T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NESNELERİN İNTERNETİ EKOSİSTEMİNDE BİR KEŞİF ROBOTU TASARIMI

Fatih KAYRANCI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Gülsüm Zeynep GÜRKAŞ AYDIN

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilgisayar Mühendisliği Programı

Eylül, 2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Fatih KAYRANCI tarafından, **Dr. Öğr. Üyesi Gülsüm Zeynep GÜRKAŞ AYDIN** danışmanlığında hazırlanan **"NESNELERİN İNTERNETİ EKOSİSTEMİNDE BİR KEŞİF ROBOTU TASARIMI"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **22/09/2023** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile **BAŞARILI** bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Dr. Öğr. Üyesi Gülsüm Zeynep GÜRKAŞ AYDIN İstanbul Üniversitesi-CERRAHPAŞA Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Derya YILTAŞ KAPLAN İstanbul Üniversitesi-CERRAHPAŞA Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Ali BOYACI İstanbul Ticaret Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

Annem/Babam/Ailem/Danışmanıma ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

NESNELERİN İNTERNETİ EKOSİSTEMİNDE BİR KEŞİF ROBOTU TASARIMI

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Tez yazım sürecinin başlangıcından tamamlanmasına kadar geçen süreçte yaşadığım çeşitli sorunlarda kendisine hep ulaşabildiğim sayın danışman hocam, Dr. Öğr. Üyesi Gülsüm Zeynep GÜRKAŞ AYDIN'a çözüm ve katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Uzun yıllardır devam eden eğitim öğretim hayatım boyunca beni maddi manevi destekleyen, cesaretlendiren, beraber sıkıntılar ve mutluluklar yaşadığımız değerli ailem; annem, Emine KAYRANCI'ya ve babam, İsmail KAYRANCI'ya sevgi ve saygılarımı sunarım. Tez süresince yaşadığım strese, anlayışlı davranan kardeşlerim Muhammet Ali KAYRANCI ve RüyaNur Melis KAYRANCI'ya sevgilerimi sunarım. Değerli dostum Ahmet SADAY'a tez sürecinde fikir alışverişi ve moral desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Son olarak eğitim hayatım boyunca ders aldığım tüm saygıdeğer hocalarıma saygı ve minnetlerimi bildiririm.

Eylül 2023 Fatih KAYRANCI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BEYAN ..... **iii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **xii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xiv**
ABSTRACT ..... **xvi**
1. GİRİŞ **1**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **5**
2.1. ROBOTLAR 5
2.1.1. Etimoloji, Tanımı, Unsurları ve Üretilme Nedenleri 5
2.1.2. Keşif Robotları 7
2.2. NESNELERİN İNTERNETİ 10
2.2.1. Nesnelerin İnterneti Bileşenleri 11
2.2.2. Kesif Robotu ve Nesnelerin İnterneti 14
2.3. DİĞER ÖNEMLİ KAVRAMLAR 15
2.3.1. Yapay Zeka 15
2.3.2. Görüntü İşleme 15
2.3.3. Kesif Robotunun Yapay Zekâ ve Görüntü İşleme İlişkisi 16
2.4. İLGİLİ ÇALIŞMALAR 17
3. YÖNTEM **24**
3.1. KULLANILAN GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ 24
3.1.1. OpenCV 24
3.1.2. TensorFlow 24
3.2. KULLANILAN PROGRAMLAMA DİLİ VE ARAÇLAR 27

3.2.1. Python 27
3.2.2. Anaconda 28
3.2.3. Flask 28
3.3. KULANILAN MALZEMELER VE EKİPMANLAR 28
3.3.1. Raspberry Pi 29
3.3.2. Diğer Ekipmanlar 29
3.4. OLUŞTURULAN PROTOTİP ROBOT 34
3.4.1. Keşif Robot Donanımı 34
3.4.2. Keşif Robot Yazılımı 35
3.5. TENSORFLOW MODEL EĞİTİM ÇALIŞMASI 40
4. BULGULAR 43
5. TARTIŞMA 58
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 60
KAYNAKLAR 62
EKLER 66
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 67
ETİK KURUL İZİN YAZISI 68
KURUM İZNİ YAZILARI 69
ÖZGEÇMİŞ 70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Basit otonomi düzeyinde bir çizgi robot. 6

Şekil 2.2: Yüksek otonomi düzeyinde bir robot, Boston Dynamics BigDog [16]. 6

Şekil 2.3: İnsansı robot Sophia ve yaratıcısı David Hanson [16]. 7

Şekil 2.4: Nasa'nın Mars'a gönderdiği Curiosity keşif aracı [23]. 9

Şekil 2.5: Sürüngen formda bir keşif robotu [2]. 9

Şekil 2.6: Palet sistemli ve kameralı bir keşif robotu [4]. 10

Şekil 2.7: IoT'nin temsili bağlantı kurduğu nesneler. 10

Şekil 2.8: IoT bileşenleri [24], [26]. 11

Şekil 2.9: MQTT yayıncı-abone mimarisi [31]. 14

Şekil 2.10: Yapay Zeka (AI), Makine Öğrenmesi (ML), Derin Öğrenme (DL) ilişkisi 16

Şekil 3.1: TensorFlow R-CNN kutu yapısı [9]. 25

Şekil 3.2: TensorFlow ile nesne tespiti çıktısı [9]. 25

Şekil 3.3: Python dili logosu ve güncel sürümü [57]. 27

Şekil 3.4: Python sürümleri [57]. 28

Şekil 3.5: Raspberry Pi 4'ün bir görüntüsü 29

Şekil 3.6: Raspberry Pi kamera modülü. 30

Şekil 3.7: L298N motor sürücü. 30

Şekil 3.8: DC motor ve tekerlek. 30

Şekil 3.9: Jumper kablolar. 31

Şekil 3.10: Genel amaçlı robot gövdesi (Şase). 31

Şekil 3.11: Batarya modülü, 14500 lityum pil ve powerbank. 32

Şekil 3.12: Robot güç kaynağı 7.4V batarya. 32

Şekil 3.13: Mini hafıza kartı. 33
Şekil 3.14: Alüminyum soğutucu (Heat sink). 33
Şekil 3.15: Soğutucu fan. 33
Şekil 3.16: Raspberry Pi muhafaza kutusu 34
Şekil 3.17: Birleştirilen keşif robotu 34
Şekil 3.18: Raspbian OS kurulumu 35
Şekil 3.19: VNC Viewer arayüzü 36
Şekil 3.20: Keşif robotu Flask ekranı nesne tespiti sonucu 38
Şekil 3.21: Keşif robotu MQTT konsol ekranı nesne tespiti sonucu 38
Şekil 3.22: Keşif robotu Telegram Bot ekranı nesne tespiti sonucu 39
Şekil 3.23: Keşif robotu nesne tespiti testi ve konsol ekranı 39
Şekil 3.24: Keşif robotu nesne tespiti testi ve Flask çerçevesi arayüzü 40
Şekil 3.25: Eğitimde kullanılacak bir resimin labelImg ile etiketlenmesi 41
Şekil 3.26: TensorFlow'da model eğitimi başlangıcı Anaconda Prompt ekranı 41
Şekil 3.27: TensorFlow'da model eğitimi sonu Anaconda Prompt ekranı 42
Şekil 3.28: Model eğitimi sırasında Anaconda Prompt'unda TensorBoard açılış komutu 42
Şekil 3.29: Model eğitimi sırasında tarayıcıda TensorBoard açılış komutu 42
Şekil 4.1: Keşif robotunun cansız nesneler için tespit oranları - grafiksel görünüm 44
Şekil 4.2: Keşif robotu nesne tespiti testleri-Su Şişesi 45
Şekil 4.3: Keşif robotu nesne tespiti testleri-Oyuncak Ayı ve Sandalye 45
Şekil 4.4: Keşif robotu nesne tespiti testleri-Televizyon 46
Şekil 4.5: Keşif robotu nesne tespiti testleri-Mouse (Fare) 46
Şekil 4.6: Keşif robotunun canlı nesneler için tespit oranları - grafiksel görünüm 47
Şekil 4.7: Keşif robotu nesne tespiti testleri-Kedi 47
Şekil 4.8: Keşif robotu nesne tespiti testleri-İnsan 48
Şekil 4.9: Keşif robotu nesne tespiti yaptığı sırada sıcaklık dereceleri ölçümü 49
Şekil 4.10: Keşif robotu bekleme durumundayken sıcaklık dereceleri ölçümü 50

Şekil 4.11: TensorFlow model eğitimi sırasında CPU'nun kullanımı 51
Şekil 4.12: TensorBoard learning rate grafiği 51
Şekil 4.13: TensorBoard loss/classification rate grafiği 52
Şekil 4.14: TensorBoard loss/localization loss grafiği 52
Şekil 4.15: TensorBoard loss/regularization loss grafiği 53
Şekil 4.16: TensorBoard loss/total loss grafiği 53
Şekil 4.17: TensorBoard steps per sec grafiği 54
Şekil 4.18: TensorBoard train input images 54
Şekil 4.19: Confusion Matrix yapısı 55
Şekil 4.20: Eğitilen modelin Confusion Matrix'i 55
Şekil 4.21: Model eğitimi sonrası test sonucu 1 56
Şekil 4.22: Model eğitimi sonrası test sonucu 2 56
Şekil 4.23: Model eğitimi sonrası test sonucu 3 57
Şekil 4.24: Model eğitimi sonrası test sonucu 4 57

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1: Keşif robotu nesnelerin tespit oranları 48

Tablo 4.2: Keşif robotu sıcaklık tablosu 50

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
AI	: Artificial Intelligence (Yapay Zeka)
ANN	: Artificial Neural Networks (Yapay Sinir Ağları)
CNN	: Convolutional Neural Network (Evrişimsel Sinir Ağı)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
DL	**:** Deep Learning (Derin Öğrenme)
GPIO	: General Purpose Input Output (Genel Amaçlı Giriş Çıkış)
IoT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
IP	: Internet Protocol (İnternet Protokolu)
M2M	: Machine to Machine (Makineden Makineye)
M2P	: Machine to People (Makineden İnsana)
ML	: Machine Learning (Makine Öğrenmesi)
MQTT	: Message Queuing Telemetry Transport (Mesaj Kuyruklama Telemetri Aktarımı)
OS	: Operating System (İşletim Sistemi)
P2P	: People to People (İnsandan İnsana)
R-CNN	: Region Based Convolutional Neural Network (Bölge Tabanlı Evrişimsel Sinir Ağı)
RF	: Radio Frequency (Radyo Frekansı)
SSD	: Single Shot MultiBox Detector (Tek Geçiş Çoklu Kutu Tespiti)
TCP	: Transmission Control Protocol (Geçiş Kontrol Protokolü)
VNC	: Virtual Network Computing (Sanal Ağ Bilgisayarı)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NESNELERİN İNTERNETİ EKOSİSTEMİNDE BİR KEŞİF ROBOTU TASARIMI

Fatih KAYRANCI

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilgisayar Mühendisliği Programı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Gülsüm Zeynep GÜRKAŞ AYDIN

Keşif robotları, araştırma, keşfetme, ortamı tarama, tespit, takip, arama ve kurtarma faaliyetleri için geliştirilmiş uzaktan kumanda edilen veya otonom araçlardır. Bu tip robotlar, insan kontrolu veya insan kontrolu olmadan çeşitli ortam durumlarında kendilerine verilen görevleri yapmaya hazır olmaları amacıyla tasarlanırlar. Bu tezde, nesnelerin interneti ekosisteminde Raspberry Pi mini bilgisayarı kullanılarak, görüntü işleyen ve yapay zekadaki derin öğrenme algoritmalarıyla nesne tespiti yapan bir prototip keşif robotu tasarlanmıştır. Keşif robotu, iç mekanlarda canlı nesne tespiti yaparak, mekan güvenliğini kontrol etme motivasyonuyla oluşturulmuştur. Tez kapsamında, robotlar, nesnelerin interneti, Raspberry Pi, görüntü işleme teknolojileri ve yapay zeka tekniklerini içeren nesne tespiti hakkındaki çalışmalar incelenmiştir. Mevcut çalışmaların taraması sonucunda nesne tespiti konusunda, derin öğrenme teknikleri ve görüntü işlemenin uygun yöntemler olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, görüntü işleme için OpenCV ve derin öğrenme modelinin test edilmesi için TensorFlow kullanılarak hazır eğitilmiş bir model üzerindeki sonuçlar gözlenmiştir. Tasarlanan keşif robotunun, tespit ettiği nesneleri belirlenen eşik oranına uygun doğrulukla tespit ettiği gözlenmiştir. Bu durum, keşif robotunun

güvenlik amaçlı iç mekanlarda kullanılma motivasyonuna uygun bir şekilde nesne tespiti yaparak eşik oranına uygun doğruluk oranları elde ettiğini ve çalışmanın hedefine ulaştığını göstermektedir. ⎦

Eylül 2023 , ⎣..87..⎦ sayfa.

Anahtar kelimeler: ⎢ Hareketli Robotlar, Yapay Zeka, Görüntü İşleme, Nesnelerin İnterneti, Derin Öğrenme ⎥

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

DESIGN of a DISCOVERY ROBOT in INTERNET of THINGS

Fatih KAYRANCI

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Computer Engineering

Programme of Computer Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Gülsüm Zeynep GÜRKAŞ AYDIN

Discovery robots are remotely controlled or autonomous vehicles developed for research, exploration, scanning the environment, detection, tracking, search and rescue activities. These types of robots are designed to be ready to perform assigned tasks in various environmental situations, with or without human control. In this thesis, a prototype discovery robot was designed that processes images and detects objects with deep learning algorithms in artificial intelligence in the Internet of Things ecosystem, using the Raspberry Pi mini computer. The discovery robot was created with the motivation to control place security by detecting live objects indoors. Within the scope of the thesis, studies robots, internet of things, Raspberry Pi, image processing technologies and on object detection including artificial intelligence techniques were examined. As a result of the review of existing studies, it has been determined that deep learning techniques and image processing are suitable methods for object detection. In this study, the results were observed on a ready-trained model using OpenCV for image processing and TensorFlow for testing the deep learning model. It has been observed that the designed discovery robot detects the objects it detects with an accuracy in accordance with the

determined threshold rate. This show that the reconnaissance robot achieved accuracy rates in accordance with the threshold rate by detecting objects in accordance with the motivation of using it in interior spaces for security purposes and reached the goal of the study.

September 2023, [..87...] pages.

Keywords: [Mobile Robots, Artificial Intelligence, Image Processing, Internet of Things, Deep Learning]

1. GİRİŞ

Robotik sistemlerin, içinde yaşadığımız dünyada kullanımı her geçen gün hızla artmaktadır. Robotlar, iş dünyası, alışveriş merkezleri, eğlence sektörü, ev yaşamı gibi birçok uygulama alanında kendine yer bulmaktadır. Günümüz dünyasında, Arduino, Raspberry Pi gibi düşük bütçelerle satın alınabilen ve kolay öğrenilip geliştirme yapılabilen platformlarla artık sıradan kişilerde robotik sistemlerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu geliştirme platformlarıyla, robotların bilindik uygulama alanları da artık çok daha genişlemekte ve çok sayıda projelerde kullanılabilmektedir. İnsanlığın bilmeyi isteme ve merak arzusu robotlarla birleştiğinde, robotlar bu özel amaçlara göre sınırlandırıldığında artık keşif robotları karşımıza çıkmaktadır. Bu tür robotlar, insanlığın keşfetme arzusunu destekleyerek derin denizlerden gökyüzüne, yeni ufuklara açılma imkanı sunmaktadır. Keşif robotlarının bu keşif amaçlı faaliyeti, bu robotlarla ilgili çalışmalarda karşımızda çeşitli şekillerde çıkmaktadır. Keşif robotlarının, gezginlik faaliyeti [1], doğal afetler sonrasında keşif ve kurtarma [2], yanıcı gaz gibi tehlikeli durumlara erken müdahale amaçlı araştırma ve inceleme [3], mağara ve tünel gibi zor yeryüzü şekillerini haritalama amaçlı keşif faaliyeti [4], uzay araçlarının araştırma çalışmaları [5], keşif ve hedef imha amaçlı arama kurtarma görevleri [6], askeri amaçlı bilgi elde etme, saldırı, savunma ve güvenlik sistemleri faaliyetleri [7], [8], [9] gibi alanlarda sıklıkla kullanıldığı gözlemlenmektedir. Keşif robotlarının bu kullanım alanları elbette sınırlı sayıda değildir. Bu örneklerin çoğaltılabileceği çok daha fazla çalışma bulunabilir. Bu robotların olduğu çalışmalardaki robotlar, uzaktan kumanda edilebileceği gibi otonom olarak da çalışmalar yapılabilmektedir. Keşif robotları çalışmalarında, kameralı ya da kamerasız uzaktan kumanda edilen operasyonel robotlar yaygın olarak gözlemlemektedir. Teknolojinin gelişmesi, görüntü işleme, yapay zeka gibi kavramların robotlarda kullanımının devreye girmesiyle keşif robotlarında da değişimler ortaya çıkmaktadır. Robotlarda yapay zekanın kullanımıyla, keşif robotları sadece kamera merceğinden elde ettiği saf görüntüyü servis etmekten çıkıp görüntü içindeki nesneleri de tanıyabilir hale gelmiştir. Bu gelişmelerin ışığında bu çalışmada, nesnelerin interneti ekosistemi içinde görüntü işleme ve yapay zekanın derin öğrenme yöntemleri kullanımıyla bir prototip keşif robotu oluşturulması amaçlanmıştır. Bu nedenle tez konusunun başlığı "Nesnelerin İnterneti Ekosisteminde Bir Keşif Robotu Tasarımı" olarak belirlenmiştir. Oluşturulacak prototip robotun konsept olarak, bir iç mekân güvenlik keşif

