



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



Yüksek Lisans Tezi

**BİLGİSAYARLI GÖRÜ YÖNTEMLERİ İLE 5 EKSENLİ ROBOT
KOLUN ÖĞRENMESİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA**

Ertürk UZUN

Enformatik Anabilim Dalı

Enformatik Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Sevinç GÜLSEÇEN**

**II. DANIŞMAN
Dr. Murat GEZER**

Temmuz, 2020

İSTANBUL

Bu alışma, 16.07.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Enformatik Anabilim Dalı, Enformatik Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Sevinç GÜLSEÇEN
(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Enformatik Bölümü

Doç. Dr. Çiğdem SELÇUKCAN EROL
İstanbul Üniversitesi
Enformatik Bölümü

Doç. Dr. İrfan ŞİMŞEK
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
Hasan Ali Yücel Eğitim Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Bilimsel hayatımın önemli bir dönüm noktası olarak sayabileceğim, öğrendiğim her bir bilgide daha da çok çalışma ve araştırma azmi veren, ufkumu genişleten yüksek lisans eğitimimin en başından itibaren bana bu fırsatı veren ve desteği sayesinde çalışmamı bu noktaya getirebildiğim Tez danışmanım, hocam Prof. Dr. Sevinç GÜLSEÇEN'e sonsuz teşekkürlerimi bir borç biliyorum. Yüksek Lisans eğitimim esnasında deneyim ve bilgisinden sürekli faydalandığım, tez çalışmamda büyük rolü olan danışman hocam Öğr. Gör. Dr. Murat GEZER'e çalışmama sağladığı katkılarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans eğitimim ile beraber zamanın değerini daha iyi anlamamı sağlayan en büyük destekçilerim İbrahim Alp ve Ada'ya armağan olsun.

Temmuz 2020

Ertürk UZUN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	3
2.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.2. GÖRÜNTÜ İŞLEME	5
2.2.1. Görüntü İşleme Terimleri	5
2.2.1.1. Sayısal Görüntü	6
2.2.1.2. Çözünürlük	7
2.2.1.3. Renk	8
2.3. GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ	13
2.3.1. Görüntü Elde Etme	13
2.2.1.1. Işık kaynağı açısı, güç ve renk	14
2.2.1.2. Görüntü çözünürlüğü	17
2.2.1.3. Arka plan	18
2.2.1.4. Kamera pozisyonu	18
2.3.2. Renk Uzayı Dönüşümü	20
2.3.3. Histogram Oluşturma	23
2.3.4. Renk Ayırt Etme	24
2.3.5. Parlak Yüzey Tespiti	27
2.3.6. Morfolojik İşlemler	27
2.3.7. Eşikleme	32
2.3.8. Merkez Nokta Tespiti	33
2.4. ROBOT	34
2.4.1. Robot Tanımı	34

3. MALZEME VE YÖNTEM.....	38
3.1. GÖRÜNTÜ İŞLEME YAZILIM ORTAMI	38
3.1.1. Raspbian	39
3.1.2. Python.....	39
3.1.3. OpenCV Kütüphanesi.....	39
3.1.4 Numpy Kütüphanesi	40
3.1.5 Matplotlib Kütüphanesi	40
3.2. GÖRÜNTÜ İŞLEME DONANIM ORTAMI.....	40
3.2.1. Raspberry Pi Tek Port Bilgisayar	40
3.2.2. Raspberry Pi Kamera v2.....	42
3.2.3. Üç-Boyutlu Geometrik Nesneler	43
3.2.4. Işık Kaynağı.....	44
3.3. ROBOT KOL DÜZENEGİ.....	47
3.3.1. Robot Kol	47
3.3.2. Servo Motorlar.....	49
3.3.3. Servo Motor Sürücüsü	52
3.3.4. Voltaj Regülatör Kartı	55
3.3.5. Güç Kaynağı.....	57
3.3.6. Kinematik Analiz.....	60
3.3.6.1. İleri Kinematik	60
3.3.6.2. Ters kinematik.....	61
3.4. DENEY	64
3.4.1. Deney Ortamı	64
3.4.2. Koordinat Açılış Dönüşümleri	64
3.4.3. Robot Kol Çalışma Uzayı.....	68
4. BULGULAR.....	72
4.1. DENEYSEL VERİLER	72
4.1.1. Görüntü İşleme Koordinatları.....	72
4.1.2. Robot Kol Hareketini Sağlayabilen Koordinatlar	75
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	79
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ	85

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Elektromanyetik spektrumda insan gözünün görebildiği band aralığı (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2019).	5
Şekil 2.2: Gerçek nesnenin 3 boyutlu uzaya aktarımı.	6
Şekil 2.3: Analog görüntünün Örneklem ve Nicemleme ile sayısallaştırılması (Gonzalez ve Wood, 2018).	7
Şekil 2.4: $M \times N$ çözünürlüğünde bir sayısal görüntünün matris olarak gösterimi.	7
Şekil 2.5: 200x200 boyutunda görüntüden alınan, 15x15 pikselden oluşan bir sayısal görüntü (Yıldırım ve diğ., 2016)	8
Şekil 2.6: Dört ayrı renkli geometrik şekilden oluşan bir resimden rastgele alınmış bir kesit.	9
Şekil 2.7: a. Renkli görüntü, b. Renkli görüntünün mavi düzlemi, c. Renkli görüntünün yeşil düzlemi, d. Renkli görüntünün kırmızı düzlemi.	10
Şekil 2.8: a. RGB renk uzayı yakınlaştırılmış matris değerleri, b. Mavi düzlem yakınlaştırılmış matris değerleri, c. Yeşil düzlem yakınlaştırılmış matris değerleri, d. Kırmızı düzlem yakınlaştırılmış matris değerleri.	11
Şekil 2.9: a. (150,120) koordinatındaki pikselin RGB renk değerleri, b. RGB uzayı (150,120) koordinatındaki pikselin mavi katman renk değeri, c. RGB uzayı (150,120) koordinatındaki pikselin yeşil katman renk değeri, d. RGB uzayı (150,120) koordinatındaki pikselin kırmızı katman renk değeri.	12
Şekil 2.10: a. Sadece beyaz ışık ile elde edilen kamera görüntüsü, b. Beyaz ışık ile birlikte kırmızı ışık kullanılan görüntünün HSV görüntüsü, c. Beyaz ışık ile birlikte yeşil ışık kullanılan görüntünün HSV görüntüsü, d. Beyaz ışık ile birlikte mavi ışık kullanılan görüntünün HSV görüntüsü.	15
Şekil 2.11: Dağınık nesneler.	16
Şekil 2.12: Dağınık arka plan ile üst yüzey tanımlama.	16
Şekil 2.13: a. 640x480 çözünürlük, b. 800x600 çözünürlük, c. 1024x768 çözünürlük, d. 1920x1080 çözünürlük.	17
Şekil 2.14: a. Renkli arka plan, b. Renkli arka plan ile yüzey tespiti, c. Siyah arka plan, d. Siyah arka plan ile yüzey tespiti.	18
Şekil 2.15: Kamera pozisyonu 1.	19

Şekil 2.16: Kamera pozisyonu 2.	19
Şekil 2.17: a. HSV renk uzayı görüntüsü, b. HSV renk katman görüntüsü, c. HSV yoğunluk katman görüntüsü, d. HSV parlaklık katman görüntüsü.	23
Şekil 2.18: HSV renk uzayı histogram grafiği.	24
Şekil 2.19: a. Kırmızı aralığın filtrenmesi sonucu elde edilen görüntü. b. Filtrenilmiş ve orijinal görüntünün birleştirilmesi. c. Yeşil aralığın filtrenmesi sonucu elde edilen görüntü. d. Filtre ve orijinal görüntünün birleştirilmesi. e. Mavi aralığın filtrenmesi sonucu elde edilen görüntü. f. Filtrenilmiş ve orijinal görüntünün birleştirilmesi. g. Sarı aralığın filtrenmesi sonucu elde edilen görüntü. h. Filtrenilmiş görüntü ve orijinal görüntünün birleştirilmesi.	26
Şekil 2.20: Kenarları mavi ile ayrılmış gürültülü yüzey.	28
Şekil 2.21: Gürültülü ikili görüntü.	29
Şekil 2.22: Beyaz pikseller arasında kalan siyah gürültülü pikseller.	29
Şekil 2.23: 3x3 Boyutunda çekirdek.	30
Şekil 2.24: 5x5 Boyutunda çekirdek.	30
Şekil 2.25: 7x7 Boyutunda çekirdek.	30
Şekil 2.26: Kapama yöntemi sonrası görüntü.	31
Şekil 2.27: RGB görüntüsü.	31
Şekil 2.28: Kapama ve maskeleme sonrası görüntü.	31
Şekil 2.29: Gri ölçekli görüntü.	32
Şekil 2.30: Maske ile birleştirilmiş görüntü.	32
Şekil 2.31: Kenarları belirlenecek görüntü.	33
Şekil 2.32: Merkez noktaları tespit edilmiş yüzeylerin görüntüsü.	34
Şekil 2.33: Uzay araştırma ve keşif robotları (International Federations of Robotics (IFR), 2019).	36
Şekil 2.34: Endüstriyel otomasyon (Nedelea, 2014).	36
Şekil 2.35: İnsan etkileşimli robot kollar (Sayılğan, 2020).	37
Şekil 3.1: Yazılım akış diyagramı.	38
Şekil 3.2: Raspberry Pi 3 B+ Mini bilgisayar (Raspberry Pi Organization, 2018).	40
Şekil 3.3: Raspberry Pi V2 kamera modülü (Raspberry Pi Organization, 2018).	42

Şekil 3.4: Raspberry Pi ve kamera bağlantısı (Raspberry Pi Organization, 2018).	43
Şekil 3.5: 3-Boyutlu Geometrik Nesneler.	44
Şekil 3.6: Kamera konumu 1.	45
Şekil 3.7: Kamera konumu 2.	45
Şekil 3.8: Birinci ışık kaynağı özellikleri.	46
Şekil 3.9: İkinci ışık kaynağı özellikleri.	46
Şekil 3.10: Doğrudan aydınlatma aracı.	47
Şekil 3.11: Robot kol tasarım görüntüsü	47
Şekil 3.12: Robot kol (Robot Arm, 2018).	49
Şekil 3.13: Tower Pro MG 958 servo motor (TowerPro, 2018).	50
Şekil 3.14: MG 958 ölçüm şeması.	50
Şekil 3.15: Tower Pro MG 996R servo motor.	51
Şekil 3.16: MG 996R ölçüm şeması	51
Şekil 3.17: Montajsız Adafruit servo motor sürücüsü (Adafruit, 2018).	52
Şekil 3.18: Raspberry Pi ve Adafruit servo motor sürücü fiziksel bağlantısı (Townsend, 2012).	53
Şekil 3.19: I ² C ara yüz aktivasyon ekranı.	54
Şekil 3.20: Voltaj regülatör kartı (ElecFreaks, 2018).	56
Şekil 3.21: 3 uzvun oluşturduğu dörtgen.	62
Şekil 3.22: 2 uzvun oluşturduğu üçgen.	62
Şekil 3.23: Omuz uzuv ve dirsek uzun arasında kalan üçgen.	63
Şekil 3.24: Gövde ekseninin açısı değişikliği.	64
Şekil 3.25: Hareket geometrisi.	66
Şekil 3.26: Robot kol uzuv uzunlukları.	68
Şekil 3.27: Yatay düzlem çalışma alanı.	69
Şekil 3.28: Dikey düzlem çalışma alanı.	71
Şekil 4.1: Robot kol hareketi için gereken görüntü.	73

Şekil 4.2: Uygulamanın gerçekleştirildiği video erişim kare kodu.	77
Şekil 4.3: Yakalamanın gerçekleştirilemediği video erişim kare kodu.	78
Şekil 4.4: Gücün sağlanamadığı video erişim kare kodu.....	78



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Raspberry Pi Kamera v2 sensör kayıt seçenekleri (Raspberry Pi Camera Module, 2018).....	19
Tablo 3.1: Tower Pro MG 958 Servo motor özellikleri.	50
Tablo 3.2: MG 958 ölçüleri.....	50
Tablo 3.3: Tower Pro MG 996R Servo motor özellikleri.	51
Tablo 3.4: MG 996R ölçüleri.	51
Tablo 3.5: Voltaj Regülatör kartı özellikleri.	56
Tablo 3.6: D-H değişken tablosu.....	61
Tablo 4.1: Koordinat değerlerinin ulaşılabilirlik ve açı değişiklikleri.	73
Tablo 4.2: Koordinat uzunluk dönüşümleri.....	75
Tablo 4.3: Koordinat değerlerine göre görevlerin icrası	75

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
EM	:Elektromanyetik spektrum
HLS	:Hue (Renk), Lightness (Parlaklık), Saturaton (Yoğunluk)
HSV	:Hue (Renk), Saturation (Yoğunluk), Value (Parlaklık)
PID	:Oransal İntegral
PWM	:Sinyal Genişlik Modülasyonu
RGB	:Red(Kırmızı) , Green (Yeşil) , Blue (Mavi)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLGİSAYARLI GÖRÜ YÖNTEMLERİ İLE BEŞ EKSENLİ ROBOT KOLUN ÖĞRENMESİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA.

Ertürk UZUN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enformatik Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Sevinç GÜLSEÇEN

II. Danışman: Dr. Murat GEZER

Bu tez çalışması, Mikro işlemci kullanarak görüntü gibi büyük veri kaynaklardan bilgi elde edilebilmesi ve bilgiyi çevre birimi olan robot kol için uygun hale getirilmesini sağlayacak Mikro denetleyici ile işlenmesi üzerine geliştirilmiştir. Nesnenin bütünlüğünün veya ilgili yüzeyinin belirlenmesi, tanınan bölgenin ağırlık merkezinin bulunması ve robot kol ile taşınabilmesi uygulamalarından oluşmaktadır.

Amaç, görüntü verisinden bilgi çıkararak bilginin öğrenilmesi ve işlenmesidir. Tasarlanan ve gerçekleştirilen görüntü işleme ile farklı renk tayfına ait geometrik nesnelerin tanınması, tespit edilmesi ve başka bir noktaya taşınabilmesidir. Görüntü işleme esnasında görüntünün etkilenebileceği ortam değişkenleri kontrol altına alınmış ve bu değişkenler üzerinde durulmuştur. Görüntü işlemeye ağırlık verilmiş, beş eksenli robot kolun temel tasarımı yapılmıştır. Deneysel ortamda tespit edilen üst yüzeylerin konumu nedeni ile beş eksenli robot kol uç işlevcisinin nesnelere dik açı ile yaklaşması düşünülmüş, kinematik hesaplamaları bu sınırlılık dahilinde gerçekleştirilmiştir. Servo motorların gücü, robot kolun hareketi esnasında sonsuz değişkenlik göstereceğinden deneysel ortam tutma aşamasına kadar başarılı bir şekilde gücü sağlayabilmiş, yakalama aşamasından sonra güç ihtiyacı tespit edilmiş ve motorların nesnenin taşınması esnasında aynı anda çalışması nedeni ile çekilecek güç için birkaç motorunun dahili pozisyonu, hassas bir şekilde belirlenmiştir. Çalışma, renkleri başarılı bir

şekilde tanımlanmış ve belirlenen nesneye ulaşması sınırlılıklar dahilinde sağlanmıştır. Gücün yeterli olduğu pozisyonlarda nesne alınıp taşınabilmektedir.

Temmuz 2020, 101 sayfa.

Anahtar kelimeler: Robot kol, Renk tespiti, Beş eksen kinematik.



SUMMARY

M.Sc. THESIS

AN APPLICATION ON LEARNING OF FIVE-AXIS ROBOT ARM WITH COMPUTERIZED VISUAL METHODS.

Ertürk UZUN

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Informatics

Supervisor : Prof. Dr. Sevinç GÜLSEÇEN

Co-Supervisor : Dr. Murat GEZER

This thesis study has been developed on the ability to obtain information from large data sources such as images using a microprocessor and to process the information with a Microcontroller that will enable it to be suitable for the robot arm, which is the peripheral unit. It consists of determining the integrity or the relevant surface of the object, finding the center of gravity of the recognized area and moving it with a robot arm.

The aim is to learn and process information by extracting information from image data. It is the recognition, detection and transfer of geometric objects belonging to different color spectrum with the designed and realized image processing. During the decision process, the environment variables that the image may be affected were taken under control and these variables were emphasized. In the study, image processing was focused and the basic design of the 5-axis robot arm was made. Due to the location of the upper surfaces detected in the experimental environment, the 5-axis robot arm end function is intended to approach objects at right angles, and kinematic calculations have been performed within this limitation. Since the power of the servo motors will show infinite variability during the movement of the robot arm, our experimental environment has been able to successfully supply power to the holding stage, after the capture phase the power requirement has been detected and the internal position of the

gripper motor for the power to be drawn due to the motors running simultaneously during the transportation of the object, precisely. The study successfully recognized the colors and reached the specified object without any problems. The object was able to be picked up and transported in positions where power was sufficient.

July 2020, 101 pages.

Keywords: Robot arm, color detection, Five axis kinematics



1. GİRİŞ

İnsan zihinsel yapısının mevcut veri ile işlem yapması mümkün değildir. Çevresinden aldığı veriler ile ilgili kesin nicel bilgiler değil çevrenin veya ortamın nitelikleri ile ilgili bilgi oluşturabilir. Başka bir ifade ile ortamın aydınlığı ile ilgili “Az”, “Fazla”, gibi nitelik bilgisi verebilir ancak hava sıcaklığı “20⁰C” gibi bulunduğu ortam içerisindeki değişkenleri sayısallaştırması mümkün değildir. Bununla birlikte teknolojinin yönetilebilmesini sağlayan öğrenmeyi öğrenme yeteneği, mevcut teknolojilerin insanlara birçok alanda ihtiyaçlarının olduğunu göstermektedir. Gereksinimleri karşılayabilecek üretim hızının insan gücü ile yakalanamayacağı bir gerçektir. İnsan zihinsel gücünün çok önemli olduğu fakat duyularının, fiziksel gücünün ve hızının yetersiz kaldığı bu noktada, robotik teknolojileri öne çıkmaktadır. Robotik teknolojilerin, verilen görevler dahilinde sensörler yardımı ile aldığı verilere göre hizmet sağlaması mikro denetleyiciler ile mümkündür.

Çalışma, robot kolun öğrenebileceği görüntü ve bilgiyi kapsamaktadır. Robot kolun görevini tamamlayabilmesi için görüntü gibi büyük veri içeren görüntü işleme aşamasını mikroişlemci, eksen hareketi gibi motora aynı anda güç ve farklı seri iletişim yolları ile haberleşmesinin sağlanması gibi daha özel görevleri mikro denetleyicilerin gerçekleştirmesi doğru olacaktır (Ay ve diğ., 2018). Raspberry Pi gibi robotik uygulamalar içerisinde yer alan mikroişlemci veya mikro denetleyicilerin görev alanları kesin çizgiler ile ayıramamaktadır. Teknolojiyi kontrol edebilmenin iki önemli anahtarı, Mikroişlemci ve Mikro denetleyicilerdir. Mikroişlemci teknolojileri, veri setlerinden anlamlı bilgilerin elde edilmesinde inanılmaz bir rol üstlenmektedir. Diğer bir kontrol elemanı olan Mikro denetleyiciler, uygulamalara ve cihazlara özel geliştirilebilmekte ve mikroişlemcilerin diğer elektronik cihazlar ile iletişim kurabilmesinde vazgeçilmez bileşenlerdir. Çalışmanın görüntü işleme aşaması Raspberry Pi 3 B+ tek port mini bilgisayar ile gerçekleştirilmiştir. Raspberry Pi üzerinde eklem hareketleri için bir adet PWM çıkışı bulunmaktadır. 6 eklemlili robot kol için bir adet PWM çıkışı yetersiz olduğundan motorları kontrol etmek için Raspberry Pi mini bilgisayara, PCA9685 12 Kanallı 16 Bit Servo Motor Sürücü mikro denetleyicisi bağlanmıştır. Bu bilgiler ışığında çalışmada, nesne tanıma ve nesneyi alma arasındaki ilişki ve bu görevleri yerine getiren bileşenler uygulama içerisinde açıklanmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın amacı bilgisayarlı görü yöntemleri ile özellikleri verilen nesneyi bilgisayarın görmesini sağlamak, nesnenin görüntü verisini öğrendiğinde robot kolu hedefe ulaştırmak, seçmek ve başka bir noktaya taşımaktır. Nesnenin arka plandan veya görüntüden izole edilmesi görme olarak değerlendirilmektedir. Nesne, görüntüdeki diğer bütün öğelerden ayırt edildiğinde elde edilen veri ile nesne tanımlanabilecektir. Görme alanı içerisinde olan her görüntü değerlendirilmez ve öğrenilmez. Sürekli çevreden uyarı almak, bakmak olarak değerlendirilir. Ancak nesnenin özellikleri söylendiğinde görme ve öğrenme gerçekleşmiş olur (Buzcu, 2015). Bilgisayar için kamera ile alınan görüntü aynı şekilde bakmak olarak düşünülebilir. Nesnenin özellikleri kullanılarak bilgisayarlı görü yöntemleri ile nesne görüntüden çıkarıldığında bilgisayarın nesneyi görmesi ve öğrenmesi sağlanacaktır. Aynı veri, dönüşümü sağlanarak robot mekanizması ile iletişim kurulmasını sağlayan mikro denetleyiciye gönderildiği takdirde robot kolun nesneye ulaşması sağlanabilecektir.

Deneysel ortam koşullarına geniş yer verilmesi, bilimsel açıdan sürdürülebilmesinin gereğidir ve araştırma sonuçlarının bilimsel olabilmesi, deneyin yapıldığı ortamın şartlarına bağlıdır. Bilgisayarlı görü yöntemleri ile elde edilen sonuçlar, çalışılan ortam ile doğrudan ilgilidir. Bu nedenle çalışmanın ikinci bölümünde, deneyin ilk aşamasını oluşturan bilgisayarlı görü yöntemleri ile elde edilen sonuçları doğrudan etkileyen ortam değişkenlerinin ve özellikle ışığın geniş yer bulması önemli bir nokta olarak düşünülmektedir. Çalışmanın tümü açık kaynak donanım ve yazılım ortamında geliştirilmesi deney sürecinin ileriki çalışmalara yön vermesi açısından önemlidir. Altı ekleme ve beş eksenli robot kolun tutucu ucu, kinematik hesaplamalara dahil edilmemesine rağmen nesneye yaklaşmasından itibaren bütün hareketlerin incelenmesi ve önemle üzerinde durulması çalışmanın önemli kazanımları arasındadır.

İleriki çalışmalara ışık tutabilecek kontrollü deney gerçekleştirilmesi, görüntünün kamera ile alınması sonucu elde edilen veriden istenilen bilgiler çıkarılması ve bu bilgileri işleyebilecek bir karar ve hareket mekanizması geliştirilmesi doğrultusunda çalışmanın giriş bölümünde problem tanımı, çalışmanın kapsamı, amacı ve önemi açıklanmış, ikinci bölümünde görüntü işleme ve robot tanımı üzerinde durulmuştur. Üçüncü bölümde ayrıntılı olarak deneysel yazılım ve donanım ortamına, robot kol devre elemanlarına ile deney sürecine, dördüncü bölümde elde edilen veriler ile görüntüyü öğrenmesi, kinematik hesaplamaların doğruluğu ve gücün sağlanması ile ilgili elde edilen verilere yer verilmiştir. Beşinci bölümde ise bulgular aşamasında elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması yapılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

Bu bölümde görüntü işleme ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalara yer verilmiş, robot kolun hedefe ulaşabilmesi için sonucu etkileyebilecek ortam değişkenlerine açıklık getirilmiş ve nesnenin ya da yüzeyin merkez noktasının görüntü işleme yöntemleri ile nasıl bulunacağı ile ilgili bilgilendirme yapılmıştır.

2.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Güzel (2008) çalışmasında robot manipülatörün ileri ve ters kinematik yöntemleri üzerinde durmuş, iki, üç, dört ve beş eksenli robot kolların ayrı ayrı hareket matrisleri çıkarılmıştır. Geliştirdiği yazılım ile robot manipülatörün 3 taş oyun oynayabileceği alan içinde her pozisyona ulaşmasını sağlamıştır.

Uzer ve diğ. (2010) gerçek zamanlı renk takibi yapabilen mobil robot geliştirerek otonom olarak hareket etmesini hedeflemiş, renklere tepki verme sürelerine ve farklı renkleri tespit edebilme oranlarına yer vermişlerdir.

Diğer bir çalışmada (Chaves-González ve diğ., 2010) deri renk tanımlaması üzerine en çok kullanılan renk uzaylarından 10 tanesini kullanarak insan yüzünü içeren resimlerde morfolojik işlem sonuçlarına yer vermiş, ortaya çıkan test sonuçlarının başarı oranlarını paylaşmışlardır.

Projelerinde (Tsai ve Tseng, 2012) robotik futbol yarışmasında robotların ve topun dinamik bir ortamda pozisyonlarının sürekli değişmesi nedeni ile ortam parlaklığından etkilenen top yüzeyini daha iyi tanımlayabilmek için HSV renk uzayına dönüştürülen ekran resimlerini; renk, yoğunluk (HS) ve renk, parlaklık(HI) olmak üzere 2 düzleme ayırarak bu düzlemlerde yaptıkları görüntü işleme teknikleri ile elde ettikleri test sonuçlarına yer vermişlerdir.

Şenel (2013) çalışmasında 5 eksenli robot kol kullanarak projeyi masaüstü bilgisayar ortamında gerçekleştirmiş, yazılımı ARM mimarisine sahip S3C6110A mikro denetleyicisini barındıran Mini 6410 geliştirme kartı üzerinde kurulu Gömülü Linux ile çalıştırmıştır. Üretim bandı üzerinde silindir olarak gelmesi gereken ürünlerden farklı şekiller gelmesi halinde görüntü işleme yöntemleri ile hatalı ürün tespit edilmiş ve robot kol ile belli bir süre içinde alındığı beyan edilmiştir.

Öztürk ve diğ. (2015) çalışmalarında nesne takibi amacıyla görüntü işleme teknikleri ile belirlenen nesnenin renk özelliğinden yararlanarak, görüntüsü alınan nesnenin ağırlık merkezinin bulunduğu piksel değeri ve ekran görüntüsünün ortasındaki piksel değeri arasındaki

hata değeri, oran hatasının kalıcı etkisini integral etki ile ortadan kaldıran PI (Oransal-İntegral) algoritmasına girilerek cismin takip edilmesi sağlanmıştır.

Çubukçu ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada yazılım ara yüzü ile girilen Türkçe alfabesine ait bir kelime ve rakamlardan oluşan kısaltmayı, daha önceden oluşturdukları veri tabanı ile karşılaştırarak robota bağlı olan kameradan görüntü işleme teknikleri ile ayırt edip harfleri/rakamları seçerek vakumlu uç ile taşınmasını sağlamış ve kelimeyi/kısaltmayı yazdırmışlardır.

Deneylerinde (Oncu ve Er, 2015) geliştirdikleri 2 aşamalı yazılım sayesinde kameradan alınan görüntünün orta noktasını ve görüntü üzerinde değişen bölümün ağırlık merkezini bularak görüntü işleme teknikleri ile ROI nesnesi oluşturmuş ve kameranın ROI nesnesini takip etmesi sağlanmıştır. Fakat ROI nesnesinin içeriği hakkında çalışmada net bir bilgi verilmemesi deney sonucu hakkında takip edilen ROI nesnesinin takip edilip edilmediğinin kontrol edilmesini zorlaştırmaktadır.

Yavuz (2015) robot manipülatörün çalışma uzayında bulunan topu bulunduğu yerden alma, taşıma ve bırakma işlemleri için görüntü işleme teknikleri ile topun konumu tespit edilmiş, ters kinematik yöntemleri ile robot kol eklem açıları hesaplanarak daha önceden belirtilen noktaya taşınması başarı ile sağlandığı belirtilmiştir. Geliştirme yazılımı bilgisayar üzerinde tasarlanmış, robot manipülatör eklemlerinde bulunan servo motorların istenilen pozisyona gelmesi amacı ile motorların döneceği açı değerleri Arduino Mega 2560 geliştirme kartına aktarılmıştır.

Uzuner ve diğ. (2017) çalışmalarında 5 eksenli robot kolun yörünge üçüncü dereceden bir polinom kullanarak gerçekleştirmiş, ters kinematik problemini çözmüş ve bu sayede robot kolun titreşimsiz, sürtünmesiz hareketini sağlayarak başka bir nesneye çarpmadan uç efektörün çalışma uzayını tespit edebilmişlerdir.

