41                  | 41                           | 75,93                  | 75,93                           |
| f)       | 54           | 21                  | 48                           | 38,89                  | 88,89                           |
| g)       | 54           | 13                  | 54                           | 24,07                  | 100,00                          |
| h)       | 54           | 8                   | 52                           | 14,81                  | 96,30                           |
| i)       | 54           | 10                  | 52                           | 18,52                  | 96,30                           |
| Toplam   | 486          | 249                 | 445                          | 51,23                  | 91,56                           |

Çizelge 3.7 El ve ortam ayırımı yapılmadan el ve parmak şekillerinin çıkarımı sonuçları

| El şekli | Örnek sayısı | Doğru tahmin sayısı | Doğru şekil çıkarılma sayısı | Doğru tahmin oranı (%) | Doğru şekil çıkarılma oranı (%) |
|----------|--------------|---------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| a)       | 124          | 72                  | 99                           | 58,06                  | 79,84                           |
| b)       | 124          | 81                  | 114                          | 65,32                  | 91,94                           |
| c)       | 124          | 89                  | 113                          | 71,77                  | 91,13                           |
| d)       | 124          | 97                  | 113                          | 78,23                  | 91,13                           |
| e)       | 124          | 103                 | 103                          | 83,06                  | 83,06                           |
| f)       | 124          | 40                  | 103                          | 32,26                  | 83,06                           |
| g)       | 124          | 25                  | 118                          | 20,16                  | 95,16                           |
| h)       | 124          | 22                  | 119                          | 17,74                  | 95,97                           |
| i)       | 124          | 27                  | 122                          | 21,77                  | 98,39                           |
| Toplam   | 1116         | 556                 | 1004                         | 49,82                  | 89,96                           |

Yapılan deneylerde el ve parmak şekillerinin görüntüden, hangi elin kullanıldığına bağlı olmadan, göz ardı edilebilecek düşük bir ışık etkisi ile, ortalama %89,96 gibi yüksek bir oranla çıkarılmasına rağmen; serçe parmağın açık, yüzük parmağın kapalı olduğu el şekillerinde tahmin oranının düşük olması nedeniyle, parmakların doğru olarak isimlendirilme oranı ortalama %49,82 olmuştur. Bu şekillerde tahmin oranının düşük olmasının nedeni, serçe parmağın sıklıkla yüzük parmak olarak yanlış isimlendiriliyor olmasıdır.

El şeklini oluşturan açık parmaklardan herhangi birinin bile yanlış olarak isimlendirilmesi, el şeklinin yanlış olarak tanınmasına neden olduğu için, bir parmağın ne kadar doğru olarak isimlendirildiği ve en çok hangi parmağa yanlış olarak benzetildiğinin ilişkisi araştırılmıştır. Bunun için el şeklinin tanınması deneyindeki örnekler kullanılarak, farklı el ve ışık ortamında parmakların birbirlerine benzetilme ilişkileri hesaplanmıştır.

İlişkiler, sağ el ve aydınlık ortam Çizelge 3.8'de; sağ el ve alacakaranlık ortam Çizelge 3.9'da; sol el ve aydınlık ortam Çizelge 3.10'da; sol el ve alacakaranlık ortam Çizelge 3.11'de gösterilmektedir. Ayrıca, ortamın ışığının ayrımı yapılmadan sağ el için ilişkiler Çizelge 3.12'de, sol el için ise Çizelge 3.13'de gösterilmektedir. Son olarak, el ve ortamdaki ışığın ayrımı yapılmaksızın kullanılan tüm örnekler için çıkarılan ilişkiler de Çizelge 3.14'de gösterilmektedir.