robotu olarak kullanılması hedeflenmiştir. Keşif robotunun kapalı bir iç mekanda kullanılabilecek şekilde tasarlanması ve canlı nesneleri tespit ederek güvenlik faaliyeti yürütmesi amaçlanmıştır. Hem maliyetler hem de çalışma zorluğu açısından robot çalışma ortamı iç mekan güvenlik robotu konsepti olarak sınırlandırılmıştır. Keşif robotunun güvenlik faaliyetindeki kullanımının anlaşılabilmesi için aşağıdaki bazı örnek kullanım senaryoları örneklenebilir. Olası kullanım senaryosunun ilkinde, keşif robotu, müze, sanat galerisi veya ofis gibi bir kapalı ortamın güvenliğini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Keşif robotu, müze, sanat galerisi veya bir ofis ortamında kullanılarak, çalışma saatleri dışında veya çalışma saatleri içinde olup giriş yapılmaması gereken alanlardaki kişileri veya orada olmaması gereken çeşitli canlı nesneleri (fare, kedi, köpek gibi) tespit edebilir. Böylece iç mekandaki olası güvenlik zafiyetleri önlenebilir. Bir diğer olası kullanım örneğinde, keşif robotu depo güvenliğini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Kapalı bir depoda bulunan keşif robotu canlı nesneleri tespit ederek ürün güvenliğini sağlayabilir. Depoya giren canlı nesneler (hırsız kişiler, kedi, köpek veya fare vb. kemirgen canlı türleri gibi) tespit edilerek ürünlere zarar vermesinin önüne geçilip ürün güvenliği sağlanabilir. Bir diğer olası kullanım örneğinde, keşif robotu arama ve kurtarma faaliyeti yürütülmesine yardımcı olmaktadır. Bu örnekte, keşif robotunun kullanılacağı kapalı iç mekanın bir yangın sonucu yoğun dumanla kaplandığı veya bir kaza veya kaçak sonucu zehirli gaz sızıntısı geçekleştiği bilinmektedir. Bunun sonucunda, kapalı iç mekanda canlı nesne olup olmadığını kontrol etmek için personel yerine keşif robotu gönderilmektedir. Keşif robotu tehlikeli durumdaki kapalı iç mekanda canlı bir nesne tespit etmek için kullanılabilecektir. Böylece keşif robotuyla hayat kurtarılmasına etki edilmesi mümkün olacaktır. Keşif robotu ortam taraması sonucu eğer canlı nesneleri tespit etmemişse, kurtarma personeli gereksiz bir riske atılmamış olacaktır. Keşif robotunun kullanılabileceği güvenlik konsepti örnek kullanımları elbette daha fazla çoğaltılabilir. Bu tez çalışmasında temelde bu örnek kullanım amaçları ve güvenlik konseptine bağlı kalınarak bir keşif robotu tasarlanması amaçlanmıştır. Tez çalışmasında oluşturulacak keşif robotu, temelde görüntü işleme ve yapay zekadaki derin öğrenme tekniklerini kullanarak görüntülerden elde ettiği ve tanımlayabildiği nesneler hakkındaki tespitlerini komuta merkezine belirtmeyi amaçlamaktadır. Keşif robotu nesne tespiti yaparken nesneler hakkında tahmin yapma eşik oranı %60 ve üzeri olarak belirlenmiştir. Bu oran altındaki tahminleri keşif robotu dikkate almayacaktır. Komuta merkeziyle iletişim için Flask çerçevesi kontrol arayüzü kullanılmıştır. Bunun yanı sıra Telegram uygulamasından komutlarla ve MQTT protokolü üzerinden komutlarla da nesne tespiti sonuçları takip edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında oluşturulacak

prototip keşif robotu, Raspberry Pi mini bilgisayarı geliştirme kartı kullanılarak tasarlanacaktır. Çalışmada görüntü işleme süreçleri, Raspberry Pi mini bilgisayarına eklenecek bir kamera modülü kullanılarak gerçekleştirilecektir. Prototip keşif robotuna kamera modülü dışında, gövde şasesi, fan, motor, tekerlek, batarya modülü, pil, jumper kablolar vb. elektronik ekipmanlar ve mekanik aksamlar eklenecektir. Tüm bu çalışma, tez süreci içinde tamamlanarak yapay zekadaki derin öğrenme ile desteklenip görüntü işleme yapılarak nesnelerin keşfi ve tespiti amaçlanmaktadır. Bu tez çalışmasıyla oluşturulmak istenen prototip keşif robotu için araştırılan kavramlar, kavramsal çerçeve ve yöntem bölümlerinde ilgili konu başlıkları ile ele alınıp incelenecektir. Keşif robotunu oluşturma aşaması, çeşitli disiplinlerle birlikte çalışma gereksinimi getirmektedir. Bu nedenle robotlar, nesnelerin interneti, görüntü işleme ve yapay zeka, gibi kavramlara tezde yer verilmiştir.

Bu tezdeki bölümler ise şu şekildedir: Kavramsal Çerçeve bölümü dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, robot kavramı açıklanıp ve sonrasında keşif robotları özelinde bir inceleme yapılmıştır. İkinci bölümde, nesnelerin interneti kavramı ele alınmış olup sonrasında MQTT protokolü ve keşif robotu arasındaki bağlantıyla ilgili bilgilere yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, yapay zeka ve görüntü işleme kavramları incelenmiş olup devamında bunların keşif robotuyla nasıl ilişkilendirildiği üzerine açıklamalar yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise, keşif robotları ile ilgili incelenmiş olan çalışmaların verildiği ilgili çalışmalar bölümü bulunmaktadır. Yöntem bölümü beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm, görüntü işlemede kullanılan yöntemlerden oluşmaktadır. Bu bölümde OpenCV görüntü işleme kütüphanesi ve TensorFlow derin öğrenme kütüphanesi hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, kullanılan programlama dili Python ve Python'la bağıntılı kullanılan araçlarla ilgili bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölüm, prototip keşif robotunda kullanılan malzemeler bölümüdür. Bu bölümde keşif robotunun elektronik bir bölümünü oluşturan robotun donanım ve yazılımının üzerinde çalıştığı Raspberry Pi mini bilgisayarı hakkında bilgiler verilmiştir. İlgili bölümün devamında prototip keşif robotunun fiziksel gerçeklemesinde kullanılacak olan elektronik ve mekanik tüm malzemeler hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde ise, oluşturulan prototip robot tanıtılmaktadır. Bu bölümde önce oluşturulan keşif robotu donanımı birleştirilerek donanım hakkında bilgiler sunulmuştur. Sonrasında ise oluşturulan keşif robotu yazılımı hakkında bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde ise TensorFlow'da bir derin öğrenme model eğitimi çalışması yapılmıştır. Sonrasında bu model eğitimi ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Bulgular bölümünde, oluşturulan prototip keşif robotundan test ortamında elde edilen bulguların verileri sunulmuştur. Prototip

keşif robotunun çevreden aldığı görsellerden elde etiği nesne tespitlerini oluşturan veriler bu bölümde ele alınmıştır. Sonrasında ise TensorFlow'da gerçekleştirilen model eğitiminin sonuçları sunulmuştur. Tartışma bölümünde, keşif robotları ile ilgili mevcut anlayışımızı geliştirmek amaçlanmıştır. Çalışmadaki prototip keşif robotuyla literatürdeki diğer çalışmaları kıyaslayıp bunları oluşturan literatürümüzle bağ kurup analiz yapılmıştır. Böylece deney ve gözlemlerle test ettiğimiz keşif robotunun çalışmalardaki benzerleriyle performansı incelenmiştir. Sonuç ve öneriler bölümünde, elde edilen tüm bulguların sonuçları sunulmuştur. Diğer araştırmacılara nelerin gerçekleştirilmek istenip gerçekleştirilemediği ve sonraki araştırmacılara yönelik yeni araştırma önerilerine bu bölümde yer verilmiştir. Bu tez çalışması, yukarıda bahsedilen bu planlama doğrultusunda tez yazım sürecine kadar ilerletilmiştir. Bu alanda yapılan çalışmalar incelenerek bu tez metni oluşturulmuştur. Giriş bölümündeki planlamalarda bahsedilen tüm bu amaçlarla bu tez çalışması tamamlanmıştır.

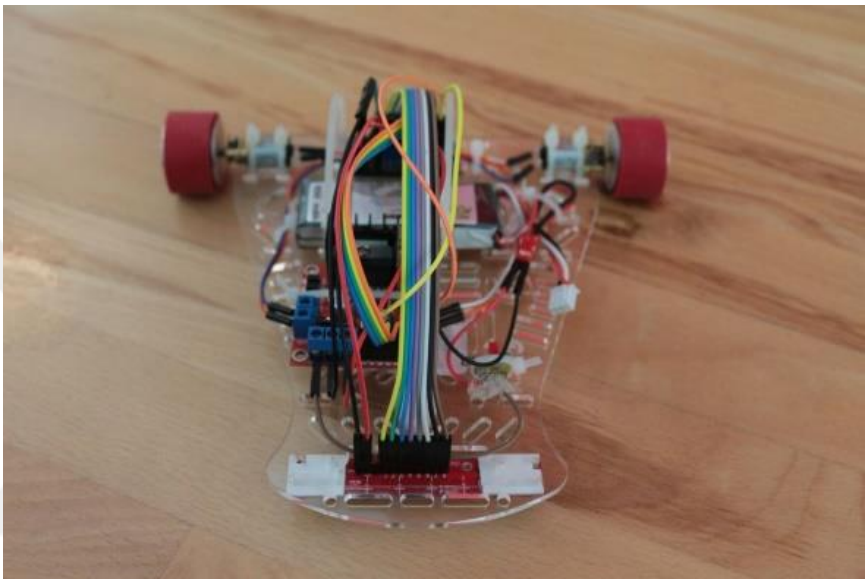
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. ROBOTLAR

2.1.1. Etimoloji, Tanımı, Unsurları ve Üretilme Nedenleri

Robotların tarihini, antik Yunan dönemi olarak ifade edebileceğimiz tarihin erken dönemlerine götürmek mümkündür. Tarihin antik dönemlerinde gerçekleşen olimpiyat oyunları gibi önemli organizasyonların yıl dönümü tarihlerini hesaplamalarda kullanılan saat benzeri araçlar, su gücüyle çalışan mekanizmalar robotların ilk ilkel örnekleri olarak görülebilir [10]. Antik Yunan bilgini Aristoteles, "Eğer tüm araçlar komutla veya kendi kendine çalışabilseydi işçilere ve kölelere ihtiyaç kalmazdı," şeklinde robotlara yorulabilecek ilgili ileri görüşlü sözler söylemiştir [11]. Antik Yunan'dan sonraki çağlarda yaşayan El Cezeri'nin de 13. yüzyılda ilkel robot olarak veya mekanik robot olarak tarif edilebilecek pek çok çalışması olmuştur. Robotların başlangıcını bu döneme dayandıranlar da mevcuttur [12]. Robotların tarihini bu eski tarihlere götürmek mümkün olsa da modern robotların tarihinin gerçekte sanayi devrimi ile başladığı belirtilmektedir. Sanayi devriminden günümüze, buharlı makinenin icadıyla insan uygarlığının gelişimi hızla ilerledi. Sanayi devrinin başlangıcındaki su gücü ve buhar gücünün yerini elektrik enerjisinin alması sonrasında da bilgisayarın icadı bildiğimiz robotların ortaya çıkmasını sağladı [13]. Robotlar, bu teknolojik sıçrama ile pek çok alanda kullanılmaya başlandı, çeşitlendi ve yayıldı. Böylece robotlarla daha sık karşılaşma imkanına sahip olmuş olundu. Robot denildiğinde pek çok insanın zihninde bir şeyler canlanmaktadır. Kimilerinde bu kavram basit oyuncakları çağrıştırırken, kimilerindeyse bilim kurgu filmlerdeki insansı robotları çağrıştırır. Birçok insana "Robot nedir?" diye sorulursa genelde tariflerle bu kavramın açıklanmaya çalışıldığı fark edilir. Etimolojik olarak bakıldığında robot kelimesi tarih sahnesine ilk kez 1920 yılında Karel Čapek'in "Rusomovi Umeli Roboti" adlı tiyatro oyununda çıkmaktadır [14], [15] . Bu oyunda geçen robot sözcüğün Çekçesi olan "Roboti" ya da "Robota" şeklinde görülen kavram "köle, hizmetkar vb." anlamlara gelmektedir. Robotun etimolojik tanımı yukarıda verildikten sonra kavramsal tanımı da söyle açıklanabilir. Robot, çevresini algılayıp, bu algılama sonucunda da hesaplamalar yapıp çeşitli eylemlerle harekete geçen otonom bir makinedir [16]. Bu tanımda akılda kalınması gereken üç özellik; algılama, hesaplama ve harekete geçmedir. Bu üç özellik aslında bir robotu robot yapan unsurlardır. Bu üç bileşen, robotlarda birbirinden farklılık gösterir. Bu üç unsura sahip, çok gelişmiş robotlar

olabileceği gibi daha basit robotlarla da karşılaşabiliriz. Burada aynı zamanda önemli bir kavram olan otonomiye de değinmek gerekir. Otonomi, robotun özerkliğini, bağımsız hareket edebilmesini, kendi başına insan müdahalesi olmadan çalışabilmesini ve karar almasını ifade eder [16]. Otonomi seviyesi çok yüksek robotlar olabileceği gibi düşük seviyeli robotlar da olabilir. Yarı otonom olarak ifade edilen, hem insan müdahalesi ile kontrol edilebilen hem de kısmen de özerklik sahibi robotlarda oldukça fazla bulunmaktadır. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de gelişmişlik ve otonomi düzeylerine göre bazı robot türlerine örnekler verilmiştir.



Şekil 2.1: Basit otonomi düzeyinde bir çizgi robot.



Şekil 2.2: Yüksek otonomi düzeyinde bir robot, Boston Dynamics BigDog [16].

Robotlardaki otonomi oranının artması Şekil 2.3'te görülen insansı robotlar için yapılan çalışmalara da olumlu yansımaktadır.



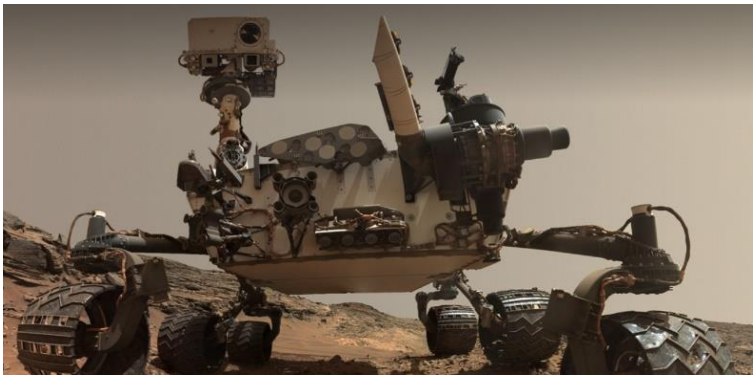
Şekil 2.3: İnsansı robot Sophia ve yaratıcısı David Hanson [16].

İnsansı robotlarda yükselen otonomi düzeyi durumunun, beraberinde etik sorunlara yol açabileceği gibi farklı düşünceler de gözlenmektedir. "Robotlara kişilik tanıyacak mıyız, robotlarla ilgili otonomi de kontrolü kaybedecek miyiz?" gibi sorular ortaya çıkıp otonomi düzeyinin yükselmesinin insanlara yeni etik anlayışlar yükleyeceği ifade edilmektedir [14]. Robotların üretilme amaçları, insanlar için tehlikeli veya zorlu kabul edilebilecek işleri yapmak ve hali hazırda insanların yapabildiği ancak düşük verimli yapabildiği işlerde, verimlilik ve kaliteyi artırmak olarak görülmektedir [17]. Bu nedenle aslında robotların esas üretilme amaçları, sanayi devriminin ortaya çıkışından itibaren endüstriyel üretim faaliyeti olarak kabul edilmektedir. Endüstriyel robotlar, üretim süreçlerinde kendini tekrarlayan ve monoton bir düzen takip eden insan işlerini yorulmadan ve yaralanmadan yaparak verimliliği artırabilmekte ve üretime büyük bir hız katmaktadır. Günümüzde robotlar artık salt endüstriyel üretiminin dışı amaçlarda da yaygınlaşmaya başlamıştır. Robotlar, uzay araştırmaları robotları, tıbbi amaçlı robotlar, askeri amaçlı robotlar, insansız hava araçları, sürücüsüz otomobiller, hasta bakımı robot yardımcıları, kargo sektörü, eğlence sektörü amaçlı hobi ürünleri gibi alanlarda karşımıza çıkmaktadır [18].

2.1.2. Keşif Robotları

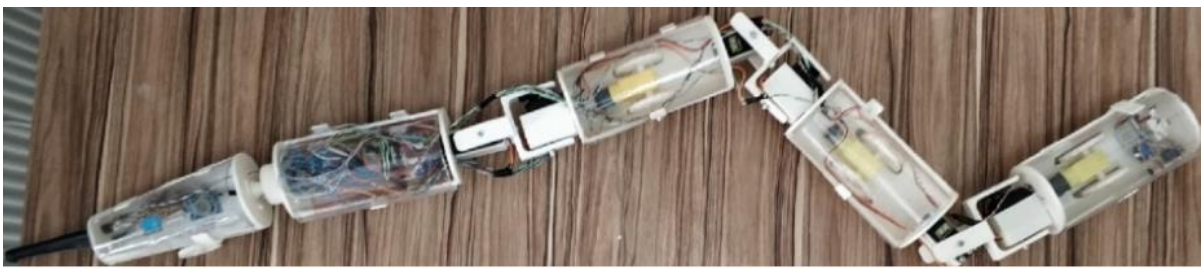
Yukarıdaki bölümde robotlar hakkında verilen genel bilgilerden sonra bu bölümde tez çalışmasının temel araştırma konusu olan keşif robotlarına değinilecektir. Keşif ve keşfetme

fikri insanlık tarihinin ilk zamanlarından günümüze değin insan tabiatının içinde her zaman var olagelmiştir [19]. Yeni toprakları keşfetmek, denizlerin derinlerine ulaşmak, yeni doğal kaynakları bulmak, gökyüzünü ve uzayı keşfetmek ideali medeniyetimizi geliştirmeyi ve teknolojik ilerlemeyi sağladı [20], [21]. Bu anlamda keşif için kullanılan araçlarda, teknolojik gelişmeyle birlikte evrim geçirmiştir. Bir zamanlar İspanyol kaşiflerin keşif araçları olan karavel gemilerinin yerini günümüz dünyasında artık gökyüzündeki keşif robotları almıştır. Bu araçlar 20. yüzyılın içinde kendine has bir fenomen olarak insanoğlunun keşif sürecini şekillendiren ve büyüten temel araçlar haline gelmiştir [22]. Keşif robotlarının kökenleri, erken 20. yüzyılda kullanılan uzay araçlarının kullanımına dayanmaktadır. İlk keşif robotları, ulaşılması güç veya tehlikeli yerlerde insanların yerine görev yapabilen uzaktan kumandalı makineler olarak ortaya çıkmıştır. Keşif robotlarının uzay çalışmalarıyla görünürlük ve bilinirliği artmıştır [22]. Robotların üretilme nedenleri nasıl çeşitlilik oluşturuyorsa keşif robotlarına da pek çok alanda ihtiyaç duyulmaktadır. Keşif robotları ortaya çıktıkları ilk zamanlarda salt askeri amaçlar için kullanılmaktayken zamanla uygulama alanını genişletme fırsatı bulmuştur. Günümüzde uzay araştırmaları ve derin deniz keşfi gibi bilimsel araştırmalardan [20]–[22], arama-kurtarma, doğal afet yönetimine kadar çeşitli faaliyet alanlarında kullanılmaktadır. İlgili çalışmalarda keşif robotlarının, gezginlik faaliyeti [1], doğal afetler sonrasında keşif ve kurtarma [2], yanıcı gaz gibi tehlikeli durumlara erken müdahale amaçlı araştırma ve inceleme faaliyetleri [3], mağara ve tünel gibi zor yeryüzü şekillerini haritalama amaçlı keşif [4], uzay araçlarının araştırma çalışmaları [5], keşif ve hedef imha amaçlı arama kurtarma görevleri [6], askeri amaçlı bilgi elde etme, saldırı, savunma ve güvenlik sistemleri faaliyetleri [7], [8], [9] gibi alanlarda sıklıkla kullanıldığı gözlemlenmektedir. Keşif robotlarının bu kullanım alanları elbette sınırlı sayıda değildir. Bu örnekleri çoğaltılabilecek çok daha fazla çalışma bulunabilir. Keşif robotların bilinirliğini ve tanınırlığı artıran, hiç kuşkusuz uzay keşifleri olmuştur. Yirminci yüzyılın ortalarında, Amerika Birleşik Devletleri ve Sovyetler Birliği'nin uzaydaki yarışlarında peş peşe keşif araçları geliştirilmiş ve uzaya gönderilmiştir. Sputnik ve Apollo gibi araçlar bu uzay yarışın simgeleri olmuştur [22]. Günümüzdeki ünlü keşif robotlarından biri olan uzay araştırmaları için Mars'a gönderilen Curiosity keşif aracı Şekil 2.4'te verilmiştir. Bu tür keşif robotları; yüzey analizleri, fotoğraf çekimi ve veri toplama gibi görevler yapıp bilim dünyasındaki insanlarla verileri paylaşmaktadırlar [23].