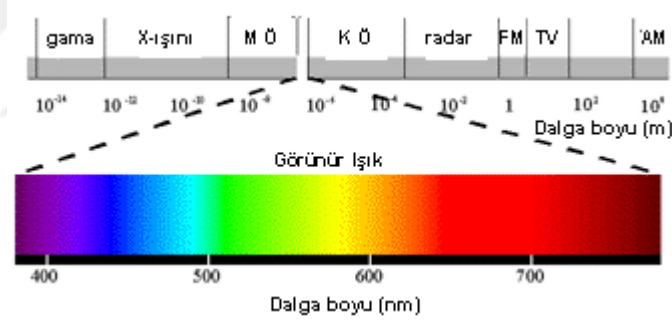
Anandhalli ve Baligar (2017) çalışmalarında Raspberry Pi donanımı ve OpenCV kütüphanesini kullanarak araç takip sistemi geliştirmiş, video akış içerisindeki her bir karedeki gürültüyü azaltmak için görüntülere Kalman filtresi uygulamış ve görüntüler belirginleştirilmiştir. Önerdikleri yeni metodu daha önceki takip sistemleri ile karşılaştırmışlardır.

Dijital kameralar, görüntü hakkında detaylı bilgi edinilebilmesini sağlamaktadır. Görüntünün sayısallaşması sayesinde bilgisayarlı görü kütüphaneleri zenginleştirilmiş, görüntülerdeki potansiyel bilgi ortaya çıkarılmış ve çıkarılmaya devam etmektedir. Görüntünün sayısallaşması beraberinde yeni kavramlar ve terimler ortaya çıkarmıştır.

2.2. GÖRÜNTÜ İŞLEME

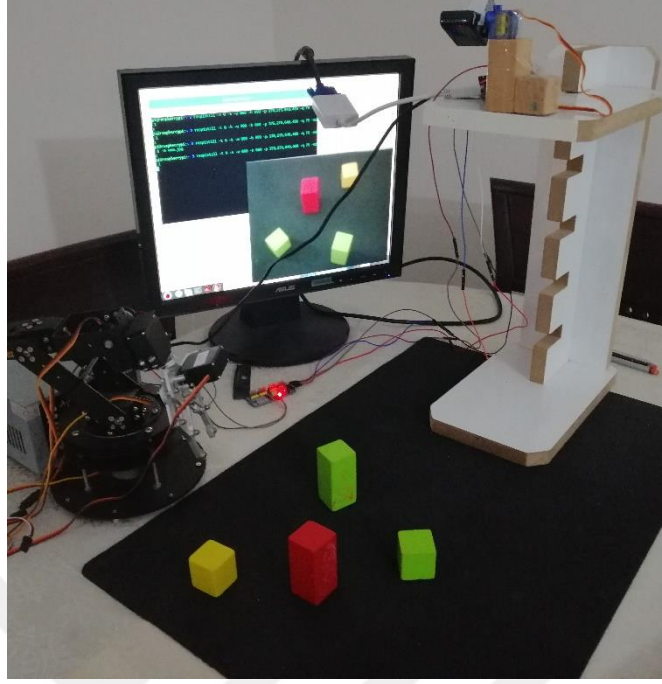
2.2.1. Görüntü İşleme Terimleri

Çevremizdeki bilgiyi öğrenmemizde duyularımız arasında en çok payı olan şüphesiz görme duyumuzdur. Bir çok canlı için öne çıkan duyu organları farklı olmasına rağmen gelişmiş sinir sistemimiz düşünüldüğünde görme duyumuz bizim için uyarıcıların kaynağını ve konumunu belirlememizde en önemli rolü oynamaktadır (Do, 2012). Elektromanyetik spektrumda (EM) insanın görebildiği bant aralığı dar bir bölge de kalmaktadır. Görme duyusuna sahip tüm canlılarda bu aralık farklı olabilmekte bazı canlılar kızılötesi vb. aralıklarda dahi görebilmektedir. Birçok farklı türdeki canlılara rağmen görüntüleme cihazları yüksek enerjili gama ışınlarından düşük enerjili radyo dalgalarına kadar geniş bir aralıkta çalışabilmektedirler. Bu görüntüler örnek olarak ultrason, elektron mikroskopisi ve bilgisayar tarafından oluşturulan görüntüler verilebilir.. Böylelikle görüntü işleme, geniş ve değişik uygulama alanlarını kapsamaktadır. (Gonzalez ve Wood, 2018).



Şekil 2.1: Elektromanyetik spektrumda insan gözünün görebildiği band aralığı (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2019).

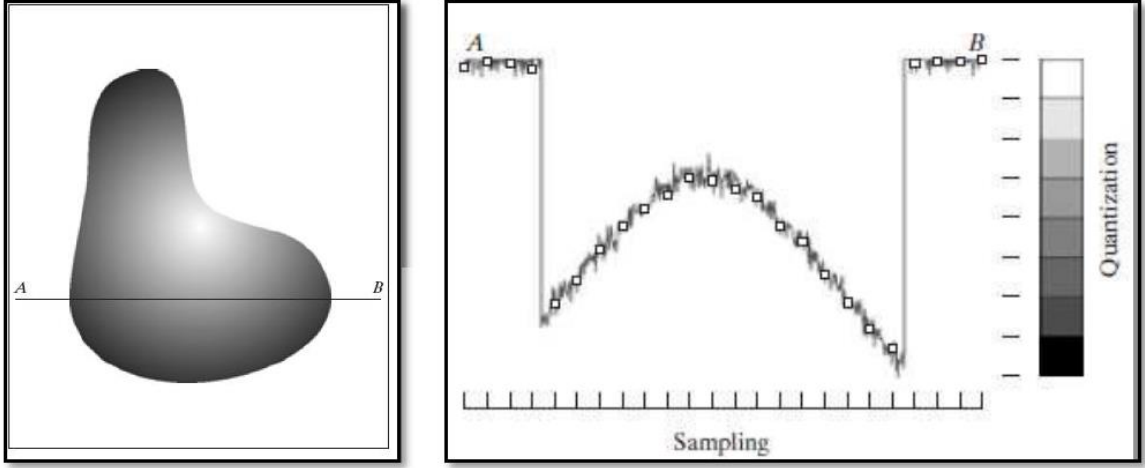
İnsan duyu organları ile çevresinden sürekli olarak veri toplar ve verileri anlamlı bilgilere dönüştürür. Fakat günümüzde var olan veri miktarını insan zihni işleyebilecek kapasiteye sahip değildir. Ancak bu verilerden elde edilen bilgiler ile düşünebilir ve bu bilgiler ile karar verebilir. Görme duyusu ise bu nesnelerden gelen verileri beyne ileterek verilerden oluşan anlamlı bilgiler ile sürekli bir görüntü oluşturur. İki boyutlu her türlü veri imge olarak değerlendirilebilir. İmgeler 2-Boyutlu olması nedeni ile çevredeki uyarıcıların 3. Boyutu hakkında bilgi vermezler. Kamera benzeri cihazların ışığa duyarlı 2-B yüzeyine nesneden yansıyan ışık kullanılarak imge elde edilir.



Şekil 2.2: Gerçek nesnenin 3 boyutlu uzaya aktarımı.

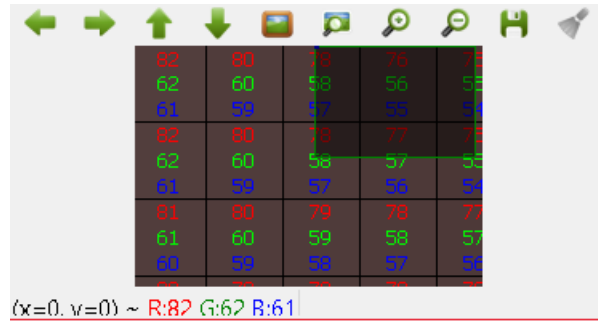
2.2.1.1 Sayısal Görüntü

Sayısal görüntüler, günümüzde hızla analog görüntülerin yerini almaya başlamıştır. Analog görüntülemeye iyi bir örnek olarak insan gözü verilebilir. İnsan gözü ile elde edilen analog görüntünün içindeki nokta ve renklerin sayısal bilgisi çıkarılamaz. Görüntü üzerinde noktasal ve düzlemsel işlemler yapılması görüntünün sayısallaştırılması ile mümkün olmaktadır. Böylelikle koordinatlar ile koordinatların renk değerlerine ulaşabilmekte ve işlem yapılabilmektedir. Görüntü, birçok canlı ve birçok cihaz için farklılık gösterebilir. Elektronik cihazların elde edebildiği görüntü aralığı sayesinde birçok farklı türde görüntü elde edilebilmektedir. Üç-boyutlu nesnelerin dışında gözümüz ile göremediğimiz nesne yada ışınları, kızıl ötesi kameralar, ultrason cihazları, X-Işını gibi farklı bir çok cihaz yakalayabilmektedir (Perihanoğlu, 2015). Koordinat noktaları veya çözünürlüğün sonlu bir sayı ile ifade edilmesi durumunda **örnekleme**, her bir koordinat noktasındaki değerlerin sayısallaştırılmasına **nicemleme** denmektedir .



Şekil 2.3: Analog görüntünün Örnekleme ve Nicemleme ile sayısallaştırılması (Gonzalez ve Wood, 2018).

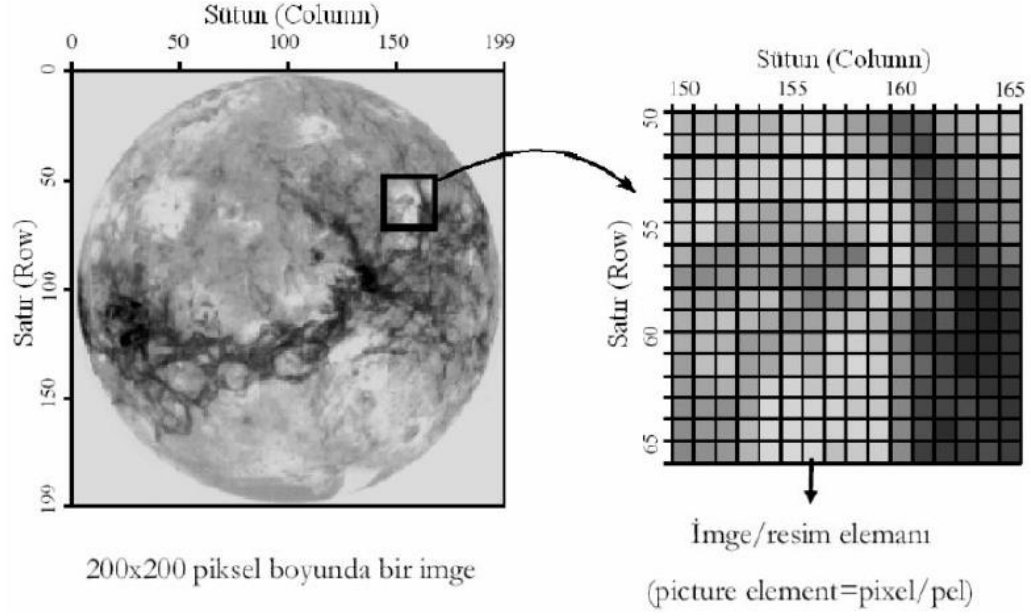
Örnekleme, diğer bir ifade ile görüntüdeki koordinatların reel değerlerinin tam sayıya dönüştürülmesi, Nicemleme ise o koordinattaki reel sayıların aynı şekilde tam sayıya dönüştürülmesi anlamına gelir. Sayısal görüntü, ilk indisi m: satır; ikinci indisi n: sütun olmak üzere iki boyutlu bir dizidir. $f(m,n)$ bir fonksiyon olmak üzere, $f(m,n)$ fonksiyonu koordinata ait değeri bulundurmaktadır. $f(m,n)$ olarak tanımlanan fonksiyonun içerisindeki koordinatlar ve fonksiyon sonucu tamsayı değeri göstermektedir.



Şekil 2.4: MxN çözünürlüğünde bir sayısal görüntünün matris olarak gösterimi.

2.2.1.2 Çözünürlük

Çözünürlük, sayısal görüntünün netlik ve detay bilgilerinin elde edildiği farklı değerler alabilen bir değişkendir. Satır ve sütunda bulunan piksel sayılarının çarpımı çözünürlük değerini ifade etmektedir. Çünkü çözünürlüğü oluşturan piksel değerlerinin ölçüsü yoktur. Bu nedenle çözünürlük değerleri sayısal bir değerdir.

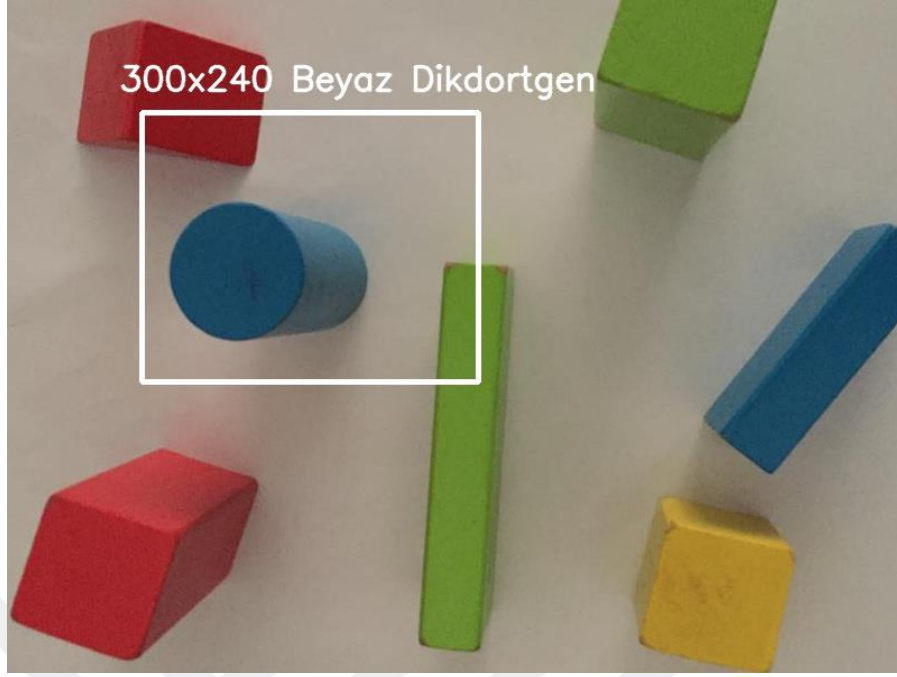


Şekil 2.5: 200x200 boyutunda görüntüden alınan, 15x15 pikselden oluşan bir sayısal görüntü (Yıldırım ve diğ., 2016) .

Analitik düzlemde farklı olarak genellikle sayısal görüntü işlemede koordinat düzlemi sol üst -(0,0) koordinatı- köşeden başlamaktadır.

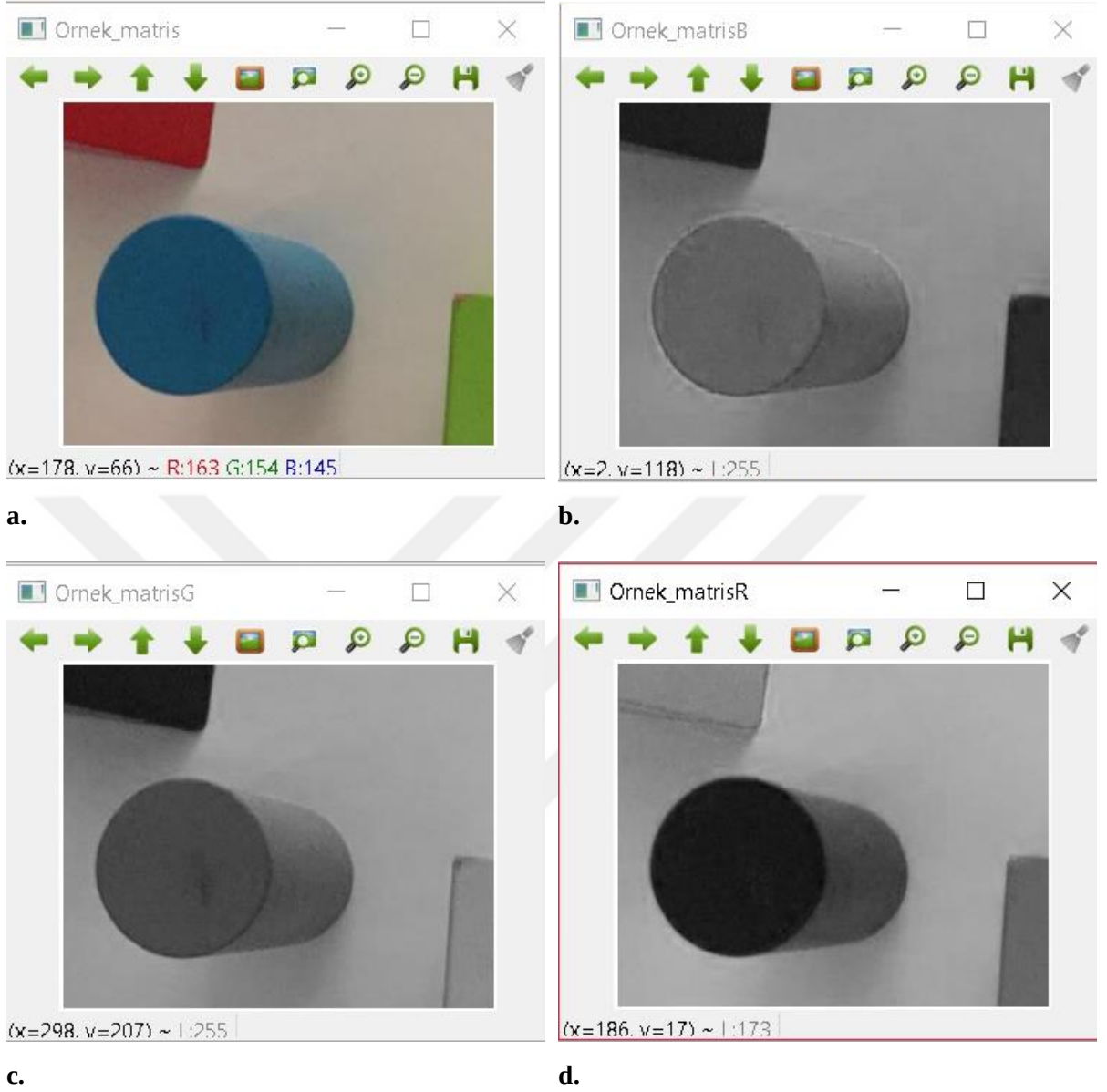
2.2.1.3 Renk

Renk, objeleri görebilmemizi sağlayan en ayırt edici özelliktir. Nesnenin üzerinden yansıyan ışık miktarı cismin rengi hakkında bilgi vermektedir. Siyah renk, ışığı hapsedmesine rağmen beyaz renk ışığı olduğu gibi yansıtmaktadır. Sayısal ortamda siyah 0, beyaz 255 değeri ile gösterilmektedir. Görüntünün elde edilmesinde kullanılan RGB renk uzayı 3 ana rengin (Kırmızı, Yeşil, Mavi) birleşimi ile gösterilmektedir.



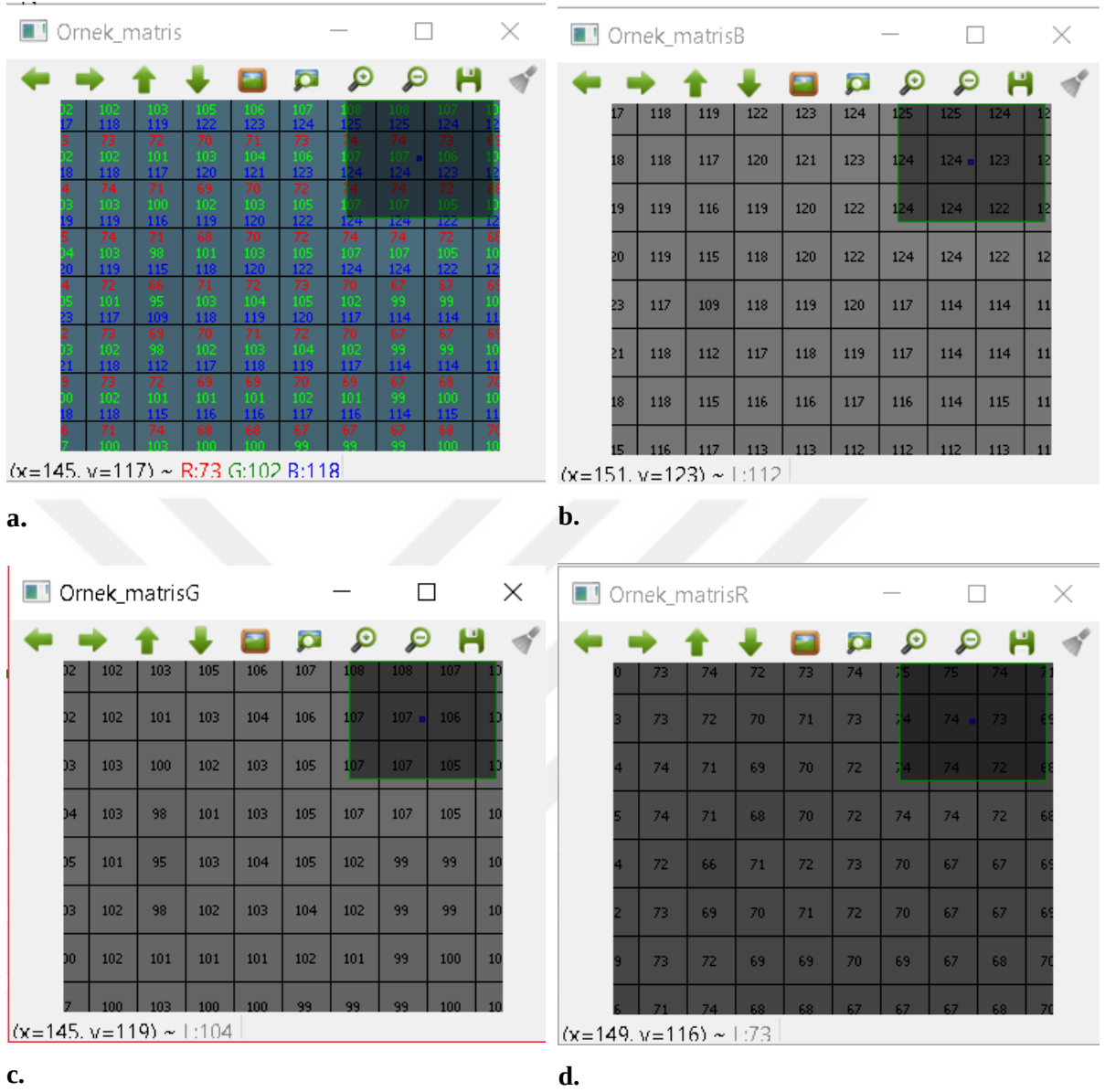
Şekil 2.6: Dört ayrı renkli geometrik şekilden oluşan bir resimden rastgele alınmış bir kesit.

Beyaz dikdörtgen çerçeve ile belirlenen bölge 300x240'lük bir matrisi göstermektedir. OpenCV ile düz çizgi, daire ve geometrik nesneleri yakalayabilecek algoritmalar mevcuttur (Łaganowska, 2019). Sol üst köşe ve sağ alt köşe koordinat değerleri sırasıyla (220,200) ile (520,440)'dır. **Şekil 2.6**'daki resmin çözünürlüğü 800x600'dür. 800 sütun, 600 satırdan oluşan matrisin toplam eleman sayısı, sütun ve satır sayısını çarptığımızda, 480.000'dir. İnsan görme sistemi gibi analog dönüştürücüler için nokta sayısının bir anlamı yoktur. İnsan görme sistemi, görüntüden nitelikli bilgiler çıkarabilir, fakat nicelik anlamında mavi ton değerlerinin sayısı gibi net bilgiler elde edemez. Dolayısı ile insan gözü için verilerden bilgi çıkarmak, görüntünün bütünlüğünü yorumlamaktan daha uzun bir süreçtir. Bu nedenle **Şekil 2.6**'da görüntüden rastgele seçilen, daha az sayıda eleman sayısından oluşan 300x240 boyutlarındaki görüntü **Şekil 2.7**'de gösterilmektedir.

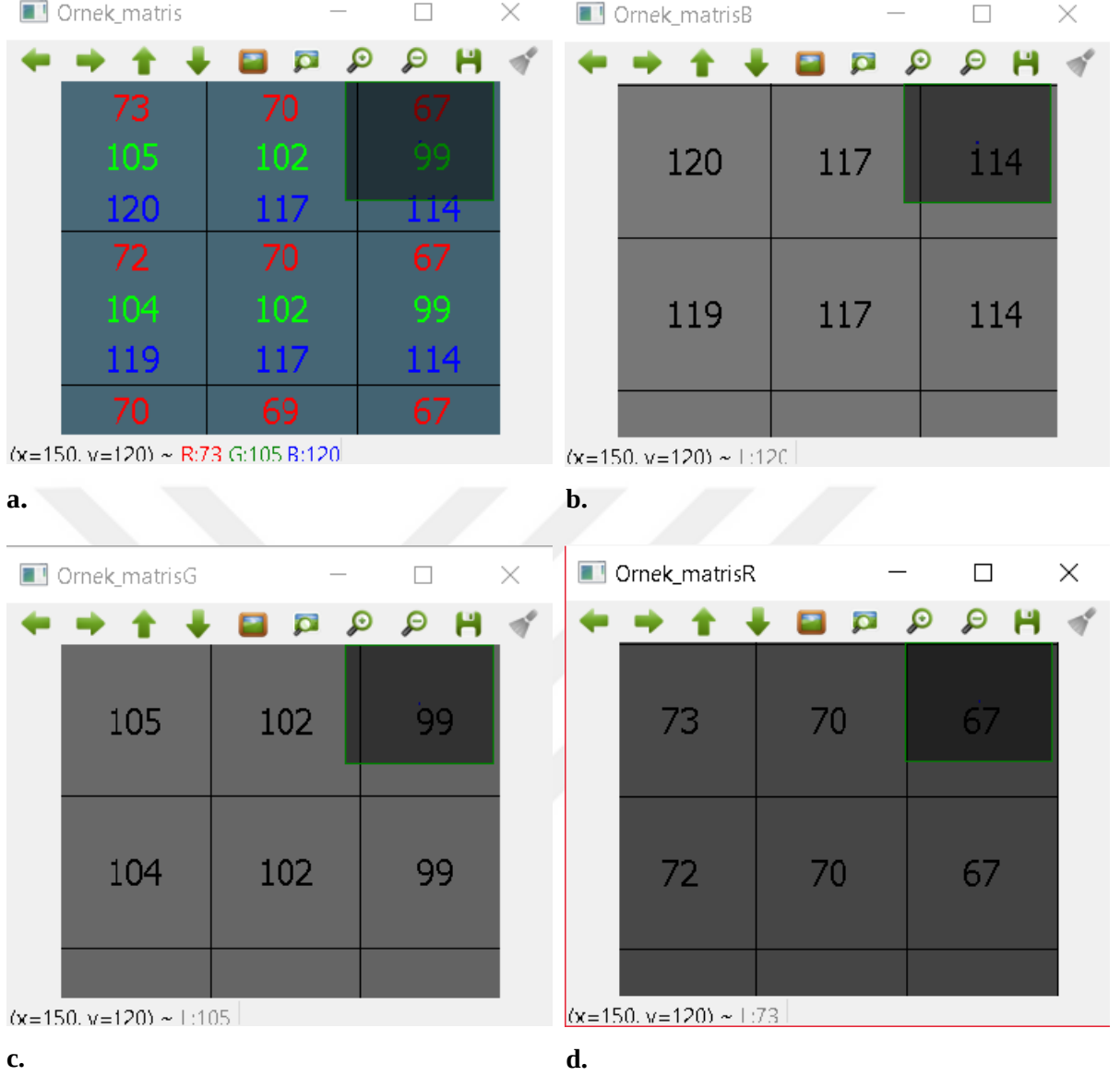


Şekil 2.7: **a.** Renkli görüntü, **b.** Renkli görüntünün mavi düzlemi, **c.** Renkli görüntünün yeşil düzlemi, **d.** Renkli görüntünün kırmızı düzlemi.