Parmakların birbirlerine benzetilme ilişkilerinin gösterildiği çizelgelerde, el şeklindeki açık olan parmaklar: baş parmak, işaret parmağı, orta parmak, yüzük parmağı ve serçe parmak sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 5 ile gösterilmiştir. Parmakların birbirlerine benzetilme ilişkileri, 1 parmağının 1 olarak çıkarımının yapıldığı örnek sayısı 1 bulma sayısı, 1 parmağının 5 olarak çıkarımının yapıldığı örnek sayısı da 5 bulma sayısı şeklinde gösterilmiştir. İlgili parmağın, görüntüde şekil olarak çıkarımının yapılamadığı durum sayısı da bulamama sayısı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 Sağ el ve aydınlık ortam, parmakların birbirlerine benzetilme ilişkisi

| Açık parmak     | Bulma sayısı |       |       |       |       | Bulamama sayısı    | Örnek sayısı |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------------|--------------|
|                 | 1            | 2     | 3     | 4     | 5     |                    |              |
| 1               | 184          | 18    | 21    | 6     | 5     | 6                  | 240          |
| 2               | 7            | 400   | 45    | 20    | 6     | 2                  | 480          |
| 3               | 1            | 0     | 219   | 11    | 1     | 8                  | 240          |
| 4               | 4            | 0     | 0     | 165   | 3     | 8                  | 180          |
| 5               | 8            | 4     | 18    | 79    | 189   | 2                  | 300          |
| Bulma oranı (%) |              |       |       |       |       |                    |              |
|                 | 1            | 2     | 3     | 4     | 5     | Bulamama oranı (%) |              |
| 1               | 76,67        | 7,50  | 8,75  | 2,50  | 2,08  | 2,50               |              |
| 2               | 1,46         | 83,33 | 9,38  | 4,17  | 1,25  | 0,42               |              |
| 3               | 0,42         | 0,00  | 91,25 | 4,58  | 0,42  | 3,33               |              |
| 4               | 2,22         | 0,00  | 0,00  | 91,67 | 1,67  | 4,44               |              |
| 5               | 2,67         | 1,33  | 6,00  | 26,33 | 63,00 | 0,67               |              |

Çizelge 3.9 Sağ el ve alacakaranlık ortam, parmakların birbirlerine benzetilme ilişkisi

| Açık parmak     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | Bulamama sayısı    | Örnek sayısı |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|--------------|
|                 |       |       |       |       |       |                    |              |
| 2               | 1     | 68    | 7     | 4     | 0     | 0                  | 80           |
| 3               | 0     | 0     | 35    | 1     | 2     | 2                  | 40           |
| 4               | 1     | 0     | 0     | 29    | 0     | 0                  | 30           |
| 5               | 4     | 0     | 2     | 19    | 25    | 0                  | 50           |
| Bulma oranı (%) |       |       |       |       |       |                    |              |
|                 | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | Bulamama oranı (%) |              |
| 1               | 72,50 | 7,50  | 12,50 | 5,00  | 2,50  | 0,00               |              |
| 2               | 1,25  | 85,00 | 8,75  | 5,00  | 0,00  | 0,00               |              |
| 3               | 0,00  | 0,00  | 87,50 | 2,50  | 5,00  | 5,00               |              |
| 4               | 3,33  | 0,00  | 0,00  | 96,67 | 0,00  | 0,00               |              |
| 5               | 8,00  | 0,00  | 4,00  | 38,00 | 50,00 | 0,00               |              |

Çizelge 3.10 Sol el ve aydınlık ortam, parmakların birbirlerine benzetilme ilişkisi

| Açık parmak     | Bulma sayısı |       |       |       |       | Bulamama sayısı    | Örnek sayısı |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------------|--------------|
|                 | 1            | 2     | 3     | 4     | 5     |                    |              |
| 1               | 123          | 8     | 17    | 9     | 10    | 9                  | 176          |
| 2               | 3            | 291   | 38    | 13    | 5     | 2                  | 352          |
| 3               | 3            | 0     | 162   | 5     | 3     | 3                  | 176          |
| 4               | 2            | 0     | 0     | 121   | 4     | 5                  | 132          |
| 5               | 3            | 2     | 14    | 52    | 147   | 2                  | 220          |
| Bulma oranı (%) |              |       |       |       |       |                    |              |
| Açık parmak     | 1            | 2     | 3     | 4     | 5     | Bulamama oranı (%) |              |
| 1               | 69,89        | 4,55  | 9,66  | 5,11  | 5,68  | 5,11               |              |
| 2               | 0,85         | 82,67 | 10,80 | 3,69  | 1,42  | 0,57               |              |
| 3               | 1,70         | 0,00  | 92,05 | 2,84  | 1,70  | 1,70               |              |
| 4               | 1,52         | 0,00  | 0,00  | 91,67 | 3,03  | 3,79               |              |
| 5               | 1,36         | 0,91  | 6,36  | 23,64 | 66,82 | 0,91               |              |