Şekil 2.4: Nasa'nın Mars'a gönderdiği Curiosity keşif aracı [23].

Yukarıda bahsedildiği üzere keşif robotları, başlangıçta uzaktaki tehlikeli ve zor erişilebilir alanlarda keşif ve araştırma yapmak için kullanılan robotik sistemlerken, zamanla uzaydan, derin denizlerden, yeryüzündeki diğer daha küçük işlere doğru yayılmışlardır. Bu robotlar uzaktan kumandalı olarak ortaya çıkmış olmakla birlikte zaman içinde otonom türleri de yaygınlaşmaya başlamıştır. Kameralı ve kamerasız çeşitli sensörler barındıran keşif robotları bulunmaktadır. Yapay zekanın kullanım alanının genişlemesiyle birlikte kameralı keşif robotları, artık salt görüntü aktarabilmekten çıkıp görüntü işleme teknolojileriyle görüntülediği nesneleri tanımlayıp çevrelerini algılayarak hareket eder hale gelmektedir [8]. Yapay zeka ve görüntü işlemenin bu gelişimi keşif robotlarını askeri ve savunma sistemlerinde düşman tespitinde daha verimli kullanabilmeyi mümkün hale getirebilmektedir [8], [9]. Etraflarındaki nesneleri tanıyabilme yeteneğiyle donatılmış keşif robotları, keşif klasik kesif robotlarına göre nesne tespitini yapabilme ve nesne hakkında fikir edinebilme imkanına da sahip olmasıyla avantajlı bir hale gelmiştir. Keşif robotları güvenlik amaçlı işlevler görüp çevresindekileri ayırt edebilir. İç ve dış mekanlarda güvenlik personellerine yardımcı olabilir [8], [9]. Aşağıda bazı keşif robotları için bazı örnek modeller Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.5: Sürüngen formda bir keşif robotu [2].



Şekil 2.6: Palet sistemli ve kameralı bir keşif robotu [4].

2.2. NESNELERİN İNTERNETİ

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT) günlük yaşamda çeşitli görevleri gerçekleştirme amacıyla nesneler olarak tanımlanan unsurların, internet aracılığıyla diğer nesne unsurlarıyla veri alışverişi yapması olarak basitçe ifade edilebilir [24]. Bu nesneler ağının amacı, ev, iş, sağlık, endüstri, akıllı şehirler gibi ortamlarda günlük yaşam kalitemizi artırmaktır. IoT, sıradan günlük yaşamdaki nesneleri ağa bağlayıp çeşitli uygulamalarla onları insanlar ve diğer nesnelerin kullanımına uygun akıllı ve etkileşimli hale getirir. Örnek bir IoT temsili ağ mimarisi Şekil 2.7'de gösterilmektedir.

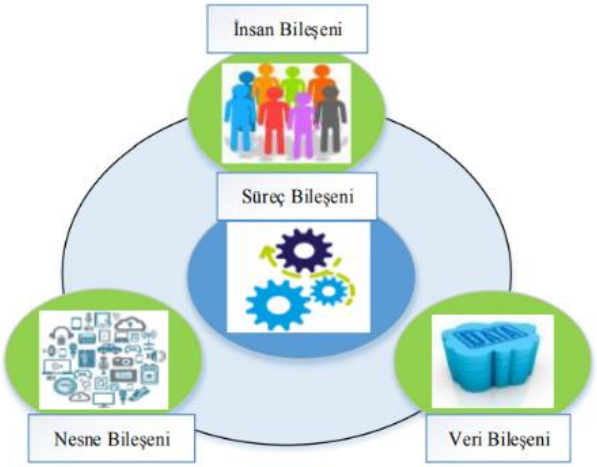


Şekil 2.7: IoT'nin temsili bağlantı kurduğu nesneler.

IoT, yaşamı daha zengin, kullanışlı, sağlıklı hale getirmeyi amaçlarken kıt kaynakların kullanımını optimum hale getirmeye de yardımcı olur. IoT, çeşitli alanlarda nesne olarak ifade edeceğimiz fiziksel tüm bileşenlerin internete katılımını sağlayıp bunu başarmayı amaçlamaktadır [25]. Cisco, gelecekte nesne olarak ifade edilebilecek fiziksel unsurların çok daha fazlasının internete bağlanabileceğini öngörmektedir. IoT, akıllı olma kavramını televizyon, saat, otomobil, tost makinesi, buzdolabı vs. gibi günlük hayattaki fiziksel pek çok nesneye taşımaktadır. IoT, makinelerdeki pek çok sensörden gelen verileri toplayarak endüstrinin daha akıllı hale gelmesini sağlar. IoT aynı zamanda nesnelerin senkronizasyon içinde iletişimde kalmalarını sağlar. Bu kavramın oluşturduğu teknoloji internete bağlı akıllı cihazlardan oluşur [24] . Bu teknolojideki nesneleri oluşturan cihazlar, veri alma, veri gönderme ve veri işleme sağlayan akıllı cihazlardır. IoT'de toplanan her türlü veri bir ağ geçidine veya bunların, analiz yapılabileceği bulut (cloud) ortamına ya da bir uç cihaza aktarılır. Nesnelerin internetindeki nesneleri oluşturan cihazlar, büyük çoğunlukla insan kontrolü ve müdahalesine ihtiyaç olmaksızın, nesneleri oluşturan diğer cihazlarla kendiliğinden veri alışverişi sağlarlar. IoT'nin kullanım alanları oldukça fazladır. Akıllı ev, akıllı şehir, sağlık, ticaret, lojistik, bilişim gibi pek çok alanda kullanılır [24].

2.2.1. Nesnelerin İnterneti Bileşenleri

Nesnelerin interneti bileşenleri, nesne bileşeni, insan bileşeni, veri bileşeni ve süreç bileşeni olmak üzere dört başlığa ayrılabilir [24]. Şekil 2.8'de nesnelerin interneti (IoT) bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 2.8: IoT bileşenleri [24], [26].

2.2.1.1. Nesne Bileşeni

IoT'nin tanımında açıkladığı üzere IoT'de amaç nesneleri birbirileriyle bağlayıp iletişimi sağlamaktır. Hemen hemen her nesnenin IoT ekosistemine dahil olması gelecekte mümkün gözükmektedir [25]. Bunu mümkün kılmak için ise nesnelerde basitçe gömülü sistemler kullanılır. Nesne bileşeni, internet ortamına bağlı birbiriyle iletişim kurabilen ve kararlar alabilen cihazları ifade eder [24]. Bu bileşen bahsedilen işlevleri sensörler, aktivatörler, kontrolörler aracılığıyla yapabilir. Sensörler, veri toplama için kullanılan çevredeki nesne veya ölçülebilecek ortam değerlerinin bilgisayarlarca işlenmesini elektronik sinyallere dönüşmesini sağlayan yapıdır. Aktivatörler, belirli bir hareket veya kontrol sağlamak için kullanılan motorlardır denilebilir. Hidrolik, pnömotik ve elektriksel aktivatörler IoT'de bulunabilir. Aktivatörler bir veri işlemesi yapmaz ancak hareket gerçekleştiren elemandır. Kontrolörler, kendilerine gelen sensör verilerini ağ ortamındaki herhangi bir nesne cihazına veya bir aktivatör bileşenine gönderen cihazdır. Sensörler çevreden aldıkları verileri elektrik sinyallere dönüştürmektedir. Sensörler bu elde ettikleri verileri sonrasında kontrolör adlı bileşene teslim eder. Burada ifade edilen makineden makineye (M2M) bir yapıdır. Kontrolör, M2M bir iletişim kurabilir. Kontrolörlerin nesne bileşenindeki görevi sensör yapılarından veri toplayıp ve bir internet bağlantısı içinde ulaşılabilir kalmaktır. Kontrolör yapıları, anlık kararlar alma yeteneğine sahip olabileceği gibi verilerin daha verimli analizinin yapılabilmesi için donanım olarak güçlü başka bilgisayarlara gönderilmesini de gerçekleştirebilir. Bu gönderme işlemini yönlendiricilerle yaparlar.

2.2.1.2. Veri Bileşeni

Veri, bir ortamdan elde edilebilecek her türlü şey olabilmekle beraber tek başına bir anlam ifade etmeyebilmektedir. Bu durumda veri, kendi başına ya da diğer değerlerle bir anlam ifade eden bilgi demektir. İnsanlar için anlamlandırılmış veriler önemlidir. Makineleri bu yüzden kullanır ve verileri anlamlandırmaya çalışırız. Bu anlamlandırmaları temellendirebilmek için nesnelerin internetinde bazı kavramlar önemli hale gelir; büyük veri, bulut bilişim ve sis bilişim. Büyük veri; internete bağlı artan cihaz ve insan kullanıcı sayısının yükselişiyle oluşan devasa veri kütlesini ifade eder. Cisco firması da bu yükselişi ifade eden, insan başına düşen nesneleri gösterir bir rapor yayınlamıştır. Rapora göre bu insan başına düşen nesne artışı aynı zamanda veri artışını da göstermektedir [24]–[26]. Oluşan bu büyük veriden anlamlandırılabilir veriler üretebilmek gelecek adına önemli hale gelmiş büyük veriyi üzerinde çalışmalar artmıştır [27]. Bulut bilişim, verilerin internete bağlanabilir sanal sunucularda depolanmasıdır. Bulut bilişim, verilerin hızlıca iletimi, daha çok hafıza alanı, düşük maliyetler sağlaması gibi avantajlara

sahiptir. Bulut bilişim, büyük veriden doğan ihtiyaçlara cevap sağlaması bakımından önemlidir. Bulut bilişim, genellikle yüksek hafıza alanına ihtiyaç duyulan projelerde kullanılır. Bu teknolojide, veriler ve uygulamalar yerel cihazlardan bağımsız merkezileşmiş sunucularda tutulur [24], [28], [29]. Kullanıcılarda bu hizmetlere internet aracılığıyla erişim sağlar. Sis bilişim, bulut bilişime benzese de veri kaynaklarının yerel cihazlara yakın konumlandırıldığı depolama modelidir [30]. Bu modelde, hafıza alanından kaynaklanan işlemler, veri işlemeye yönelik işlemler kullanıcıların yerel cihazlarına veya ağa yakın diğer cihazlara taşınır. Sis bilişim, bulut bilişime göre düşük gecikme süresi daha hızlı tepki ihtiyacı duyan uygulamalarda kullanılmaya daha uygundur. Bulut bilişim merkezi sunucu tabanına dayanmakta olup yüksek hafıza alanı ve veri işleme için daha uygundur. Sis bilişim ise yerel cihazlar veya ağa yakın cihazlarından oluşan tabana dayanmakta olup, düşük gecikme süresi ve hızlı tepki gerektiren uygulamalarda kullanılmaya daha müsaittir. Her iki modelde farklı kullanım amaçlarına yönelik fırsatlar taşır [29], [30].

2.2.1.3. İnsan Bileşeni

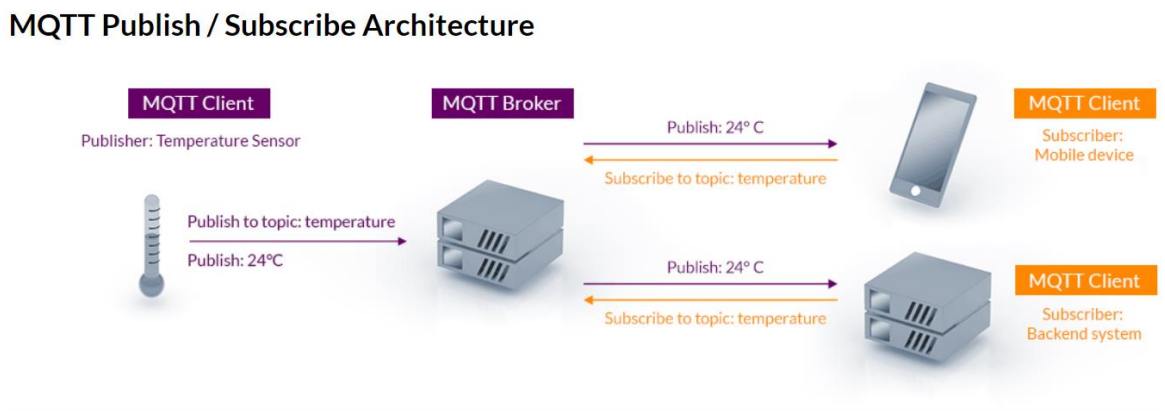
İnsan bileşeni, IoT'de toplanan verinin insanlarca kullanılacak hale gelmesini ifade eder. Bu durumu açıklamak gerekirse, hakkında kimsenin fikir edinemediği çok sayıda veri insanlar için işe yarayamayacak olup doğal olarak insanlarca anlamlandırılıp kullanılamayacaktır. O yüzden bu verilerin en uygun yöntemlerle insanların kullanabileceği ve anlamlandıracağı hale gelmesi gerekir. İnsanların bu verileri kullanabilmesi için, makineden makineye (M2M), makineden insana (M2P), insandan insana (P2P) gibi etkileşimleri kullanmak mümkündür. IoT' deki insan bileşeni doğru geri beslemelerle daha görünür bir şekilde çalışabilir. E-ticaret şirketlerinin kullanıcıların ilgilerini, verilerini toplayarak tespit edip sonra da ilgili reklamlarla aynı kişilerin ihtiyaç duyabilecekleri ürünleri satın alması için öneriler için kullanması, insan bileşenini doğru kullanmaya uygun bir örnek olabilir. [24], [26]

2.2.1.4. Süreç bileşeni

Bu bileşenden önce sırasıyla sayılan, nesne bileşeni, veri bileşeni ve insan bileşeninin birbiriyle uygun bir şekilde çalışması için arasındaki etkileşimliliği ifade eden bileşendir. IoT'de diğer bileşenler süreç bileşeniyle üç şekilde bir araya gelmektedir. Bunlar; makineden makineye veri aktarımı olan M2M, makineden insana veri aktarımı olan M2P, ve insandan insana veri aktarımı olan P2P olarak ifade edilir [24].

2.2.2. Kesif Robotu ve Nesnelerin İnterneti

IoT ekosistemine uyumlu pek çok protokol bulunmaktadır. Bunlardan biri Message Queuing Telemetry Transport - MQTT'dir. Bu tezin konusunu oluşturan prototip keşif robotunun, internet ortamı üzerinden veri akışının MQTT protokolü aracılığıyla da sağlanması planlandığı için MQTT hakkında bu bölümde bilgiler verilmiştir. Nesnelerin İnternetinde önemli kavramlardan biri de minimum internet trafiği oluşturup, düşük enerji tüketimi sağlamaktır [31], [32]. Cihazların Wi-Fi bağlantısına sahip olmadığı daha kısıtlı mobil internet erişimi gibi veri durumlarında düşük veri tüketmemiz maliyet anlamında yararımıza olacaktır. Bir başka kısıt durumu ise pil-batarya tüketimi durumudur. Veri tüketimi miktarı çoğaldıkça pil-batarya kullanımı da artacaktır. Bu gibi sıkıntıları aşmak için nesnelerin internetinde protokoller kullanılmıştır. Bunlardan en bilinenlerinden biri de MQTT'dir. MQTT, nesnelerin interneti için hafif bir mesajlaşma protokolüdür [31]. Bu iletişimi çift yönlü sağlayabilir. MQTT, düşük veri tüketimiyle hafif boyutta olduğu için küçük mikrodenetleyicilerde dahi rahatlıkla kullanılabilir. MQTT tanımsal açıdan, makineler arası iletişim kuran ve nesnelerin internetine bağlantı sağlayan protokolüdür [31], [32]. Makineler, elektronik cihazlar, birbirleriyle veya başka cihazlarla haberleşmek istediğinde bunlar arasındaki iletişimi sağlayan bir nesnelerin interneti protokolüdür. MQTT protokolü Şekil 2.9'da görüldüğü gibi publisher- subscriber (yayıncı - abone) tabanlı bir haberleşme altyapısı kullanmaktadır [31].



Şekil 2.9: MQTT yayıncı-abone mimarisi [31].

Yayıncı mesajları yayınlayan kişiyi, abone ise mesajları alan kişiyi ifade etmektedir. Abone bir ya da bir den fazla kişi olabilir. Bu yapı aslında pek çok farklı protokolde vardır. Yayıncıya abone olanlar yalnızca o konu hakkında mesajlar alırlar. Bu durumda abone olunmayan gereksiz bilgiler alınmamış olur. Evinizdeki sıcaklık sensörünün bilgisini yayınlayan yayıncıya abone olduğunuzda bilgi sadece size sunulur. Abone olmayanlara bu bilgiler sunulmaz [31], [32]. Kulanım alanlarına baktığımızda, bant genişliği düşük, bağlantının güvenilir olmadığı

küçük cihazlarda yaygın kullanıldığını gözlemleyebiliriz. MQTT, TCP/IP temelli bir protokoldür. Bu protokolleri destekleyen tüm cihazlarda çalışabilir. MQTT varsayılan olarak 1883 numaralı portu kullanır. Şekil 2.9'da ayrıca broker kavramı da bulunmaktadır. Brokerler mesajları alması gereken abonelere gönderen aracılardır. Şunu da belirtmek gerekir ki bir cihaz hem abone hem yayıncı olabilir.