Şekil 2.7 a'da 300x240 boyutundaki görüntünün sol alt köşesinde, imlecin resim üzerindeki bulunduğu noktanın koordinatları ve aynı koordinatın RGB değerleri verilmektedir. **Şekil 2.7** b, c ve d' de ise aynı görüntünün ayrı ayrı ve sırası ile Mavi, Yeşil ve Kırmızı renk düzlemleri gösterilmekte, aynı şekilde görüntülerin sol alt köşesinde imlecin bulunduğu noktanın koordinatları ile o koordinata ait tek renk değerleri aynı pencerede gösterilmektedir.



Şekil 2.8: a. RGB renk uzayı yakınlştırılmış matris değeri, b. Mavi düzlem yakınlştırılmış matris değeri, c. Yeşil düzlem yakınlştırılmış matris değeri, d. Kırmızı düzlem yakınlştırılmış matris değeri.



Şekil 2.9: a. (150,120) koordinatındaki pikselin RGB renk değerleri, b. RGB uzayı (150,120) koordinatındaki pikselin mavi katman renk değeri, c. RGB uzayı (150,120) koordinatındaki pikselin yeşil katman renk değeri, d. RGB uzayı (150,120) koordinatındaki pikselin kırmızı katman renk değeri.

Şekil 2.9’da görüldüğü gibi bütün görüntülerde (150,120) koordinat değerleri tespit edilmiş, renkli görüntünün RGB değerleri incelendiğinde diğer gri ölçekli 3 görüntünün aynı koordinatlarının renk değerleri, renkli görüntüdeki renk değerleri ile eşleştiği gözlemlenmiştir. Görüntüler; (RGB) Kırmızı, Yeşil ve Mavi sırası ile gösterilmesine rağmen matris değerleri (BGR) Mavi, Yeşil ve Kırmızı sırası ile ifade edilmektedir.

Sayısal görüntüler 3 alt başlık altında incelenmektedir.

- a) İkili (Binary) görüntü,
- b) Gri seviyeli (GrayScale) görüntü,
- c) Renkli (Color) görüntüdür.

İkili (Binary) Görüntü: Sadece siyah ve beyaz renklerden oluşur ve bu görüntüde pikseller 0 veya 1 olmak üzere 2 değer almaktadır. Her bir pikselin bir bit ile temsil edilmesi görüntünün sadece ana hatlarının öne çıkmasını sağlamaktadır. Özellikle arka plandan ayırt edilmek istenen bir obje veya görüntü içeriğinden ayırt edilmek istenen bir renk söz konusu olduğunda sıkça kullanılabilen bir görüntü formatıdır. $2^1=2$ eşitliğinde her bir pikselin 1 bit ile gösterilmesi her pikselin sadece 2 farklı değer alabileceğini göstermektedir.

Gri Ölçekli (GrayScale) Görüntü: Renksiz görüntülerde denilebilen gri görüntülerin her bir piksel değeri 0 ile 255 arasında değişmektedir. Her bir piksel 8 Bit (1 Byte) ile temsil edilmekte orijinal renkli görüntünün parlaklık seviyesi hakkında bilgi edinmek amacı ile sıklıkla kullanılmaktadır. $2^8=256$ tane renk değerinin siyah yoğunluğu 128'den küçük, beyaz yoğunluğu 128'den büyük değerler almaktadır. Böylelikle gri ölçekli resimler, istenilen bir sınır noktası seçilerek bu noktadan küçük veya büyük değerleri ikili resimlere çevrilerek görüntüden ayırt edebilme amacı ile sıklıkla kullanılmaktadır.

Renkli (Color) Görüntü: Renkli resimlerde gri görüntülere ek olarak kırmızı, yeşil ve mavi tonları beraber kullanılmakta, renk yoğunluklarına göre pikselin değeri değişebilmektedir. Üç renk için ayrı ayrı 8 bit kullanılarak toplamda bir piksel 24 bit (3 Byte) ile ifade edilmektedir. Elektro-manyetik spektrumda 0.4-0.5 mm dalga boyu mavi renge; 0.5-0.6 mm dalga boyu yeşil renge; 0.6-0.7 mm dalga boyu kırmızı renge karşılık gelir. Bu dalga boylarında elde edilmiş her rengin yoğunluğu için bulunan piksel değerleri bilgisayar ekranında sırası ile kırmızı-yeşil-mavi üst üste getirilerek renkli resimler oluşturulmaktadır (Perihanoğlu, 2015).

2.3. GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ

2.3.1. Görüntü Elde Etme

Sayısal görüntü işleme, görüntü elde etme aşaması ile başlayarak görüntüden elde edilmek istenen çıktıya göre birçok teknik ve yöntemin ayrı ayrı veya birlikte kullanılmasını ifade

etmektedir. Tekniklerin aynı olması halinde dahi geliştirilen yöntem içindeki önceliklerinin farklı olması görüntü çıktılarını değiştirebilmektedir. Bununla beraber aynı çıktıya ulaşabilmek için birçok farklı çözüm yolu geliştirilebilmektedir. Görüntü işleme, iki boyutlu bir resmin dijital aygıt tarafından işlenmesi ile başlar. Daha geniş bir bağlamda, iki boyutlu verilerin dijital olarak işlenmesi anlamına gelir. Sayısal görüntü, sonlu sayıda bitin gösteriminden oluşmaktadır. Görüntüler içinde istenilen nesnelerin seçimindeki yöntemler arka plan dokusuna göre değişebilmektedir. İnsan gözü için karmaşık bir arka plan görüntüsünde daha önceden net bilgisi olmayan bir nesneyi fark etmek ne kadar zor ise sayısal görüntüler içinde karmaşık görüntüden nesneleri ayırt etmek birçok matematiksel ve aritmetik işlem ile mümkün olmaktadır. Deneysel ortamda dört farklı renk ve dört farklı geometrik şekilden oluşan toplamda dokuz nesne ele alınmıştır. Şekiller üçgen prizma, küp, dikdörtgen prizma ve silindir olması nedeni ile şekillerin tespitinde ışığın açısına göre üç farklı yüzeyine ışığın farklı açılarla yansımaları farklı parlaklık değerleri üretilmesine ve cismin renk bütünlüğünün elde edilmesinde alışla gelmiş yöntemlerin dışına çıkılmasına sebep olmuştur. Deney çalışmasının amacı üç-boyutlu nesnelerin tespit edilmesidir. Bu nedenle cismin kamera tarafından alınan görüntüsünün ortamı önem kazanmakta, robot kolun yakalayabileceği yüzeyin belirlenmesi diğer bir önemli adımı oluşturmaktadır. Görüntü işleme kısmında üç-boyutlu nesnenin robot kol tarafından alınacak yüzeyi üzerinde durulmuştur. İlgili yüzey robot kolun hareketini doğrudan ilgilendirmekle birlikte cisimlerin bitişik ve karışık olması halinde bile robot kol için nesneyi yakalayabilme oranını arttırmaktadır (Chitradevi ve Srimathi, 2014).

Çalışmada görüntü kalitesini etkileyebilecek dört temel ortam değişkeni bulunmaktadır. Bunlar:

- Işık kaynağı,
- Çözünürlük,
- Arka plan,
- Kamera pozisyonu şeklindedir.

2.2.1.1. Işık kaynağı açısı, güç ve renk

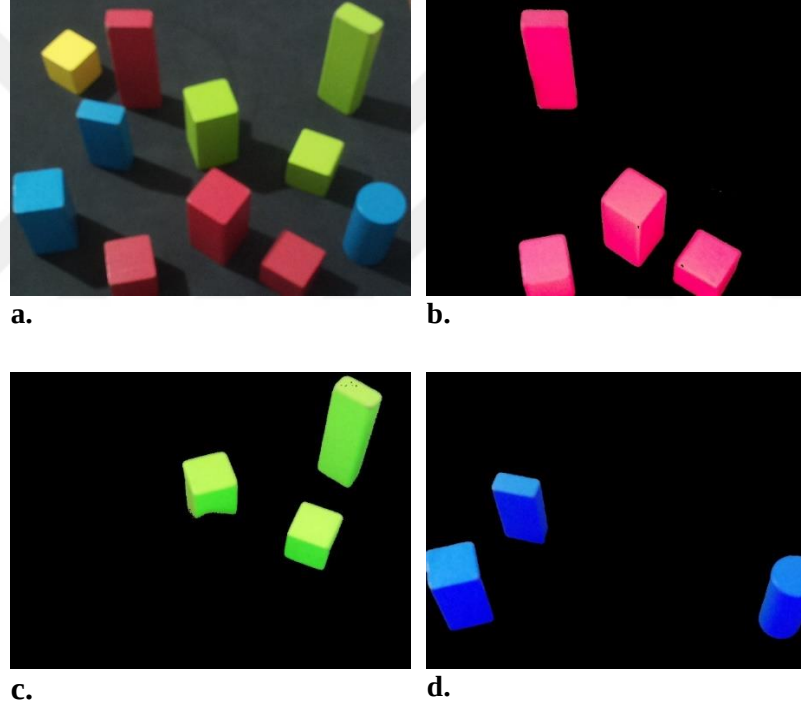
a) Işık kaynağı açısı

Işık kaynağının gücü, renk tayfı ve pozisyonu deneysel çalışmada önemli değişkenlerdir. Geometrik nesnelerin tanımlanması göz yanılgıları dışında insanlar için çok açık ve nettir.

Fakat bilgisayarın nesneyi ve yüzeyini bir bütün olarak algılayabilmesi daima mümkün değildir. Işığı, geometrik cisimlerin üç farklı yüzeyi aynı açı ve şiddette her zaman alamaz. Bu nedenle oda aydınlatması için kullanılan ışık kaynağının açısı sabit tutulmuştur.

b) Işık kaynağı renk tayfı (spektrum)

Birinci ışık kaynağı olarak belirlenen oda aydınlatması, renk tonu değeri beyaz olarak ayarlanmıştır. Çalışmada oda aydınlatmasının kullanılmasının esas amacı renkli cisimler üzerinden yansıma yapabilmek ve kamera modülü ile renk değerlerini ayırt etmektir. İkinci ışık kaynağının gücü ve pozisyonu sabitlenmiş fakat ikinci ışık kaynağının renk tonu değeri kırmızı, mavi ve yeşil ton değerlerinde 3 renk olarak belirlenmiştir. İkinci ışık kaynağından alınan ışık ile kameradan alınan görüntüler **Şekil 2.10** a, b, c ve d’de gösterilmiştir.



Şekil 2.10: a. Sadece beyaz ışık ile elde edilen kamera görüntüsü, b. Beyaz ışık ile birlikte kırmızı ışık kullanılan görüntünün HSV görüntüsü, c. Beyaz ışık ile birlikte yeşil ışık kullanılan görüntünün HSV görüntüsü, d. Beyaz ışık ile birlikte mavi ışık kullanılan görüntünün HSV görüntüsü.

Şekil 2.10 b, c ve d’de görüldüğü üzere üç farklı renk geometrik nesne aynı renk tayfına ait ışık altında daha gürültüsüz tanımlanmıştır. Fakat deneyde birinci ışık kaynağını doğrudan görmeyen cisim yüzeylerini tanımlayabilmek amacıyla; Kırmızı, Mavi, Yeşil olmak üzere üç farklı renkteki cisimleri o renk ton değeri ile aynı renk değerine sahip ışık altında tespit etmek,

yan yüzeylerin net bir şekilde ayırt edilmesine yardımcı olsa dahi robot manipülatörün eksen hareketleri yan yüzeylerden nesneleri almaya yetmeyecek, başka bir nesneye temas etmesine sebep olacak, nesnelerin yan yüzeyleri birbirine bitişik konumlandırılması halinde hedeflenen yüzeye kamera açısından bakıldığında dahi insan görme sistemi ve zihni için dahi kolay olamayacaktır. Bu nedenle deneyde, cisimlerin renklerinin tespiti sonrasında arka plan dan ayırt edilebilmesini sağlayacak parlak yüzeyleri üzerinde durulmuştur. Cisimlerin parlak yüzeylerini arka plan ve diğer yüzeylerinden en iyi ayırt edebilecek ortam olarak kameranın pozisyonu, (Şekil 2.16) ikinci konum olarak belirlenmiştir. Renk ve parlaklık değerlerine göre belirlenen algoritma rastgele konulmuş farklı renkli nesnelerde dahi ışığı doğrudan alan üst yüzeyleri tanımlayarak sonuca ulaştırabilmekle birlikte beyaz ışık olarak belirlenen oda aydınlatması, cisimlerin üst yüzeylerini, çok net ortaya çıkarabilmektedir.



Şekil 2.11: Dağınık nesneler.



Şekil 2.12: Dağınık arka plan ile üst yüzey tanımlama.

c) Işık kaynağı gücü

Görüntü işleme çalışmalarında ışık şiddeti önemli bir değişkendir. Çalışmada kayıt edilen görüntüler, ışık şiddetinin değerini sabit tutarak elde edilmiştir. Gücün değişmesi ile birlikte çalışmada kullanılan algorithmada değişiklik olmayacaktır. Beyaz ışık şiddetinin artması durumunda bütün yüzeylerdeki ışık şiddeti artacağından mevcut durumu histogram grafikleri ile raporlayıp tekrar bir eşik değeri üretilebilir. Bununla beraber eşikleme fonksiyonuna gönderilen parametrelerde değişiklik muhakkak olacaktır. Veriler deneysel ortam ile elde

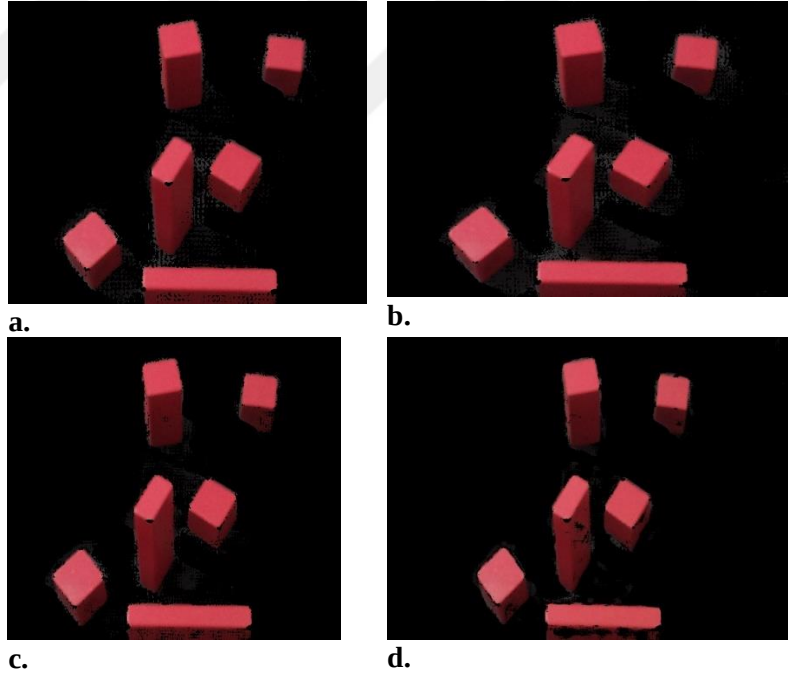
edileceğinden ışık kaynağının açı, renk ve şiddet değerleri sabitlenmiş, çalışma kontrollü değişkenler ile yapılarak verilerin elde edildiği ortama yer verilmiştir.

2.2.1.2. Görüntü çözünürlüğü

Görüntü kalitesini etkileyebilecek çözünürlük, Raspberry Pi Kamera v2 modülü ile yüksek çözünürlüklerde elde edilebilmektedir. 1920x1080 çözünürlük üst sınır olarak kabul edilmiştir. Daha yüksek çözünürlüklerde yazılım akışı içinde ekran raporlamalarını manuel takip etmek zorlaşmakta ve histogram oluşturma süresini önemli ölçüde yavaşlatmaktadır.

Bu nedenle kayıtlar;

- 640x480,
- 800x600,
- 1024x768,
- 1920x1080 olarak dört farklı çözünürlük de elde edilmiştir.

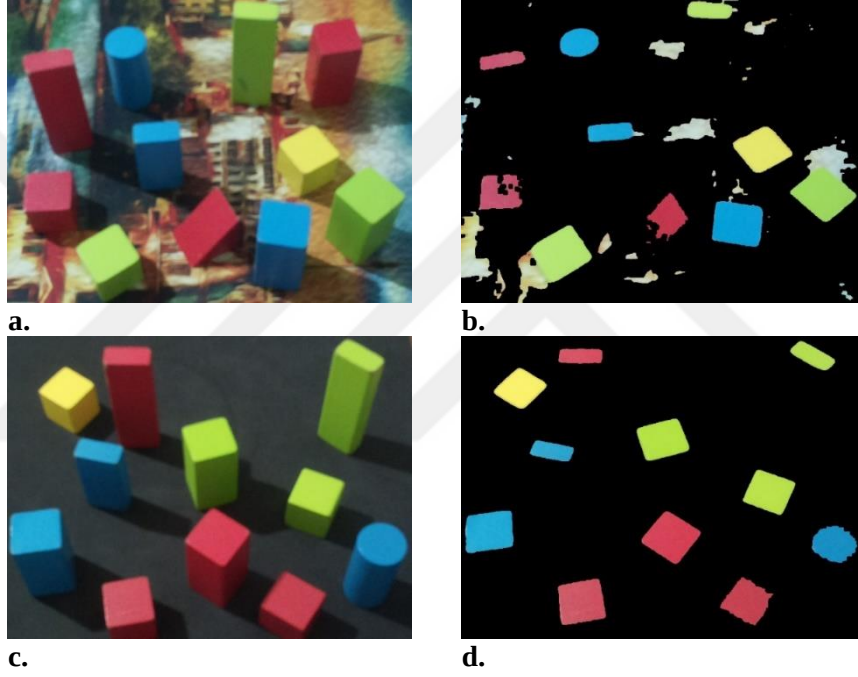


Şekil 2.13: a. 640x480 çözünürlük, b. 800x600 çözünürlük, c. 1024x768 çözünürlük, d. 1920x1080 çözünürlük.

Şekil 2.13 a, b, c ve d’de görüleceği üzere deneysel ortamda ışık, arka plan ve kamera pozisyonu değişkenleri sabitken dört farklı çözünürlük değeri ile görüntü elde edilmiş, geometrik şekillerde gürültünün en az olduğu çözünürlük 800x600 olarak belirlenmiştir.

2.2.1.3. Arka plan

Işık kaynağı ve çözünürlük değerlerini sabit tutarak arka plan için tamamen siyah ve renkli olmak üzere 2 farklı görüntü elde edilmiştir. **Şekil 2.14 b'**de renkli arka plandan üst yüzeylerin ayrışması ve **Şekil 2.14 d'**de siyah arka plandan üst yüzeylerin ayrışması ekrana raporlanmıştır. Renkli arka plan ile nesnelerin üst yüzeyleri izole edilememiştir. Bu ise arka plan renklerinin maskelenmiş görüntüde ortaya çıkmasına ve geometrik şekillerin merkezi noktalarını tespit etme aşamasında hata ile karşılaşılmasına sebep olacaktır. Bu nedenle deneysel ortam siyah arka plan üzerinde uygulanmıştır.



Şekil 2.14: a. Renkli arka plan, b. Renkli arka plan ile yüzey tespiti, c. Siyah arka plan, d. Siyah arka plan ile yüzey tespiti.

2.2.1.4. Kamera pozisyonu

Uygulama ortamında ışık kaynağının gücü, renk tonu, ışığın açısı, görüntü çözünürlüğü, arka plan sabitlenerek, **Şekil 2.16'**da gösterilen platformun en üst seviyesinde renklerin minimum gürültü ile daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiş, görüntü bu seviyeden elde edilmiştir.



Şekil 2.15: Kamera pozisyonu 1.



Şekil 2.16: Kamera pozisyonu 2.

Raspberry Pi Kamera v2 modülü gelişmiş bir kütüphaneye sahiptir. Varsayılan ayarlar değiştirilmemiş, görüntüler %25 oranında jpeg formatta sıkıştırılmış ve kamera sensörü varsayılan seçimden çıkarılarak, kaydedilen görüntüler sensörün dar bir açı görebilmesi amacı ile mod 1 seçeneği ile elde edilmiştir.

Tablo 2.1: Raspberry Pi Kamera v2 sensör kayıt seçenekleri (Raspberry Pi Camera Module, 2018).

Mode	Size	Aspect Ratio	Frame rates	FOV	Binning
0	Automatic selection				
1	1920x1080	16:9	0.1-30fps	Partial	None
2	3280x2464	4:3	0.1-15fps	Full	None
3	3280x2464	4:3	0.1-15fps	Full	None
4	1640x1232	4:3	0.1-40fps	Full	2x2
5	1640x922	16:9	0.1-40fps	Full	2x2
6	1280x720	16:9	40-90fps	Partial	2x2
7	640x480	4:3	40-200fps1	Partial	2x2

2.3.2. Renk Uzayı Dönüşümü

Analog ve dijital birçok cihazın görüntü çıktılarındaki farklılık, renk, parlaklık ve yoğunluk değerlerinin farklı kombinasyonları ile mümkün olmaktadır. Kombinasyonlar ise farklı renk uzayları ile elde edilebilmektedir. Elde edilen görüntülerin kullanım alanlarına göre diğer renk uzaylarına dönüşümü sağlanmaktadır. Sıklıkla kullanılan renk uzayları arasında RGB, CMY, HSV, YUV, YIQ, YPbPr, YCbCr, YCgCr, YDbDr bulunmaktadır (Chaves-González ve diğ., 2010).

Dijital görüntüler RGB renk uzayında 24 bitlik değerlerle gösterilir. RGB renk uzayı ile elde edilen görüntülerin her bir pikseli Kırmızı, Mavi ve Yeşil olmak üzere 3 değer ile temsil edilir. Üç katman birleştirildiğinde renkli görüntü elde edilir. RGB renk uzayı izleme ve görüntüyü parçalara ayırma gibi uygulamalarda uygun olmasına rağmen bilgisayarlı görü uygulamalarında doğru sonuçlar verememektedir.

CMY renk uzayı, Cyan, Magenta ve Sarı renklerinin kombinasyonu ile temsil edilir. Baskı uygulamalarında kullanılan CMY renk uzayı, RGB renk uzayı ile tamamlayıcı renk uzayları olduğundan dönüşüm formülü Kırmızı, Mavi, Yeşil renk değerlerinin sırası ile 1'den çıkarılmasından oluşur.

$$CMY=(C,M,Y)=(1-R,1-G,1-B) \quad (2.1)$$

HSV renk uzayı pastel çalışma renklerini kullanması nedeni ile palet boya renklerini temsil edebilmektedir. Bu nedenle insanlar, renkleri tecrübe edebilmesi açısından RGB renk uzayına göre HSV renk uzayını daha iyi anlamlandırabilmektedir (Mythili ve Kavitha, 2012). Görüntüdeki herhangi bir nesnenin parlaklığı, yoğunluğu ve renk tonu hakkında bilgi edinebilmek için HSV renk uzayına dönüşümü sağlanır. Görüntü işleme tekniklerinde RGB renk uzayındaki görüntü, renk, yoğunluk ve parlaklık değerlerini elde edebilmemizi sağlayan, kullanılacak alana göre farklı (Blotta ve diğ., 2011) HSV, HSI ve HLS renk uzaylarına dönüştürülür. OpenCV bilgisayarlı görü kütüphanesinde bir çok renk uzayı bulunmasına rağmen renkli görüntü içindeki öğeleri tespit etme amacıyla ortam değişkenlerini göz önünde bulundurarak renk filtrelemede sıkça kullanılan HSV ve HLS renk uzaylarıdır (Tsai ve Tseng, 2012) (Öztürk ve diğ., 2015) (Şenel ve Çetişli, 2015). Renk tanımlama da aynı aileye ait olmalarına rağmen tanımlı oldukları uzay kısmen birbirinden farklıdır.

$$V = 1/3R + 1/3G + 1/3B \quad (2.2)$$

$$X = -1/\sqrt{6}R - 1/\sqrt{6}G + 2/\sqrt{6}B \quad (2.3)$$

$$Y = 1/\sqrt{6}R - 1/\sqrt{6}G \quad (2.4)$$

$$H = \arctan(Y/X) \quad (2.5)$$

$$S = \sqrt{(X^2 + Y^2)} \quad (2.6)$$

YUV bileşenleri bir parlaklık değerine karşılık iki renk değeri ile temsil edilir. İnsan gözünün renklerden çok parlaklığa daha hassas olması YUV renk uzayına bu yönü ile avantaj sağlamaktadır. RGB renk uzayı ile dönüşümü doğrusaldır ve her bir YUV bileşeni, Kırmızı, Mavi ve Yeşil değerlerinin hepsi ile hesaplanır.

$$Y = +0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (2.7)$$

$$U = -0.14713R - 0.28886G + 0.436B \quad (2.8)$$

$$V = +0.615R - 0.51499G - 0.10001B \quad (2.9)$$

YIQ renk uzayı, parlaklık ve renk değerlerini YUV renk uzayı bileşenleri gibi aynı kombinasyon ile temsil eder. YIQ renk bileşenlerinden I ve Q, YUV renk bileşenleri içerisinde U ve V bileşenleri gibi bir koordinat sisteminin X ve Y düzlemleri olarak bir renk uzayını oluşturmaktadır. İki koordinat sistemi arasındaki açı değişikliği I ve Q bileşenlerinin temsil ettiği renk değerlerini değiştirmiştir.

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (2.10)$$

$$I = 0.595716R - 0.274453G - 0.321263B \quad (2.11)$$

$$Q = 0.211456R - 0.522591G + 0.311134B \quad (2.12)$$

YPbPr, YCbCr, YCgCr, YDbDr renk uzayları, YUV ve YIQ renk uzaylarına kısmen benzemekle birlikte Y, parlaklık değerlerini renk değerleri (PbPr, CbCr, CgCr, DbDr) ile matematiksel işleme alarak farklı kullanım alanları açılmasını sağlamışlardır. Dört renk uzayının, RGB renk uzayı ile dönüşümleri doğrusaldır. YPbPr dönüşüm formülleri eşitlik (2.13, 2.14, 2.15) ile ifade edilmiştir.

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (2.13)$$

$$Pb = -0.168736R - 0.331264G + 0.5B \quad (2.14)$$

$$Pr = 0.5R - 0.418688G - 0.081312B \quad (2.15)$$

YCbCr: YPbPr renk uzayının dijital versiyonu olup formüllerin dijital dönüşümü eşitlik (2.16, 2.17, 2.18) ile ifade edilmiştir.

$$Y = 16 + 1/256 * (65.738R + 129.057G + 25.064B) \quad (2.16)$$

$$Cb = 128 + 1/256 * (-37.945R - 74.494G + 112.439B) \quad (2.17)$$

$$Cr = 128 + 1/256 * (112.439R - 94.154G - 18.285B) \quad (2.18)$$

YCgCr: YCbCr renk uzayının, Cb bileşeninin temsil ettiği mavi ve parlaklık arasındaki matematiksel işlemi, (Cg), yeşil ve parlaklık arasında matematiksel işlem ile değiştirilmesi ile oluşan varyasyonudur. YCgCr dönüşüm formülleri eşitlik (2.19, 2.20, 2.21) ifade edilmiştir.

$$Y = 16 + 65.481R + 128.553G + 24.966B \quad (2.19)$$

$$Cg = 128 - 81.085R + 112G - 30.915B \quad (2.20)$$

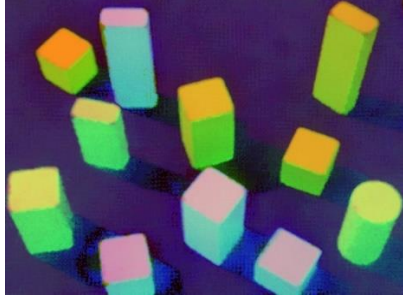
$$Cr = 128 + 112R - 93.768G - 18.214B \quad (2.21)$$

YDbDr: YDbDr, YPbPr ve YCbCr renk uzayları analog ve dijital farklı görüntüleme cihazlarında kullanılmaktadır. YDbDr dönüşüm formülü eşitlik (2.22, 2.23, 2.24) olarak sağlanabilmektedir.