Çizelge 3.11 Sol el ve alacakaranlık ortam, parmakların birbirlerine benzetilme ilişkisi

| Açık parmak     | Bulma sayısı |       |       |       |       | Bulamama sayısı    | Örnek sayısı |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------------|--------------|
|                 | 1            | 2     | 3     | 4     | 5     |                    |              |
| 1               | 29           | 2     | 4     | 1     | 2     | 2                  | 40           |
| 2               | 1            | 61    | 11    | 6     | 0     | 1                  | 80           |
| 3               | 0            | 0     | 39    | 1     | 0     | 0                  | 40           |
| 4               | 1            | 0     | 0     | 27    | 2     | 0                  | 30           |
| 5               | 1            | 1     | 6     | 4     | 38    | 0                  | 50           |
| Bulma oranı (%) |              |       |       |       |       |                    |              |
| Açık parmak     | 1            | 2     | 3     | 4     | 5     | Bulamama oranı (%) |              |
| 1               | 72,50        | 5,00  | 10,00 | 2,50  | 5,00  | 5,00               |              |
| 2               | 1,25         | 76,25 | 13,75 | 7,50  | 0,00  | 1,25               |              |
| 3               | 0,00         | 0,00  | 97,50 | 2,50  | 0,00  | 0,00               |              |
| 4               | 3,33         | 0,00  | 0,00  | 90,00 | 6,67  | 0,00               |              |
| 5               | 2,00         | 2,00  | 12,00 | 8,00  | 76,00 | 0,00               |              |

Çizelge 3.12 Sağ el, parmakların birbirlerine benzetilme ilişkisi

| Açık parmak     | Bulma sayısı |       |       |       |       | Bulamama sayısı    | Örnek sayısı |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------------|--------------|
|                 | 1            | 2     | 3     | 4     | 5     |                    |              |
| 1               | 213          | 21    | 26    | 8     | 6     | 6                  | 280          |
| 2               | 8            | 468   | 52    | 24    | 6     | 2                  | 560          |
| 3               | 1            | 0     | 254   | 12    | 3     | 10                 | 280          |
| 4               | 5            | 0     | 0     | 194   | 3     | 8                  | 210          |
| 5               | 12           | 4     | 20    | 98    | 214   | 2                  | 350          |
| Bulma oranı (%) |              |       |       |       |       |                    |              |
|                 | 1            | 2     | 3     | 4     | 5     | Bulamama oranı (%) |              |
| 1               | 76,07        | 7,50  | 9,29  | 2,86  | 2,14  | 2,14               |              |
| 2               | 1,43         | 83,57 | 9,29  | 4,29  | 1,07  | 0,36               |              |
| 3               | 0,36         | 0,00  | 90,71 | 4,29  | 1,07  | 3,57               |              |
| 4               | 2,38         | 0,00  | 0,00  | 92,38 | 1,43  | 3,81               |              |
| 5               | 3,43         | 1,14  | 5,71  | 28,00 | 61,14 | 0,57               |              |

Çizelge 3.13 Sol el, parmakların birbirlerine benzetilme ilişkisi

| Açık parmak     | Bulma sayısı |       |       |       |       | Bulamama sayısı    | Örnek sayısı |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------------|--------------|
|                 | 1            | 2     | 3     | 4     | 5     |                    |              |
| 1               | 152          | 10    | 21    | 10    | 12    | 11                 | 216          |
| 2               | 4            | 352   | 49    | 19    | 5     | 3                  | 432          |
| 3               | 3            | 0     | 201   | 6     | 3     | 3                  | 216          |
| 4               | 3            | 0     | 0     | 148   | 6     | 5                  | 162          |
| 5               | 4            | 3     | 20    | 56    | 185   | 2                  | 270          |
| Bulma oranı (%) |              |       |       |       |       |                    |              |
|                 | 1            | 2     | 3     | 4     | 5     | Bulamama oranı (%) |              |
| 1               | 70,37        | 4,63  | 9,72  | 4,63  | 5,56  | 5,09               |              |
| 2               | 0,93         | 81,48 | 11,34 | 4,40  | 1,16  | 0,69               |              |
| 3               | 1,39         | 0,00  | 93,06 | 2,78  | 1,39  | 1,39               |              |
| 4               | 1,85         | 0,00  | 0,00  | 91,36 | 3,70  | 3,09               |              |
| 5               | 1,48         | 1,11  | 7,41  | 20,74 | 68,52 | 0,74               |              |