2.3. DİĞER ÖNEMLİ KAVRAMLAR

2.3.1. Yapay Zeka

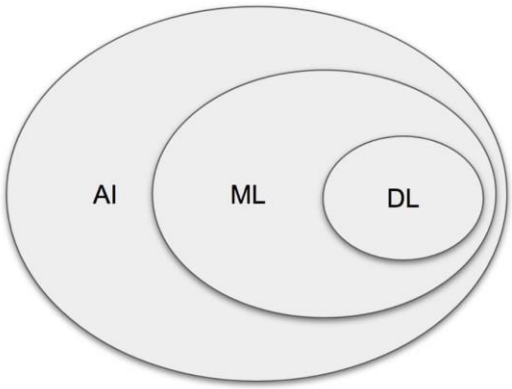
Yapay zeka kavramı ilk olarak 1956 yılında Dartmouth Konferansında Stanford Üniversitesi'nden Prof. John McCarthy tarafından tanımlanmış ve kullanılmıştır [9], [33], [34]. Yapay zeka (Artificial Intelligence - AI), insan zekasını bilgisayar veya makine sistemlerinde modelleyebilmek, insanlar gibi akıl muhakemesi yapıp anlamlar çıkarmak, geçmiş bilgilere dayanabilmek olarak ifade edilebilir [34]. Yapay zekanın ne olduğunu anlayabilmek için modellemesi yapılmak istenen zeka kavramını da anlayabilmek gerekir. Zeka, çevresindeki kavramların, nesnelerin ve algıların bağlantısını anlayabilme bunlar hakkında düşünebilme, karar verebilme ve bunlardan sonuçlar üretebilmeyi ifade eder. Zeka bazen akılla karıştırılabilir. Akıl, genetik yoldan gelen bir etmen olduğu gibi çevre faktörü de toplumda akıl kavramına etki eder. Bu nedenle akıl yaşam boyunca değişiklik gösterebilir. Akıl modelleme için taklit edilen bir olgu değildir. Zeka kavramı herkesin belli bir seviyede aynı şekilde sahip olduğu bir kavramdır. Zeka, belirli bir şey üzerinde çalışılarak bilgiyle, deneyimlerle öğrenilme ve geliştirilme imkanı olan bir gerçeklik olarak ifade edilebilir.

2.3.2. Görüntü İşleme

Görüntü işleme, kameralar, videolar ve görüntülerden elde edilen görsellerin algoritmalar ve teknikler marifetiyle analiz edilme sürecidir [35]. Bu süreç sonucunda bilgisayara görme yeteneği kazandırılmış olur. Görüntü işleme, görüntülerden bilgi çıkarımı sağlamak, görüntülerdeki bilgileri yeniden düzenlemekte kullanılabilir. Görüntü işleme, çok geniş bir uygulama alanına ulaşabilir. Görüntü işleme, tıbbi görüntüleme amaçlı hastalıkların teşhisi ve tedavisi, güvenlik amaçlı kameralarda yüz tanıma, nesne tespiti ve hareket algılama, araçlar için otonom sürüş geliştirme, meteoroloji uyduları için hava tahmini, eğlence amaçlı fotoğraf düzenleme vb. alanlarda kullanılabilir [36]–[38].

2.3.3. Kesif Robotunun Yapay Zekâ ve Görüntü İşleme İlişkisi

Görüntü işleme, nesnelerin görsel analizlerini yapmayı mümkün kılmakta ve nesnelere ait görsellerden anlamlandırılabilen veriler çıkartabilmektedir Görüntü işlemede nesne tespiti yapılması ve nesnenin tanınması, bu nesnenin değişken ortamlarda bulunması gibi nedenlerle zorlulukları da barındırmaktadır. İşte bu zorlu durumlarda nesneleri tanımak ve tespit etmek için derin öğrenme algoritmaları kullanılabilmektedir [39]. Derin öğrenme (Deep Learning - DL), yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks - ANN) kullanarak karmaşık yapılarını işlemek için kullanılan bir makine öğrenmesi (Machine Learning - ML) alt türüdür [40]. Şekil 2.10'da derin öğrenmenin yapay zekadaki durumu gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Yapay Zeka (AI), Makine Öğrenmesi (ML), Derin Öğrenme (DL) ilişkisi

Derin öğrenme algoritmaları yapay zekada ciddi bir başarı ortaya koymuş ve yapay zekadaki makine öğrenmesini bir üst seviyeye taşımışlardır. Derin öğrenme algoritmaları ile görüntü işleme süreçlerinde de büyük mesafeler katedilmiştir. Karmaşık görüntü işleme süreçlerindeki problemlere, derin öğrenme algoritmaları ile daha basit şekilde çözümler sunulmuştur. Keşif robotunda da nesnelerin tespitini yapmak için derin öğrenmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Kameradan görüntü işleyip sonra da nesne takibi yapabilmek karmaşık bir işlemdir. Burada aslında görüntü işlemeden bir basamak çıkılıp bilgisayarlı görüye değinmek gerekir. Yapay zeka kavramının bir alt kümesi olan bilgisayar görüsü basitçe bir anlatımla bir kamera vasıtasıyla ulaştığı görüntülerden anlam çıkarma faaliyeti olarak ifade edilebilir [9], [41]. Görüntü işleme ve bilgisayar görüsü alanlarında derin öğrenme, etkili bir yaklaşım sağlar. Özellikle bir ANN alt sınıfı olan evrişimli sinir ağları (Convolutional Neural Networks - CNN) görüntü işleme ve nesne tanıma gibi görsel görevlerde derin öğrenmenin sıkça kullanıldığı bir model mimarisi olarak dikkat çeker. Böylece görüntü işleme yapay zeka teknikleriyle daha kolay yapılabilir. Görüntü işleme ve bilgisayar görmesinde de yapılabilen nesne tespitini yapay zeka teknikleriyle hazır şekilde kullanılmasını sağlayan TensorFlow, Keras, Theano, Torch gibi

derin öğrenme kütüphaneleri bulunmaktadır [9]. Yapılan çalışmalara baktığımızda, kullanılan derin öğrenme kütüphanelerinin başarım oranlarında donanım ciddi bir faktör olarak öne çıkmaktadır [9], [39], [42], [43]. Donanım denildiğinde işlemci, donanım ram gücü, işlenmek istenen görsellerin hafıza kapladığı boyutları gibi donanımsal faktörler derin öğrenme kütüphanelerinde çalıştırılan öğrenme modellerinin başarım sonuçlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Nesne tespitinde en fazla kullanılan bazı derin öğrenme modelleri Single Shot MultiBox Detector - SSD, R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN ve Mask R-CNN'dir [9], [39], [42]. Derin öğrenme temelde insan beyninin gerçekleştirdiği işlemsel operasyonları ve hesaplamaları taklit etmeye benzemektedir. Tarihsel olarak derin öğrenme, 1943'te McCulloch ve Pitts'in insan düşünce aşamasını bir taklidi amacıyla matematik ve sinirsel mantık olarak ifade edilen algoritmalarla yaptıkları hesaplamalarla ortaya çıkmaktadır [39], [44]. Günümüzde derin öğrenme Facebook ve Google gibi şirketlerinde yatırımlarıyla oldukça hız kazanmıştır. Derin öğrenme algoritmaların performansları insan düzeylerine erişmiştir [39]. Facebook 2014'te kullanıcılarının fotoğraflarında kişi etiketlemesi yapmak için DeepFace adını verdiği derin öğrenme tabanlı teknolojiyi kullanmıştır [39], [45]. İnsan vücudundaki biyolojik sinir sisteminin bilgi işlemesini esin alan derin öğrenme, yapay sinir ağları diye tarif edilen algoritmalarla doğrudan bağıntılıdır. Yapay sinir ağlarına sahip derin öğrenmede bilgisayarlar, elde edilen verinin neye benzediğinin anlaşılmasına, tanımlanmasına ve bunların bilgisayarca öğrenmesine imkan sağlamaktadır. [39], [46]. Nesne tespitine imkan sağlaması da bir çok çalışmada nesne tespiti ve nesne tanıma için kullanıldığını göstermektedir [9], [39], [42], [43].

2.4. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Çelik ve diğ. çalışmalarında [1], kablosuz bir ağ üzerinde uzaktan kontrol sağlanarak, kamera dahil edilmiş bir gezgin paletli bir robot tasarlamışlardır. Araştırıcılar robotu tasarlama amaçlarını, zamanla daha karmaşık görevleri yapabilecek ve bu icrayı gerçekleştirecek gelecekteki uygulamalar için geliştirilebilmeye uygun bir robot platformu oluşturma olarak ifade etmişlerdir. Bu çalışmadaki robotun iki farklı kontrol imkanı bulunmaktadır. Robot, manuel klavye ile kontrol edilebileceği gibi sanal harita ile yönlendirilmeyle de otomatik kontrol edilip harekete geçirilebilmektedir. Çalışmadaki gezgin robottan ortamdaki görüntü ve ses alımı yapılabilmektedir. Araştırıcıların gezgin robot olarak tanımladıkları robot platformunun, java uyumlu cihazlarla internetten yönetilmesi imkanına sahip olduğu ifade edilmektedir. Yapılan çalışmalar içinde eski bir keşif robotu örneği olan bu çalışma çalışmamızda bir tarihsel arka plan olarak görülebilir.

Kedikli ve diğ. çalışmalarında [2], deprem enkazı sonrasında keşif yapan Radyo Frekansı - RF kontrollü sürüngen bir robot tasarlamışlardır. Çalışma, Arduino Nano programlama kartı ve eklemeli PLA gövde malzemesi kullanılarak yapılmıştır. Robot tasarımının gövdesi sürüngenlerden ilham alınarak modül modül eklemeli bir yapıda yapılmıştır. Modül modül eklemeli oluşturulan gövde yapısının ilk modülünün ucunda bir kamera, kuyruk modülünde ise sensörler bulunmaktadır. Kamera vasıtasıyla görüntü, sensörler vasıtasıyla; sıcaklık, nem ve ortamdaki gaz bilgisi, RF aracılığıyla robotun kumandası üzerindeki ekrana iletilmektedir. Prototip robot, enkaz sonrası oluşacak tehlikeli durumları tespit etmek amacıyla oluşturulmuştur. Bunun dışında askeri amaçlı ya da insan için tehlikeli olacak bölgelerin keşfinde kullanılabileceği de araştırıcılar tarafından belirtilmiştir. Bu çalışmadaki sürüngen robot, keşif araçlarının kullanım amaçlarıyla ilgili güncel bir örnek çalışma olduğu için ilgili çalışmalar bölümüne eklenmiştir.

Çakır ve diğ. çalışmalarında [3], RF kontrollü bir robot tasarlamışlardır. Araştırma ve inceleme robotu olarak tarif ettikleri keşif aracı olan robot, ortam sıcaklığı, nem oranı ve yanıcı gaz bilgisinin varlığını RF vasıtasıyla göndermektedir. Robot PIC 16F877A mikrodenetleyici kullanılarak RF alıcı verici kullanarak programlanmıştır. Üzerinde kamera bulunmayan çalışma temelde RF kumandayla kontrol edilip manuel olarak yönetilmektedir. Bu çalışmadaki robot, keşif araçlarının kullanım amaçlarıyla ilgili güncel bir örnek olduğu için ilgili çalışmalar bölümüne eklenmiştir.

Sakarya ve Alkan çalışmalarında [4], havada ve karada hareket kabiliyetine sahip bir tünel haritalama robotu tasarlamışlardır. Çalışmada geliştirilen robot ultrasonik ses dalgaları ile üç boyutlu tünel haritası çıkarabilmektedir. Araştırıcılar çalışmadaki robotun geliştirme amacını, tünel, mağara ve yeryüzündeki zorlu ulaşım ortamlarına asker ve güvenlik personelinden önce girerek operasyon ortamını üç boyutlu haritalandırmak olarak belirtilmiştir. Geliştirilen robot ihtiyaç duyulduğunda kara ortamında paletle hareket edebilirken, ihtiyaç olduğunda sahip olduğu kanatları ile drone olarak da kullanılabilmektedir. Robot üç boyutlu haritalamanın yanı sıra yön değiştirebilen bir kameraya sahiptir. Robotta kamera kullanılarak, sadece tünelin haritalanması değil içeride hedef olabilecek unsurların da tespit edilmesi de amaçlanmıştır. Çalışmadaki robot bir FPV gözlük kaskı ve kumanda ile idare edilmektedir. Çalışmadaki robot elde ettiği verileri bilgisayar sistemine yönlendirme esnasında bağlantının kesilmesi halinde, o zaman kadar yaptığı haritalama bilgisi ile otonom şekilde başlangıç noktasına geri dönebilmektedir. Robottaki H şeklinde katlanabilen kanat sistemi, tünel gibi yerlerde kanatların

hem az yer kaplamasını hem kullanılmadığında küçülmesini sağlamaktadır. Çalışmadaki prototip robotta, çeşitli sensörler ve konumlandırma için GPS kullanılmıştır. Robotun, Gimbal sistemi denilen bir veri aktarım sistemi vardır. Bu sistem üzerinde görüntü ve veri aktarımı yapılmaktadır. Bu çalışmadaki robot, keşif araçlarının güncel kullanım amaçlarıyla ilgili önemli bir örnek teşkil ettiği için ilgili çalışmalar bölümüne eklenmiştir.

Örger ve diğ. çalışmalarında [5], uzay çalışmalarında kullanılabilecek bir keşif robotu tasarlamışlardır. Çalışmadaki amaçlarının, uzay araştırmalarında insanlı görevlere göre daha kolay ve pratik olacak şekilde gezici bir araç tasarlamak olduğunu ifade etmişlerdir. Bu hedef doğrultusunda araştırıcılar, çalışmada mikro olarak tarif edilebilecek boyutlarda ve ay ortamında çalışması düşünülen gezici Ay robot platformunun prototipi üzerinde yoğunlaşmışlardır. Çalışmadaki robotla gerçekleştirilmek istenen, Ay yüzeyindeki krater dış atım alanlarından örnek alabilmesini sağlayacak mekanizmaların ve temel hedef olarak ay aracın tasarımının yapılmasıdır. Çalışmadaki robot aracın gezici olması ve bu nedenle tekerlekli olması düşünülmüştür. Robotta tekerlek dışında, örnekler ve çeşitli numuneler alabilecek bir manipülatör kolda gerekli görülmüştür. Robotta aracı yönlendirme için bir kamera da gerekli görülmüştür. Bunun yanı sıra robot aracın, ay yüzey gölgelerinden güvenle bir tarama yapıp yön bulması için bir lazer tarama sistemi de gerekli görülmüştür. Bu çalışmada yapılmak istenen hedefler sunulmuş ve çalışmalara devam edilmektedir. Bu çalışmadaki ay robotu, keşif araçlarının kullanım amaçlarıyla ilgili önemli bir örnek olduğu için ilgili çalışmalar bölümüne eklenmiştir.

Kapusız ve Uzun çalışmalarında [6], Gökalp-01 adını verdikleri çok amaçlı bir robot tasarlamışlardır. Çalışma Arduino geliştirme kartı ile gerçekleştirilmiştir. Arduino geliştirme kartındaki yazılım aracılığıyla robot kamerasından canlı görüntüler elde edilebilmektedir. Robot, elde ettiği canlı görüntüleri wifi aracılığı ile telefon veya bilgisayarlara anlık olarak aktarabilmektedir. Robot aynı zamanda savunma amaçlı da kullanılabilmektedir. Robotun ön bölümünde bir lazer modülü bulunmaktadır. Bu modüldeki lazer ile hedefe atış sağlanarak hedefin imhası da mümkün hale gelmektedir. Araştırıcıların çok amaçlı tasarladıkları robotun kullanım amacını, etrafı keşif, arama - kurtarma ve savunma sanayinde hedef imhası olarak belirtmişlerdir. Geliştirilen robotun, paletli yapısıyla araziye ve engellere karşı da son derece hazırlıklı olduğu belirtilmiştir. Robotun uzak mesafelerden atış yapabilmesi de amaçlanmıştır. Bu amaçla hazırlanan robotun, uzun ve yüksek mesafelerde (600m kadar) bağlantısının kopmadığı ve verimli çalıştığı araştırıcılarca belirtilmiştir. Bu çalışmadaki çok amaçlı robot,

keşif araçlarının kullanım amaçlarıyla ilgili önemli bir örnek olduğu için ilgili çalışmalar bölümüne eklenmiştir.

Sakarya ve Alkan çalışmalarında [7], askeri kesif ve saldırı alanında kullanılma imkan ve kabiliyetine sahip insansız helikopter robotu geliştirmişlerdir. Araştırıcıların geliştirmiş olduğu insansız hava aracı, otonom kontrolle veya pilot tarafından kontrol edilebilmektedir. Araştırıcılar insansız helikopter robotu geliştirme amaçlarını, askeri personelin keşif yapması için ulaşımının güç ve risk barındırdığı sahalarda havadan keşif ve gözlem olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmadaki İHA helikopter sadece keşif amaçlı olmayıp geliştirilen diğer modeli, patlayıcı mühimmatıyla belirlenen hedeflere intihar saldırısı yapabilen bir prototip çalışmasıdır. Araştırıcılar çalışmalarını, Fedai (silahsız) ve Fedai - b (silahlı) olarak iki İHA helikopter prototipi olarak tasarlamışlardır. Fedai adını verdikleri çalışma yalnızca keşif ve izleme görevleri için kullanılmaktadır. Fedai - b ’de keşif ve izlemenin yanı sıra mühimmat bulundurup hedeflere kamikaze (intihar) saldırısı da yapabilmektedir. İHA’lar üzerine entegre kamerasındaki görüntüleri, alıcı-verici modülü ile kumanda modülündeki ekrana ve gözlüğe iletilmektedir. Çalışma C dili ile oluşturulmuştur. Bu çalışmadaki robot, keşif araçlarının kullanım amaçlarıyla ilgili önemli bir örnek olduğu için ilgili çalışmalar bölümüne eklenmiştir.

Uzunoğlu ve diğ. çalışmalarında [8], Akero ismini verdikleri bir akıllı keşif robotu tasarlamışlardır. Araştırıcılar robotun çalışma kapsamını, bir arazide keşfettiği nesnelerin özelliklerini algılayan ve kendi kontrol merkeziyle iletişim kurabilen bir otomasyon robotu olarak belirtmişlerdir. Araştırıcıların geliştirdiği robot temel olarak görüntü işleme ve yapay sinir ağlarıyla nesne tespiti yapmaktadır. Akero adlı robot, bir nesne tespit ettiğinde onu dost, düşman ve sivil olarak tanımlamaktadır. Çalışmadaki robot tespit ettiği nesneye ait, 30 görüntü ve 100 kareden oluşan hareketli görüntüyü gönderebilmektedir. Ayrıca robot yetkili kişiye sms ile uyarı da yapabilmektedir. Robot üzerinde bulunan donanımı aracılığıyla yanında bulunan personel için sesli anonsta yapabilmektedir. Araştırıcılar robotu istenildiği anda kumanda edebildikleri gibi uzaktan kamera ile online (çevrimiçi) video yayınını da takip edebilmektedirler. Çalışmadaki robotta mikrodenetleyici kullanılmıştır. Robot yazılımı ise StateFlow, Realtime Workshop ve Matlab kullanılarak oluşturulmuştur. Araştırıcıların yaptığı bu çalışma, keşif robotlarında yapay zekanın kullanıldığı örnek bir çalışma olması açısından önemlidir.