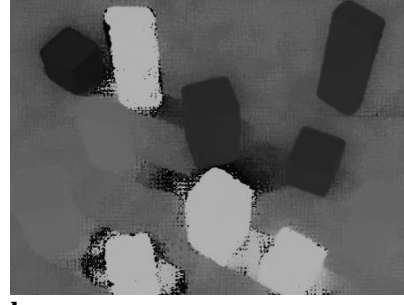
$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (2.22)$$

$$Db = -0.450R - 0.883G + 1.333B \quad (2.23)$$

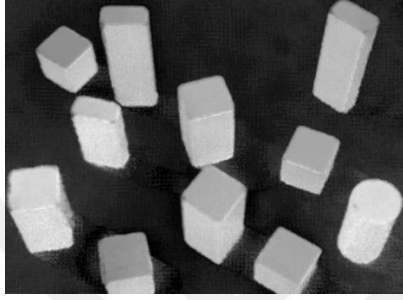
$$Dr = -1.333R + 1.116G + 0.217B \quad (2.24)$$



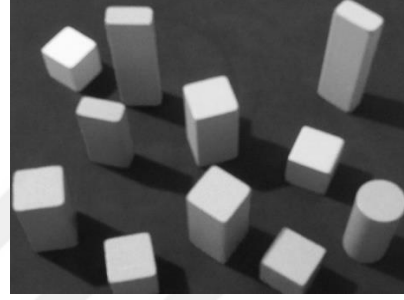
a.



b.



c.

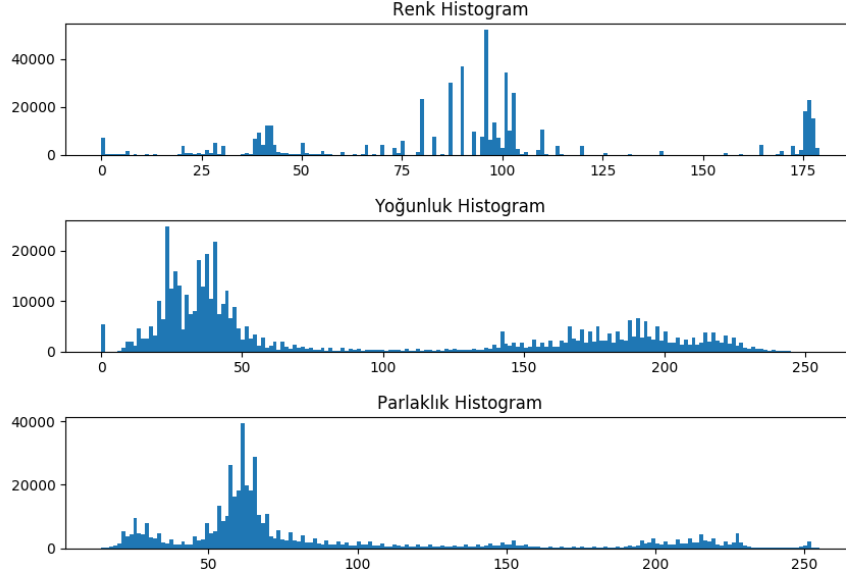


d.

Şekil 2.17: a. HSV renk uzayı görüntüsü, b. HSV renk katman görüntüsü, c. HSV yoğunluk katman görüntüsü, d. HSV parlaklık katman görüntüsü.

2.3.3. Histogram Oluşturma

Histogram herhangi bir veri setinde, değerlerin veya değer aralıklarının belirlenerek verilerin sayısının grafiksel olarak sunulması anlamına gelir. Bilgisayarlı görü çalışmalarında sıklıkla histogram bulma, eşitleme ve çizimi kullanılmaktadır. Numpy ve OpenCV kütüphaneleri ile sayısal sonuçlar çıkarılabilmesine rağmen grafiksel gösterimi Matplotlib ve OpenCV kütüphaneleri ile yapılabilmektedir. RGB renk uzayından alınan görüntüler HSV renk uzayına dönüştürüldükten sonra **Şekil 2.17** b, c ve d’de görüleceği üzere üç farklı gri ton katmana ayrıştırılabilmektedir. Histogram görüntünün genel özellikleri hakkında bilgi verebilir (Shavetov ve diğ, 2019).



Şekil 2.18: HSV renk uzayı histogram grafiği.

Çalışma ortamında renk histogramındaki verilerden alınan bilgiler doğrultusunda HSV renk uzayı renk aralıkları;

- Kırmızı [150,180],
- Yeşil [30,70],
- Mavi [90,130],
- Sarı [10,30] olarak tespit edilmiştir.

Aynı renk uzayının parlaklık aralığı ise parlaklık histogramından elde edilmiş ve parlaklık [195,255] aralığında belirlenmiştir (Tsai ve Tseng, 2012).

2.3.4. Renk Ayırt Etme

Bir önceki aşamada histogramdan çıkarılan renk aralıkları ile alt ve üst değerler belirlenmiş, HSV renk uzayının renk katmanından alt ve üst değerler arasındaki dört renk ayrı ayrı çıkarılmıştır.

HSV renk uzayına ait bir görüntüde HSV adı ile bir dizi oluşturduğumuzu düşünürsek, dizi

HSV [15,25,:]

şeklinde gösterilmektedir.

Buradaki ilk değer olan 15; -sayısal görüntülerdeki başlangıç noktasının en sol üst köşe olduğunu hatırlarsak- görüntü üzerindeki piksellerin yukarıdan aşağıya 15. Satırını, ikinci değer olan 25; soldan sağa sütun sayısını, sondaki “:” ise 15.satır ve 25.sütun üzerinde bulunan pikselin sırası ile HSV (Hue, Saturation, Value) uzayı, renk, yoğunluk, parlaklık değerlerinin tamamının gösterilmesini sağlamaktadır. Üç boyutlu dizi gösterimleri, ayrı ayrı sadece

- HSV [15,25,0] renk katmanına,
- HSV [15,25,1] yoğunluk katmanına,
- HSV [15,25,2] parlaklık katmanına

ulaşılmasını sağlamaktadır.

Eğer ki HSV dizisinde, dizinin tanımlı noktasında sadece renk değeri gösterilmek isteniyorsa

HSV [15,25,0]

olarak sadece renk katmanına ulaşılabilir.

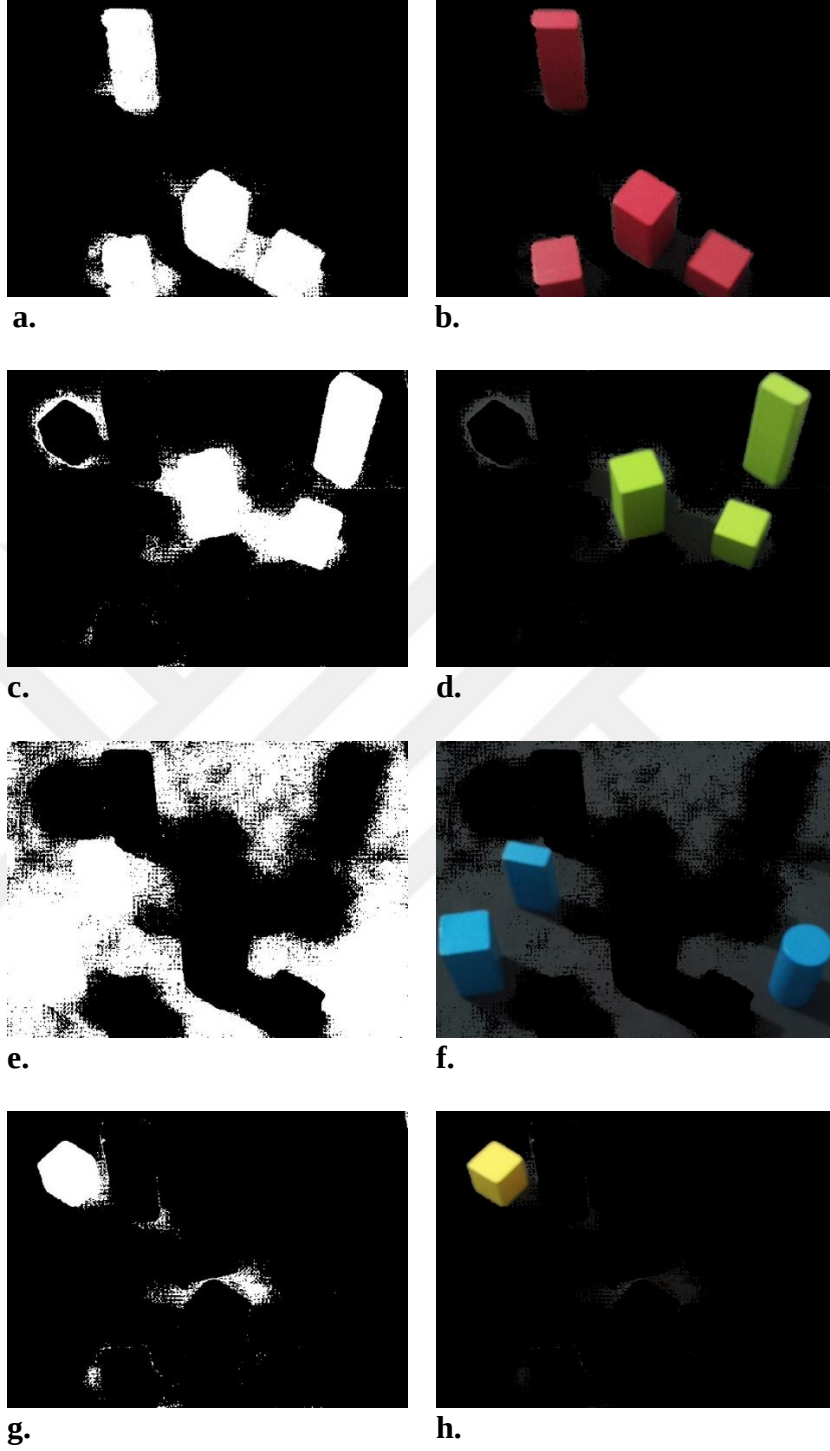
Tüm görüntü üzerinde çalışılması düşünülürse, sadece renk değerine ulaşmak için

HSV [: , : , 0]

şeklinde dizi kullanılabilir.

Burada ilk ve ikinci virgülden önceki kısımlar aynı şekilde satır ve sütunu göstermekte fakat “:” gibi iki nokta üst üste kullanılması tüm satır ve tüm sütunların renk katmanını kapsadığını belirtmektedir.

Renk belirleme aşamasında sadece renk katmanını kullanıp histogramdan faydalanarak alt ve üst değerler ile filtreleme sonrası elde edilen görüntü, deneysel ortamda kullanılan geometrik cisimlerin renk değerleri olacaktır.



Şekil 2.19: a. Kırmızı aralığın filtrenmesi sonucu elde edilen görüntü. b. Filtrenmiş ve orijinal görüntünün birleştirilmesi. c. Yeşil aralığın filtrenmesi sonucu elde edilen görüntü. d. Filtre ve orijinal görüntünün birleştirilmesi. e. Mavi aralığın filtrenmesi sonucu elde edilen görüntü. f. Filtrenmiş ve orijinal görüntünün birleştirilmesi. g. Sarı aralığın filtrenmesi sonucu elde edilen görüntü. h. Filtrenmiş görüntü ve orijinal görüntünün birleştirilmesi.

2.3.5. Parlak Yüzey Tespiti

Şekil 2.19'da nesnelerden görüldüğü üzere herhangi bir geometrik cismin her yüzeyi farklı açıdan ışık almaktadır. Doğrudan ışık alan üst yüzeyler dışında kalan nesnelere yatay açıdan bakılması halinde görüş açısında arkalarda kalan nesnelerin yan yüzeyleri görünmeyecektir. Fakat üst yüzeyler, cisimler bitişik konulması halinde dahi kamera tarafından HSV renk uzayının parlaklık katmanını ile tespit edilebilmektedir. Renk tanımlama için kullanılan

HSV [: , : , 0]

dizisinin 0 değeri 2 ile değiştirildiğinde

HSV [: , : , 2]

parlaklık katmanına ulaşılmış olacaktır.

Parlaklık histogramı ile elde edilen grafikte 255 değerine yaklaşan artış, nesnelerin parlak yüzeylerinin tanımlanmasını sağlayacaktır.

HSV [: , : , 2]

dizisi bir üç boyutlu matrisi tanımlamaktadır. Aynı matris içindeki bütün pikseller

[0,255]

aralığında değer almaktadır. Her hangi bir noktadaki değer 255'e yakın olması parlaklığa yakın olduğunu ve 255 olması tamamen beyaz olduğunu göstermektedir. Bu nedenle

HSV [195, 255]

aralığı deneysel ortamdaki şartlar altında bütün renkler için üst yüzeyleri, diğer yüzeylerden ve arka plandan çıkarabilmektedir. Çevresel etmenlerden dolayı tespit edilecek yüzey, ışığı doğrudan alan üst yüzeydir. Dolayısı ile nesnelerin üçüncü boyut olan derinlik bilgisine ihtiyaç duyulmamıştır (Şuligoj ve diğ., 2014).

2.3.6. Morfolojik İşlemler

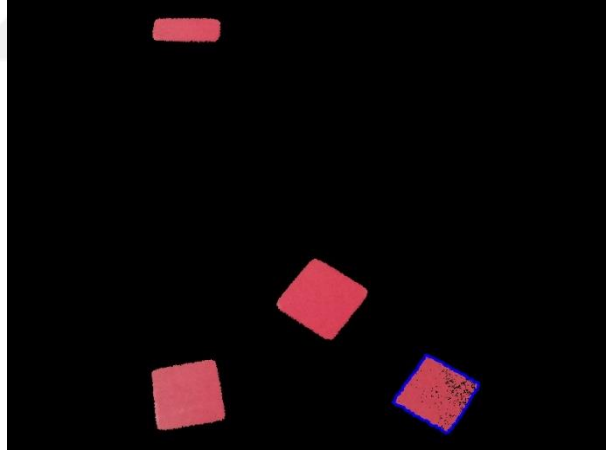
Renklerin kamera ile tespit edilip robot manipülatör ile alınması, görüntü işleme aşamalarından birçok farklı işlemi kapsamaktadır. Morfolojik işlemler siyah-beyaz görüntüde tespit edilen

bölgenin şekil bütünlüğünü tamamlayacak, maskelenen alanın içinde veya dışında kalan bölgenin gürültüsünü azaltacak işlemler içermektedir.

Bunlar;

- Aşınma,
- Genişleme,
- Açma,
- Kapama gibi temel adımlardan oluşmaktadır.

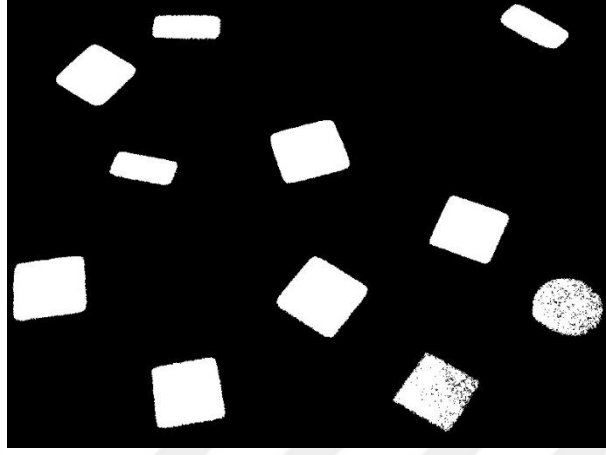
Tespit etmek istenilen, renkleri ayırt edilmiş parlak yüzeylerdir. Ortam şartlarından veya değişkenlerinden dolayı gerçek görüntü sayısal görüntüye dönüştürülürken, gürültü olarak adlandırılan şekil bütünlüğünü engelleyen bölge içinde şekil büyüklüğüne nazaran çok daha küçük farklı siyah-beyaz bölgeler ile aktarılmaktadır. Görüntü işleme adımlarının son aşaması ilgili yüzeylerin merkezlerinin bulunmasıdır. Merkez noktasının bulunabilmesi için şekil bütünlüğünün tamamlanmış olması hata payını önemli ölçüde azaltmaktadır.



Şekil 2.20: Kenarları mavi ile ayrılmış gürültülü yüzey.

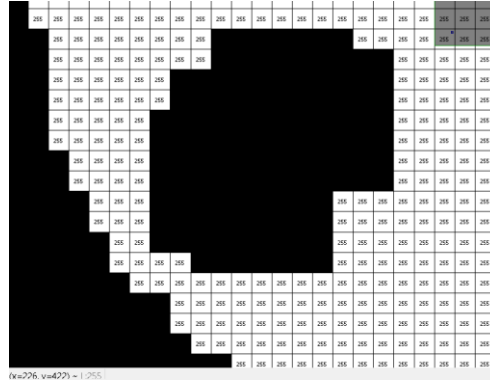
Şekil 2.20'de mavi çerçeve içine alınmış yüzey, görüntü işleme aşamaları esnasında üzerindeki kırmızı tonlarına ait piksel değerlerini kaybetmiştir. Görüntü işleme alanında sıkça karşılaşılan bu tanımsız piksel gruplarına gürültü adı verilmektedir. Gürültüyü azaltarak yüzeyin şekil ve renk bütünlüğünü tamamlamak için birçok yöntem kullanılmakla beraber morfolojik işlemler bu aşamada sıkça kullanılmaktadır. Morfolojik işlemler arasında yer alan kapama yöntemi, maskelenen alanın gürültülü kısımlarını, ikili görüntüde beyaz ile tamamlayarak yüzey

merkezinin tanımlanmasında ve bütünlük kazanmasında da önemli bir adımdır. Morfolojik işlemler ikili olarak adlandırılan siyah-beyaz görüntülerde uygulanmaktadır.



Şekil 2.21: Gürültülü ikili görüntü.

Siyah-Beyaz görüntüler sıklıkla maskleme işlemleri için kullanılır. Beyaz piksel değerleri maskelenmek istenen görüntünün bütün renklerini olduğu gibi geçirirken, siyah piksel değerleri bire bir eşleştiği görüntülerin piksellerini tamamen kapatır. Gürültülü maskelerde şekil bütünlüğünü korumak amacı ile beyaz bölgeler kapama yöntemi kullanılarak tamamen siyah noktalardan arındırılır ve bölge gürültüsüz bir şekilde elde edilir.



Şekil 2.22: Beyaz pikseller arasında kalan siyah gürültülü pikseller.

Morfolojik işlemler uygulanmadan önce bir pikselin etrafını sarabilecek çekirdek bir şablon belirlenir. Çekirdekler;

255	255	255
255	255	255
255	255	255

Şekil 2.23: 3x3 Boyutunda çekirdek.

255	255	255	255	255
255	255	255	255	255
255	255	255	255	255
255	255	255	255	255
255	255	255	255	255

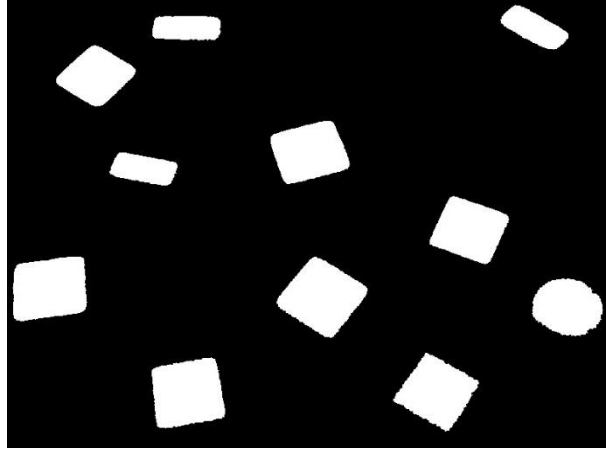
Şekil 2.24: 5x5 Boyutunda çekirdek.

255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255

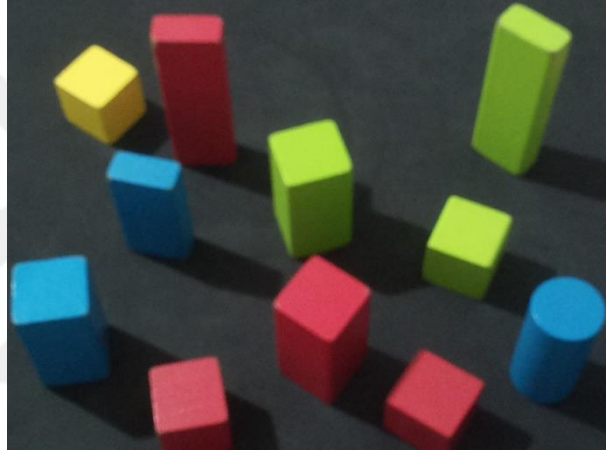
Şekil 2.25: 7x7 Boyutunda çekirdek.

Şekil 2.23, Şekil 2.24 ve Şekil 2.25 gibi dizilerden oluşmaktadır.

İki boyutlu dizi şeklindeki çekirdekler, kapama işleminde 255 değerini almaktadır.

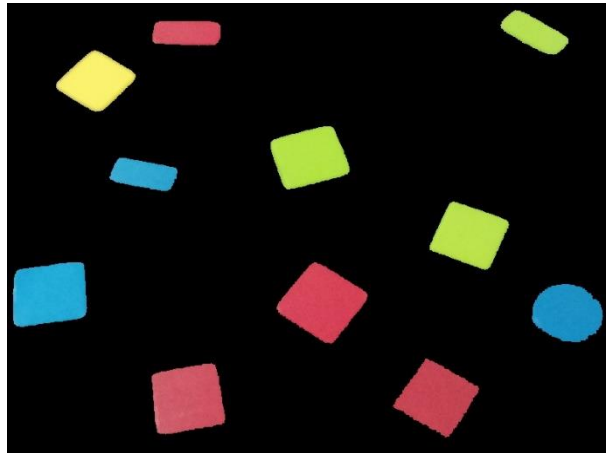


Şekil 2.26: Kapama yöntemi sonrası görüntü.



Şekil 2.27: RGB görüntüsü.

Şekil 2.26’da kapama işleminden sonra gürültü, iki yüzey üzerinde giderilmiştir. Şekil 2.26’da görülen maske, Şekil 2.27’de RGB görüntü ile aritmetik işleme alındığında sadece beyaz pikseller ile eşleşen bölgelerin renkleri (Şekil 2.28) görünecektir.

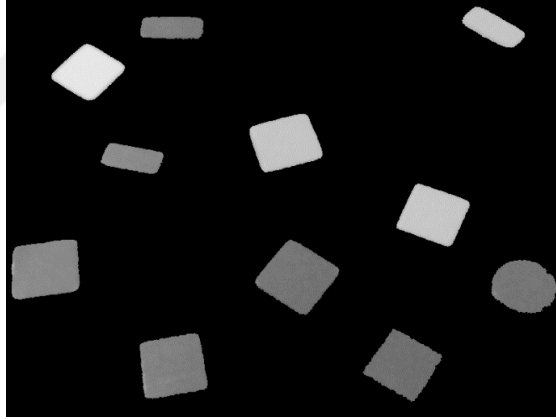


Şekil 2.28: Kapama ve maskeleme sonrası görüntü.

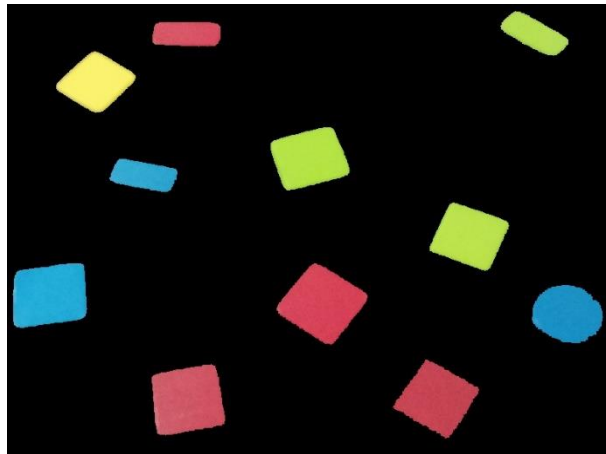
Kapama yöntemi ile elde edilen görüntü, geometrik nesnelerin ışığı doğrudan alan üst yüzeylerin tek katmandan oluşan ikili görüntüsüdür. Görüntü üzerinde en son işlem, kenarları belirlenen şekillerin merkez noktalarını bulmaktır. Kenar belirleme algoritması, siyah-beyaz görüntü üzerinden belirleneceğinden bir sonraki adımda eşikleme yöntemi kullanılmıştır.

2.3.7. Eşikleme

Eşikleme sayısal görüntü işleme alanında ileri düzey teknikler için görüntüden istenilen bölgeyi çıkarmak veya izole etmek için kullanılan ve sıkça başvurulanan temel adımlardandır. Görüntüden istenilen bilgi, geometrik şekillerin yanında bu geometrik nesneleri renklerine göre ayırt edebilmesidir. Bölütleme yönteminde kullanılabilen gri ölçekli görüntü, birçok farklı renk ve geometrik şekilden oluşan nesnelerin aynı ışık miktarı altında elde edilen görüntülerinde, farklı renkleri aynı gri tonunda gösterebilmektedir. Başka bir ifade ile RGB renk uzayında farklı olan renklerin gri ölçekli uzayda benzer sonuçlar vermesi görüntüden ayırt edilmek istenen nesnelerin arka plandan çıkarılma işlemini zorlaştırmaktadır.

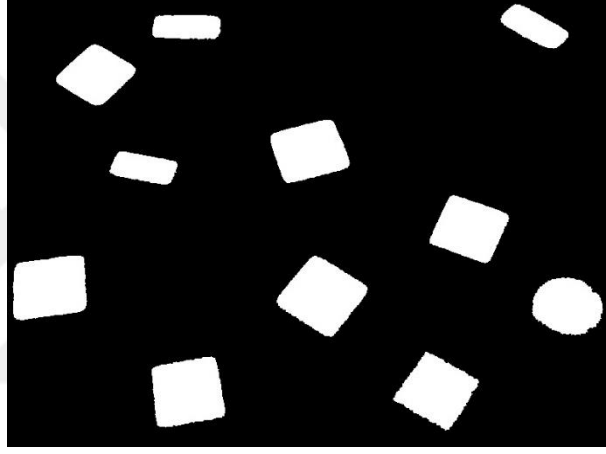


Şekil 2.29: Gri ölçekli görüntü.



Şekil 2.30: Maske ile birleştirilmiş görüntü.

Şekil 2.29'da gri ve **Şekil 2.30**'da renkli görüntüler bulunmaktadır. Kırmızı ve mavi renkli yüzeyler gri ölçekli (**Şekil 2.29**) görüntüde ayrıştırılamamıştır. Renkli görüntü ayrıştırılmasına rağmen merkez noktalarını tespit edebilmek amacı ile kenar bulma fonksiyonuna sadece ikili (siyah-beyaz) görüntüler ile görüntü gönderilebilmektedir. İkili görüntü oluşturabilmek amacı ile eşikleme fonksiyonları, ancak gri ölçekli görüntüleri işleyebilmekte ve ikili görüntülere dönüştürebilmektedir. Eşikleme fonksiyonu ile alınacak gri ölçekli görüntü üzerindeki pikseller, sadece 0 ile 255 arasında değer almaktadır. Eşik değerine 10 gibi siyaha yakın düşük bir değer verilmesi, gri ölçekli görüntüde nesne yüzeylerinin arka plandan net bir şekilde ayrışmasını ve yüzeylerin tamamının beyaza dönüşümünü sağlayacaktır.



Şekil 2.31: Kenarları belirlenecek görüntü.

2.3.8. Merkez Nokta Tespiti

Cisimleri yakalamak için robot kol eklemlerinin ve el ya da kısıkaç motorlarının hedefi, nesnelerin merkez ya da merkeze en yakın noktalarıdır. Görüntüdeki üç boyutlu şekillerin bitişik konumlandırıldığında insanların algısı dahil birçok aygıt için dahi yanıltıcı olabileceği düşünüldüğünde robot kolu cismin merkezine yöneltebilmek yanıltıcı olabilir. Robot kolun dağınık bir ortam içinden hedef nesneye ulaşmaya çalışması eklemlere kuvvet sensörlerini ekleyerek mümkün olabilmektedir (Jain ve diğ., 2013). Kuvvet sensörü kullanılması halinde dahi bitişik konumlanan nesneler arasından temas edebileceği nesneleri mevcut tutucu ile alması mümkün değildir. Bu nedenle nesnelerin üst yüzeylerinin iki boyutlu resminin merkez noktalarını bulmak başarı oranını arttıracaktır. Bilgisayarlı görü teknikleri ile arka plandan ayırt edilmiş yüzeylerin kenar çizgileri tespit edilirken (**Şekil 2.32**) bütünlük ikili görüntüde elde edildiğinden Canny Edge Detection algoritması kullanılmamış (Tiwari ve diğ., 2018), kenar noktaları doğrudan ikili görüntüde tespit edilebilmiştir. Fonksiyonun ürettiği kenar

koordinatlarına göre merkez noktalara ulaşılabilir. Sınır tespiti, arka planın dağınık olmadığı resimlerde daha başarılı sonuçlar vermektedir.



Şekil 2.32: Merkez noktaları tespit edilmiş yüzeylerin görüntüsü.