Çizelge 3.14 El ve ortam ayrımı olmadan, parmakların birbirlerine benzetilme ilişkisi

| Açık parmak | Bulma sayısı    |       |       |       |       | Bulamama sayısı    | Örnek sayısı |
|-------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|--------------------|--------------|
|             | 1               | 2     | 3     | 4     | 5     |                    |              |
| 1           | 365             | 31    | 47    | 18    | 18    | 17                 | 496          |
| 2           | 12              | 820   | 101   | 43    | 11    | 5                  | 992          |
| 3           | 4               | 0     | 455   | 18    | 6     | 13                 | 496          |
| 4           | 8               | 0     | 0     | 342   | 9     | 13                 | 372          |
| 5           | 16              | 7     | 40    | 154   | 399   | 4                  | 620          |
|             | Bulma oranı (%) |       |       |       |       | Bulamama oranı (%) |              |
|             | 1               | 2     | 3     | 4     | 5     |                    |              |
| 1           | 73,59           | 6,25  | 9,48  | 3,63  | 3,63  | 3,43               |              |
| 2           | 1,21            | 82,66 | 10,18 | 4,33  | 1,11  | 0,50               |              |
| 3           | 0,81            | 0,00  | 91,73 | 3,63  | 1,21  | 2,62               |              |
| 4           | 2,15            | 0,00  | 0,00  | 91,94 | 2,42  | 3,49               |              |
| 5           | 2,58            | 1,13  | 6,45  | 24,84 | 64,35 | 0,65               |              |

Yapılan incelemelerde, sağ veya sol el kullanılmasının veya ortamdaki ışığın parmakların yanlış olarak sınıflandırılmasında etkisinin olmadığı, farklı koşullarda benzer hatalı sonuçların ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

Yapılan testlerde kullanılan el şekillerinde (Şekil 3.1), açık olan parmakların tanınması değerlendirildiğinde:

- Orta parmak ve yüzük parmağının açık olduğu el şekillerinde, bu parmakların genellikle doğru olarak tespit edildiği gözlemlenmiştir.
- Serçe parmak, sıklıkla ilklendirilen el şeklindeki yüzük parmağının yerinde algılanmış, parmakların tanınmasında kullanılan bilek-el doğrusu ile olan özellikler nedeniyle de yüzük parmağı olarak yanlış sınıflandırılmıştır.
- İşaret parmağının yanlış olarak sınıflandırıldığı örneklerde, serçe parmağın tanınmasında olduğu gibi, ilklendirilen el şeklindeki orta parmağın yerinde algılanmış, parmakların tanınmasında kullanılan bilek-el doğrusu ile olan özellikler nedeniyle de işaret parmağı orta parmak olarak sınıflandırılmıştır.
- Baş parmağın hareket alanının geniş olmasından dolayı parmakların tanınmasında kullanılan özellikler (bilek-el doğrusu ve bilek doğrusu ile olan özellikler),

ilkendirilen el Şeklindeki değerlerden çok farklılık gösterebilmektedir. Özellik değerlerinin farklılık gösteriyor olması, bu parmağın tanınma başarısının düşük olmasına neden olmuştur.

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Microsoft Kinect RGB-D kamera kullanılarak görüntüden el ve parmak şekilleri çıkarılmış, ve çıkarılan şekilden hangi parmakların açık olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Açık parmakların tespiti, literatürde yaygın olarak kullanılan, geniş bir eğitim seti kullanılarak, görüntüdeki el şeklinin eğitim setindeki ön tanımlı şekillere göre sınıflandırılarak parmakların bulunması yöntemi kullanılarak değil; ön tanımlı bir eğitim seti kullanılmadan tüm parmakların açık olduğu el şeklinin iklendirilmesi ile parmakların istatistiksel özellikleri kullanılarak, el şeklinden bağımsız olarak yapılmıştır.