Talaş ve diğ. çalışmalarında [9], askeri amaçlı bir kesif robotu prototipi hazırlamışlardır. Çalışmalarındaki keşif robotunun yapımında Raspberry Pi 3 mini bilgisayarı kullanmışlardır. Yazılım kısmını ise Python kodlarıyla geliştirmişlerdir. Araştırıcılar çalışmalarında, derin öğrenme ile nesne keşif ve tespiti yapmıştır. İlgili prototipin çevreyi algılamasında OpenCV görüntü işleme kütüphanesi ve Google TensorFlow derin öğrenme kütüphanesi kullanılmıştır. Çalışmada Google tarafından hazır olarak paylaşılmış olan GitHub'tan erişilebilen bir SSD derin öğrenme sinir ağı modeli kullanılmıştır. Bu modelin düşük donanım kapasitesi gerektirmesi ve düşük işlem hacmi araştırıcı tarafından bir avantaj olarak görülmüştür. Bu model düşük işlem gücü gerektirirken, rakiplerine oranla daha az tahmin gücü olduğu ise ilgili araştırmacılar tarafından dezavantaj olarak ifade edilmiştir. Araştırıcılar nesne tahmini için %70 eşik değeri belirlemiş bu değer altındakileri ise tahmin olarak kabul etmemiştir. Prototip robot, tespit ettiği nesneleri konsol ekranına yazdırmış ve eşik oranında tespitler yapmıştır. Bu çalışma robotlarda yapay zekanın kullanımı hakkında bilgiler içerdiği için ilgili çalışmalar bölümüne eklenmiştir.

Atmoko ve Yang'ın çalışmalarında [32], endüstriyel kol robotlarının, IoT ekosistemi içindeki MQTT protokolü aracılığıyla çevrimiçi olarak izlenmesi ve kontrol edilmesi konu edinilmektedir. Araştırıcılar çalışmada, endüstriyel kol robotlarının önemi, bu robotların izlenmesi ve kontrol edilmesinin neden gerekli olduğu üzerine bilgiler vermektedir. Araştırıcılar sonrasında MQTT protokolünün çalışma prensibini açıklayıp MQTT'nin endüstriyel robotlarla nasıl entegre edilebileceği açıklamaktadır. Çalışma, endüstriyel kol robotlarının simülasyon ortamında MQTT ile uzaktan nasıl kontrol edilebildiğini göstermesi bakımından önemlidir. Bu çalışma robotlarda IoT ekosistemindeki MQTT'nin potansiyeli ve kullanımını araştırma açısından ilgili çalışmalara eklenmiştir.

Yılmaz çalışmasında [36], nesne tespit ve takibi yapan otonom bir robot tasarlamıştır. Araştırıcı çalışmasında Raspberry Pi mini bilgisayarını, geliştirdiği robotun donanımı olarak kullanmıştır. Araştırıcının çalışmasındaki robot, kamera vasıtasıyla elde ettiği görselleri kullanarak nesne takibi yapmaktadır. Çalışmada görüntü işleme OpenCv kütüphanesi kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada HSV renk uzayı kullanılarak kırmızı bir topun tespiti ve takibi yapılmıştır. Araştırıcı çalışmasının otonom araçlar, endüstriyel uygulamalar, askeri alanlar, lojistik vb. alanlarda kullanabileceğini belirtmiştir. Bu çalışma OpenCV ve Raspberry Pi'nin kullanımıyla ilgili bilgilendiriciliği bakımında ilgili çalışmalara eklenmiştir.

Baygeldi çalışmasında [37], nesne tespit ve takibi yapan otonom bir robot tasarlamıştır. Araştırıcı çalışmasında, Raspberry Pi mini bilgisayarını robot donanımı olarak kullanmıştır. Çalışmadaki robot, kamera aracılığıyla aldığı görüntüleri kullanarak nesne takibi yapmaktadır. Görüntü işleme için araştırıcı OpenCV görüntü işleme kütüphanesini kullanmıştır. Araştırıcı tasarladığı robotun amacını, keşif, gözlem gibi amaçlarla güvenlik alanlarında kullanılabilmesi olarak tanımlarken bunun yanı sıra askeri amaçlı malzeme taşınması ve doğal afetlerde insansız müdahale şeklinde özelleştirilebilir amaçlarda tanımlamıştır. Çalışma da HSV ve yCbCr renk uzayları görüntü işlemenin temelini oluşturmuştur. Çalışmada kırmızı renkli bir top tespit edilip otonom olarak takip edilmiştir. Çalışmada sadece kamera kullanarak herhangi bir mesafe sensörüne ihtiyaç duymadan alınan görüntüden piksellerin yakınlık uzaklık değerlerine göre algoritmayla takip yapılmaktadır. Bu çalışma OpenCV ve Raspberry Pi'nin kullanımıyla ilgili bilgilendiriciliği bakımında ilgili çalışmalara eklenmiştir.

Ceylan çalışmasında [38], dört rotorlu bir insansız hava aracının kamerasından elde ettiği görüntülerle nesne tespiti ve takibi yapmaktadır. Çalışmada Parrot AR. Drone 2.0 Power Edition ürünü kullanılmıştır. Araştırıcı, görüntü işleme çalışmasında OpenCV görüntü işleme kütüphanesini kullanılmıştır. Yazılım dili olarak ise Python dili kullanılmıştır. Araştırıcı elde ettiği görsellerden RGB, HLS ve YCbCr renk uzaylarında sırasıyla kırmızı top, sarı top ve son olarak sarı ve yeşil renkli dikdörtgen nesnelerin tespit ve takibini yapmıştır. Araştırıcı çalışmasında insansız hava araçlarının ve görüntü işleme platformlarının birlikte kullanılmasının önemli olduğunu, arama kurtarma gibi amaçlarda da kullanılabileceğini belirmiştir. Bu çalışma OpenCV kullanımının bilgilendiriciliği bakımından ilgili çalışmalara eklenmiştir.

Daş ve diğ. çalışmalarında [39], TensorFlow kütüphanesini kullanılarak sabit görseller, video görselleri ve webcam görselleri kullanarak nesne tespiti, nesne tanımlaması, takibi yapabilen bir uygulama geliştirilmiştir. TensorFlow kütüphanesi kullanılan bu derin öğrenme tabanlı uygulama çalışmasında nesne tespiti, tanıma ve takibi için R-CNN modelinden yararlanılmıştır. Kendi veri setini oluşturan ve TensorFlow'da eğiten araştırıcılar, gerçekleştirilen uygulama vasıtasıyla birçok görsel üzerinde test yaparak çalışmadaki uygulamanın güçlü ve zayıf tarafları analiz edilmeye çalışılmıştır. Araştırıcılar tarafından %98 başarı oranı yakalandığı ifade edilmiştir. Araştırıcılar tarafından ayrıca vurgulanan durum ise uygulamanın daha iyi çalışması için Faster R-CNN modelin kullanılmasının daha iyi olacağı ama bunun da daha iyi bir donanım gerektirdiğinin belirtilmesidir.

Sertkaya‘nın çalışmasında [42], derin öğrenme ile çalışan bir robot kol robotik sistemi oluşturulmuştur. Çalışmada Arduino Mega 2560 ve bir kamera kullanılarak görüntüler alınmıştır. Araştırıcı robotta yazılım dili olarak C# kullanmıştır. Alınan anlık görüntülerin tespiti için derin öğrenme tabanlı evrişimli sinir ağı - CNN modeli kullanılmıştır. Araştırıcı anlık veriyi hızlı olarak tespit etmek için CNN modelleri içinde ise R-CNN modelini kullanmıştır. Veri setini kendi oluşturan araştırıcı 40 adet eğitim verisi 17 adet test verisi toplam 57 adet veri kullanmıştır. Araştırıcı veri setindeki verileriyle %100 doğrulukta sonuca ulaştığını ifade etmektedir.

Sağlam ve diğ. çalışmalarında [43], geri dönüşüm atıkları için bir robotik donanım tasarlamışlar. Çalışma, cam, metal, kağıt vb. maddeleri ayrıştırıp sonrasında bunları ilgili kutulara atan kişilere bakiye vermektedir. Araştırıcılar çalışmalarında Raspberry Pi mini bilgisayarı, kamera ve çeşitli sensörler kullanarak bir robotik çalışma ortaya koymuşlardır. Çalışmaları görüntü işleme tabanlı olduğu için OpenCV görüntü işleme kütüphanesi kullanılmıştır. Nesne tespiti yapılan çalışmada derin öğrenme kütüphanesi olarak TensorFlow kütüphanesi kullanılmıştır. Bu çalışmada TensorFlow’da kullanılan veri, araştırıcılar tarafından 845 görüntü çekilerek eğitilmiştir. Bu verilerden 662 tanesi eğitim, 183 tanesi test için kullanılmıştır. Araştırıcıların yaptığı testler sonucunda %75,4 başarı oranı elde edilmiştir.

Xin ve diğ. çalışmalarında [47], IoT tabanlı bir enkaz arama ve kurtarma robot sistemi üzerinde yoğunlaşmışlardır. Araştırıcıların çalışmalarının amacı, robotların birbirleriyle ve merkezi bir kontrol sistemiyle bağlantı kurabilmesini sağlayan mimari bir ağ yapısı gerçekleştirmektir. Çalışmadaki bu ağ sisteminde robotlar, çeşitli sensörleri ve dahili kameraları vasıtasıyla çevrelerini izleyebilirken bunun sonucunda elde ettikleri verileri ağ üzerinden bir merkezi kontrol sistemine ulaştırabileceklerdir. Yapılan bu çalışmada elde edilen veriler, enkaz altında mahsur kalmış insanların tespiti, enkaz durumu hakkında detaylı bilgi edilmesi gibi amaçlar bakımından önemlidir. Bu çalışma, kurtarma faaliyetlerinin verimli ve güçlü bir biçimde yönetilmesi amacıyla kullanılabilir. Çalışma ayrıca, robotların hareket kontrolünün sağlaması, konumunun izlemesi, enerji yönetiminin sağlanması ve sistem güvenliği gibi durumların IoT tabanlı bir yazılımla nasıl kullanılabilir olduğunu göstermesi bakımından önemlidir. Bu çalışma robotlarda IoT’nin potansiyeli ve kullanımını araştırma açısından ilgili çalışmalara eklenmiştir.

3. YÖNTEM

3.1. KULLANILAN GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ

3.1.1. OpenCV

OpenCV, açık kaynak kodlu bilgisayarla görüntü işleme için kullanılan büyük bir kütüphanedir. Aslında görüntü isleme için kullanılsa da anlık zamanlı işlerde de oldukça kullanılmaktadır. OpenCV kütüphanesi webcam'ler, video kayıtları ya da başka cihaz türleri tarafından PC'ye ulaştırılan görsellerin elde edilmesini, analizini ve üzerinde değişiklik yapılmasını sağlayan çok sayıda işlev içerir. Ekrana çok basit bir çizgi ya da bir şekil çizmek gibi basit işlevler için kullanılabileceği gibi, kütüphanenin başka bölümleri yüzleri tanıma, hareketi tanıma ve şekilleri kavrama gibi detaylı analiz için çok sayıda algoritmalar içerir. OpenCV algoritmaları, ürün tanıma, tıbbi amaçlar, yüz algılama, hareket algılama, robotlar gibi alanlarda kullanılabilir [48]–[50]. Aslında bunlar bilgisayarla görüyle de ilgilidir. OpenCV'yi ticari amaçla ya da hobi amacıyla çeşitli şekillerde kullanarak geliştirme yapmak mümkündür. Güncel projelerde sıklıkla OpenCV ile karşılamak mümkündür [36]–[38], [49], [50]. TensorFlow'da modelleri çalıştırmak veya model geliştirmek için OpenCV kütüphanesine ihtiyaç duyulmaktadır [49]. Bu nedenle OpenCV kütüphanesi kesif robotu için gerekli olacaktır.

3.1.2. TensorFlow

TensorFlow, derin öğrenme sinir ağlarına dayalı işlemleri gerektiren alanlarda kullanılan bir makine öğrenmesi kütüphanesidir [9], [51], [52]. Derin öğrenme algoritmalarını kullanmak için Google tarafından geliştirilen TensorFlow yapay zeka alanında kullanılan önemli bir araçtır [39], [53]. TensorFlow bir ücretsiz ve özgür yazılım (open-source software) kütüphane olup, makine öğrenmesinin alt dalı olan derin öğrenmede yapay sinir ağlarını eğitme amaçlı kullanılabilmektedir [51]. Çoğunlukla tanımlama, tespit, sınıflama amaçlarıyla kullanılır. TensorFlow'da kullanılan derin öğrenme modelleri, nesne tanıma işlemini tüm görselde nesneleri tespit ederek değil ilgili görseli bölgelere bölüp sadece ilgili bölgelerde nesne tespiti yaparak gerçekleştirmektedir. Böylece işlem miktarını düşürmektedir. TensorFlow, yazılımcı kitlesinin kolayca yapay sinir ağları oluşturmalarına imkân sağlar [9], [39], [52].



Şekil 3.1: TensorFlow R-CNN kutu yapısı [9].

TensorFlow'da kullanılan bir model olan R-CNN, oluşturulduğunda milyonlarca görselden yararlanarak görselleri tasniflemek amacıyla eğitilmiş derin bir sinir ağıydı [9]. Daha sonra amacını nesne algılama amacıyla değiştirdi. Şekil 3.1'den de anlaşılabileceği gibi cisimlerin görselleri verildiğinde ilk başta bölgelere bölüp yeni bölgeler oluşturulur. Üretilen bu yeni bölgeler bağımsız olarak CNN derin öğrenme modeline iletilir. Sonunda üretilen her yeni bölgeye yeni bir etiket veya sınıflandırılmayla CNN çıkışı olarak döndürülür.



Şekil 3.2: TensorFlow ile nesne tespiti çıktısı [9].

TensorFlow kütüphanesindeki derin öğrenme modelleri kullanılarak, başta tek bir görsel bölge yeni bölgelere ayrılıp etiketlenir. Bu etiketlenen bölgeler Şekil 3.2'de görüldüğü gibi yeşil veya farklı renkte kare veya dikdörtgen diyebileceğimiz farklı boyutlu nesne kutularıyla çevrelenmiştir. Görselin ilk hali düşünüldüğünde bu görsel milyonlarca ufak dikdörtgene bölünüp çerçeveler oluşturulabilir ve bunlar üzerinde de nesne tespit işlemi yapılabilirdi. TensorFlow ise bölgeleme sayını 1000-2000 bölgeye düşürüp milyonlarca işlem sayısını oldukça küçük miktarlara indirmektedir. Buna karşın bir keşif robotunun kamerasından getirilen canlı görsellerden her bir kare veya dikdörtgen kutu için hemen hemen 2000 bölgede nesne tespit işlemi sağlanması özellikle düşük donanımlı elektronik cihazlarda uygun gözükmemektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde [9], [39], [42], [43], CNN, R-CNN, Fast

R-CNN, Faster R-CNN, SSD gibi farklı derin öğrenme sinir ağları modellerinin nesne tespiti için kullanıldığı belirlenmiştir. Google'nın geliştirdiği TensorFlow, bu derin öğrenme sinir ağı modelleri için hazır kullanılabilecek modeller sunmaktadır. Sunulan bu modeller GitHub aracılığıyla açık kaynak kod olarak paylaşılmaktadır [54], [55]. TensorFlow 1 Detection Model Zoo GitHub platformu incelendiğinde, paylaşılan bu modellerin çalışma zamanı süreleri ve çıktıları arasında düşük seviyeli donanımlarda uygun görülen mobil SSD'dir. Bu modeller düşük seviyeli donanımlarda hızlı çalışmaktadır. Buna karşın bu mobil modellerinin diğer modellere göre nesne tespit doğruluğu düşüktür. Derin öğrenme modelleri, cihazların işlemci donanımı üzerinde yaptığı işlem sayısı nedeniyle donanımsal bir kısıta neden olmaktadır. SSD modelinin Raspberry Pi gibi sistemlerde işlemci üzerindeki işlem yükünü azaltması nedeniyle nesne tespiti için seçilmesi yerinde görülebilir. Bu çalışmada Raspberry Pi 4 üzerinde nesne tespiti yapılması istendiğinden, TensorFlow1 Detection Model Zoo'daki SSD modeli seçilmiştir. SSD modeli de CNN modelleri gibi hazır ön eğitilmiş bir derin öğrenme modelidir [9], [52], [54]. SSD modellerinin içinden ise "SSD mobilenet v3 small coco" modeli seçilmiştir. Bunun sebebi de mobil model olduğu için Raspberry Pi gibi küçük cihazlardaki işlemci verimliliği ve hızıdır. SSD modelinin diğer modellere göre hız durumunun yüksekliğine, modelin daha az işlem gücü gerektiren başarı oranı daha düşük olan bir model olması neden olmaktadır. İlgili model, TensorFlow 1 Detection Model Zoo'dan indirilip keşif robotunda kullanılmıştır. TensorFlow 2 Detection Model Zoo'dan seçilen "SSD mobilenet v2 320x320" modeli ise keşif robotu tamamlandıktan sonra TensorFlow model eğitiminin nasıl yapıldığını gözlemlemek amacıyla kullanılmıştır. Bu model keşif robotunda kullanılmayacaktır. Model, Anaconda sanal ortamında TensorFlow 2 ile eğitildikten sonra laptop üzerindeki kameradan modelin çalışması gözlemlenecektir. Bu eğitimin TensorFlow 2 de yapılma gerekçesi uyumluluk sorunları olmuştur. TensorFlow 1 Detection Zoo'daki TensorFlow 1 modellerinin Anaconda sanal ortamında eğitimi için 3.7 ve altı Python sürümü gerekmesi ve eski Python sürümleriyle bağımlılıkları olan çeşitli yüklemelerde Anaconda import'larında güncelleme ve uyumluluk sorunları oluştuğu için aynı modelin eğitimi yapılamamıştır. Bunun yerine farklı bir TensorFlow 2 modeli kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında TensorFlow kütüphanesi kullanılarak keşif robotu ile nesne tespiti yapılmıştır. Sonrasında ise bir model eğitimi gerçekleştirilmiş ve sonuçları gözlenmiştir. Bu nedenle tez çalışma için gerekli bir kütüphane olup bu tez çalışmasında kullanılmıştır.

3.2. KULLANILAN PROGRAMLAMA DİLİ VE ARAÇLAR

3.2.1. Python

Python, Guido van Rossum tarafından 1980'lerin sonuna doğru geliştirilen bir programlama dilidir. Python dilinin ismi, geliştiricisine ilham kaynağı olan 1970'li yılların TV komedi programı olan "Monty Python's Flyin Circus" dan gelmektedir. Python geliştirilirken ABC, AlGOL 68, C, JAVA vb. birçok programlama dilinden etkilenmiştir [56], [57] . Python 1.0 1994'te piyasaya sürüldüğünde günümüzdeki kadar popüler değildi. Kısa süre içerisinde bu programlama diline ilgi artmış oldu. Daha sonra Python 2.0 sürümü piyasaya sürüldü en son 2.7'ye kadar bu sürüm desteği devam etti. Günümüzde desteklenmese de hala bu sürümde çalışan pek çok uygulama vardır. Bunların hala pek çoğu 3.x sürümlerine entegre değildir. Python 3.0 sürümü, 2008 yılında sunuldu. Bu sürüm, 2.x sürümlerinden bağımsız olarak kurgulandı. Önceki sürümlere yönelik uyum hedefi olmayan Python 3.0 sürümü, günümüzde 3.x sürümleri ile güncel şekilde çalışmaktadır. İlgili sürümler Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te gözükmektedir. Şu an bu tez metni itibariyle en güncel sürümü Python 3.11.3 dür [57]. Çalışmadaki keşif robotu Python kullanılarak oluşturulmuştur. Anaconda sanal ortamında 3.7 ve 3.9 versiyonları kullanılarak farklı versiyonlarda çalışmalar yapılmıştır. En güncel versiyon diğer programlarla uyumluluk ve kararlı sürüm sorunları nedeniyle tercih sebebi olmamıştır.