2.4. ROBOT

2.4.1. Robot Tanımı

Robot, makine teknolojisi altında yer alan, insan etkileşimi olmadan görevleri yerine getirebilen bir makine çeşidi olarak tanımlanabilir. Makine olmasının yanında robot çevreyi algılayabilmesi ile diğer makinelerden ayrılmış, kendi içinde geniş bir çalışma alanı oluşturmuştur. Bu nedenle robotlar, IFR (International Federation of Robotics) tarafından endüstriyel ve servis robotları olarak iki başlık altında tanımlanmaktadır (Kadir ve diğ., 2012). Endüstriyel alanda tekrar eden süreçlere sanılanın aksine robotlar değil makinelerin hakim olduğu söylenebilir. Makineler, endüstriyel üretimde verilen komutlara göre hareket eder ve tekrarlı işlemlerde yüksek hassasiyet ile hızlı bir şekilde yüksek verimlilikte çalışırlar (Annusewicz, 2019). Robotlar ise sensörler yardımı ile çevresel uyarıcılara tepki verebilecek donanıma sahip olması yönüyle insanlara benzemektedir. Makinalar önceden programlanmış ve öngörülmüş iş ve işlemleri bir döngü içinde yapabilir (Švaco ve diğ., 2014), robotlar ise daha önceden öngörülemeyen iş ve işlemlerde sensörleri sayesinde çevreden verileri alarak aritmetik ve matematiksel işlemlerden sonra bilgiye dönüştürür, bu bilgilere göre karar verebilir ve görevini icra edebilirler.

İnsanlardaki duyu organlarının yerini robotlar da sensörler olarak insanların fark edemediği ışıma, ses, manyetik alan vb. birçok çevre uyarıcısından veri alabilmektedir. Bunun yanında

gelişmiş bir sinir sistemi ve bütün vücut yüzeyine yayılmış dokunma duyusu sayesinde sensörlerin tam anlamıyla insanlardaki duyu organları gibi çalışması beklenemez. Dolayısı ile robotik uygulamaların geliştirilme aşamasında çevre şartlarını göz önünde bulundurmak, uygulamanın hatasız görevi yerine getirme olasılığını arttıracaktır (Goodrich ve Schultz, 2008). Otomasyon projelerinde dahi insan etkileşimine olanak sağlamak, öngörülemeyen çalışma ortamı ve değişen ortam şartlarında insan duyularının önemini göstermektedir.

Öğrenme bütün duyu organları ile gerçekleşebilmektedir. Öğrenilen bilginin kalıcı olabilmesi, deneyimin bütün duyu organlarının eşzamanlı çalışması ile mümkün olmaktadır. Bütün öğrenme yöntemlerinde diğer duyu organları ile çevre hakkında bilgi alınabilir ancak görme duyusunun ağırlığı ne kadar fazla olursa alınan bilgi o oranda artacaktır. Robotik teknolojilerin daha fazla algılayıcı ile donatılabilmesi ise çevreyi insanlardan daha iyi algılayabilmelerini sağlamaktadır. Aynı zamanda robotik teknolojilerin görüş alanı içinde hedefe bakmasını sağlamak, çevreyi öğrenmesinde önemli bir kazanım olacaktır. Bir çok sensörü bir arada bulundurmak, bunları eşzamanlı işlemek ve bunlardan gerçek zamanlı sonuç çıkarmak, tamamen kendi algıları ile çalışan otomasyonlar için kaçınılmazdır. Sensörlerin robotlara tam öğrenme sağlayamaması, görüntü hakkında daha detaylı bilgi verebilecek kamera aracılığı ile görüntü alma ve işlemeye yönlendirmiştir. Çalışmanın çıkış noktası, kamera ile alınan görüntü üzerinde, nesnelerin renk ve şekil bilgilerini, görüntü işleme teknikleri ile belirleyerek robotların kısmen görebilmesini sağlamak ve robotun öğrendiği bilgiler ile görüntüde aynı nesneyi tespit etmesini sağlayarak nesnenin robot kol ile istenilen yere taşınması hedeflemektir.

Robotik uygulamaların birçok endüstriyel alanda bulunması nedeniyle robotik uygulamalar,

- Tam otomasyon uygulamaları,
- Kısmi otomasyon uygulamaları,
- İnsan etkileşimli uygulamalar olmak üzere 3 grupta değerlendirilebilir.

Tam otomasyonlar insan etkileşimi olmadan sensörler ve diğer çevre algılayıcıları ile hareketini sağlayan esasında gerçek otomasyonlardır. Askeri, Uzay ve uzay istasyonlarında geliştirilen çok amaçlı robotlar (**Şekil 2.33**) örnek olarak verilebilir.



Şekil 2.33: Uzay araştırma ve keşif robotları (International Federations of Robotics (IFR), 2019).

Kısmi otomasyonlar veya diğer bir ifade ile makinalar, mekaniğin sensöre ihtiyaç duymadan çalışabildiği ve aynı bir dizi hareketi sürekli yapması gereken uygulamalarda kullanılmaktadır. Otomobil üreticileri için robot kolun 7/24 aynı bir dizi hareketi sürekli yapması örnek bir uygulama olarak düşünülebilir.



Şekil 2.34: Endüstriyel otomasyon (Nedelea, 2014).

İnsan etkileşimli uygulamalarda ise robot mekaniği insan müdahalesi olmadan hareketini sağlayamamaktadır. Uzaktan kumandalı bütün robotik uygulamalar (**Şekil 2.35**) insan etkileşimli uygulamalardır. Akıllı cihazların ve endüstriyel teknolojilerin gelişmesinde rekabet artışının önemli bir baskısı vardır. Ürünlerin kişiselleştirilmesi, ürün çeşitliliğini arttırmak yanında imalat sistemlerinin tasarlanmasını kişiselleştirmeye cevap verecek şekilde düzenlemek ile mümkün olmaktadır. Üretim aşamasının özelleştirilmesi ile insan merkezli üretim hattı hassasiyetini robotlar ile sağlayabilmek, önemli bir endüstriyel adım olarak değerlendirilmelidir (Tsarouchi ve diğ., 2014).

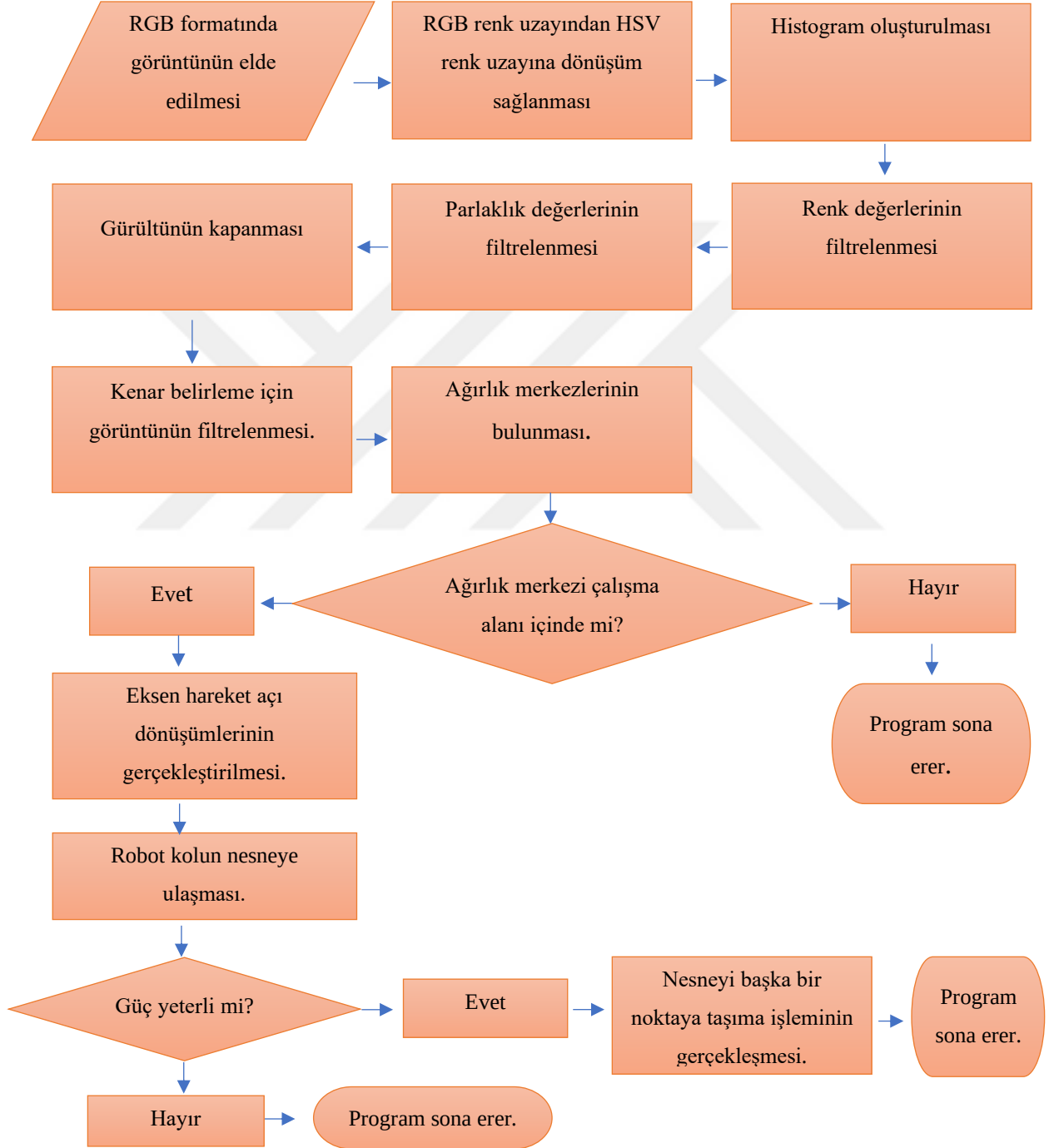


Şekil 2.35: İnsan etkileşimli robot kollar (Sayılğan, 2020).

Bu nedenle çalışmada, robotik kolun, çevreden aldığı bilgiler ile karar verebilmesini ve kararın ardından sonuç olarak hareket edebilmesini sağlamak Raspberry Pi tek port bilgisayar GPIO çıkışları kullanılarak servo motorlara bilgi gönderebilmesi ve motorlardan bilgi alabilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu ise görüntü işleme adımından sonra deneyin ikinci aşamasıdır. Servo motorlar, bu amaca tam hizmet etmekle birlikte robotik uygulamaların bir çoğunda tercih sebebi olmuştur. Pozisyon bilgisine tam otomasyonlarda sistemin sürekli ihtiyaç duyması, servo motorları daha kullanışlı hale getirmektedir. Bu amaçlar doğrultusunda insanın zihinsel ve fiziksel gücü ile yapabileceği işlerde robotların yer alması ciddi bir araştırma alanı olarak değerlendirilmelidir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde deney içerisinde kullanılan yazılım ve donanımlara yer verilmiş, akış diyagramı ile bölüm içerisinde yapılan adımlar özetlenmiştir.



Şekil 3.1: Yazılım akış diyagramı.

3.1. GÖRÜNTÜ İŞLEME YAZILIM ORTAMI

3.1.1. Raspbian

Deney ortamında kullanılan Raspberry Pi 3 B+ tek port mini bilgisayarın üzerinde; GNU Lisanslı ve Debian tabanlı Raspbian işletim sistemi tercih edilmiş, 4.19.66-v7 modeli kullanılmıştır. Raspbian işletim sisteminin çalışma için avantajları;

- Python destekleyen yazılımların bütünleşik olması,
- Raspberry Pi Kamera v2 modülünün Raspbian işletim sistemi

ile uyumlu olarak çalışmasıdır.

3.1.2. Python

Çalışmada Python 3.5.3 version kullanılmıştır. Veri setleri ile uyumlu çalışabilmesi, bilimsel çalışmalar amacı ile geliştirilmesi, İstatistik, Makine Öğrenmesi gibi alanlarda aranılan bir dil olmasını sağlamıştır. Bilgisayarlı görü alanında sıkça kullanılan Python, sayısal görüntü üzerinde piksel olarak adlandırılan noktaların bir den çok değeri ile işlem yapılmasını kolaylaştırmaktadır.

3.1.3. OpenCV Kütüphanesi

OpenCV açık kaynak, bilgisayarlı görü ve aynı zaman da makine öğrenme kütüphanesidir. Çalışmada kullanılan version OpenCV 3.2.0'dır. OpenCV, ortak bir altyapı ve standart bir kütüphane sağlamak, görüntü işleme kullanımını endüstriyel, akademik ve kişisel birçok alanda yaygınlaştırmak amacıyla İntel tarafından geliştirilmiştir. BSD lisansına sahip olması akademik ve ticari kuruluşlar tarafından geliştirilmesine ve kodlar üzerinde değişiklik yapılabilmesine olanak tanımaktadır (Open Source Computer Vision Library, 2019). OpenCV kütüphanesinin platform bağımsız, Windows, Linux ve türevleri, MacOS, Android gibi işletim sistemlerinde çalışabilir ve C, C++, Java, C# ve Python gibi gelişmiş programlama dillerin de kullanılabilir olması OpenCV kütüphanesini dünya üzerinde birçok proje ve uygulamada yer almasını sağlamıştır. Güvenlik kameraları, robotik teknolojileri, uydu görüntüleri, savunma sanayi ve gerçek zamanlı uygulamalarda sıklıkla OpenCV algoritma, paket ve yöntemleri kullanılmaktadır.

3.1.4. Numpy Kütüphanesi

Numpy bilimsel hesaplamalar da Python dili ile sıkça kullanılan temel kütüphanelerdendir. N boyutlu matrislerin oluşumun da etkili depolama yapabilmektedir. Veri türü oluşturmada isteğe bağlı tür yaratmaya izin vermesi geniş veri tabanlarının kullanımın da hızlı işlem yapılmasına olanak sağlayabilmektedir. Sayısal görüntülerin türüne bağlı olarak satır ve sütunların kesiştiği her bir pikselin renkli görüntülerde 3, gri ve ikili görüntülerde 1 değer alması 3.boyut olarak değerlendirilir. Görüntü verisini Numpy dizilerine dönüştürmek matematiksel ve aritmetik işlemleri hızlandırmaktadır. Version v1.00 kullanılmıştır. Numpy dizilerin veri setlerindeki avantajı, kütüphanenin görüntü işleme de önemli bir yer bulmasını ve BSD lisansı altında açık kaynak bir kütüphane olması, kütüphanenin geliştirilmesini sağlamaktadır (Numpy, 2019).

3.1.5. Matplotlib Kütüphanesi

Matplotlib, veri setlerini 2 veya 3 boyutlu olarak görselleştirebilen Python çizim paketidir. Python kullanarak 2 boyutlu grafik oluşturma OpenCV ve Numpy kütüphaneleri ile yapılabiliyor olsa da grafiği oluşturan veriler üzerinde matplotlib kütüphanesinin ciddi üstünlüğü olduğu söylenebilir. Kütüphanenin hiyerarşik yapıda olması yeni kullanıcılar için hazır çizimlerin kullanılmasını sağlamakla birlikte gelişmiş kullanıcılar için grafik üzerinde en temel bilgileri dahi değiştirilebilmesine imkân vermektedir.

3.2 GÖRÜNTÜ İŞLEME DONANIM ORTAMI

3.2.1. Raspberry Pi Tek Port Bilgisayar



Şekil 3.2: Raspberry Pi 3 B+ Mini bilgisayar (Raspberry Pi Organization, 2018).

Raspberry Pi 3 B+ özellikleri:

- İşlemci: Dört Çekirdek 64-bit 1.4GHz A53/ARMv8,
- RAM: 1GB LPDDR2 SDRAM,
- Wireless LAN: Çift bant 2.4 + 5 GHz 802.11.b/g/n/ac,
- Ethernet: 300Mbps Gigabit, PoE HAT uyumlu,
- Bluetooth: 4.2, Düşük Enerji,
- GPIO: 40 pinli header, güç giriş pinleri,
- Hafıza: Micro SD Kart girişi,
- Video: HDMI, DSI ekran portu + CSI kamera portu,
- Ses: 4 kutuplu 3.5mm ses + kompozit video port,
- USB: 4 adet USB 2.0 + MikroUSB 5V/2,5A güç girişi,
- Multimedya: H.264, MPEG-4 1080p@30, OpenGL 2.0 (Raspberry Pi Organization, 2018).

OpenCV bilgisayarlı görü kütüphanesi, bir çok yazılım ve donanım platformunda çalıştırılabilmesine rağmen Raspberry Pi donanımının seçiminde, aynı donanım üzerinden sensör ve motorları kullanabilmemize olanak sağlaması, mikroişlemci sınıfında yer almasına rağmen entegre devre olarak da kullanılabilmesi etkili olmuştur. Raspberry Pi donanımı bir çok mikro denetleyici işlevi yerine getirebilmesine rağmen bir bilgisayar olarak nitelendirilebilmesinin nedenleri aşağıda açıklanmıştır.

Mikro Denetleyicilerin;

- Tek bir görevi yerine getirmesi,
- Proje veya uygulamaya özel olarak tasarlanması,
- Belirlenmiş bir amaca yönelik olması,
- Kullanıcı ile dolaylı olarak etkileşimde bulunması,
- Sadece bir programı depolayabilmesi ve çalıştırabilmesi

yapılacak projeye özgü ürün geliştirilmesini sağlayarak projenin amacına ulaşmasını kolaylaştırmaktadır.

Mikroişlemciler ise;

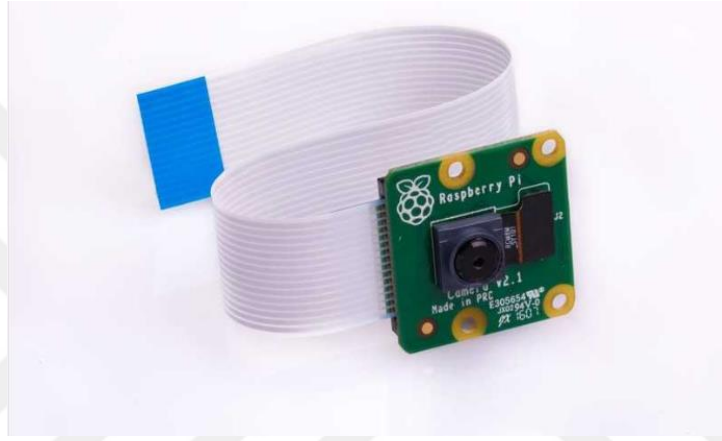
- Birçok dahili donanım ile aynı anda ve hızlı iletişim kurması,
- Kullanıcı ile doğrudan etkileşimde bulunabilmesi,
- Verilerden bilgi çıkarılabilmesi,
- Farklı çevre birimleri ile iletişim kurabilmesi,

- Çevre birimleri olmadan depolama yapamaması ve çalıştıramaması

genel amaçlı kullanıma olanak sağlamıştır (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2012).

Mikro işlemciler ve mikro denetleyiciler arasındaki farklılıklar, Raspberry Pi donanımının mikro denetleyiciden çok, kullanım alanı geniş tek port bir bilgisayar olduğu sonucuna ulaştırmıştır.

3.2.2. Raspberry Pi Kamera v2



Şekil 3.3: Raspberry Pi V2 kamera modülü (Raspberry Pi Organization, 2018).

Uygulama ortamında görüntü elde edeceğimiz aygıt Raspberry Pi Kamera V2 modülüdür. USB kameralarından farklı olarak;

- Usb kamera sürücülerinin işletim sistemleri ile kurulum sorunları,
- Pi Kamera modülünün bütünleşik çalışması nedeni ile olumlu performans sağlaması,
- Python dili için hazır kütüphanelerin bulunması,
- Gelişmiş kullanıcılar için geniş bir kitaplık bulundurması,
- Güvenlik amacı ile kullanılabilmesi vb. nedenler Raspberry Pi Kamera v2 modülünün bilgisayarlı görü uygulamalarında tercih edilmesini sağlamaktadır (*Raspberry Pi Camera Module*, 2018).



Şekil 3.4: Raspberry Pi ve kamera bağlantısı (Raspberry Pi Organization, 2018).

3.2.3. Üç-Boyutlu Geometrik Nesneler

Geometrik şekillerin bütün yüzeyleri ışık kaynağından gelen ışığı aynı şekilde yansıtamazlar. Işık kaynağından doğrudan ışık alan yüzeyler, renkleri daha canlı göstermelerine rağmen, çevredeki nesnelerden dolayı ışık alan yüzeyler parlaklık değerleri daha düşük olması sebebi ile gerçek renk değerlerini gösterememektedir. Gün ışığı ile alınan sayısal görüntülerde ışığın gelme açısı, şiddeti ve bulunduğu yüzeyin parlaklığı gibi değişkenler gün, ay, hafta ve hatta mevsimsel olarak çok değişkenlik gösterebileceğinden deneysel ortam gün ışığına kapalı, beyaz led oda aydınlatması ile gerçekleştirilmiştir. Oda aydınlatmasının led ışık kaynağı ile sağlanması, ışık açısını ve parlaklığını sabitlemiş olsa dahi, cisimlerin pozisyonlarının değişmesi halinde en az 1 yüzeyinin ışığı, ışık kaynağından alması mümkün değildir. Bu nedenle doğrudan ışık almayan yüzeylerin aydınlatılması cismin renk değeri ile aynı renk tayfına ait led ışık kaynağı ile sağlanmış, yüzey sayısal görüntüde renk değerini tam göstermiştir. Deneysel ortamı, kameradan alınan görüntüler dışında farklı sensör donanımları ile tanımak, nesneler hakkında daha çok bilgi edinebilmemizi sağlayacaktır. Bütün olasılıklar hesaplanabilmiş olsa dahi, bir çok sensör ile tek bir manipülatör kullanılması bütün çevre şartlarına karşı çözüm için yeterli olmayabilir (Bdiwi Suchý, 2012). Canlılar dünyasında birçok uzuv, duyu organlarının koordinasyonu ile beraber çalışabilmekte ve görevlerini tamamlayabilmektedir.



Şekil 3.5: 3-Boyutlu Geometrik Nesneler.

3.2.4. Işık Kaynağı

Işık kaynaklarının tamamı renkli veya beyaz ışık tonlarında ışımaktadır. Böylece nesnelerin renk değerleri göz veya dijital cihazlar sayesinde görülebilmektedir. 3-Boyutlu geometrik nesnelerin ışığı doğrudan almayan yüzeyleri, sayısal görüntülerde, arka plandan çıkarmak için kullanılan eşikleme yönteminde tanımsız hale gelmektedir. Bu nedenle kamera platformu, 2 farklı pozisyona konumlandırılmıştır. İlk konum herhangi bir nesnenin kameranın görüş açısı içerisinde en az 2, en fazla 3 yüzeyinin (**Şekil 3.6**), ikinci konum aynı şekilde en az ve en fazla 2 (**Şekil 3.7**) yüzeyinin yeteri kadar ışık aldığı pozisyon olarak belirlenmiştir. Deneysel ortamda nesnelerin üst yüzeylerinin tanımlanması ve üst yüzeylerden robot manipülatörün nesneleri alabilmesi amaçlandığından kamera platformu **Şekil 3.7**'de görüldüğü üzere konum 2 olarak ayarlanmıştır. Bu pozisyondan kameranın görüş açısı nesnelerin sadece üst yüzeylerini daha açık renklerde kaydedebilmekte ve görüntü içinden istenilen yüzeyler ayrıştırılabilmektedir. Kamera konumunun sabitlenmesi, elde edilecek görüntünün içerisindeki nesnelerin üst yüzeylerinin diğer yüzeylere göre daha açık renklerde yakalanmasına yardımcı olacağından birçok çalışmada dikkat edilmesi gereken önemli bir adımdır.



Şekil 3.6: Kamera konumu 1.



Şekil 3.7: Kamera konumu 2.

Oda aydınlatması için kullanılan birinci ışık kaynağı, deneysel ortamı, iki fotoğrafta da olduğu gibi fotoğraf çekilen pozisyon ile aynı açıdan aydınlatma sağlamaktadır. Birinci ışık kaynağı ve nesnelerin ışığı doğrudan almayan yüzeylerini tanımlı hale getirmek için kullanılan 3 farklı renkte (Kırmızı, Yeşil, Mavi) ikinci ışık kaynağının özellikleri **Şekil 3.8**'de ve **Şekil 3.9**'da verilmiştir.

LED VALUE CLASSIC A 60	
W	8.5 W
lm	806 lm
T _[Kelvin]	6500 K = cool daylight
R _a	80
	< 0.5 s = 60% light
	-
t _[h] *	10000 h
	100000
T _[Celsius]	-20° - 40° 
Hg	0.0 mg
V · Hz	220-240 V · 50/60 Hz
	E27

Şekil 3.8: Birinci ışık kaynağı özellikleri.

LED STAR + CLASSIC A 60 DIMMABLE	
W	9 W
lm	806 lm
T _[Kelvin]	2700 K = warm white
R _a	80
	< 0.5 s = 60% light
	via remote control
t _[h] **	25000 h = 25 years (≈ 2.7 h/day)
	100000
T _[Celsius]	-20° - 40° 
Hg	0.0 mg
V · Hz	220-240 V · 50/60 Hz
	E27

Şekil 3.9: İkinci ışık kaynağı özellikleri.

İkinci ışık kaynağı sadece tanımsız yüzeyler için kullanılacağından ışık kaynağı, ışığı doğrudan nesneye yansıtabilecek aydınlatma aracı (**Şekil 3.10**) ile beraber düşünülmüştür.



Şekil 3.10: Doğrudan aydınlatma aracı.

3.3. ROBOT KOL DÜZENEĞİ

3.3.1. Robot Kol

Çalışmada kullanılan robot kol;

- Eksen sayısı değiştirilebilir bir tasarıma sahip,
- 5 eksen ve 6 eklemden oluşan,
- Metal alaşımlı,
- Tasarımı belli şartlar altında lisans altına alınmış endüstriyel bir üründür.



Şekil 3.11: Robot kol tasarım görüntüsü

5 eksenli robot kolun tercihinde;

- Motorlar,
- Tasarımın değiştirebilmesi ve geliştirilebilmesi,
- Fiyat/Performans,
- Yedek parça temini,
- Metal alaşımdan oluşması,
- Seri üretimde birçok yabancı firma tarafından üretilmesi vb. sebepler etkili olmuştur.

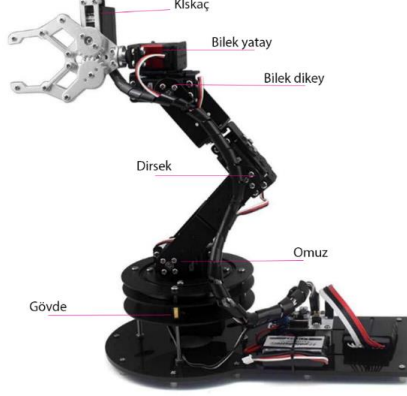
Motorların sürekli yüksek devirde dönme hareketini yaptığı araba, drone gibi uygulamaların aksine robotik uygulamalarda özellikle motorların uygulama esnasında birçok bilgisine ulaşmak robot kol mekanizmaları için önemlidir. Bu nedenle robot kol seçiminde, servo motorlar tercih edilmiş, mekanizmanın her hareketinde motorlar ile sürekli iletişim kurulabilmesi motorların her dönüşünün kontrol edilebilmesini sağlamıştır.

Robot kol;

- Gövde,
- Omuz,
- Dirsek,
- Dikey bilek,
- Yatay bilek,
- Kısaç olmak üzere 6 eklemde oluşmaktadır.

Çarpışma engelleyici ve önleme amaçlı yapılan çalışmalarda uç işlevci değerlendirilmesi gereken önemli bir adımdır. Güvenli ve otomatik montaj çalışmalarında (Ahmad ve Plapper, 2016) hassas hareket gerektiğinden tutucu uç, mıknatıs ve vakum şeklinde düşünülebilir. Tutucu ucun kısaç olarak tasarlandığı çalışmalarda çevre şartlarının kontrol altında tutulması, çalışma ortamının ve mekanizmanın zarar görmemesini sağlayacaktır. Kullanılan robot manipülatör uç işlevcinin tam kapanma uzunluğu 18 cm'dir. Tutucu uç açılma ve kapanma mesafeleri ters kinematik hesaplamalarda üzerinde önemle durulması gereken bir aşamadır. Dolayısı ile nesnelere yaklaşması esnasında tutucu ucun açılması ve kapanması iyi hesaplanmalıdır. Bu bilgiler ışığında tutucu ucun kapanma ve açılma mesafesi göz önüne

alınarak çalışmada nesnelerin pozisyonu; birbirine en az bir nesne genişliği mesafesinde olacak şekilde hesaplanmıştır.