Literatürde derinlik kamerası kullanılarak el şekli çıkarımı yapılan çalışmalarda, elin sabit bir mesafede olduğu varsayılarak, eşik değeri belirlenmiş ve bu aralıkta sadece elin var olduğunun kabul edilmesi ile işlem yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada, Kinect'in iskelet bulma yöntemleri kullanılarak, RGB-D kameraya en yakın kişinin iskelet bilgileri ile elin kameraya göre konum bilgileri anlık olarak bulunmuştur. Elin konum bilgilerine göre eli çevreleyen kutu için eşik değerleri belirlenerek, el şekli görüntüden dinamik olarak çıkarılmıştır.

El şeklinin görüntüden çıkarılması ile, elin kenar pikselleri ve eli çevreleyen dış bükey örtü bulunmuştur. Parmak uçlarının, kenar pikselleri ile dış bükey örtünün kesişim noktalarında yer aldığı düşünülerek parmakların çıkarımı yapılmıştır. Literatürde derinlik kamerası kullanılarak parmak şekillerinin çıkarımının yapıldığı çalışmalarla kıyaslandığında, ortalama %89,96 doğru çıkarım oranı ile diğer çalışmalarla (Raheja vd. [10], parmak şekillerini %90 doğrulukta çıkarmıştır) benzer sonuçlar alındığı gözlemlenmiştir.



Görüntüden el şeklinin çıkarılması RGB-D kameranın derinlik sensöründen alınan bilgi kullanılarak yapıldığı için, literatürde ten rengine göre çıkarım yapılan çalışmaların başarısının, ortamdaki ışık yoğunluğunun etkisine bağlı olması sorunu, bu çalışmada yaşanmamıştır. Farklı ışık yoğunluğundaki ortamlarda yapılan deneylerde, el ve parmak şekillerinin çıkarılması işleminden elde edilen sonuçların birbirinden çok farklı olmadığı, aradaki farkın göz ardı edilebileceği görülmüştür. Aynı şekilde, derinlik kamerası kullanıldığı için, literatürde arka plan çıkarımı yöntemi ile yapılan el şekli çıkarımı işleminde, arka planın karmaşık olması ya da arka planın sürekli değişmesinin sistemin başarısına etkisi de, bu çalışmada gözlemlenmemiştir.

Kapalı ortamda, farklı ışık şartlarında 13 farklı kişiden sağ ve sol elin kullanılması ile alınan 1166 farklı derinlik görüntüsü kullanılarak yapılan testlerde, görüntüdeki el ve parmak şekilleri ortalama %89,96 doğruluk oranı ile çıkarılmasına rağmen, çıkarılan parmakların bağımsız olarak tanınması %49,82 doğruluk oranı ile yapılabilmektedir. Literatürde tek el kullanılarak el şekil tanınmasının yapıldığı diğer çalışmalarda ise bu oran, parmakların bağımsız olarak tanınmadığı, el şekil olarak sınıflandırıldığı için, %84 ile %99 arasındadır (Li [12], el şekli tanınmasını %89,05 doğrulukta yapmıştır).

Bu çalışmada elin yönü, bilek ve dirsek konum bilgisi kullanılarak belirlenmiştir. Dirseğin kullanılıyor olması, elin şeklinin dirsek ve omuz hareketlerinden bağımsız olarak belirlenmesini sağlamış; ancak elin bilekten hareket ettirilmesi, şeklin yanlış tanınmasına neden olmuştur. Gelecek çalışmalarda, çıkarılan el şeklinden avuç içi merkezi bulunarak, elin yönü bilek ve avuç içi merkez noktası kullanılarak bulunabilir. Bu sayede el şekli çıkarımı, elin bilek hareketlerinden de bağımsız olacaktır.

Gelecek çalışmalarda, parmakların bağımsız olarak tanınmasını sağlayan özelliklerin, parmakları hareketlerinden bağımsız olarak ayırt edebilecek özellikler bulunarak, çoğaltılması tanıma başarısının da iyileşmesini sağlayacaktır. Parmak hareketlerinden bağımsız ayırt edici özellikler, baş parmağın hareket alanı genişliğinden kaynaklı yanlış tanıma oranını da ciddi oranda düşürecektir.