Şekil 3.3: Python dili logosu ve güncel sürümü [57].



Şekil 3.4: Python sürümleri [57].

Python'un bu kadar popüler bir dil olmasında ücretsiz ve özgür yazılım (open-source software) olması başlıca etkendir. Öğrenmesi oldukça kolaydır. Kod yapısında girintileme ile kullanılır. Bu kodun okunurluğu arttıran bir özelliktir. Pek çok dile kıyasla daha az kod satırıyla amaca ulaşmak Python'da mümkündür [56], [57].

3.2.2. Anaconda

Farklı Python sürümlerinde uygulama geliştirmek, sanal ortamlarda çalışmak için kullanılan bir geliştirme dağıtımıdır. Üzerinde sanal ortamlar kurulup, farklı Python sürümleri ve farklı TensorFlow sürümleri kullanılıp eğitilmiş modeller çalıştırabilmektedir. Makine öğrenmesi ve derin öğrenme model eğitimleri için kullanılan, TensorFlow kütüphanesiyle Custom Model Object Detection eğitimleri de Anaconda'da gerçekleştirilebilir [58]. Keşif robotunda doğrudan gerekliği olan bir yükleme olmasa da sonrasında yapılan model eğitiminde kullanacağımız bir sanal geliştirme ortamını oluşturmaktadır.

3.2.3. Flask

Python programlama dili ile yazılmış olan Flask, web uygulamaları oluşturmak için kullanılan hafif ve basit bir çerçevedir. Keşif robotunun web arayüzünü oluşturmak için Python'la etkileşimli kullanılmıştır [59]. Keşif robotunun VNC Viewer gibi araçlara ihtiyaç duymadan kendi arayüzünü kullanıp yönetilmesi için kullanılması düşünülmüştür.

3.3. KULANILAN MALZEMELER VE EKİPMANLAR

Bu bölümde önem sırasına göre prototip keşif robotunda kullanılan malzemeler hakkında bilgiler verilmiştir.

3.3.1. Raspberry Pi

Raspberry Pi, mikro bilgisayar olarak adlandırabileceğimiz bir kartın adıdır. Raspberry Pi'nin ortaya çıkışı, insanların bilgisayara erişimini kolaylaştırmayı, bilgisayar kullanımı artırmayı ve eğitimi kolaylaştırmayı sağlamak isteyen Britanya kaynaklı bir yardım kuruluşu olan Raspberry Pi Foundation adlı kuruluşa dayanmaktadır [60], [61].



Şekil 3.5: Raspberry Pi 4'ün bir görüntüsü

İlk Pi 2012 yılında piyasaya sunulmuştu [61]. O zamanlardaki Raspberry Pi modelleri daha düşük RAM kapasitelerine sahipken günümüzde 4gb, 8gb RAM gibi güçlü donanıma sahip modelleri de bulunmaktadır [60]. Raspberry Pi'yi çeşitli amaçlarda kullanabilmek mümkündür. Raspberry Pi'yi masaüstü bilgisayar gibi kullanmak mümkünken web server, ev otomasyonu ve çeşitli projelerde değişik amaçlarda geliştirici kartı olarak kullanmak da mümkündür. Kesif robotunda Raspberry Pi 4b modeli kullanılacaktır. Keşif robotunda kullanılacak Raspberry Pi 4'ün görseli Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

3.3.2. Diğer Ekipmanlar

3.3.2.1. Raspberry Pi Uyumlu Kamera

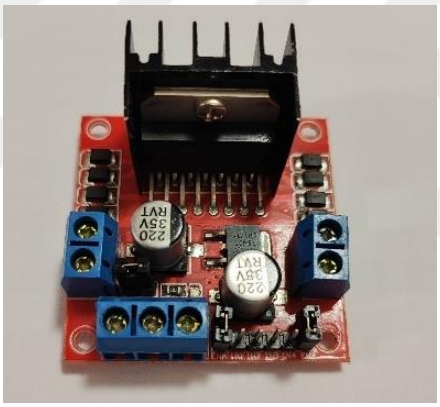
Raspberry Pi'den görüntü almak iki şekilde yöntemle yapılabilir. Bir webcam ile ya da hazır satılan Raspberry Pi uyumlu bir kamera modülü ile görüntü alınabilir. Piyasada satılan hazır modül kameralardan birini almak yönünde bir karar verilip malzeme temini gerçekleştirilmiştir. Raspberry Pi kamera modülü 5 MP çözünürlük, 1080p Full HD ve 30fps özelliklere sahiptir. Kamera bir kart üzerine yerleşiktir. Bu kartın boyutları 25x20 mm'dir. Bu kamera modülünü tercih sebebi, ağırlık yönünden hafif ve küçük boyutlu olması olmasıdır. Bu nedenle webcam yerine tercih edilmiştir. Şekil 3.6'da bir örneği görülen kamera modülü Raspberry Pi işletim sisteminde de desteklenmektedir.



Şekil 3.6: Raspberry Pi kamera modülü.

3.3.2.2. Motor Sürücü Devresi

L298N motor sürücü devresi, -20 ile +135 arası sıcaklıkta, 5 ile 35 volt aralığında ve maksimum 2A ile çalışmaktadır. Bu sürücü devresi DC motorların Raspberry Pi tarafından yönetilebilmesi için gerekli olan bir elektronik parçadır. Motor sürücü parçası Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 3.7: L298N motor sürücü.

3.3.2.3. DC Motor ve Tekerlek

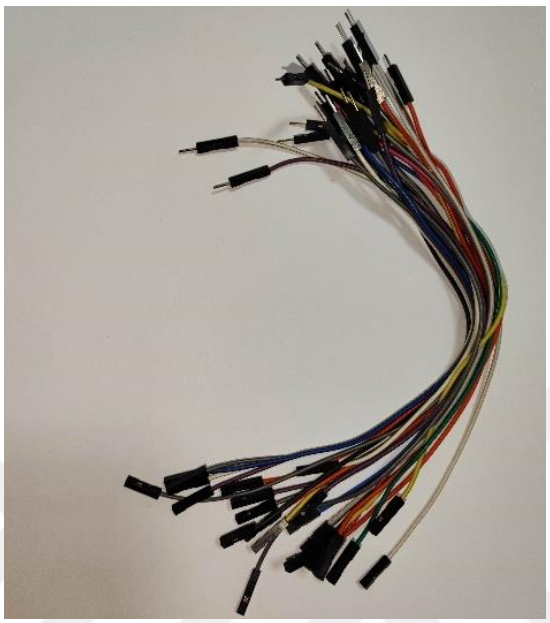
Robotun hareketini sağlamak üzere kullanılan Şekil 3.8'de gösterilen Direct Current - DC motor ve tekerlek çifti uygun fiyatlı kolaylıkla temin edilebilecek standart bir üründür.



Şekil 3.8: DC motor ve tekerlek.

3.3.2.4. Kablolar

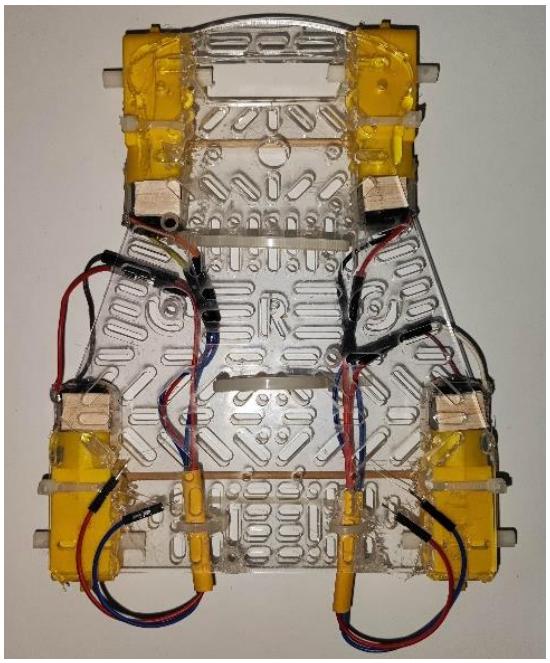
Raspberry Pi'nin, DC motorlar, batarya ve motor sürücü ile birleştirilmesini sağlayan robotik malzemecilerde kolaylıkla bulunabilecek standart jumper kablolar, keşif robotunun elektronik iletkenliği ve devamlılığını sağlamaktadır. Jumper kablolar Şekil 3.9'da gözükmektedir.



Şekil 3.9: Jumper kablolar.

3.3.2.5. Genel Amaçlı Robot Gövdesi (Şase)

Çok sayıda robot marketinde bulunabilecek üzerinde delikler ve boşluklar bulunan bu plastik gövde, robotu oluşturan malzemelerin montajlanacağı gövdedir. Şekil 3.10'da bir örneği verilmiştir.



Şekil 3.10: Genel amaçlı robot gövdesi (Şase).

3.3.2.6. Raspberry Pi Batarya Modülü ve Powerbank

Batarya modülü, Raspberry Pi üzerine oturtularak dahili 3.7V 14500 lityum ion pili ile Raspberry Pi kartına güç desteği sağlamaktadır. Modülün pil gücü yeterli olmadığı durumda powerbank de güç kaynağı olarak kullanılacaktır. Şekil 3.11'de gösterilen batarya modülü ve powerbank, Raspberry Pi enerjisini sağlayacak güç kaynaklarıdır.



Şekil 3.11: Batarya modülü, 14500 lityum pil ve powerbank.

3.3.2.7. Robot Güç Kaynağı

Çalışmada kullanılan 7,4 volt 2200 mAh batarya, Raspberry Pi modülü üzerinde akım ve voltajın DC motorları çalıştırmak yetersiz olması ve DC motorlarının daha fazla batarya gücüne ihtiyaç duyması nedeniyle kullanılacaktır. Robotun güç kaynağı Şekil 3.12'de gösterilmektedir.



Şekil 3.12: Robot güç kaynağı 7.4V batarya.

3.3.2.8. Mini Hafıza Kartı

Üzerine işletim sistemi ve gerekli programları kurmak için gerekli hafıza bileşenidir. Mini hafıza kartı bileşeni Şekil 3.13'de gösterilmektedir.



Şekil 3.13: Mini hafıza kartı.

3.3.2.9. Alüminyum Soğutucu (Heat Sink)

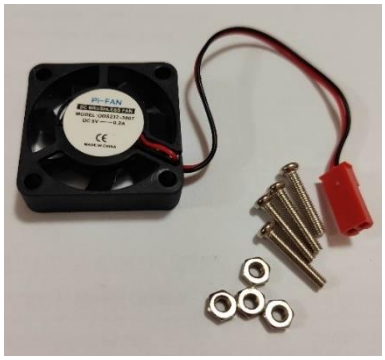
Alüminyum soğutucu parçası (heat sink) Raspberry Pi'nin ısınmadan zarar görebilecek donanımsal yüzeyleri için gerekli bir malzeme olduğuna karar verilip kullanılmıştır. Şekil 3.14'te görülen bu parçalar işlemci gibi fazla ısınan Raspberry Pi parçalarının üzerine yapıştırılmaktadır.



Şekil 3.14: Alüminyum soğutucu (Heat sink).

3.3.2.10. Soğutucu Fan

Raspberry Pi muhafaza kutusuna montajlanacak soğutucu fan, ısınmadan zarar görebilecek yüzeyler için soğutma amaçlı kullanılmıştır. Şekil 3.15'te görülen bu parça işlemci gibi fazla ısınan Raspberry Pi parçalarını soğutmak için kullanılacaktır. Soğutucu fan, 5V ile çalışmaktadır.



Şekil 3.15: Soğutucu fan.

3.3.2.11. Raspberry Pi Muhafaza Kutusu

Raspberry Pi'ye çevreden gelebilecek etkiler için kullanılan muhafaza kutusu Şekil 3.16'da gözükmektedir.

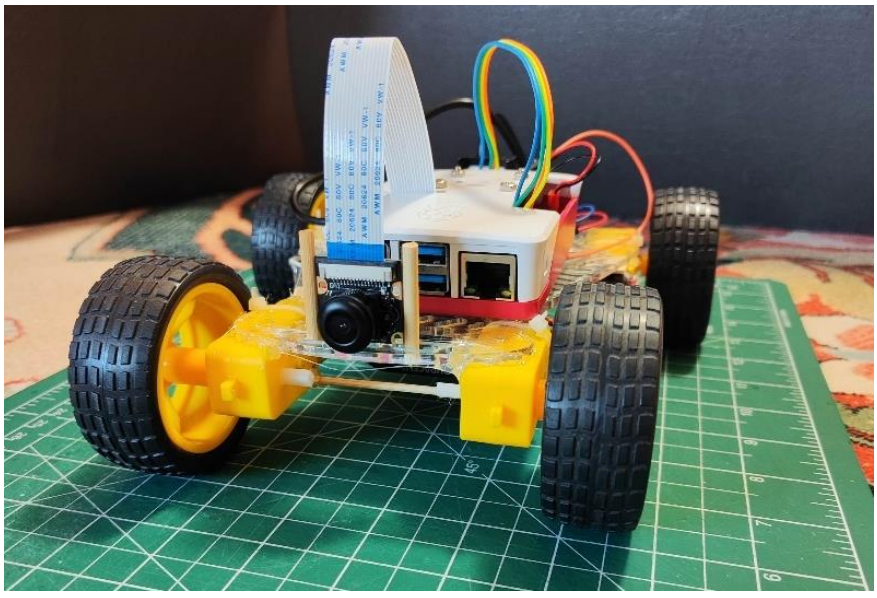


Şekil 3.16: Raspberry Pi muhafaza kutusu.

3.4. OLUŞTURULAN PROTOTİP ROBOT

3.4.1. Keşif Robot Donanımı

Oluşturulan keşif robotun gövdesi, basit plastik şeffaf bir şasedir. Bu şasenin birleşimi, gövdeye yerleştirilen dört adet DC motor, bir adet Raspberry Pi 4, bir adet 5v batarya modülü, bir adet motor sürücü, bir adet 7.4v batarya, dört adet tekerlek, bağlantıları sağlayacak miktarda jumper kablo, gövdeyi bir arada tutan cırt kelepçe ve mum silikon yapıştırıcı gibi çeşitli yapışkan malzemelerin bir araya getirilmesinden oluşmaktadır. Birleştirilen keşif robot donanımı Şekil 3.17'de gösterilmektedir.

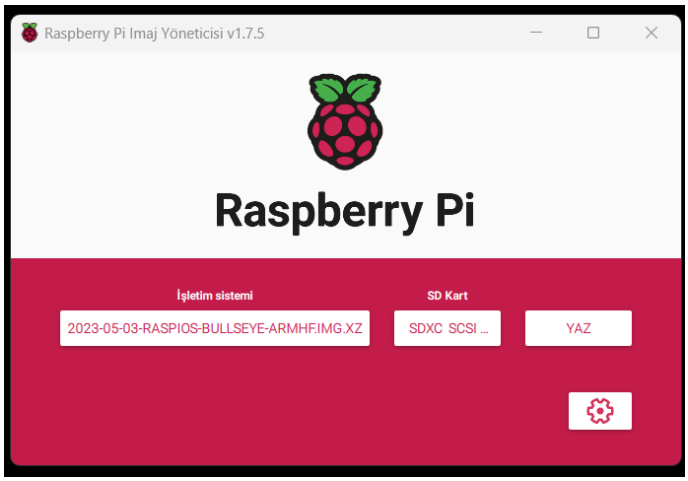


Şekil 3.17: Birleştirilen keşif robotu

Oluşturulan keşif robotu devresi, iki adet güç kaynağı ile beslenmektedir. Keşif robotunun DC motorlarını çalıştırabilmek için Raspberry Pi batarya modülüne oranla yüksek güç sağlayabilecek bir güç kaynağı da gerekmektedir. Raspberry Pi 4/B deki dört adet General Purpose Input Output - GPIO pini DC motorların sürülmesi için kullanılacak olan L298N motor sürücüsüne, sinyal gönderimi için tahsis edilmiş olmaktadır. Bu GPIO pinleri, motor sürücünün 1 ve 2'nolu 3 ve 4'nolu girişlerine montajlanmıştır. Motor sürücüsü, DC motorları öne ve arkaya yönlendirebilmektedir. Motor sürücünün bir numaralı pinine sinyal tetikleme yapılırsa, solundaki motorları öne hareket ettirirken, motor sürücünün iki numaralı pinine sinyal tetiklendiğinde ise sol motorları arkaya hareket ettirmektedir. Motor sürücünün üç numaralı pinine sinyal tetikleme yapılırsa sağındaki motorları öne hareket ettirecek olup, motor sürücünün dört numaralı pinine sinyal tetikleme yapılırsa sağındaki motorları arkaya hareket ettirecektir. Keşif robotu gövdesine montajlı dört DC motor kullanılmıştır. Bu motorlar sol hizada ve sağ hizada paralel bağlanmış ikişer motor çifti halinde bulunmaktadır. Böylece keşif robotunun sol ve sağındaki motorlar birbirinden bağımsız hareket edebilecek ancak tekerlek çiftleri olarak birbiriyle bağımlı şekilde çalışacaktır.

3.4.2. Keşif Robot Yazılımı

Bu tez çalışmasında Python programlama diliyle robot yazılımı oluşturulmuştur. Oluşturulan keşif robot yazılımı Raspberry Pi 4 mini bilgisayarında, Raspbian Operating System - OS üzerinde çalıştırılmıştır. Bunun için önce keşif robot yazılımı oluşturmaya başlamadan Raspberry Pi 4 mini bilgisayarına takılacak hafıza kartına Raspbian OS (Şekil 3.18) yüklenmiştir.