Şekil 3.12: Robot kol (Robot Arm, 2018).

3.3.2. Servo Motorlar

Robotik kol seçiminde, motor özellikleri önemli olmuştur. Servo motorlar; hız, konum ve moment kontrolü yapılabilmesini sağlayan ek sistem bileşenleri ile endüstriyel bir çok alanda kullanılmaktadır (Hanci, 2007). Servo motorların tercih edilmesinde;

- Hassas kullanıma olanak sağlaması,
- Farklı devir, hız ve momentte kararlı çalışabilmeleri,
- Devir sayısı aralığını değiştirebilmesi,
- Pozisyon değerini hızlı gönderebilmesi,
- Sürücü kartı gerektirmeden iletişim kurulabilmesi etkili olmuştur (Şenel, 2013).

Deneysel ortamda servo motorun geri besleme elemanı, devrenin tamamlanabilmesini sağlayan vazgeçilmez elemandır. Robotik uygulamalarda, sensörler ile alınan verilere göre motorlara bilgi gönderilmektedir. Servo motorlar içinde bulunan sensör (enkoder) sayesinde motor dinamik hareket sağlayabilmektedir. Geri besleme elemanı olarak da adlandırılan enkoder, servo motorlardan bilgi alınabilmesini sağlayan bileşendir. Çalışmada 2 farklı servo motor kullanılmıştır. Bunlar; Tower Pro MG 958 ve Tower Pro MG 996R'dir.

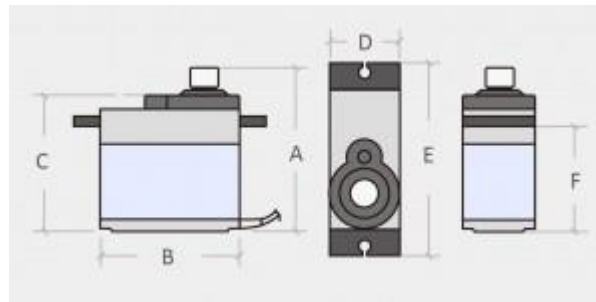
a) Tower Pro MG 958



Şekil 3.13: Tower Pro MG 958 servo motor (TowerPro, 2018).

Tablo 3.1: Tower Pro MG 958 Servo motor özellikleri.

Ağırlık:	65g
Ölçüler:	40.2 x 20.1 x 36.8mm
Çalışma voltajı:	4.8v-6.6v
Güç (4.8v):	18.0kg.cm
Güç (6.6v):	20.0kg.cm
Hız (4.8v):	0.18sec/60 derece
Hız (6.0v):	0.15sec/60 derece
Dişliler:	Metal dişli
Çalışma ısı aralığı:	-20 ~ +60 Degree
Kablo uzunluğu:	32cm



Şekil 3.14: MG 958 ölçüm şeması.

Tablo 3.2: MG 958 ölçüleri.

Ağırlık(g)	62
Tork(kg)(4.	18
Hız(sec/60de	0.2
A(mm)	47.8
B(mm)	40
C(mm)	42
D(mm)	20
E(mm)	54.2
F(mm)	30

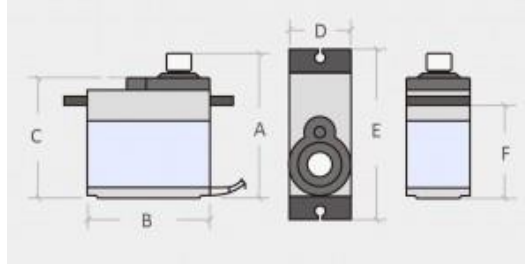
b) Tower Pro MG 996R



Şekil 3.15: Tower Pro MG 996R servo motor.

Tablo 3.3: Tower Pro MG 996R Servo motor özellikleri.

Ağırlık:	55g
Ölçüler:	40.7 x 19.7 x 42.9mm.
Çalışma voltajı:	4.8v-6.6v
Güç (4.8v):	9.4kg.cm.
Güç (6.0v):	11.0kg.cm.
Hız (4.8v):	0.19sec/60 derece.
Hız (6.0v):	0.15sec/60 derece.
Dişliler:	Metal dişli
Çalışma ısı aralığı:	-20 ~ +60 Degree
Kablo uzunluğu:	32cm



Şekil 3.16: MG 996R ölçüm şeması

Tablo 3.4: MG 996R ölçüleri.

Ağırlık(g)	55
Tork(kg)(4.8v)	9.4
Hız(sec/60deg)	0.17
A(mm)	42.7
B(mm)	40.9
C(mm)	37
D(mm)	20
E(mm)	54
F(mm)	26.8

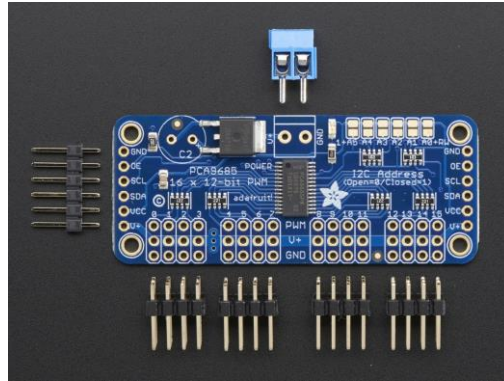
Gövde, omuz, dirsek, dikey-bilek eklemlerinde MG 958, bilek yatay ve kısaç eklemlerinde MG 996R modelleri kullanılmıştır. Gövde, omuz ve dirsek eklemlerinin ihtiyaç duyacakları güç miktarı, robot kolun çalışma uzayında en uzak noktaya ulaşmaya çalışması halinde çekeceği güç maksimum değerlere ulaşacağından bu eklemlerde 6.6v değerinde 20kg/cm tork değerine ulaşabilen MG 958 modellerine ihtiyaç duyulmuştur. Kullanılan servo motor bağlantısı,

- a) 5V Güç (Kırmızı),
- b) GND (Kahverengi),
- c) Sinyal (Sarı)

olmak üzere 3 kablo ile sağlanmaktadır. Deneysel ortamda kullanılacak servo motor sayısının 6 olması, güç ve zamanlama anlamında ek donanım ihtiyacı doğurmuştur. Servo motorlar ile iletişim kuracak Raspberry Pi 3 B+, sadece 1 PWM çıkışı sağlamaktadır. Servo motorlar elektronik devreler ile sürücüye gerek duymadan direk iletişim kurabilirken, PWM çıkışının yetersiz olduğu devrelerde PWM çıkışını arttırabilecek sürücülere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle altı servo motorun Raspberry Pi ile iletişim kurabilmesini sağlayacak Adafruit 16 Kanallı 12 bit PCA9685 servo motor sürücüsü çalışmaya dahil edilmiştir.

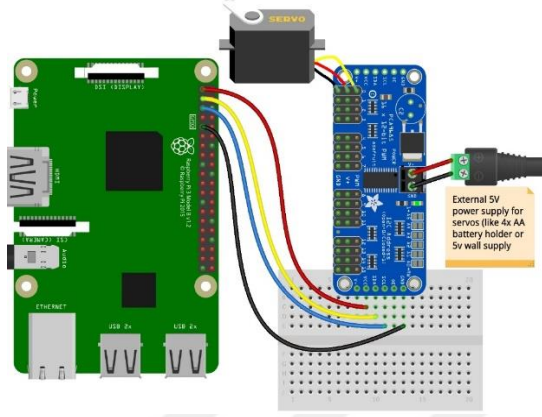
3.3.3. Servo Motor Sürücüsü

Şekil 3.13 ve Şekil 3.15’de kullanılan servo motorlar üzerinde dahili sürücü bulundurmaktadır. Ancak Raspberry Pi 3 üzerinde sadece (GPIO18) pin 12 üzerinden PWM sinyali alınabilmektedir.



Şekil 3.17: Montajsız Adafruit servo motor sürücüsü (Adafruit, 2018).

Fakat robot kolun verilen görevi aralıksız tamamlayabilmesi için gövde, omuz, dirsek ve devamındaki eklemlerinin art arda hareketlerini tamamlaması gerekecektir.

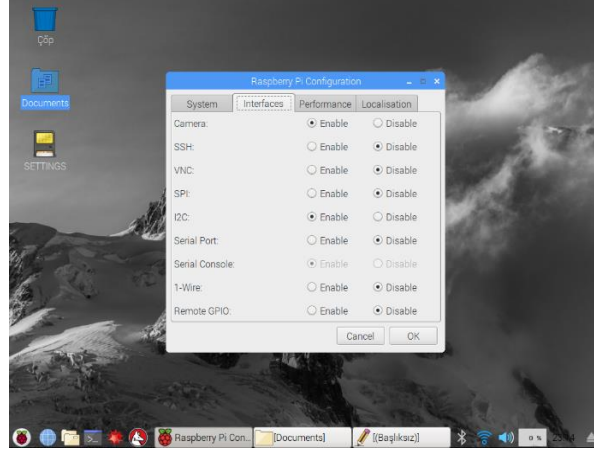


Şekil 3.18: Raspberry Pi ve Adafruit servo motor sürücü fiziksel bağlantısı (Townsend, 2012).

6 eklem hareketini sağlayan motorların aralıksız sürülebilmesi için Adafruit 16 kanallı 12 Bit PCA9685 servo motor sürücü ve Raspberry Pi 3 B+ arasında hem donanım hem de yazılım bağlantısı kurulmaktadır. Fiziksel bağlantı (**Şekil 3.18**);

- Raspberry Pi 3V3 pin çıkışı ile Adafruit PCA9685 VCC,
- Raspberry Pi SDA pin çıkışı ile Adafruit PCA9685 SDA,
- Raspberry Pi SCL pin çıkışı ile Adafruit PCA9685 SCL,
- Raspberry Pi GND pin çıkışı ile Adafruit PCA9685 GND

arasında olmalıdır.



Şekil 3.19: I²C ara yüz aktivasyon ekranı.

Adafruit 16 kanallı 12 Bit PCA9685 servo motor sürücü (Şekil 3.19), I²C yazılım ara yüzünü kullanarak Raspberry Pi ile iletişim kurabilmekte ve 16 servo motorun aralıksız sürülmesine olanak sağlamaktadır. I²C ara yüzü aktive edildikten sonra servo motorları Python üzerinde kontrol edebilecek birçok kütüphane bulunmaktadır. Python üzerinde Adafruit kütüphanesinin ServoKit paketi kullanılmıştır. Bununla beraber servo motor kontrolünde, servo motorların hız ve ivme kontrolünü yapabilecek kullanıcı dostu bir çok yazılım bulunmaktadır (Elfasakhany ve diğ., 2011). Söz konusu çalışmanın görüntü işleme ve servo motor kontrolü gibi iki aşamasında sıklıkla veri alışverişi olacağından Python aracılığı ile OpenCV ve Adafruit 16 kanallı 12 Bit PCA9685 kütüphanelerinin iletişimini sağlamak, çalışmanın bütünlüğü açısından önemlidir. Bu nedenle farklı amaçlara hizmet eden iki yazılımın haberleşmesini sağlamak, özellikle açık kaynak olmayan yazılımlarda ciddi problemler yaratabilecektir. Dolayısı ile çalışmada görüntü işleme ve robotik kol hareketini sağlayan iki aşama aynı program içinde derlenmektedir. İhtiyaç duyulması halinde Adafruit 16 kanallı 12 Bit PCA9685 servo motor sürücünün, servo motor bağlantı noktası, başka bir Adafruit servo motor sürücü ile bağlanarak servo motor bağlantısı arttırılabilir. Robot kolun hareketi servo motorların dönüş açıları ile sınırlıdır. Adafruit 16 kanallı 12 Bit PCA9685 servo motor sürücü, servo motor bağlantı noktaları, daima aynı eksenlere tahsis edilmiştir. Farklı motor takılması halinde servo motor, açı değerleri dışında dönmeye çalışacak ve dönemediği durumlarda fazla akım çekip entegre devrelere zarar verebilecektir. Bu sebeple çalışmada;

- Gövde,
- Omuz,
- Dirsek,

- Bilek yatay,
- Bilek dikey,
- Kıskaç

eklemlerine ait servo motor bağlantı kabloları deney süresince aynı servo motor bağlantı pinleri ile ilişkilendirilmiştir.

- Adafruit 16 kanallı 12 Bit PCA9685 Kanal [0] pin çıkışı gövde,
- Adafruit 16 kanallı 12 Bit PCA9685 Kanal [3] pin çıkışı omuz,
- Adafruit 16 kanallı 12 Bit PCA9685 Kanal [6] pin çıkışı dirsek,
- Adafruit 16 kanallı 12 Bit PCA9685 Kanal [9] pin çıkışı bilek dikey,
- Adafruit 16 kanallı 12 Bit PCA9685 Kanal [12] pin çıkışı bilek yatay,
- Adafruit 16 kanallı 12 Bit PCA9685 Kanal [15] pin çıkışı kıskaç

motorlarına rezerve edilmiştir.

3.3.4. Voltaj Regülatör Kartı

Robot kol kurulum sürecinde servo motorlara gerekli gücün sağlanabilmesi amacıyla gerilim değerlerine özgü ve yeterli akım verebilecek güç kaynağına ulaşmak, çalışmanın önemli bir aşamasını oluşturmuştur. Deneysel çalışmalarda servo motorların harcadığı güç hakkında kesin bilgiye ulaşmak için gücü teorik anlamda karşılığını bulmak gerekecektir. Güç (Watt) tanımının bir çok karşılığı vardır. Deneyde motorlar elektrik enerjisi ile çalışacağından tanımı;

$$\text{Watt (Güç)} = V (\text{Voltaj}) \times A (\text{Akım}) \quad (3.1)$$

olarak yapılmıştır. Robotik çalışmalarda bir çok motor, sabitlenmiş bir voltaj aralığı ile çalışabilir. Voltaj sabit iken akım değerleri sonsuz değişkenlik gösterebilecektir. Gerilim değerine göre güç kaynağı veya batarya tercihi sonucu akımın hesaplanamaması, motorların yeteri kadar güç çekememesine sebep olacaktır. Servo motorun çekebileceği güç anlık olarak değişebileceğinden robot kolun her pozisyonunda harcayacağı güç farklı olacaktır. Bu nedenle servo motorları doğrudan çalıştırabilecek pil, lipo pil, adaptör, güç kaynağı vb. elektrik enerji kaynaklarının temini, deneyin diğer çalışmalara katkı sağlayabileceği bir yönüdür.



Şekil 3.20: Voltaj regülatör kartı (ElecFreaks, 2018).

Voltaj regülatör kartları düşürücü ve yükseltici olmak üzere 2 sınıfa ayrılabilir. Kullanılan voltaj regülatör kartı düşürücü olarak çalışmakta, güç kaynağından gelen gerilimi yaklaşık 2 Volt aşağı değerine kadar düşürebilmektedir. Kaynak 9 Volt ise voltaj regülatör kartı yaklaşık 7 Volt olarak ayarlanabilmektedir. Çıkış gerilimi 0.93 V ve 20 V arasında olup farklı regülatör kartlarında ayarlanabilir basamak olarak belirlenen düşüş;

- 12 V,
- 9 V,
- 6.6.V,
- 5 V

gibi sabit değerlerinin aksine çalışma da kullanılan voltaj regülatör kartı belirlenen aralıkta sonsuz değer alabilmektedir. Sonsuz değişkenlik gösteren gerilim aralığı, gerilimin istenilen voltaj değerine getirilmesini ve servo motorun ideal güce ulaşmasını sağlamaktadır.

Tablo 3.5: Voltaj Regülatör kartı özellikleri.

Giriş Voltaj Aralığı:	4.5V - 24V
Çıkış Voltajı Aralığı:	0.93V - 20V
Tür:	Voltaj düşürücü
Çıkış gücü:	20W
Çıkış akımı:	2A (sürekli akım)
Boş yük akımı:	10mA
Ebatlar:	48mm X 32mm X 18mm

Servo motor çalışma aralıkları 4.8V- 6.6.V olarak veri setinde yer almaktadır. Servo motorlar 6.6V değerine ulaşması halinde maksimum güç üretebilecektir. Omuz ekleminde yer alan servo motorun, robot kolun tutucu ucu, çalışabileceği en uzak noktaya ulaşması halinde, robot kol

yukarı doğru hareketinde maksimum moment değerlerinde, maksimum güç harcayacağı kesindir. Omuz eklemi dahil bütün motorlar 6.6V değerlerinde çalıştırılmış ve denge problemi olmadan, sırası ile çalıştığında yeterli güç sağlandığı görülmüştür.

3.3.5. Güç Kaynağı

Güç tanımının fiziksel birçok karşılığı vardır. Birim zamanda yapılan iş olarak tanımlandığında harcanan enerjinin birim zamanda ki karşılığı bulunmaktadır. Enerji ise;

$$\text{Enerji} = \text{Kuvvet (Newton)} \times \text{Yol (Metre)} \quad (3.2)$$

ile bulunmaktadır. Eğer ki güç eşitliğinde eşitlik (3.1) tanımındaki güç, eşitlik (3.3) tanımı ile yazılırsa

$$\text{Güç} = \text{Enerji} / \text{Zaman} \quad (3.3)$$

eşitlik (3.2)'deki formül

$$\text{Güç} = \text{Kuvvet} \times \text{Yol} / \text{Zaman} \quad (3.4)$$

eşitlik (3.4) ile ifade edilebilir.

$$\text{Güç} = \text{Kuvvet} \times \text{Hız} \quad (3.5)$$

Güç tanımı sadeleştirildiğinde güç, eşitlik (3.5) ile elde edilebilir. Motora verilen enerjinin birim zamanda yaratacağı iş, güce dönüşecek ve güç miktarı arttıkça kuvvet ve/veya hız artacaktır. Hız ve Kuvvet arasındaki ters orantı kuvvetin arttığında hızın, hızın arttığında ise kuvvetin azalacağını göstermektedir. Servo motorlara sağlanan gücün elektrik enerjisi olması nedeni ile Watt birimi;

$$\text{Watt} = \text{Volt} \times \text{Amper} \quad (3.6)$$

olarak yazılacaktır. Amper, akım değerinin birimi olarak yazılmaktadır. Akım ise birim zamanda bir iletken içinden geçen elektron sayısıdır. Akımın geçtiği mesafeye x, birim zamana t denilirse,

$$\text{Hız} = \text{Yol (x)} / \text{Zaman} \quad (3.7)$$

eşitlik (3.7) ile elektron hızı bulunmuş olur.. Gerilim ise elektronları bir uçtan diğer uca sürükleyen kuvvettir. Eşitlik;

$$\text{Güç} = \text{Volt (Kuvvet)} \times \text{Amper (Hız)} \quad (3.8)$$

olarak yazıldığında elektriksel güç değerine ulaşılmış olunur. Deneysel düzeneğin kurulumu esnasında servo motorların voltaj değerleri dikkate alınmış, veri seti ile gösterilen voltaj değeri, Raspberry Pi 3 B+ 5V besleme pin çıkışı ile sağlanmıştır. Standart servo motor 5V besleme pin çıkışına bağlandığında hareket gözlemlenmemiştir. Raspberry Pi 3 B+ 5V besleme pin çıkışı gerilim değerlerini sağlayabilmesine rağmen güç ihtiyacını karşılayamamıştır. Bu nedenle Raspberry Pi 3 B+ 5V üzerinden yeterli güç alınamaması sonucu harici enerji kaynakları olarak

- AA pil,
- C pil,
- D pil,
- Lipo Pil,
- Adaptör,
- Bilgisayar güç kaynağı tedarik edilmiştir.

Harici enerji kaynakları ile devre kurulması halinde eğer ki motorlar Raspberry Pi 3 B+ ile doğrudan iletişim kuracaksa

- Harici enerji kaynağı,
- Servo Motor,
- Raspberry Pi 3 B+

GND bağlantıları mutlaka bir iletken devre ile birleştirilmelidir. Aksi halde devre tamamlanmayacağı için motor güç alamayacaktır. Deneysel ortamda Raspberry Pi 3 B+ ile bir den çok servo motorun iletişim kurabilmesi için Adafruit 16 kanallı 12 bit servo motor sürücü kullanılmıştır. Bu nedenle bir den çok servo motor ile kurulan bir bağlantıda GND pin çıkışlarını birleştirmek yerine Adafruit 16 kanallı 12 bit PCA 9685 servo motor sürücü

- Güç kaynağına güç çıkışı ile doğrudan,
- Servo motorlara servo çıkış pinleri ile doğrudan,
- Raspberry Pi 3 B+ ile I²C ara yüzü ile doğrudan

fiziksel bağlantı kurmaktadır.

Harici enerji kaynakları arasında AAA, AA, C VE D pillerin seri bağlanması dahi voltaj değerini karşılamak için yeterlidir. Ancak pillerin potansiyel enerjileri, motorların çektiği gücün süresi arttıkça, aynı oranda azalarak tükeneceğinden yeterli performans elde edilememektedir. Lipo pil deneysel ortamda maliyeti yanı sıra;

- vereceği enerjinin kısa süreli olması,
- belli bir gerilim değeri altına düştüğü anda çalışmaya devam etmesi halinde tamamen kullanılamaz duruma gelebilmesi,
- sürekli voltaj ölçümü yapılması

gibi nedenlerden dolayı tercih edilmemiştir. Diğer bir güç kaynağı olarak düşünülen adaptör seçiminde, servo motorlara enerji sağlanamamıştır. Adaptör akım değerlerinin, servo motor akım değerlerini ancak yüksüz çalışırken karşılayabileceği, motorun yüklü olduğu durumlarda ve özellikle omuz motoru gibi robot kolun bütün ağırlığını kaldıran eklemlerde adaptörlerin dahi yeterli güç sağlayamayacağı tespit edilmiştir. Deneysel çalışmanın en önemli aşaması olan güç problemi servo motorların güç değerlerinin tespiti olmuştur. Voltaj değerlerine göre güç kaynakları seçimi servo motorların güç ihtiyacının tespitinde hata olasılığını arttırmaktadır. Çalışmada 6 eklemlili ve 5 eksenli robot kol kullanılması, 6 motorun farklı veya aynı anda çalışması sırasında motorların çekeceği gücün tespitini yapmak deneysel düzenek ile mümkün değildir (Tokel, 2009). Deneysel ortamda gerilim değerlerine bağlı olarak yeterli akım sağlanamaması nedeniyle, motorun güç (Watt) ihtiyacını karşılayacak çözüm 200 Watt üretebilen bilgisayar güç kaynağı olmuştur. Güç kaynağı şebeke elektriğine bağlanarak 220 volt değerindeki giriş gerilimini,

- 12 Volt,
- 5 Volt,
- 3.3 Volt

şeklinde farklı sayıda 3 tür çıkış gerilimine dönüştürmektedir. Motorların çekeceği gücün değişkenliği voltaj değeri sabitlendiğinde çekeceği akım ile doğru orantılıdır. Yükün değiştiği durumlarda, akım sonsuz değişkenlik gösterebilecektir. 3.3 volt çıkış gerilimine ait uçların ve 5 volt çıkış gerilimine ait uçların akım değerleri yeterli olsa dahi voltaj değerlerinin yetersiz

olması sebebi ile 12 volt gerilim ucu ile servo motorlar beslenmiş, 12 volt regüle edilerek 5 Volt ve 7.15 Volt değerleri arasına indirilmiştir. 12 Volt çıkışının akım değeri 9A olduğu halde Voltaj regülatör kartı maksimum 3A akım verebileceğinden akım değeri de aynı zamanda çözülmüştür.

3.3.6. Kinematik analiz

En az 3 yüzeyi görünen bir obje için yükseklik, genişlik ve derinlik gibi 3 boyuttan bahsedilebilir. Objelerin birbirine bağlar aracılığı ile bağlanması sonucu oluşan zincir yapının da 3 boyutlu uzay da bir görüntüsü olacaktır (Temel, 2015). Oluşan bu manipülatör yapının hareketleri de 3 boyutlu uzayda tanımlanacaktır. 3 boyutlu uzayın x,y,z olmak üzere 3 birim vektörü bulunmaktadır. Çalışma uzayı 3 boyutlu uzay da düşünülürse manipülatörün bütün eklem noktaları 2 doğrultuda hareket etmekte ve 3 eksen de ifade edilmektedir. Manipülatörün birbirine N sayıda bağlarla bağlanmış bir dizi uzuv zinciri olduğunu söylenebilir (Kaymak, 2016). Bağ sayısı dönme miktarını, uzuv uzunluğu ise öteleme miktarını değiştirmektedir. Uzuv uzunlukları sabit kalmak şartı ile eklem sayısının artması eksen sayısını aynı zamanda robot kolun çalışma uzayı içindeki bütün noktalara ulaşma olasılığını ve hareket konfigürasyon sayısını arttıracaktır. N serbestlik derecesine sahip robot kol N+1 eklem sayısına sahiptir. Kinematik hesaplamalarda sıkça kullanılan Denavit-Hartenberg metodunda uç işlevci serbestlik derecesinden sayılmayıp, eksen sayısı N+1 olarak ifade edilmektedir (Tokel, 2009). Robot kol serbestlik derecesinin altı dan fazla olması gereksiz kinematik hesaplamalarına sebep olacağı gibi 6 serbestlik derecesine sahip robot kol, ideal bir manipülatör olarak kabul edilmiştir (Alanoğlu, 2017). Kinematik hesaplamalar da robot kolun uç işlevcisinin ulaşabileceği çalışma uzayını tanımlamanın yanında hız, kuvvet ve ivme kontrolü yapılmaktadır (Közkurt ve Soyaslan, 2011). Çalışma da uç işlevcinin ulaşabileceği noktalar üzerinde durulmuştur. Bu noktalar ileri kinematik ve ters kinematik olmak üzere 2 farklı başlık altında çözümlenebilmektedir.

3.3.6.1. İleri Kinematik

İleri kinematik, robot kol eksen değişkenlerinden yararlanarak uç işlevcinin ulaşabileceği noktaların tespit edildiği bir yöntemdir. Bu yöntem de eksen hareketleri sonucu uç işlevcinin konumu belirlenir. Denavit-Hartenberg metodu, ileri kinematik hesaplamalarda mutlak çözüm sunmaktadır.

Tablo 3.6: D-H değişken tablosu.

Eksen	D-H Değişkenleri			
0	θ_i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i
1	θ_1	α_1	a_1	d_1
2	θ_2	α_2	a_2	d_2
3	θ_3	α_3	a_3	d_3

Denavit-Hartenberg metodu;

- θ : Eksenlerin dönme açıları,
- a : Uzunluklar eksenleri arasındaki uzunluklar,
- α : Eksen bağ açıları,
- d : Kesişen z eksenleri arasındaki uzunluklar

gibi değişkenleri kullanarak uç işlevci pozisyon bilgilerini vermektedir. Kinematik hesaplamalarda dönme, öteleme eksenleri her zaman aynı birim vektörlere atanır. Bunlardan;

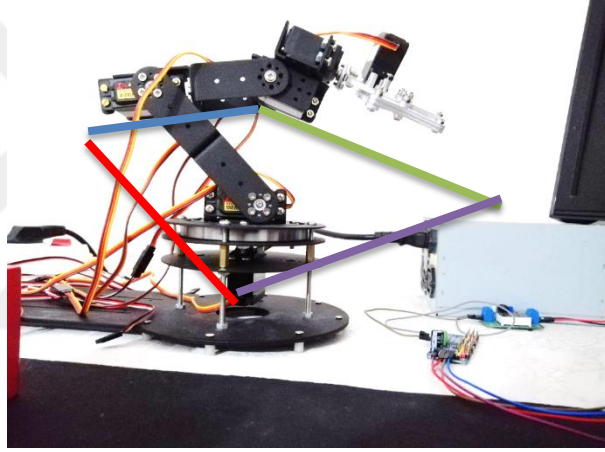
- Z_i eksen, bütün eklem veya bağlar için kendi etrafında dönüş sağlanan eksen olarak belirlenir.
- X_i eksen, Z_i ekseninin yönü ve doğrultusu belirlendikten sonra Z_i eksenine dik, bir sonraki Z_{i+1} eksenine kadar olan uzun doğrultusu ve yönü olarak belirlenir.
- Y_i eksen, kinematik hesaplamalarda kullanılmamasına rağmen sağ el kuralı ile beş parmak hariç diğer dört parmağın gösterdiği yön ve doğrultuda yerleştirilir.

Çalışmada kullanılan görüntü işleme aşamalarının son noktası olan merkez noktaların tespiti, nesnelerin üst yüzeyinin merkez nokta koordinatlarını vermektedir. Koordinatlar nesnenin koyulacağı konuma göre değişeceğinden önceden robot kol kinematik hesaplaması yapmak mümkün olmayacaktır. Dolayısı ile uç işlevcinin gideceği konum, merkez koordinat değerleri olması sebebi ile çalışmada ters kinematik yöntemi tercih edilmiştir.