## KAYNAKLAR

- 
- [1] Zimmermann, T.G., Lanier, J., Blanchard, C., Bryson, S. ve Harvill, Y., (1987). "A Hand Gesture Interface Device", Proceedings of the SIGCHI/GI Conference on Human Factors in Computing Systems and Graphics Interface, 5-9 Nisan 1987, Toronto, 189-192.
  - [2] Cipolla, R., Okamoto, Y. ve Kuno, Y., (1993). "Robust Structure from Motion Using Motion Parallax", Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision, 11-14 Mayıs 1993, Berlin, 374-382.
  - [3] Maggioni, C., (1993). "A Novel Gestural Input Device for Virtual Reality", IEEE Annual Virtual Reality International Symposium, 18-22 Eylül 1993, Seattle, 118-124.
  - [4] Sato, Y., Kobayashi, Y. ve Koike, H., (2000). "Fast Tracking of Hands and Fingertips in Infrared Images for Augmented Desk Interface", Proceedings of Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 28-30 Mart 2000, Grenoble, 462-467.
  - [5] Hardenberg, C.V. ve Berard, F., (2001). "Bare-Hand Human-Computer Interaction", Proceedings of the Workshop on Perceptive User Interfaces, 15-16 Kasım 2001, Orlando, 1-8.
  - [6] Rehg, J. ve Kanade, T., (1994). "Digiteyes: Vision Based Hand Tracking for Human-Computer Interaction", Proceedings of the Workshop on Motion of Non-Rigid and Articulated Objects, 11-12 Kasım 1994, Austin, 16-22.
  - [7] Hongyong, T. ve Youling Y., (2012). "Finger Tracking and Gesture Interaction with Kinect", IEEE 12th International Conference on Computer and Information Technology (CIT), 27-29 Eylül 2012, Chengdu, 214-218.
  - [8] Minnen, D. ve Zafrulla, Z., (2011). "Towards Robust Cross-User Hand Tracking and Shape Recognition", IEEE International Conference on Computer Vision Workshops, 6-13 Kasım 2011, Barcelona, 1235-1241.
  - [9] Polrola, M. ve Wojciechowski, A., (2012). "Real-Time Hand Pose Estimation Using Classifiers", Proceedings of ICCVG, 24-26 Eylül 2012, Warsaw, 573-580.
  - [10] Raheja, J.L., Chaudhary, A. ve Singal, K., (2011). "Tracking of Fingertips and Centres of Palm Using KINECT", Third International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation (CIMSIM), 20-22 Eylül 2011, Langkawi, 248-252.

- [11] Frati, V. ve Prattichizzo, D., (2011). "Using Kinect for Hand Tracking and Rendering in Wearable Haptics", IEEE World Haptics Conference (WHC), 21-24 Haziran 2011, İstanbul, 317-321.
- [12] Li, Y., (2012). "Hand Gesture Recognition Using Kinect", IEEE 3rd International Conference, 22-24 Haziran 2012, Pekin.
- [13] Mehrabian, A. ve Ferris, S.R., (1967). "Inference of Attitude from Nonverbal Communication in Two Channels", J Consult Psychol, 31(3): 248-52.
- [14] Microsoft, Kinect for Windows, <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>, 3 Mart 2014.
- [15] Wikipedia, Background Subtraction, [http://en.wikipedia.org/wiki/Background\\_subtraction](http://en.wikipedia.org/wiki/Background_subtraction), 4 Mart 2014.
- [16] Wikipedia, Opening (Morphology), [http://en.wikipedia.org/wiki/Opening\\_\(morphology\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Opening_(morphology)), 4 Mart 2014.
- [17] Xbox.com, Kinect for Xbox 360, <http://www.xbox.com/tr-TR/Xbox360/Accessories/kinect>, 3 Mart 2014.
- [18] Microsoft Developer Network, Kinect for Windows Sensor Components and Specifications, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx>, 3 Mart 2014.
- [19] Microsoft Developer Network, Kinect for Windows Programming Guide, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh855348.aspx>, 3 Mart 2014.
- [20] Microsoft Developer Network, Skeletal Tracking, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973074.aspx>, 3 Mart 2014.
- [21] Microsoft Developer Network, Kinect Sensor, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh438998.aspx>, 3 Mart 2014.
- [22] Primesense, 3D Sensing Technology Solutions, <http://www.primesense.com/>, 3 Mart 2014.
- [23] ROS Wiki, Kinect Calibration, [http://wiki.ros.org/kinect\\_calibration/technical](http://wiki.ros.org/kinect_calibration/technical), 3 Mart 2014.
- [24] Mirror Image, How Kinect Depth Sensor Works – Stereo Triangulation?, <http://mirror2image.wordpress.com/2010/11/30/how-kinect-works-stereo-triangulation/>, 3 Mart 2014.
- [25] Mojtahedzadeh, R., (2011). Robot Obstacle Avoidance Using the Kinect, Yüksek Lisans Tezi, Royal Institute of Technology School of Computer Science and Communication, Stockholm.
- [26] Microsoft Developer Network, Coordinate Spaces, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973078.aspx>, 4 Mart 2014.
- [27] Microsoft Developer Network, Depth Stream, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131028.aspx>, 3 Mart 2014.
- [28] Microsoft Developer Network, Color Stream, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131027.aspx>, 3 Mart 2014.