Şekil 3.18: Raspbian OS kurulumu

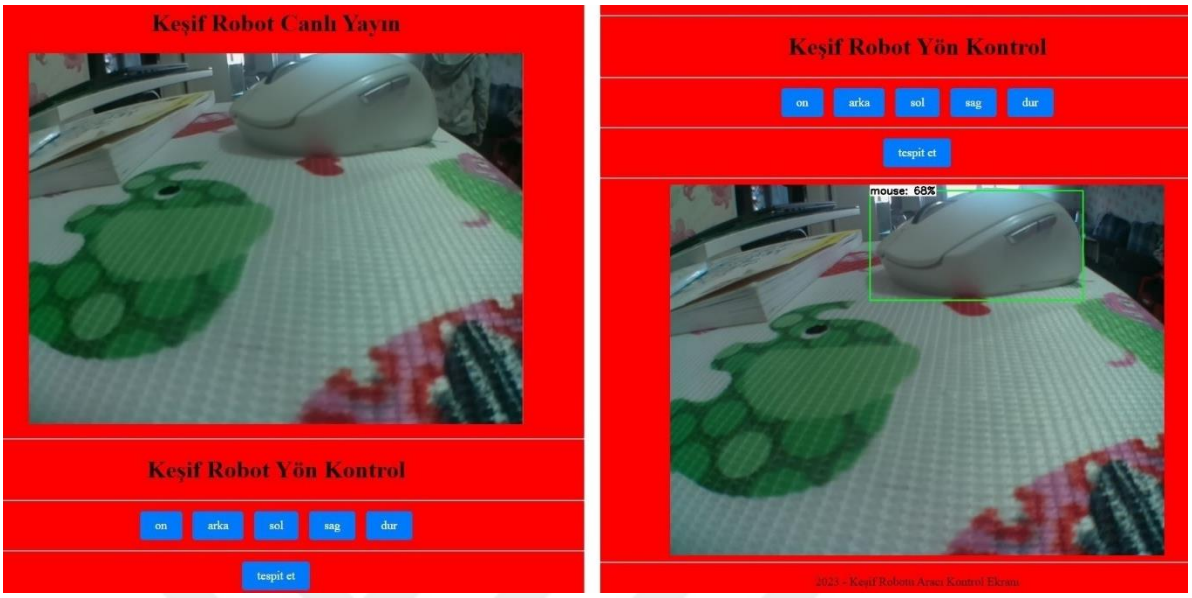
Sonrasında Raspberry Pi'ye ayrı bir monitör bağlamadan laptop ekranından Raspberry Pi'yi kontrol edebilmek için Virtual Network Computing - VNC Viewer (Şekil 3.19) yüklenmiştir.



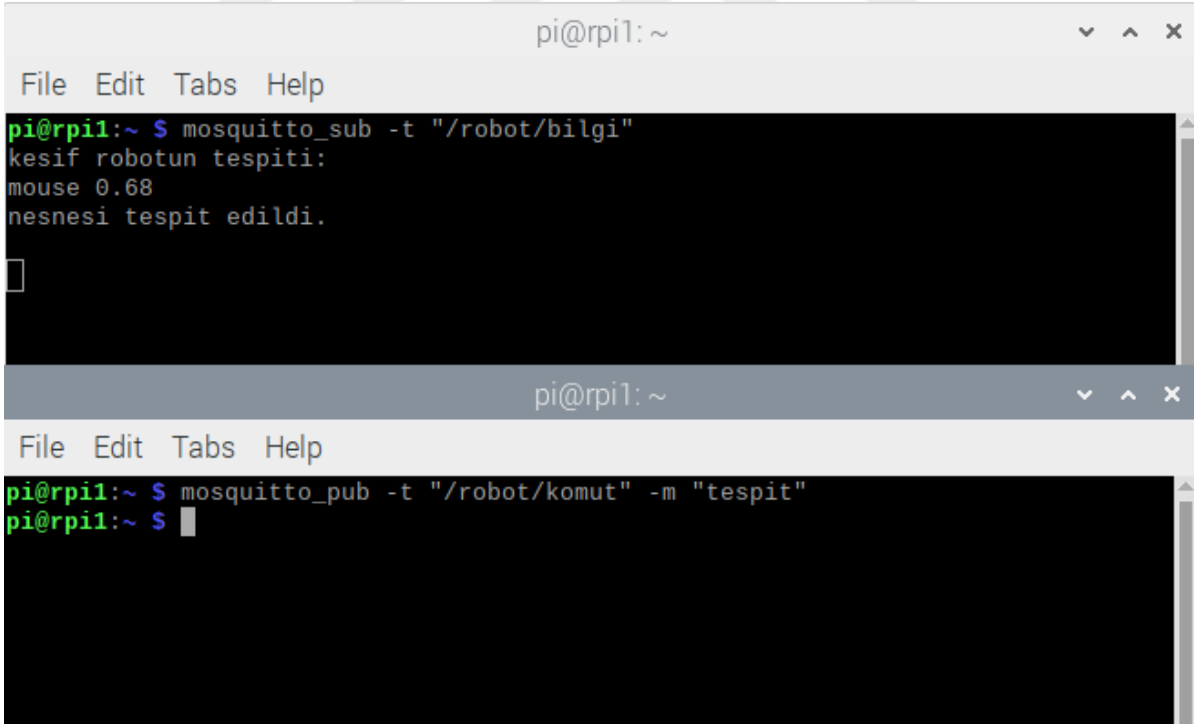
Şekil 3.19: VNC Viewer arayüzü

Raspberry Pi Raspbian OS ile birlikte Python'da sisteme yüklü olarak gelmektedir. İşletim sistemi yüklemesi sonrasında sisteme OpenCV ve TensorFlow kütüphaneleri kurularak keşif robot yazılımının çalışma ortamı hazırlanmıştır. Yazılım için temel çalışma kütüphaneleri hazırlandıktan sonra GitHub'da bulunan TensorFlow 1 Detection Model Zoo'dan SSD hazır modeli de temin edilmiştir. Bu çalışma ortamı gereksinimleri ve indirmelerden sonra keşif robotunun yazılımını hazırlama süreci başlamıştır. İlk olarak canlı yayın akışını ve robotu yönlendirmeyi sağlayan kontrol paneli olan Flask çerçevesi arayüzünü oluşturmaya gidilmiştir. Keşif robotunun gövdesinde bulunan Raspberry Pi kamerasından görseller alınarak bu arayüzde yayınlanmaya başlanmıştır. Arayüzde robotu hareket ettirmek için butonlar oluşturulmuş ve bu butonlarla hareket sağlanmıştır. Arayüzdeki tespit butonuyla da, nesne tespitini yapmayı sağlayan SSD modelini içeren kodlar çağırılarak nesne tespiti yapılmaktadır. Flask çerçevesi arayüzü kullanılarak yönetilen versiyon robotun kontrolünün ilk versiyonu olmaktadır. Oluşturulan keşif robotu yazılımı MQTT ile de tespitleri iletmektedir. Bu versiyonda görüntü tespit akışı bir pencere olarak VNC ekranına yansıtılırken, MQTT broker'ı olan mosquitto sub ve pub komutları aracılığıyla MQTT ile iletişim kurulmaktadır. Bu versiyonda MQTT konsol ekranından komutlar verilebilmektedir. Keşif robotunca yapılan tespitlerde konsola komutlar olarak gönderilmektedir. Bir diğer kontrol versiyonu da Telegram uygulamasıyladır. Bu kontrol versiyonunda botfather ile oluşturulan bot aracılığıyla, Telegram uygulaması üzerinden nesne tespiti komutu verilerek nesne tespit sonuçları alınabilmektedir. Botfather, bot oluşturmaya yarayan Telegram botudur. Botfather'dan verilen key ile botu oluşturulan keşif robotuyla iletişim kurulmaktadır. Sonrasında keşif robotundaki Telegram Python kod modülü çalıştırılarak, Telegram uygulamasındaki KeşifRobotuBot'a mesajlaşma aracığıyla tespit

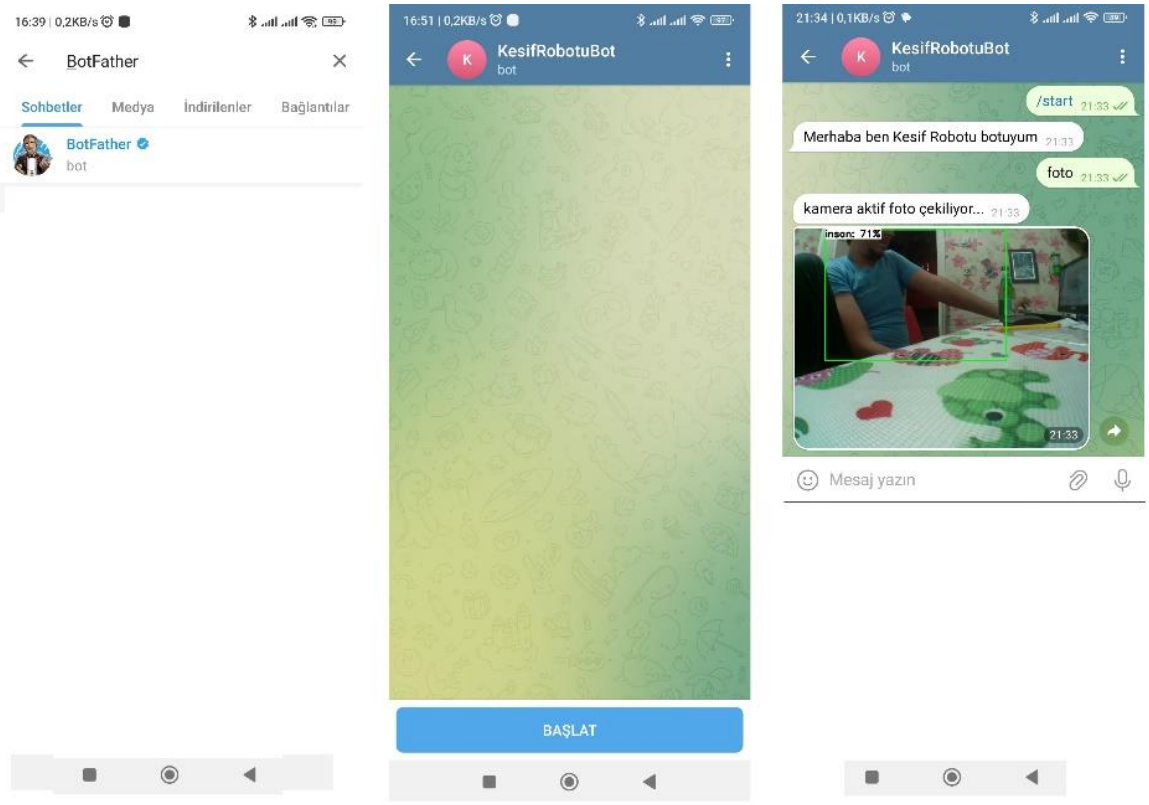
komutları verilip keşif robotundan nesne tespitleri alınmaktadır. Keşif robotundaki girdiler özetlenecek olursa, kameradan alınan görüntüler, Flask arayüzünden alınan hareket ve tespit et istemli buton girdileri, MQTT'den ve Telegram uygulamasından alınan tespit isteme komut girdileridir. Keşif robotu yazılımının çıktılarından ilki, Raspberry Pi kamerasından alınan görüntünün derin öğrenme yapılarak, nesnenin bir kare çerçeve içinde etiketlenip tespit edilmesi işlemidir. Bu işlem sonrasında seçilen kontrol kullanıma göre, keşif robotu kamerası tespit ettiği nesneleri çerçeve içinde işaretli olarak Flask ekranına, komut satırı olarak MQTT konsol ekranına ya da Telegram uygulamasına yansıtacaktır. Diğer çıktımız, motor sürücünün pinlerine Raspberry Pi GPIO pinlerinden yollanan sinyallerdir. Böylece çıktı olarak robot hareket edecektir. Keşif robotu yazılımı modüller şeklinde çalışacaktır. Oluşturulan modüller istenen komutlara göre modüller halindedir. Hareket ettirilmek istendiğinde hareket, nesne tespiti istendiğinde nesne tespiti modülü çağırılacaktır. Hareket modülü içindeki fonksiyonlar, sağa hareket, sola hareket, öne hareket arkaya hareket ve dur olarak belirtilmiştir. Bu fonksiyonlar istenilen hareket komutları verildiğinde çağrılarak keşif robotu hareket ettirilecektir. TensorFlow'u çalıştıran Python modülü hakkında bilgi verecek olursak, TensorFlow modülündeki fonksiyon içerisindeki tanımlamalarda kullanılacak hazır ön eğitimli öğrenme modeli ve bu modelin dosya yolunun tanımlamaları bulunmaktadır. TensorFlow, OpenCV'den anlık görüntüyü alacaktır. Bu adımın sonrasında TensorFlow'daki SSD öğrenme modeli aldığı görüntüleri, bir görüntü çerçevesinde tespit edip nesneleri işaretleyerek döndürecektir. SSD modeli görüntüleri yeşil renkli çerçeve içine alıp tahminler oluşturmaktadır. TensorFlow'un SSD modelinin yaptığı bu tahminlerin, bir isabetlilik oranı bulunmaktadır. Çalışmada bu oran için istenilen değer ayarlanabilmektedir. Çalışmanın isabetlilik eşik değeri %60 belirlenmiştir. TensorFlow'daki SSD öğrenme modeli tarafından yüzde %60 eşik değerin altında çıkartılan tahminler dikkate alınmayacaktır. Bu yüzden yalnızca eşik değeri ve eşik oranının üzerindeki nesne tahminleri keşif robotunun uzaktan komuta edildiği ekrana gönderilecektir. Komuta ekranı, Şekil 3.20'de görülen Flask ekranı, Şekil 3.21'deki MQTT konsol ekranı, Şekil 3.22'de görülen Telegram ekranı olabilmektedir. Versiyonlara göre bunlar değişebilmektedir. Prototip bir robot, olduğu için tüm versiyonlar ihtiyaca göre kullanılmıştır. Şekil 3.20 - Şekil 3.24 aralığında keşif robotu ve kontrol arayüzlerinden çeşitli görsel örnekleri yer almaktadır.



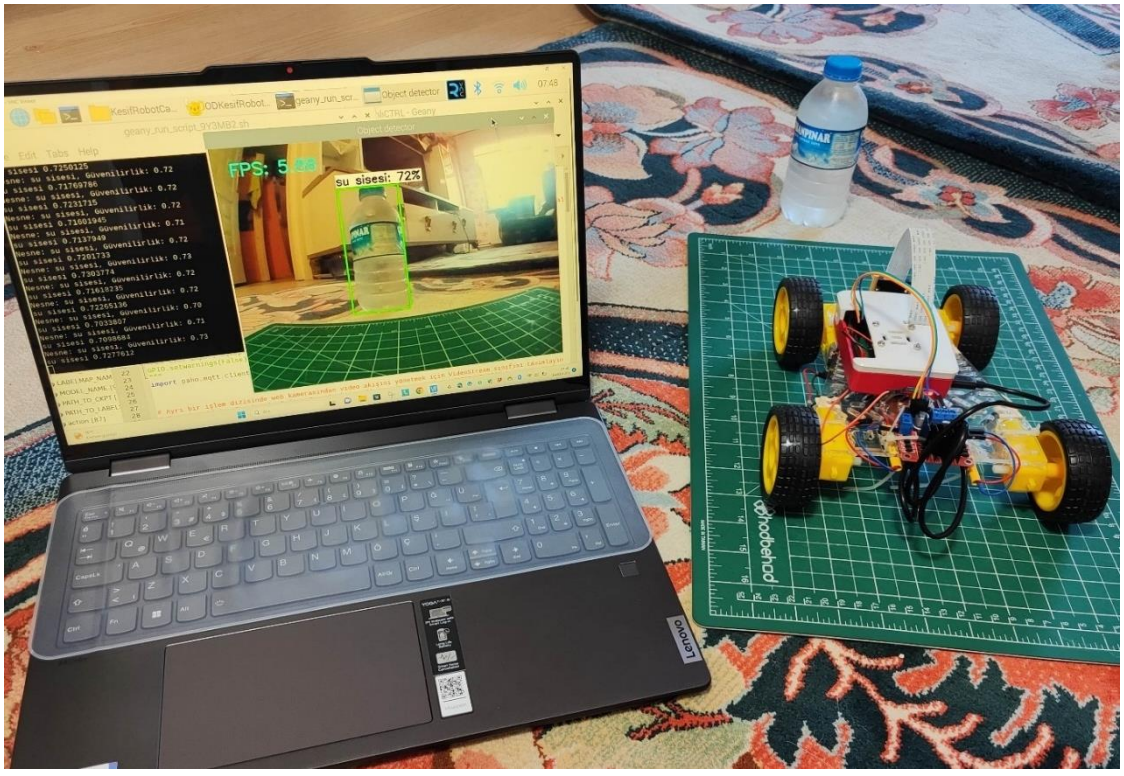
Şekil 3.20: Keşif robotu Flask ekranı nesne tespiti sonucu



Şekil 3.21: Keşif robotu MQTT konsol ekranı nesne tespiti sonucu



Şekil 3.22: Keşif robotu Telegram Bot ekranı nesne tespiti sonucu



Şekil 3.23: Keşif robotu nesne tespiti testi ve konsol ekranı

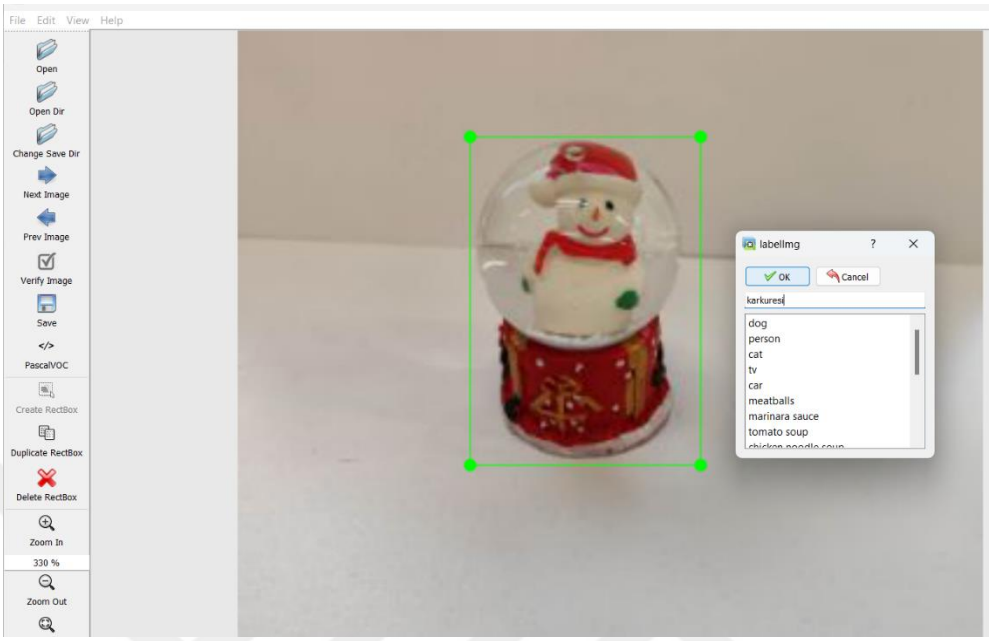


Şekil 3.24: Keşif robotu nesne tespiti testi ve Flask çerçevesi arayüzü

3.5. TENSORFLOW MODEL EĞİTİM ÇALIŞMASI

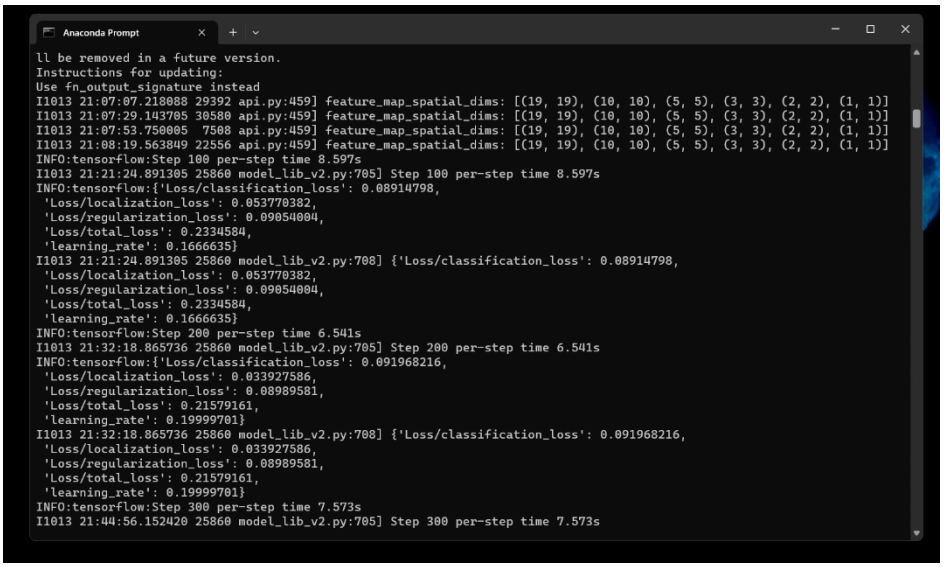
Kesif robotu çalışmasında GitHub TensorFlow 1 Detection Model Zoo'dan erişebilinen "SSD mobilenet v3 small coco" hazır modeli kullanılmış ve robot çalıştırılıp gözlenerek ilgili bulgulara ulaşılmıştır. Bununla ilgili elde edilen tespit verileri bölümün devamındaki bulgularda paylaşılmıştır. Prototip robotu tamamlayıp hazır modeli test ettikten sonra GitHub TensorFlow 2 Detection Model Zoo'dan erişebilinen bir başka hazır model olan "SSD mobilenet v2 320x320" modeliyle bir TensorFlow 2 model eğitimi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Buradaki eğitim, keşif robotunun gelecekteki çalışmalarında kullanmak üzere derin öğrenme model eğitimi çalışmasının nasıl yapıldığını incelemek amaçlı yapılmış olup keşif robotunda değil Anaconda sanal ortamında ve laptop kamerası kullanılarak çalıştırılmıştır. Bu amaçla hazırlanan 75'i test 300 'ü eğitim verisi olmak üzere 375 adet görsel veriden çalışma yapılmıştır. Veriler için seçilen nesneler; "kar küresi", "şerit metre", "kedili kulaklık" nesneleridir. Seçilen bu üç farklı cismi tespit amaçlı, nesnelerin resimleri çekilerek test ve

eğitim verisi için resimler toplanmıştır. Bu resimler daha sonra labelImg adlı etiketleme aracında etiketlenmiştir. Şekil 3.25'te labelImg aracında bir etiketleme çalışması gösterilmiştir.