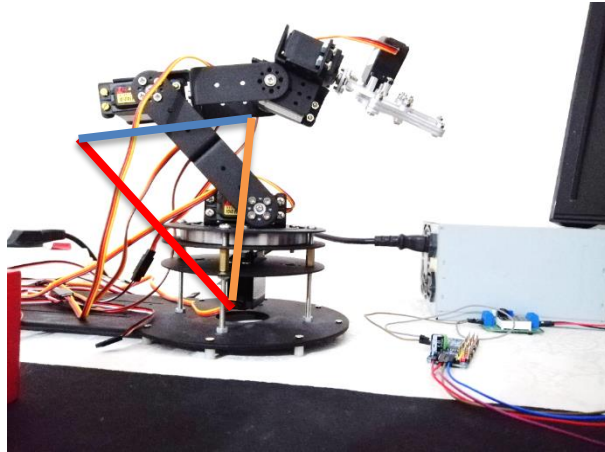
3.3.6.2. Ters kinematik

Ters kinematik hesaplamalar, ileri kinematik hesaplamalara göre daha karmaşık bir yapıdadır. Uç işlevcinin hedefe ulaşması her zaman mümkün olmayacağı gibi ters kinematik hesaplamalar her zaman çözüm ile sonuçlanmayabilir. Bir çok ters kinematik yöntem olmasına karşın deneysel ortamda geometrik çözümler kullanılmış, robot manipülatör çalışma uzayı belirlenmiştir. Ters kinematik hesaplamalarda uç işlevcinin nesneyi alacağı pozisyon ve açı

Çalışma uzayını doğrudan ilgilendirmektedir. Kameradan alınan görüntülerde nesnelerin yan yüzeyleri tespit edilemeyeceğinden ve st yüzeylerin merkez noktaları hedef nokta olarak belirlendiğinden çalışmada, tutucu uç, nesneleri yüzeye dik konumda alabilecektir. Robot manipülatör bütün eklemleri ile belirlenen hedefe ulaştığın da, koordinatı tespit edilen nesneye çok yakın, aynı renk bir nesne ile arasındaki mesafe, tutucu ucun açık konumundaki kısıkaç uçları arasındaki mesafeden daha fazla olmalıdır (Ali diğ., 2018). Nesnelere dik olarak yaklaşan kısıkaç ucun çalışma alanı, aynı renk nesnelerin aynı görüntü içinde bulunma olasılığını zayıflatmaktadır. Robot kolun her hangi bir dizi hareketi halinde, omuz, dirsek, dikey bilek uzuvları şekil 3.21'de olduğu gibi bir dörtgenin  kenarı, omuz ve dirsek uzuvları ise bir üçgenin şekil 3.22'de olduğu gibi iki kenarı olarak düşünülebilir.



şekil 3.21: 3 uzvun oluşturduğu dörtgen.

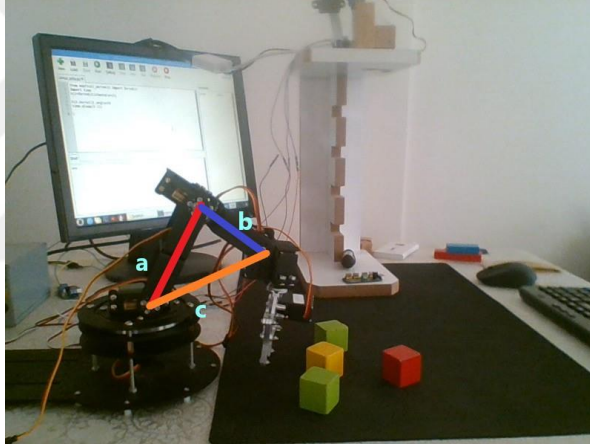


şekil 3.22: 2 uzvun oluşturduğu gen.

Robot kolun çalışma uzayı, uç işlevcinin ulaşacağı koordinatlar olarak belirlenir. Robot kol 3 eksenli olarak düşünülürse, robot kolun çalışma uzayı, dikey düzlemde **Şekil 3.22**'de görüldüğü gibi kenarları kırmızı, mavi ve turuncu renklerden oluşan üçgenin turuncu kenarının büyüklüğü ile sınırlı olacaktır. Üçgenin kırmızı ve mavi kenarları uzuvlardan oluşmakta ve uzunlukları sabittir. Turuncu kenarın uzunluğu ise mavi ve kırmızı kenarların arasındaki açığa göre değişebilecektir. Kırmızı ve mavi kenarların uzunlukları sırası ile

- Omuz uzuv uzunluğu: 10.4 cm,
- Dirsek uzuv uzunluğu: 8 cm

olarak ölçülmüştür. Üçgen kenar bağıntısı herhangi bir üçgen için düşünülürse **Şekil 3.23**'teki üçgende;



Şekil 3.23: Omuz uzuv ve dirsek uzun arasında kalan üçgen.

$$a - b < c < a + b \quad (3.9)$$

olmalıdır. Buradan robot kolun herhangi bir hareketi için c;

$$10.4 - 8 < c < 10.4 + 8 \quad (3.10)$$

olur. Eşitsizlik (3.10) ile işlem yapıldığında Eşitsizlik (3.11) aralığı bulunur.

$$2.4 < c < 18.4 \quad (3.11)$$

3.4. DENEY

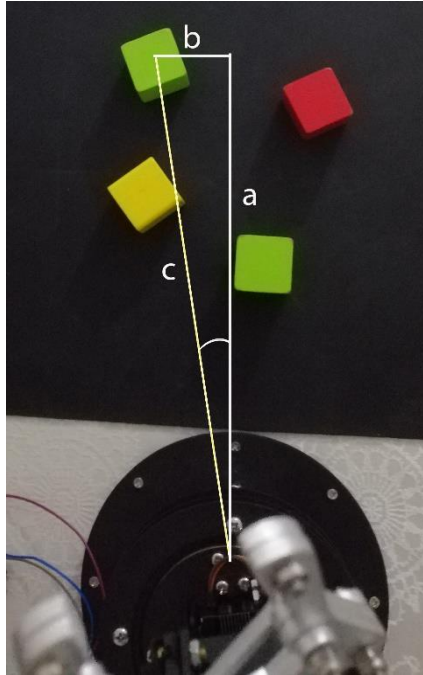
3.4.1. Deney Ortamı

Deney ortamında fiziksel bağlantılar,

- Raspberry Pi,
- Adafruit PCA 9685 16 kanallı 12 bit servo sürücü,
- Voltaj Regülatör kartı,
- Güç kaynağı,
- Monitör,
- Raspberry Pi Kamera,
- Robot kol

arasındadır. Buradan Raspberry Pi ve servo motor sürücüleri güç üniteleri farklı olmakla birlikte Raspberry Pi, servo motor sürücü ile motorları kontrol etmekte, motorların güç beslemesi, güç kaynağından gelen elektriğin voltaj regülatör kartı ile geriliminin düşürülmesi sonucu sağlanmaktadır.

3.4.2. Koordinat Açısı Dönüşümleri



Şekil 3.24: Gövde ekseninin açısı değişikliği.

Şekil 3.24'te a, b, c kenar uzunluklarına sahip üçgende kamera görüş açısına dik bir şekilde çizilen üçgenin a ve b kenarı arasındaki açı 90^0 'dir. a ve c kenarları arasındaki açı θ_1 , gövde motorunun yatay düzlemde dönme açısını vermektedir. **Şekil 3.24**'te görülen a, b, c kenarlarına sahip üçgen için a ve b kenar uzunluklarının piksel değerleri uzunluk birimi "cm" birimine çevrilmiştir. Robot kolun omuz eklem mesafesi ile siyah yüzey arasındaki mesafe, 11.5 cm'dir. Aynı şekilde siyah zemin ile kamera görüş açısı başlangıcı arasındaki mesafe, 4 cm'dir. a kenar uzunluğu;

$$a = \text{koordinat noktası} * 28/800 + 11,5 + 4 \quad (3.12)$$

olarak hesaplanmıştır. b kenarı uzunluğu;

$$b = \text{koordinat noktası} * 22/600 \quad (3.13)$$

olarak hesaplanmıştır. a ve b kenarlarının uzunlukları bulunduğundan sonra hipotenüs teoreminden eşitlik (3.14) ile c kenar uzunluğu da elde edilebilmektedir.

$$a^2 + b^2 = c^2 \quad (3.14)$$

Kosinüs teoremi eşitliği **Şekil 3.24** için yazılırsa eşitlik (3.15) elde edilir. $\cos\theta_1$ değeri eşitliğin bir tarafında yalnız bırakılırsa eşitlik (3.16) ile θ_1 açısının kosinüs değeri bulunacaktır.

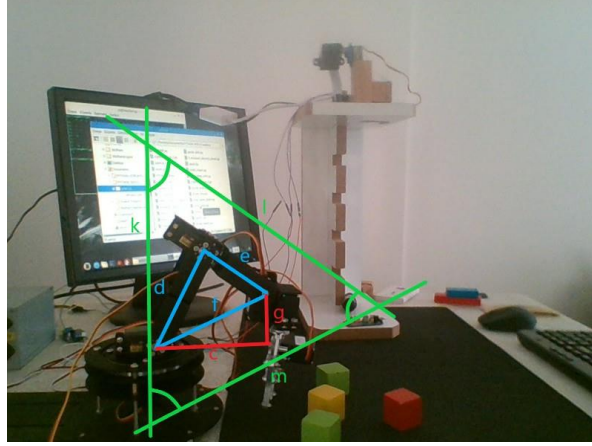
$$a^2 + c^2 = b^2 + 2a \cdot c \cdot \cos \theta_1 \quad (3.15)$$

$$\cos \theta_1 = (a^2 + c^2 - b^2) / 2ac \quad (3.16)$$

Eşitlik (3.16) için her iki tarafın ters kosinüsü alınırsa Eşitlik (3.17) elde edilebilir ve robot kol gövdesinin yatay düzlemdeki açı değeri bulunabilir.

$$\theta_1 = \cos^{-1} ((a^2 + c^2 - b^2) / 2ac) \quad (3.17)$$

Yatay düzlemde a, b, c, kenarlarına sahip üçgenin c kenar uzunluğu, nesne merkez noktası ile omuz eklemi arasındaki yatay mesafenin uzunluğudur. **Şekil 3.25**'te c, f, g kenarlarının olduğu üçgende c kenar ölçüsü, **Şekil 3.24**'te hesaplanan omuz eklemi ve nesne merkez noktası arasındaki yatay mesafedir.



Şekil 3.25: Hareket geometrisi.

Şekil 3.26'da bilek dikey eklemden itibaren tutucu uç kapalı konumda iken tutucu uç uzunluğu 182 mm olarak verilmiştir. Nesneye yönelim esnasında, işlevci ucun açık konumda, bilek dikey ekleminde itibaren uzunluğu 14 cm olarak hesaplanmıştır. Tutucu ucun yatay yüzeye dik olarak maksimum yaklaşma mesafesi 3 cm olarak hesaplanmıştır. **Şekil 3.25'**te tutucu ucun nesnelerin yüzeyine dik olarak yaklaşacağı düşünülerek hesaplanan g kenar uzunluğu ve c kenar uzunluğu arasındaki açı 90^0 'dir. Kenar uzunluğu g, bilek dikey eklemden itibaren, aynı eklemden aşağı çizilen doğru ile, omuz eklemden itibaren yatay düzleme paralel olarak çizilen doğrunun kesiştiği noktaya olan uzaklığıdır. Buradan; tutucu ucun zemine olan maksimum yüksekliği 3 cm, omuz ekleminin zemine olan yüksekliği 9 cm, tutucu uç açık halde iken toplam uzunluğu 14 cm olarak ölçülmüştür. g uzaklığı;

$$g = 14 + 3 - 9 \quad (3.18)$$

Eşitlik (3.18) ile 8 cm olarak hesaplanmıştır. Eşitlik (3.19)'de ki c kenar uzunluğu, Eşitlik (3.14)'de ki c kenar uzunluğudur.

$$c^2 + g^2 = f^2 \quad (3.19)$$

c ve g kenar uzunlukları bilindiğine göre eşitlik (3.19) ile f hipotenüs uzunluğu hesaplanmıştır. **Şekil 3.25'**te c, d, e, f, g kenar uzunluklarının tamamı bilindiğinden kosinüs teoremi ile üçgenlerin iç açıları hesaplanabilmektedir. Buna göre;

- c ve f kenarları arasındaki açı θ_2 ,
- f ve g kenarları arasındaki açı θ_3 ,
- d ve f kenarları arasındaki açı θ_4 ,

- d ve e kenarları arasındaki açı θ_5 ,
- e ve f kenarları arasındaki açı θ_6

olduğu kabul edilmiştir. Buradan kosinüs teoremi ile

$$\theta_2 = \cos^{-1}((c^2 + f^2 - g^2)/2cf) \quad (3.20)$$

$$\theta_3 = \cos^{-1}((g^2 + f^2 - c^2)/2gf) \quad (3.21)$$

$$\theta_4 = \cos^{-1}((d^2 + f^2 - e^2)/2df) \quad (3.22)$$

$$\theta_5 = \cos^{-1}((d + e^2 - f^2)/2de) \quad (3.23)$$

$$\theta_6 = \cos^{-1}((e^2 + f^2 - d^2)/2ef) \quad (3.24)$$

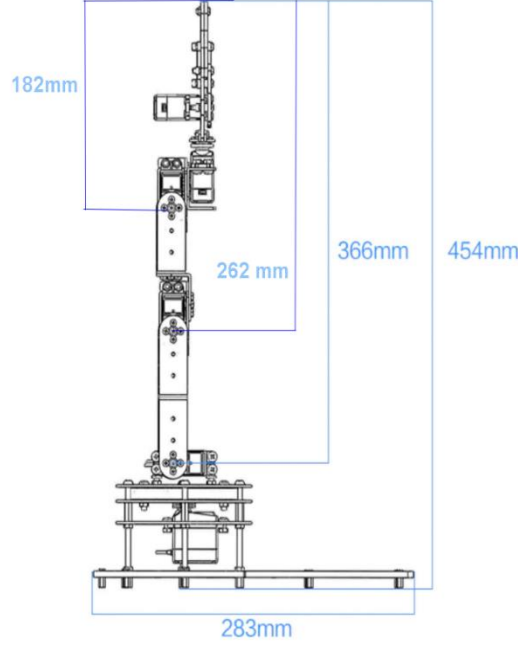
eksen açı ölçüleri eşitlik (3.20) (3.21) (3.22) (3.23) (3.24) ile hesaplanabilmektedir. Omuz eksenini açı değişikliği α_1 , dirsek eksenini açı değişikliği α_2 ve bilek-dikey eksenini açı değişikliği α_3 olarak kabul edilirse, eksenlerin başlangıç pozisyonundan koordinat pozisyonuna ulaşması için açı ölçüleri,

$$\alpha_1 = 90 - \theta_2 - \theta_4 \quad (3.25)$$

$$\alpha_2 = 180 - \theta_3 - \theta_6 \quad (3.26)$$

$$\alpha_3 = 180 - \alpha_2 \quad (3.27)$$

olarak hesaplanabilmektedir.



Şekil 3.26: Robot kol uzuv uzunlukları.

3.4.3. Robot Kol Çalışma Uzayı

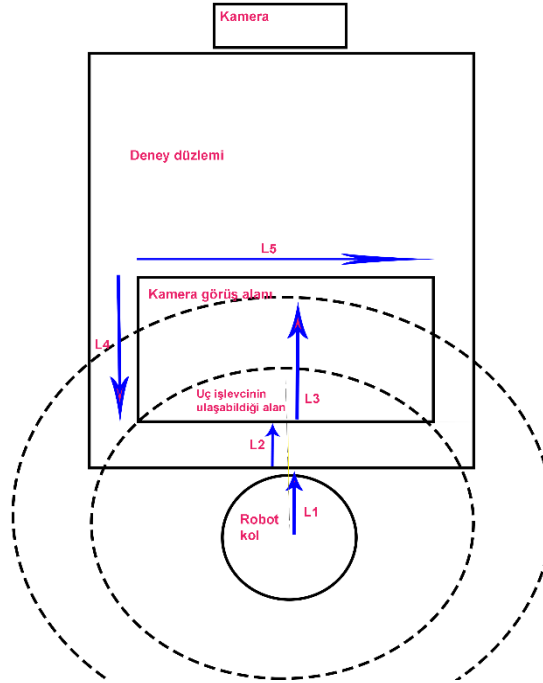
Ters kinematik hesaplamada tutucu ucun, nesne yüzeylerine 90^0 açı ile ve yatay düzleme 3 cm mesafeye kadar yaklaşacağı kabul edilmiştir. Akademik veya endüstriyel uygulamalarda robot manipülatör farklı görevlerde farklı uç işlevci ile çalışabilmekte böylece montaj sürecini daha iyi yönetebilmektedir. Bu nedenle bütün nesnelere her pozisyonda ulaşabilmek, tutucu ucun farklı amaçlara yönelik farklı türdeki tutucu uçların kullanılması ile mümkün olabilmektedir (Lazar ve diğ., 2003). Çalışmada kullanılan robot manipülatör tutucu ucu kısıkaç şeklinde tek bir model olarak düşünülmüş dolayısı ile çalışmada kullanılan modelin bütün hamleleri yapabilmesi tutucu ucun özellikleri ile sınırlandırılmıştır. Robot kol başlangıç pozisyonu **Şekil 3.26**'te görüldüğü gibi konumlandırılmıştır. Bu pozisyonda eklem servo motorları dahili pozisyonları;

- Gövde motor dahili pozisyonu, 100^0 ,
- Omuz motor dahili pozisyonu 130^0 ,
- Dirsek motor dahili pozisyonu 0^0 ,
- Bilek-dikey motor dahili pozisyonu 100^0 ,
- Bilek-yatay motor dahili pozisyonu 15^0 ,
- Tutucu motor dahili pozisyonu 20^0

olarak ayarlanmıştır. Aynı şekilde motorların dönebilecekleri maksimum eksen açıları

- Gövde eksenini 145^0 ,
- Omuz eksenini 90^0 ,
- Dirsek eksenini 145^0 ,
- Bilek-dikey eksenini 90^0 ,
- Bilek-yatay eksenini 90^0 ,

değerleri ile sınırlıdır. Uç işlevci altıncı eklem olmasına rağmen eksen olarak dahil edilmemesi nedeni ile çalışma ortamında tutucu uca ait servo motorun dahili açısı 20^0 iken belirlenen açık konumu ile 87^0 daha kapalı konumu arasındaki uzunluk farkı 4 cm olarak ölçülmüş, nesnelerin yakalanması halinde uç işlevci dahili açısı maksimum 82^0 olarak tespit edilmiştir. Yatay ve dikey düzlemde uç işlevcinin ulaşabileceği alanlar **Şekil 3.27** ve **Şekil 3.28**'de gösterilmektedir.



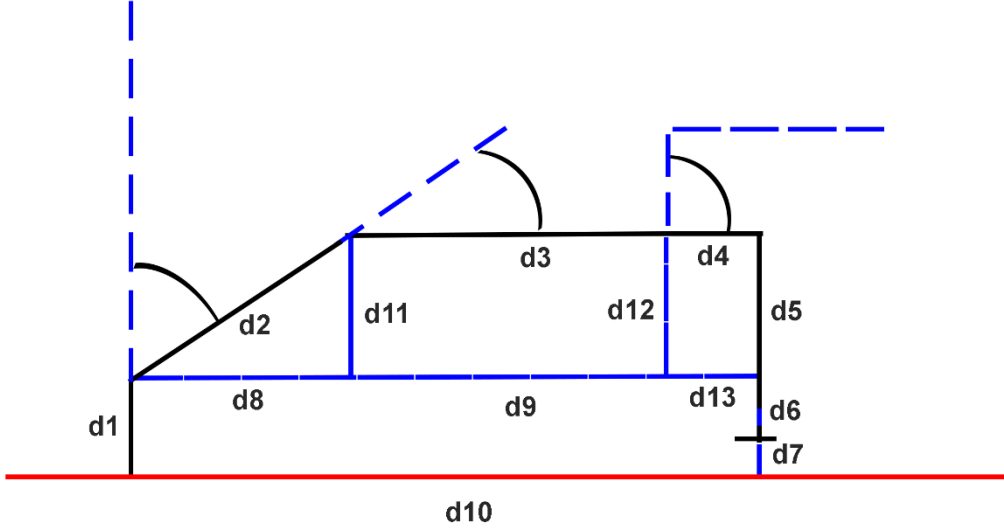
Şekil 3.27: Yatay düzlem çalışma alanı.

Şekil 3.27'de görülen platformda kamera, yüzeyden 42 cm yükseklikte, 30 cm açı ve robot kol ile karşı karşıya gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Görüntü işleme teknikleri ile tespit edilen üst yüzeylerin merkez noktalarının koordinatları, **Şekil 3.27**'de kamera görüş alanı ile kesikli çizgiler ile gösterilen dairelerin arasında kalan alanın kesiştiği alan içinde olmalıdır. Görüntü

işleme ile elde edilen üst yüzeyin tamamı görüntü içerisinde olmasa dahi merkez koordinatlarının bahsedilen alan içinde olması robot kolun hedefe ulaşması için yeterlidir. **Şekil 3.27**'da bahsedilen uzunluklardan;

- L1: Omuz eklem noktası ile robot kol mekanizmasının bittiği nokta arasındaki mesafe,
- L2: Kameranın göremediği, deney düzlemi ile kamera görüş alanı arasında kalan mesafe,
- L3: Robot kolun kamera görüş alanı içerisinde ulaşabileceği maksimum mesafe,
- L4: Kamera görüş alanı kısa kenarı,
- L5: Kamera görüş alanı uzun kenarı

olarak belirlenmiştir. Son kullanıcı için tasarlanan üretim hattında nesne tanıma, hata yakalama ve montaj doğrulama aşamalarının her birinde kullanılan bir den çok kameranın (Niu ve diğ., 2019) aksine endüstriyel üretim de çalışma alanı içinde belli bir görev üzerinde çalışan robotlar için alanı görebilecek bir kamera yeterlidir. Bu nedenle kamera görüş alanı içinde olup, kesişen bölge dışında kalan alan, robot kol çalışma alanı dışındadır ve robot kolun bu alan içerisindeki koordinatlara tutucu ucun dik açı ve ters kinematik hesaplamaları ile ulaşması mümkün değildir. Eşitlik (3.9)'da üçgen kenar bağıntısına göre herhangi bir kenarın uzunluğu, diğer iki kenarın toplam uzunluğundan büyük olamayacaktır. **Şekil 3.25**'te görülen f kenar uzunluğu, eşitlik (3.11)'de görüldüğü gibi 18.4 değerinden büyük, 2.4 değerinden küçük olamaz. Robot kol omuz ve bilek-dikey eklem noktalarının birleştirilmesi ile oluşan **Şekil 3.25**'te üçgen kenarlarından f kenarı, robot kolun yatay ve dikey düzlemde çalışma uzayının belirlenmesinde en önemli faktördür. Robot kol yatay düzlemde, $L1+L2+L3$ uzunluklarının toplamı kadar bir mesafeye ulaşabilmektedir. Bu uzunluk, uç işlevcinin yüzeye 90^0 ile yaklaşacağı düşünüldüğünde dikey düzlemde c kenar uzunluğunun bulunmasını sağlamaktadır. **Şekil 3.28**'te dikey düzlem çalışma uzayı gösterilmiştir.



Şekil 3.28: Dikey düzlem çalışma alanı.

Şekil 3.28’de görülen uzunluklardan;

- d1: Robot kolun omuz ekleminin yatay yüzeyden yüksekliği,
- d2: Omuz uzuv uzunluğu,
- d3: Dirsek uzuv uzunluğu,
- d4: Bilek-yatay kayma uzunluğu
- d5: Bilek-dikey eklemleri ile omuz eklemleri arasındaki mesafe,
- d6: Omuz eklemleri ile tutucu uç arasındaki dikey mesafe,
- d7: Tutucu ucun yerden yüksekliği,
- d8: Omuz eklemlerinden dirsek eklemlerine olan yatay mesafe,
- d9: Dirsek eklemleri ile bilek-dikey eklemleri arasındaki yatay mesafe,
- d10: Robot kolun yatay düzlemdeki toplam mesafesi,
- d11: Dirsek eklemlerinin yatay düzlemdeki dik uzunluğu
- d12: Bilek-dikey eklemlerinin yatay düzlemdeki dik uzunluğu
- d13: d4 ile aynı uzunlukta, bilek yatay kayma uzunluğudur.

Üst yüzey merkez noktalarının koordinatlarının bulunması gereken alan belirlendikten sonra her bir koordinat değerine göre hareket açı ölçümleri tespit edilmiştir.

4. BULGULAR

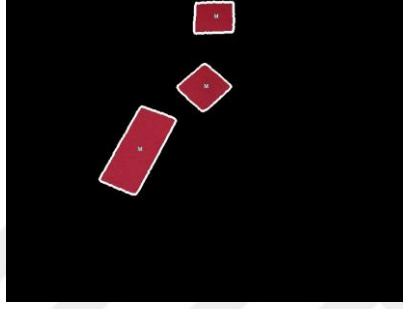
4.1. DENEYSEL VERİLER

Bu bölümde deney sonucu elde edilen verilere yer verilmiştir. Çalışma sonucu elde edilen veriler iki aşamada değerlendirilmiştir. İlk aşama Bilgisayarlı görü yöntemleri ile merkez koordinatlarına ulaşma, ikinci aşama koordinatların dönüşümünden itibaren nesnenin alınıp başka bir noktaya bırakılmasına kadar olan bütün işlemleri kapsamaktadır. Yapılan çalışmada görüntü işleme adımlarından elde edilen yirmi koordinat tespiti sonucu üç tablo oluşturulmuş, **Tablo 4.1** ile koordinat değerlerine göre koordinatın çalışma alanında olup olmadığı, eğer çalışma alanı içinde ise her bir eksenin dönme açıları gövde, omuz, dirsek, bilek-dikey ve bilek yatay sırası ile verilmiş, **Tablo 4.2** ile koordinat değerlerine göre nesnenin merkez noktasının robot kolun merkez noktasının yatay düzlemdeki mesafelerine, **Tablo 4.3**'te hedefe ulaşma, yakalama, tutma, kaldırma ve bırakma şeklinde robot kol adımlarına yer verilmiştir.

4.1.1. Görüntü işleme koordinatları

Deneysel ortamda nesnelerin, diğer farklı nesnelerden ayırt edilmesi hedeflendiğinden aynı görüntü içerisinde birçok farklı nesne bir arada bulunmaktadır. Görüntü verisinin içerisindeki nesnelerin renk ve şekil tanımlanmasını sağlayacak bilgi, ayrı ayrı Kırmızı, Yeşil, Mavi ışık altında sırası ile **Şekil 2.10 b, c, d**'de elde edilmiştir. Renkli nesneler tanımlanırken arka plan içerisindeki diğer bütün görüntünün yok sayılması, robot kolun o nesneye ulaşmaya çalışması esnasında diğer nesnelere temas olasılığını arttıracaktır. Bununla beraber robot kolun Omuz, Dirsek, Bilek-dikey eklemlerinin X, Y, Z eksenlerinin aynı yönlü olması hareket kabiliyetini azaltmaktadır. Bu veriler doğrultusunda çalışmada nesnelerin üst yüzeyleri tanımlanmış, **Tablo 4.1** ile yüzeylerin renk ve koordinat bilgisi gösterilmiştir. Robot kol hareket etmeden önce gereken bilgi ulaşacağı nesnenin renk ve koordinat bilgisidir. **Şekil 4.1**, Mikroişlemcinin sunduğu son bilgidir. Bu aşamadan sonra koordinat bilgisi dönüşümü yapılarak robot kol eklemlerine gereken açı değerleri verilmektedir. Deneysel ortamın şartları nedeni ile üst yüzeylerin hedef alınması sonucu **Tablo 4.1** elde edilmiştir. Açılar sırası ile Gövde, Omuz, Dirsek, Bilek-dikey ve Bilek-yatay eklem açılarını göstermektedir. Toplam yirmi deneme arasında dört deneme ile nesnelere ulaşılmıştır. Ulaşılan nesne sayısının, nesnenin üst yüzeylerinin merkez koordinatlarının dar bir alan içerisinde bulunma zorunluluğu düşünülürse yeterli ölçüde olduğu görülecektir. Nesnelerin yerleştirilmesi tahmini olup hedef yüzeylerin

değil hedef yüzeylerin merkez nokta koordinatlarının dar bir alan içinde bulunma zorunluluğu ve yüzey merkez noktasının bu şekilde yerleştirilmesi insan göz ve el koordinasyonu ile mümkün değildir. İnsan duyuları ile yüzey merkez noktasının tahmin edilemeyeceği ve bu şekilde konumlandırma hassasiyetine ulaşılamayacağı bir gerçektir. Dolayısı ile nesnenin rastgele yerleştirilmesi ile çalışmanın ulaşabileceği veriler önemli ölçüde azalmıştır. İleri kinematik çözümü için tespit edilen parametreler ile ters kinematik analizi için yapılan matematiksel hesaplamalar ile çözüm elde edilemeyebilir.