- [29] Microsoft Developer Network, Recommended 8-Bit YUV Formats for Video Rendering, [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/dd206750\(v=vs.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/dd206750(v=vs.85).aspx), 3 Mart 2014.
- [30] Microsoft Developer Network, Data Streams, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973075.aspx>, 3 Mart 2014.
- [31] Bayer, B.E., (1976). "Color Imaging Array", US Patent, 20 Temmuz 1976, New York.
- [32] Silicon Imaging, RGB "Bayer" Color and Microlenses, <http://www.siliconimaging.com/RGB%20Bayer.htm>, 3 Mart 2014.
- [33] Wikipedia, Bayer Filter, [http://en.wikipedia.org/wiki/Bayer\\_filter](http://en.wikipedia.org/wiki/Bayer_filter), 3 Mart 2014.
- [34] Cambridge in Colour, Digital Camera Sensors, <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-sensors.htm>, 3 Mart 2014.
- [35] Wikipedia, Blob Detection, [http://en.wikipedia.org/wiki/Blob\\_detection](http://en.wikipedia.org/wiki/Blob_detection), 4 Mart 2014.
- [36] Wikipedia, Binary Image, [http://en.wikipedia.org/wiki/Binary\\_image](http://en.wikipedia.org/wiki/Binary_image), 3 Mart 2014.
- [37] Microsoft Developer Network, Skeleton Properties [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/microsoft.kinect.skeleton\\_properties.aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/microsoft.kinect.skeleton_properties.aspx), 4 Mart 2014.
- [38] Lepetit, V., Lagger, P. ve Fua, P., (2005). "Randomized Trees for Real-Time Keypoint Recognition", CVPR, 2:775–781.
- [39] Shotton, J., Sharp, T., Kipman, A., Fitzgibbon, A., Finocchio, M., Blake, A., Cook, M. ve Moore, R., (2013). "Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images", Communications of the ACM, 56(1): 116-124.
- [40] Kong, H., Akakin, H.C. ve Sarma, S.E., (2013). "A Generalized Laplacian of Gaussian Filter for Blob Detection and Its Applications", IEEE Transactions on Cybernetics, 43(6): 1719 – 1733.
- [41] Matas, J., Chum, O., Urban, M. ve Pajdla, T., (2004). "Robust Wide Baseline Stereo from Maximally Stable Extremal Regions", Image and Vision Computing 22(10): 761–767.
- [42] Stockman, G. ve Shapiro, L.G., (2001). Computer Vision, Prentice Hall, NJ.
- [43] The Hypermedia Image Processing Reference, Pixel Connectivity, <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/connect.htm>, 4 Mart 2014.
- [44] Wikipedia, Connected Component Labeling, [http://en.wikipedia.org/wiki/Connected-component\\_labeling](http://en.wikipedia.org/wiki/Connected-component_labeling), 3 Mart 2014.
- [45] Image Analysis, Connected Components Labeling, <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/label.htm>, 4 Mart 2014.

- [46] Görüntü İşleme, RGB, HSV, YCbCr Renk Uzayları, <http://matlabgoruntuisleme.blogspot.com/2012/09/rgbhsvycbcr-renk-uzaylar-md2.html>, 3 Mart 2014.
- [47] Wikipedia, RGB Color Space, [http://en.wikipedia.org/wiki/RGB\\_color\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_space), 4 Mart 2014.
- [48] Wikipedia, HSC Renk Uzayı, [http://tr.wikipedia.org/wiki/HSV\\_renk\\_uzayı](http://tr.wikipedia.org/wiki/HSV_renk_uzayı), 4 Mart 2014.
- [49] Wikipedia, YCbCr Color Space, [http://en.wikipedia.org/wiki/File:YCbCrColorSpace\\_Perspective.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:YCbCrColorSpace_Perspective.png), 4 Mart 2014.
- [50] Microsoft Developer Network, CoordinateMapper Class, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/microsoft.kinect.coordinatemapper.aspx>, 18 Mayıs 2014.
- [51] Chai, D. ve Ngan, K.N., (1996). "Face Segmentation Using Skin-Color Map in Videophone Applications", IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 9(4): 551-564.
- [52] Pterneas, V., (2014), Understanding Kinect Coordinate Mapping, <http://www.codeproject.com/Articles/769608/Understanding-Kinect-Coordinate-Mapping>, 18 Mayıs 2014.
- [53] Wikipedia, Erosion (Morphology), [http://en.wikipedia.org/wiki/Erosion\\_\(morphology\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Erosion_(morphology)), 4 Mart 2014.
- [54] Nedevschi, S., (2011), Morphological Operations on Binary Images, [ftp.utcluj.ro/pub/users/nedevschi/IP/IP\\_Labs\\_2011/ipl\\_07e.pdf](ftp.utcluj.ro/pub/users/nedevschi/IP/IP_Labs_2011/ipl_07e.pdf), 3 Mart 2014.
- [55] Wikipedia, Dilation (Morphology), [http://en.wikipedia.org/wiki/Dilation\\_\(morphology\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Dilation_(morphology)), 4 Mart 2014.
- [56] Gonzalez, R. C., Woods, R. E. ve Eddins, S. L., (2004). Digital Image Processing Using MATLAB, Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- [57] Ghuneim, A.G., Counter Tracing, [http://www.imageprocessingplace.com/downloads\\_V3/root\\_downloads/tutorials/contour\\_tracing\\_Abeer\\_George\\_Ghuneim/moore.html](http://www.imageprocessingplace.com/downloads_V3/root_downloads/tutorials/contour_tracing_Abeer_George_Ghuneim/moore.html), 24 Mayıs 2014.
- [58] Introduction to Algorithms - Massachusetts Institute of Technology, Convex Hull, <http://courses.csail.mit.edu/6.006/spring11/rec/rec24.pdf>, 3 Mart 2014.
- [59] Graham, R.L., (1972). "An Efficient Algorithm for Determining the Convex Hull of a Finite Planar Set", Information Processing Letters, 1: 132-133.
- [60] Zhang, T.Y. ve Suen, C.Y., (1984). "A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns", Communications of the ACM, 27(3): 236-239.
- [61] Johnson, M., Thinning Algorithm, <http://www.massey.ac.nz/~mjjohnso/notes/59731/presentations/Thinning%20Algorithm.doc>, 3 Mart 2014.

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Hakan ONGÜL  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 04.07.1987, Bilecik  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : hakanongul@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

| Derece | Alan                    | Okul/Üniversite                 | Mezuniyet Yılı |
|--------|-------------------------|---------------------------------|----------------|
| Lisans | Bilgisayar Mühendisliği | Yıldız Teknik Üniversitesi      | 2009           |
| Lise   | Fen Bilimleri           | İnegöl Turgutalp Anadolu Lisesi | 2005           |

### İŞ TECRÜBESİ

| Yıl  | Firma/Kurum                              | Görevi                        |
|------|--|-------------------------------|
| 2014 | ACRON Bilişim                            | ABAP takım lideri             |
| 2010 | BIZCON Bilişim ve Danışmanlık Hizmetleri | ABAP danışmanı                |
| 2008 | Intraworks Bilişim Çözümleri             | Lotus Notes yazılım mühendisi |

## **Proje**

1. Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2012-04-01-YL02 numaralı projesi