Şekil 4.1: Robot kol hareketi için gereken görüntü.

Tablo 4.1: Koordinat değerlerinin ulaşılabilirlik ve açı değişiklikleri.

Sayı	Renk	Şekil	Koordinat	Ulaşılabilirlik	θ_1	α_1	α_2	α_3	B_1
1	Kırmızı	Küp	437,391	Alan dışı	-	-	-	-	-
2	Mavi	Dikdörtgen prizma	430,163	Alan dışı	-	-	-	-	-
3	Kırmızı	Üçgen prizma	603,99	Alan dışı	-	-	-	-	-
4	Mavi	Silindir	107,98	Alan dışı	-	-	-	-	-
5	Yeşil	Küp	166,265	Alan dışı	-	-	-	-	-
6	Sarı	Küp	380,114	Alan dışı	-	-	-	-	-
7	Kırmızı	Dikdörtgen prizma	374,52	Ulaşılmıştır.	3,36	20	105	36	12
8	Yeşil	Küp	156,56	Alan dışı	-	-	-	-	-
9	Kırmızı	Küp	220,139	Alan dışı	-	-	-	-	-
10	Kırmızı	Küp	220,130	Alan dışı	-	-	-	-	-
11	Mavi	Dikdörtgen prizma	242,76	Alan dışı	-	-	-	-	-
12	Sarı	Küp	276,41	Alan dışı	-	-	-	-	-
13	Yeşil	Dikdörtgen prizma	276,41	Alan dışı	-	-	-	-	-
14	Kırmızı	Küp	296,65	Alan dışı	-	-	-	-	-
15	Kırmızı	Küp	217,33	Ulaşılmıştır.	12	24	110	87	10

16	Sarı	Küp	300,25	Alan dışı	-	-	-	-	-
17	Sarı	Kare prizma	255,65	Ulaşılmıştır.	15	30	105	85	5
18	Kırmızı	Küp	125,75	Alan dışı	-	-	-	-	-
19	Yeşil	Küp	288,105	Alan dışı	-	-	-	-	-
20	Kırmızı	Kare prizma	220,43	Ulaşılmıştır.	15	22	31	75	13

Tablo 4.1'deki koordinatlar nesnenin merkez noktası ile Omuz eksen merkezi arasında oluşturulan dik üçgenin (**Şekil 3.24**) hipotenüs uzunluğu ölçümünde kullanılmaktadır. Hipotenüs uzunluğunun 16,21 cm değerinden büyük olması koordinat değerine, robot kol tutucu ucunun dik açısı ile ulaşamayacağını göstermektedir. **Tablo 4.1'**de bulunan bütün koordinat değerlerinin Omuz eksen merkezine uzaklıkları (Hipotenüs uzunlukları) **Tablo 4.2** ile verilmiştir. Hipotenüs uzunluğu, robot kolun Omuz ekleminden itibaren nesne merkez noktası ile arasında yatay düzleme paralel mesafedir. Diğer yandan nesne merkez noktasının kamera görüş alanından çıkmaması için minimum hipotenüs uzunluğu 13,21 cm olarak hesaplanmıştır. Bütün koordinat noktalarına, ancak yarıçapları arasındaki uzunluk 3 cm olarak belirlenen (**Şekil 3.27**) ve iki çember arasındaki dar bir alan içerisinde olması durumunda ulaşılabilir.

Tablo 4.2: Koordinat uzunluk dönüşümleri.

Sayı	Koordinat	Hipotenüs uzunluğu (cm)
1	437,391	27,93
2	430,163	19,57
3	603,99	18,60
4	107,98	19,99
5	166,265	24,68
6	380,114	17,78
7	374,52	15,5
8	156,56	17,75
9	220,139	19,69
10	220,130	19,66
11	242,76	17,26
12	276,41	16,68

13	276,41	16,68
14	296,65	16,36
15	217,33	16,10
16	300,25	16,90
17	255,65	16,18
18	125,75	13,05
19	288,105	17,22
20	220,43	15,90

Tablo 4.1'de görüntü işleme ve ters kinematik hesaplamaların sonucu robot kolun hedefe ulaşması aşamasına kadar olan süreci göstermektedir. **Tablo 4.2'**de koordinatlar, verilerin daha anlaşılır olmasını sağlamak amacı ile cm birimi olarak uzunlukları ile birlikte verilmiştir.

4.1.2. Robot Kol Hareketini Sağlayabilen Koordinatlar

Tablo 4.3, beş eksenli robot kolun nihai aşama olan nesneyi alıp başka bir noktaya bırakma işlemi sürecinin sonuna kadar tutucu uç görevlerinin yerine getirilebilme adımlarını göstermektedir. **Tablo 4.3**, Gövde, Omuz ve Dirsek eklem motorlarında Tower Pro MG 958 kullanılması sonucu oluşturulmuştur. Mikro denetleyici açılı bilgilerini alarak servo motorlara göndermekte ve robot kolun hedef koordinata ulaşması sağlanmaktadır.

Tablo 4.3: Koordinat değerlerine göre görevlerin icrası.

Sayı	Koordinat	Hedefe ulaşma	Yakalama	Kaldırma	Tutma	Bırakma
1	374,52	Başarılı	Başarılı	Başarılı	-	-
2	217,33	Başarılı	Başarılı	Başarılı	Başarılı	Başarılı
3	255,65	Başarılı	Başarılı	Başarılı	-	-
4	220,43	Başarılı	Başarılı	Başarılı	-	-

Tablo 4.3 deneyin hareket sürecini özetleyen tablodur.

- Hedefe ulaşma: Görev, ters kinematik hesaplamalar sonucudur. Karar sürecinin deneysel şartlar altında tamamlandığını, öğrenilen görüntünün merkez nokta koordinat verisinin ters kinematik hesaplamalar sonucu dört örnekte gerçekleştirildiğini göstermektedir.

- Yakalama: Görev, deney sürecinin kısa kaç ucun açık ve kapalı durumda iken değişen uzunluğunun nesne yakalanması esnasında doğruluğunu özetlemektedir. Bununla birlikte deneyin başarıya ulaşmasında sadece ters kinematik hesaplamaların yetmeyeceği yakalama aşamasında gözlemlenmiştir. Tutucu uç yakalama aşamasından sonra çalışmanın değerlendirilmesi gereken en önemli aracı olmuştur. Tutucu ucun açılma mesafesi nedeni ile nesne dışında başka bir yüzeye temas etmemesinin sağlanması çalışma alanının şekillendirilmesinde etkili olmuştur.
- Kaldırma ve Tutma: Görevler eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Kaldırma aşamasından sonra çalışmada güç ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Omuz eklemi, robot kolun en çok güç harcayan eklemidir. Kaldırma aşamasında omuz diğer eklemlerden önce veya sonra devreye girmesi halinde çekilen güç ciddi oranda artacak ve uç işlevci, nesneyi tutmaya çalışırken tutucu uç motoru sürekli akım çekecektir. Omuz motorunun ve uç işlevci motorunun aynı anda güç harcaması birkaç pozisyonda nesnenin güç yetersizliği nedeni ile düşmesine sebep olmuştur. Kaldırma görevi esnasında bütün motorlara binen yük, nesnenin ağırlığının toplam ağırlığı arttırması hem de nesne ağırlığına göre bütün robot kolun ağırlık merkezini değiştirmesi sebebi ile daha fazla artacak ve nesnenin Yakalama görevine kadar olan gücün çok daha fazlasına Kaldırma aşamasından sonra ihtiyaç olacağı gözlemlenmiştir. Kaldırma ve Tutma görevlerini sağlayan Kısa kaç ile diğer eklem motorları için nesnenin ağırlığı gücün sağlanmasında düşünülmesi ve değerlendirilmesi gereken önemli adımlardandır.
- Bırakma: Görev, bir defa gerçekleştirilmiştir. Tutma görevi esnasında kısa kaç motorunun ısınması görevin acilen yerine getirilmesini zorunlu kılmıştır. Nesnenin çalışma alanı dışına bırakılması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada hedeflenen nesnelerin görüntü içerisinde tanımlanma süreci bütün nesneler için gerçekleştirilmiştir. Ancak başka bir noktaya taşınması ise sadece bir defa gerçekleştirilmiştir. Bütün hedeflere ulaşılamamasında robot kolun tasarımı önemli olmuştur. Bunlardan;

- Z eksen yönlerinin,
- Maksimum dönme açılarının,
- Servo motor tork değerlerinin,
- Uç işlevcinin yapısının,
- Uç işlevci maksimum uzunluğunun,

- Uç işlevci açılma genişliğinin,
- Uç işlevci temas yüzeyinin,
- Nesnenin ağırlığının,
- Tutma aşamasından sonraki sağlanan gücün değerlendirilmesi çalışmanın amacına ulaşmasında etkili olacaktır.

Kamera görüş alanı içindeki nesnelerin ters kinematik hesaplamalar ile müdahale olmadan tespit edilip başka bir noktaya taşınmasının bütün şartlar altında mümkün olamayacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Robot kol tasarım unsurları ile hedeflenen nesnenin çevre koşullarının sonuç üzerinde dolaylı veya doğrudan etkisinin olacağı kesindir. Çalışmanın belirlenen şartlar altında kırmızı küp denemesi başarılı bir şekilde gerçekleşmiş ve **Şekil 4.2**'teki kare kod ile deneyin videosuna ulaşılabilir. **Şekil 4.3**'teki kare kodda ise hedefe ulaşılması halinde tutucu ucun açılma mesafesinin Yakalama görevini doğrudan etkilediği, mesafenin geniş olmasının görevin tamamlanmasına katkı sağlayacağı görülecektir. **Şekil 4.4**'de kare kod ile nesnenin sarı küpe ulaşması esnasında gücün yeterli olmaması nedeni ile Kaldırma görevini yerine getiremediği gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4.2: Uygulamanın gerçekleştirildiği video erişim kare kodu.



Şekil 4.3: Yakalamanın gerçekleştirilemediği video erişim kare kodu.



Şekil 4.4: Gücün sağlanamadığı video erişim kare kodu.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu bölümde, çalışmanın geliştirilebilecek yönleri tartışılmış, deney sonucu elde edilen bulgular yorumlanmıştır. Çalışmanın bilimsel bir deneye dayanması sebebi ortamın sonuca etki edebilecek koşullarına geniş yer verilmiş, uygulama sürecinde nesnelerin her zaman doğru tanımlanabilmesi için ışığın, kontrol altına alınması sağlanmıştır. Gün ışığının dakika, saat, gün, hafta, aylık ve mevsimsel değişkenliğine yer verilmemiştir. Deney gün ışığından etkilenmemesi için gece saatlerinde oda aydınlatması ile gerçekleştirilmiştir. Bu sınırlılık, deney sürecinin uzamasına neden olmuştur. Bu nedenle Işık, bilgisayarlı görü uygulamalarında sonuca doğrudan etki edeceğinden kayda değer bir bileşen olarak ele alınmalıdır. Değişkenler kontrol altında tutularak görüntü işleme aşamaları ile hedeflenen nesne renk seçimi, şeklin bütünlüğü, parlak yüzey tespiti, merkez nokta koordinatları başarılı bir şekilde tespit edilmiştir. Renk ya da Şekil görüntü içerisinde tamamen izole edildiğinden görüntü içerisindeki diğer nesnelerin tespiti farklı kameraların ortamı kontrol etmesi ile sağlanmalıdır. Deneysel ortamın yüzey merkez koordinatı tespitinden sonra robot kol eksen hareketleri hedefe ulaşmıştır. Robot kol tutucu ucunun görüntü işleme sonrası tespit edilen üst yüzeye dik açı ile ulaşması, robot kolun çalışma alanını sınırlandırmıştır. Bu nedenle nesnelerin rastgele konulması esnasında koordinatlarının belirlenen çalışma alanı içinde olmaması deney çalışmasının sınırını oluşturmaktadır. HSV renk uzayından elde edilen merkez noktasının koordinat bilgisi RGB görüntü içerisinde tekrar tespit edilerek nesnenin çalışma alanı içinde olması kullanıcı tarafından sağlanabilir. Çalışmada müdahale olmadan nokta tespiti yapıldığından tercih edilmemiş ancak nokta tespitlerinin önemli olduğu çalışmalarda değerlendirilmelidir. Renk ve parlaklık değerlerinin eşik değerlerine ulaşılması bilgisayarlı görü yöntemleri içerisinde histogram grafikleri ile sağlanmıştır. Işık kaynağı özelliklerinin sabitlenmesi ile elde edilen histogram verileri uygulama içerisinde de sabittir. Histogram fonksiyonu sonuçlarının doğrudan renk ve parlaklık değerlerinin belirlendiği maskeleme fonksiyonuna gönderilmesi deneyin gün ışığı altında yapılabilmesine olanak sağlayabilecektir. Yazılımın tümü Python üzerinde gerçekleştirilmiş ve derlenmiştir. Bilgisayarlı görü ve Robot kol aşamalarının farklı iki ara yüz ile gerçekleştirilmesi halinde yazılımların haberleşmesi her zaman mümkün olmayabilir. Dolayısı ile Mikroişlemci ve Mikro Denetleyici haberleşmesinin tek bir ara yüz üzerinden sağlanabilmesi Raspberry Pi Tek port mini bilgisayar ile bütün çevre birimlerinin iletişim kurmasını kolaylaştırmaktadır.

Ters kinematik hesaplamalar ile çalışma alanı içinde bulunan noktalara ulaşılmış, nesnelerin başarı ile yakalanması sağlanmıştır. Deney sonucunda yakalanan nesneler arasından kırmızı renkli kare küp, tutucu uç ile kaldırılmış ve istenilen alana başarılı bir şekilde bırakılmıştır. Ters kinematik hesaplamalar ile robot kolun hedefe ulaşması her zaman mümkün olmamaktadır. Hesaplamaların çözümsüz kalmasında robot kol tasarımının ters kinematik hesaplamalardan önce yapılması önemli bir etken olarak değerlendirilmelidir.

Tutma ve kaldırma görevleri esnasında iki servo motorun birlikte güç çekmeye çalışması tutucu ucun nesneyi birkaç defa bırakmasına sebep olmuştur. Eklem sayısı arttıkça eklemlerin görevine göre farklı güç üretebilen servo motorlar seçilmelidir. Güç ihtiyacının tespiti, ileriki çalışmalara yön verecek ve ışık tutabilecek şekilde değerlendirilmiştir.

Uç işlevcinin uygulamalara özel seçilmesi, başarı oranını arttıran etkenler arasında düşünülmüştür. Altı eklemlili robot kolun stabil çalışmasını ve servo motorlarının güç ihtiyacını sağlayabilecek devre tasarlamak, çalışmanın önemli bir kısmını oluşturmuş ve robot kol mekanizması ile devre kurulumuna geniş yer verilmiştir. Deneysel çalışmanın robot kol devre düzeneği, geniş araştırma sonucu oluşturulmuş çalışmaya özel bir devre tasarımıdır. Beş eksenli robot kolun hareket kabiliyeti yeterli olmasına karşın, hedeflenen nesnelerin üçüncü boyutu kullanılamamıştır.

KAYNAKLAR

- Adafruit, 2018, *Products*, <https://www.adafruit.com/product/815>, [Ziyaret tarihi: 21 Temmuz 2018]
- Ahmad, R., Plapper, P., 2016, Safe and Automated Assembly Process using Vision Assisted Robot Manipulator, *48th CIRP Conference on Manufacturing Systems - CIRP CMS 2015.*, Elsevier B.V., pp. 771–776. doi: 10.1016/j.procir.2015.12.129.
- Alanoğlu, Z., 2017, *Altı eksen robot kol tasarımı ve Raspberry Pi tabanlı robot görme uygulaması.*, Yüksek Lisans, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ali, M. H., Aizat K., Yerkhan K., Zhandos T. ve Anuar O., 2018, Vision-based Robot Manipulator for Industrial Applications, *International Conference on Robotics and Smart Manufacturing (RoSMa2018).*, Elsevier Ltd., pp. 205–212., doi: 10.1016/j.procs.2018.07.025.
- Anandhalli, M., Baligar, V. P., 2017, A novel approach in real-time vehicle detection and tracking using Raspberry Pi, *Alexandria Engineering Journal.*, Faculty of Engineering, Alexandria University., doi: 10.1016/j.aej.2017.06.008.
- Annusewicz, A., 2019, The use of vision systems in the autonomous control of mobile robots equipped with a manipulator, *13th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport (TRANSCOM 2019)*, Novy Smokovec, Elsevier B.V., pp. 132–135., doi: 10.1016/j.trpro.2019.07.022.
- Ay, S., Kutay, M., ve Tuncay E., 2018, A low cost manipulator training set, *2018 6th International Conference on Control Engineering and Information Technology, CEIT 2018*, ResearchGate, doi: 10.1109/CEIT.2018.8751868
- Bdiwi, M. ve Suchý, J., 2012, Automatic decision system for the structure of vision-force robotic control, *10th IFAC Symposium on Robot Control International Federation of Automatic Control.*, Dubrovnik, IFAC SYROCO 2012, pp. 172–177., doi: 10.3182/20120905-3-HR-2030.00034.
- Blotta, E., Bouchet A., Ballarin V., Pastore J., 2011, Enhancement of medical images in HSI color space, *Journal of Physics: Conference Series.*, doi: 10.1088/1742-6596/332/1/012041.
- Buzcu İ., 2015, *Nesne tanıma için görüntü ve bölgelerin betimlenmesi*, Yüksek Lisans, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü.
- Chaves-González, J. M., Vega-Rodríguez, Miguel A., Gómez-Pulido, Juan A., Sánchez-érez, Juan M., 2010, Detecting skin in face recognition systems: A colour spaces study, *Digital Signal Processing: A Review Journal.*, Elsevier Inc., 20(3), pp. 806–823., doi: 10.1016/j.dsp.2009.10.008.
- Chitradevi, B. ve Srimathi, P., 2014, An overview on image processing techniques, *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering.*, 2(11), pp. 6466–6472., doi: 10.1155/2013/496701.

- Çubukçu, A., Kuncan, M., İmren, M., Erol, F., Ertunç, H. M., Öztürk, S., Kaplan, K., 2015, Görüntü işleme ile 3 eksenli robot mekanizması üzerinde nesne ayırt edilmesi ve sıralanması, *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*. Denizli, pp. 637–641.
- Do, Y. (2012) ‘Intelligent worm sorting using robot vision’, in *Procedia Engineering*. doi: 10.1016/j.proeng.2012.07.263.
- Elecfreaks, 2018, *Elecfreaks products*, <https://www.elecfreaks.com/store/>, [Ziyaret tarihi: 15 Temmuz 2018].
- Elfasakhany, A., Yanez, E., Baylon, K., Salgado, R., 2011, Design and development of a competitive low-cost robot arm with four degrees of freedom, *Modern Mechanical Engineering*, 01(02), pp. 47–55., doi: 10.4236/mme.2011.12007.
- Gonzalez Rafael C., Woods. R. E., 2018, *Sayısal Görüntü işleme.*, Third Edit., Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall.
- Goodrich, M. A. ve Schultz, A. C., 2008, Human-robot interaction: A survey, *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 5(1), pp. 1–18., doi: 10.1561/11000000005.
- Güzel, M. S., 2008, *Altı Eksenli Robot kolun hareketsel karakteristliğinin görsel programlanması ve gerçek zamanlı uygulamalar*. Yüksek Lisans, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hanci, O., 2007, *Servo motorlar ve örnek bir uygulama tasarımı.*, Yüksek Lisans, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- International Federations of Robotics, 2019, *Robots go to Mars*, <https://ifr.org/robot-history>, [Ziyaret tarihi: 22 Mayıs 2019].
- Jain, A., Killpack, D. M., Edsinger, A., Kemp, C. C., 2013, Reaching in clutter with tactile sensing, *The International Journal of Robotics Research*, 32(4), pp. 458–482., doi: 10.1177/0278364912471865.
- Kadir, W. M. H. W., Samin, R. E. ve Ibrahim, B. S. K., 2012, Internet controlled robotic arm, *International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012).*, Elsevier Ltd., pp. 1065–1071., doi: 10.1016/j.proeng.2012.07.284.
- Kaymak, Ç., 2016, *Raspberry Pi devre kartı kullanarak nesne bulma ve tanıma algoritmalarının bir robot kol üzerinde uygulanması.*, Yüksek Lisans, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Közkurt, C. ve Soyaslan, M., 2011, Euler bilekli scara robot kolu için kinematik analiz yazılımı geliştirilmesi, *International Advanced Technologies Symposium*, pp. 27–32.
- Łaganowska, M., 2019, Application of vision systems to the navigation of mobile robots using markers, *Transportation Research Procedia*, pp. 1449–1452., doi: 10.1016/j.trpro.2019.07.200.
- Lazar, C., Panescu, D., Laczko, A., Braescu, C., 2003, Vision-based integrated system for robotic assembly, *IFAC Proceedings Volumes.*, Romania, Elsevier IFAC Publications, pp. 113–118., doi: 10.1016/S1474-6670(17)37671-1.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2019, *Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri*, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/birimler/uacbs-genel-bilgiler>, [Ziyaret tarihi: 19 Mayıs 2018].

- Mythili, C. ve Kavitha, V., 2012, Color Image Segmentation using ERKFCM, *International Journal of Computer Applications*, 41(20), doi: 10.5120/5809-8074.
- Nedelea, A., 2014, *Automotive industry.*, <https://www.carscoops.com/2014/01/automotive-industry-at-forefront-of/>, [Ziyaret tarihi: 22 June 2019].
- Niu, L., Saarinen, M., Tuokko, R., Mattila, J., 2019, Integration of multi-camera vision system for automatic robotic assembly, *9th International Conference on Physical and Numerical Simulation of Materials Processing (ICPNS'2019)*, Elsevier B.V., pp. 380–384., doi: 10.1016/j.promfg.2019.12.063.
- Numpy, 2019, *About Numpy*, <https://numpy.org/>, [Ziyaret tarihi: 19 Mayıs 2018].
- Oncu, S. ve Er, O., 2015, A Robot's Image recognition system, *Electronic Letters on Science&Engineering*, 11(2), pp. 26–33.
- Open Source Computer Vision Library, 2019, *OpenCV*, <https://opencv.org/about/>, [Ziyaret tarihi: 20 Mayıs 2018].
- Öztürk, T., Albayrak, Y. ve Polat, Ö., 2015, Gömülü sistemlerle görüntü işleme ve PI denetimli nesne takibi, *Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı.*, Malatya, pp. 2075–2078.
- Perihanoğlu, G. M., 2015, *Dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak görüntülerden detay çıkarımı.*, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Raspberry Pi Organization, 2018, *Raspberry Pi 3 B+*, <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>, [Ziyaret tarihi: 28 Mayıs 2018].
- Raspberry Pi Organization, 2018, *Raspberry Pi camera module*, <https://www.raspberrypi.org/documentation/raspbian/applications/camera.md>, [Ziyaret tarihi: 18 Mayıs 2018].
- Robot Arm, 2018, *6 dof robotic arm.*, <https://tr.aliexpress.com/item/1388591307.html>, [Ziyaret tarihi: 5 Temmuz 2018].
- Sarwar, A., 2018, *6 dof robotic arm*, <https://grabcad.com/library/5dof-robotic-arm-1>, [Ziyaret tarihi: 2 Haziran 2018].
- Sayılgan, H. C., 2020, *Da Vinci robotu.*, <https://www.futurenotes.org/da-vinci-robotu-nedir/> [Ziyaret tarihi: 25 Haziran 2019].
- Şenel, F. A., 2013, *Görüntü işleme ve beş eksenli robot kol ile üretim bandında nesne denetimi.*, Yüksek Lisans, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şenel, F. A., Çetişli, B., 2015, Görüntü işleme ve beş eksenli robot kol ile üretim bandında nesne denetimi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(5), pp. 158–161.
- Shavetov, S. V., Merkulova, I. I., Ekimenko, A. A., Borisov, O. I., Gromov, V. S., 2019, Computer vision in control and robotics for educational purposes, *IFAC-PapersOnLine.*, Elsevier Ltd, pp. 127–132., doi: 10.1016/j.ifacol.2019.08.136.
- Šuligoj, F., Šekoranja, B., Švaco, M., Jerbic, B., 2014, Object tracking with a multiagent robot system and a stereo vision camera, *24th DAAAM International Symposium on Intelligent*

- Manufacturing and Automation*. Elsevier Ltd., pp. 968–973., doi: 10.1016/j.proeng.2014.03.077.
- Švaco, M., Šekoranja, B., Šuligoj, F., Jerbić, B., 2014, Calibration of an industrial robot using a stereo vision system, *24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*., Elsevier Ltd., pp. 459–463., doi: 10.1016/j.proeng.2014.03.012.
- Temel, E., 2015, *Robotların bilinmeyen cisimlerin tutulabilirliğini içsel motivasyon desteği ile öğrenmesi.*, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tiwari, M., Lamba, S. S. ve Gupta, B. 2018, An image processing and computer vision framework for efficient robotic sketching, *International Conference on Robotics and Smart Manufacturing (RoSMA2018)*., Elsevier Ltd., pp. 284–289., doi: 10.1016/j.procs.2018.07.035.
- Tokel, Ç., 2009, *Dört eksenli RC servo motor tahrikli bir robot manipülatörü tasarımı ve uygulaması.* Yüksek Lisans, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- TowerPro, 2018, *TowerPro Products*, <http://www.towerpro.com.tw/product>, [Ziyaret tarihi: 28 Mayıs 2018].
- Townsend, K., 2012, *Adafruit*., <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-servo-driver-with-raspberry-pi>, [Ziyaret tarihi: 25 Haziran 2019].
- Tsai, S. H. ve Tseng, Y. H., 2012, A novel color detection method based on HSL color space for robotic soccer competition, *Computers and Mathematics with Applications*., Elsevier Ltd, 64(5), pp. 1291–1300., doi: 10.1016/j.camwa.2012.03.073.
- Tsarouchi, P., Makris S., Michalos, G., Stefanos, M., Fourtakas, K., Kaltsoukalas, K., Kontrovakis, D., Chryssolouris, G., 2014, Robotized assembly process using dual arm robot, *Conference on Assembly Technologies and Systems*., Elsevier B.V., pp. 47–52., doi: 10.1016/j.procir.2014.10.078.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2012, Mikro işlemci ve mikro denetleyiciler, *Elektrik-Elektronik Teknolojisi Öğretim Materyali*, 523EO0019, Ankara.
- Uzer, M. S., Yilmaz, N. ve Bayrak, M., 2010, Görme tabanlı mobil robot kol ile farklı renklere nesnelerin gerçek zamanlı takibi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), pp. 759–766.
- Uzuner, S., Akkuş, N. ve Toz, M., 2017, 5 Eksenli manipülatörün eklem uzayında yörünge planlaması, *Politeknik Dergisi*, 20(1), pp. 151–157.
- Yavuz, E., 2015, *3 Serbestlik Dereceli (3R) Bir robot manipülatörünün kontrolü ve görüntü işlemeye dayalı nesne taşınması.*, Yüksek Lisans, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yıldırım, B., Sinekoğlu, Y. E. ve Kurt, A. T., 2016, *Görüntü işleme tabanlı 4+1 eksen robot kol tasarımı*, Yüksek Lisans, Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı Ertürk UZUN
 Doğum Yeri Göle
 Doğum Tarihi 20.02.1982
 Uyruğu ☒ T.C. ☐ Diğer:
 Telefon
 E-Posta Adresi eerturkuzun@gmail.com
 Web Adresi



Eğitim Bilgileri

Lisans

Üniversite Ege Üniversitesi
 Fakülte Eğitim Fakültesi
 Bölümü Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Öğretmenliği
 Mezuniyet Yılı 06.07.2006

Yüksek Lisans

Üniversite İstanbul Üniversitesi
 Enstitü Adı Fen Bilimleri
 Anabilim Dalı Enformatik
 Programı Enformatik