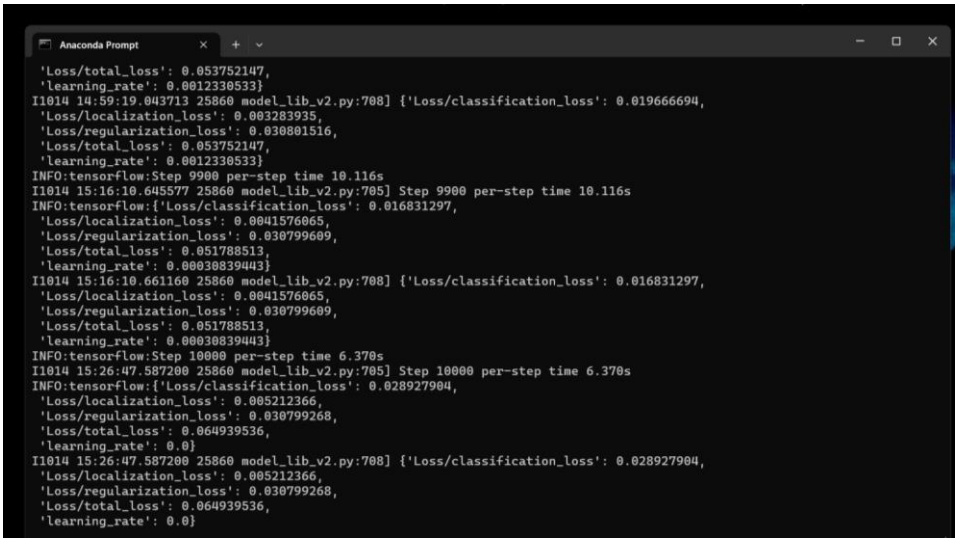


Şekil 3.25: Eğitimde kullanılacak bir resimin labelImg ile etiketlenmesi

Anaconda aracındaki sanal ortamda modelmaster ve labelImg kullanılarak TensorFlow 2'de model eğitimi yapılmıştır [62]. Modelmaster, model eğitimlerinin yapılabilmesi için kullanılan bir TensorFlow laboratuvar ortamı gibi düşünülebilir. Bu ortam, GitHub'tan indirilip ayarlamalar yapılıp Anaconda'da çalıştırılmıştır. Eğitim CPU ile eğitim yöntemi kullanılarak 10000 adımda gerçekleşmiştir. Şekil 3.26 ve 3.27'de modelin eğitimi gösterilmektedir.

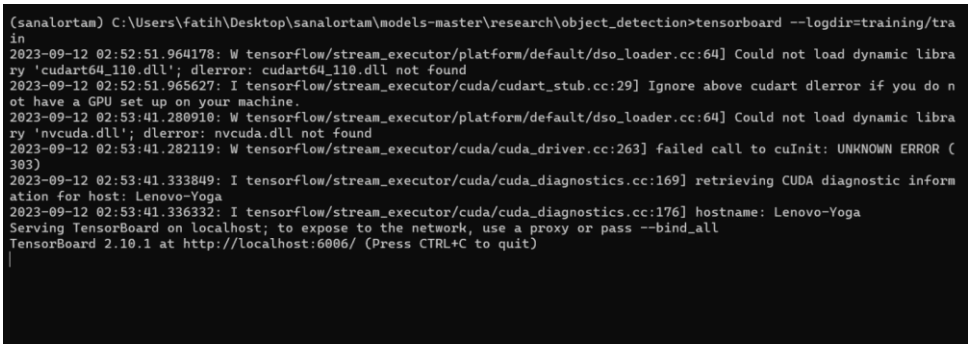


Şekil 3.26: TensorFlow'da model eğitimi başlangıcı Anaconda Prompt ekranı

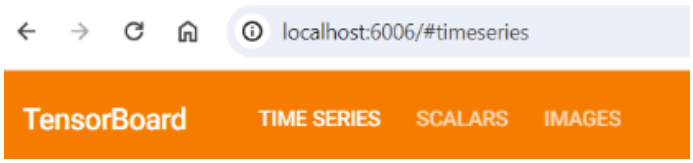


Şekil 3.27: TensorFlow'da model eğitimi sonu Anaconda Prompt ekranı

Sonrasında elde edilen eğitilmiş model, laptop web kamerasında çalıştırılmıştır. Eğitilen modelden elde edilen veriler bu bölüm devamındaki bulgular bölümünde paylaşılmıştır. Ayrıca modelin TensorBoard'tan elde edilen grafik verileri de paylaşılmıştır. TensorBoard, TensorFlow'un bir bileşeni ve model eğitimi izleme görselleştirme aracıdır. TensorBoard, model eğitimi boyunca eğitim sürecini takip edip anlamak amacıyla kullanılır [63]. TensorBoard'un Anacaonda prompt ve tarayıcıdaki açılış komutları Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'da gösterilmektedir.



Şekil 3.28: Model eğitimi sırasında Anaconda Prompt'unda TensorBoard açılış komutu

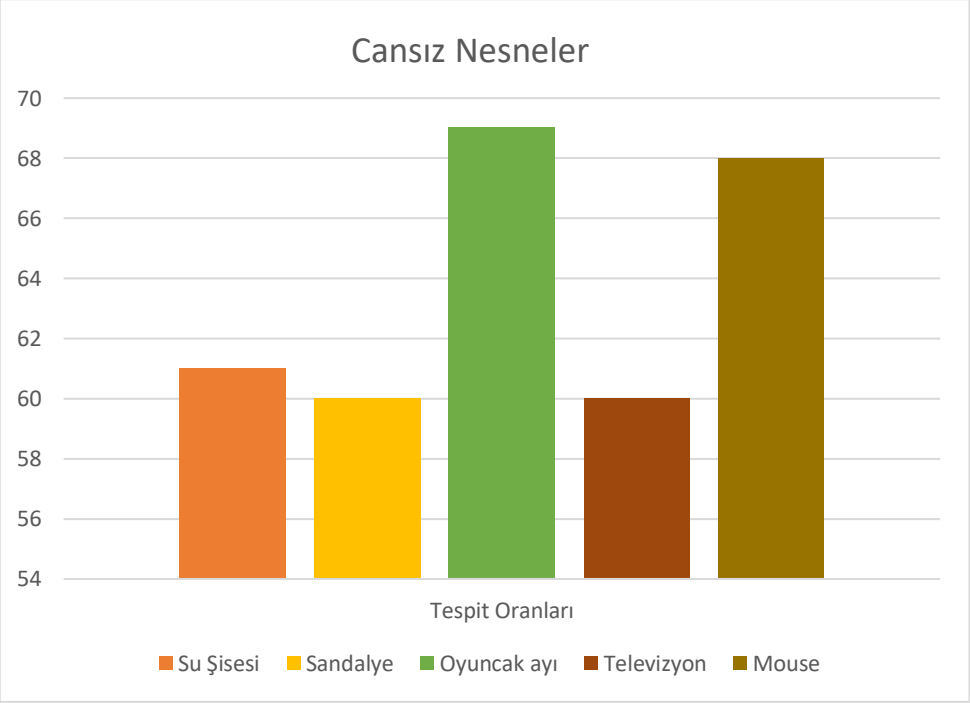


Şekil 3.29: Model eğitimi sırasında tarayıcıda TensorBoard açılış komutu

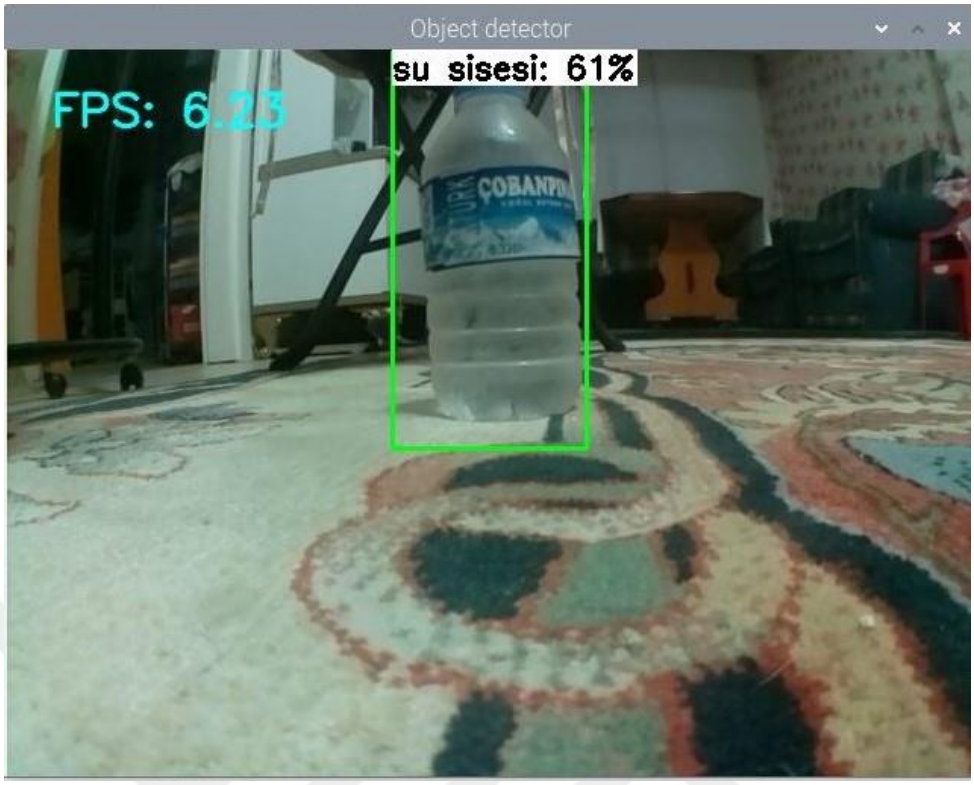
4. BULGULAR

Keşif robotunun donanım ve yazılımı hazırlandıktan sonra keşif robotu test ortamında test edilme aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada keşif robotunun beklenen amaçlara göre çalışıp çalışmadığı bu test ortamında araştırılmıştır. İlk olarak keşif robotu bağlantısal olarak test edilmiştir. Bu testlerde Flask çerçevesi arayüzü, MQTT protokolü ve Telegram uygulamasının bağlantıları kontrol edilmiş ve keşif robotu ile komuta merkezi arasında haberleşmenin gerçekleştiği gözlenmiştir. Daha sonra sürüş testi yapılarak komutlara verdiği tepkileri ölçülmüştür. Keşif robotuna sağa hareket, sola hareket, öne hareket, arkaya hareket gibi manevra testi adımları yapılmıştır. Kesif robotunun hareket testlerinde de başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Bu temel testlerden sonra, keşif robotunun oluşturulan test ortamında cisimleri tespit edip edemediği çeşitli cisimlerle ölçülmüştür. Bu cisimler; su şişesi, oyuncak ayı, televizyon, sandalye, mouse (fare), kedi, insan gibi canlı ve cansız nesnelerden oluşmuştur. Yapılan canlı ve cansız eşya testlerinde elde edilen bulgular için tahmin eşik değeri %60 ve üzeri belirlenmiştir. Bu nedenle keşif robotu bu canlı ve cansız varlıklar için tahmin oranı olarak ayarlanan tahminsel eşik değeri %60 ve üstü olduğunda nesneleri tahmin etmektedir. Modelde belirlenen eşik değeriyle birlikte %60 altı tahminler dikkate alınmamaktadır. Bu eşik değeri ataması, modelin nesneleri tespit ederken yanlış tespitlerini düşürmek için ayarlanmıştır. Bu tahminlerle ilgili sonuçların bulguları aşağıdaki şekil görsellerinde ve tabloda gösterilmiştir. Verilen görsellerde yeşil çerçeveler içine alınan tahmin sonuçları ve yüzdeleri gözükmektedir. Bunlar keşif robotunun nesneler hakkındaki tahminlerini göstermektedir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.8 arasında bu doğru tahminlere ilişkin örnekler ve grafikler gösterilmekte ve Tablo 4.1'de sonuçlar özetlenmektedir. Elde edilen bulgular, bu tip teknoloji kullanılırsa keşif robotunun karşısındaki nesnelerin canlı bir nesne olduğunu (kedi, insan vb.) en az %60 eşik oranında tespit edebilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Bu bulgulardan yola çıkarak keşif robotunu, çeşitli kullanım senaryolarında kullanabiliriz. Bunlardan ilkinde, keşif robotu, müze, sanat galerisi veya bir ofis ortamında kullanılarak, çalışma saatleri dışında veya çalışma saatleri içinde olup giriş yapılmaması gereken alanlardaki kişileri veya orada olmaması gereken çeşitli canlı nesneleri (fare, kedi, köpek gibi) tespit edebilir. Böylece kapalı bir iç mekandaki olası güvenlik zafiyetleri önlenebilir. Bir diğer olası kullanım örneğinde, keşif robotu depo güvenliğini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Kapalı bir depoda bulunan keşif robotu canlı

nesneleri tespit ederek ürün güvenliğini sağlayabilir. Depoya giren canlı nesneler (hırsız kişiler, kedi, köpek veya fare vb. kemirgen canlı türleri gibi) tespit edilerek ürünlere zarar verilmesinin önüne geçilip ürün güvenliği sağlanabilir. Bir diğer olası kullanım örneğinde, keşif robotu arama ve kurtarma faaliyeti yürütülmesine yardımcı olmaktadır. Bu örnekte keşif robotunun kullanılacağı kapalı iç mekanın bir yangın sonucu yoğun dumanla kaplandığı veya bir kaza veya kaçak sonucu zehirli gaz sızıntısı geçekleştiği bilinmektedir. Bunun sonucunda kapalı iç mekanda canlı nesne olup olmadığını kontrol etmek için personel yerine keşif robotu gönderilmektedir. Keşif robotu tehlikeli durumdaki kapalı iç mekanda canlı bir nesne tespit etmek için kullanılacaktır. Böylece keşif robotuyla hayat kurtarılmasına etki edilmesi mümkün olacaktır. Keşif robotu ortam taraması sonucu eğer canlı nesneleri tespit etmemişse, kurtarma personeli gereksiz bir riske atılmamış olacaktır. Keşif robotunun kullanılabileceği güvenlik konsepti örnek kullanımları elbette daha fazla çoğaltılabilir. Keşif robotunun bulgularının, iç mekan güvenlik konseptinde kullanım amacının anlaşılabilmesi için bu örnekler verilmiştir.



Şekil 4.1: Keşif robotunun cansız nesneler için tespit oranları - grafiksel görünüm



Şekil 4.2: Keşif robotu nesne tespiti testleri-Su Şişesi



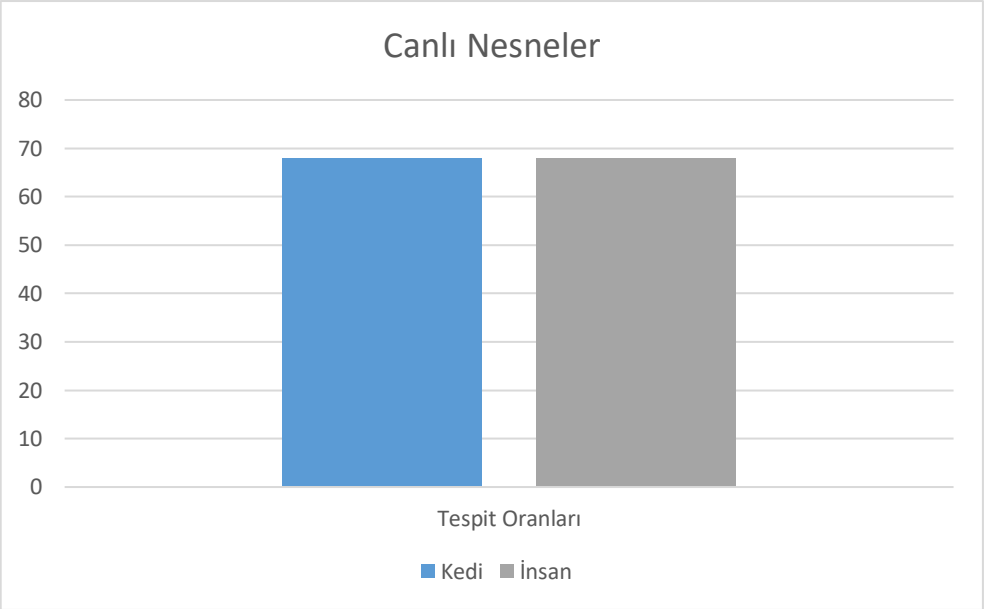
Şekil 4.3: Keşif robotu nesne tespiti testleri-Oyuncak Ayı ve Sandalye



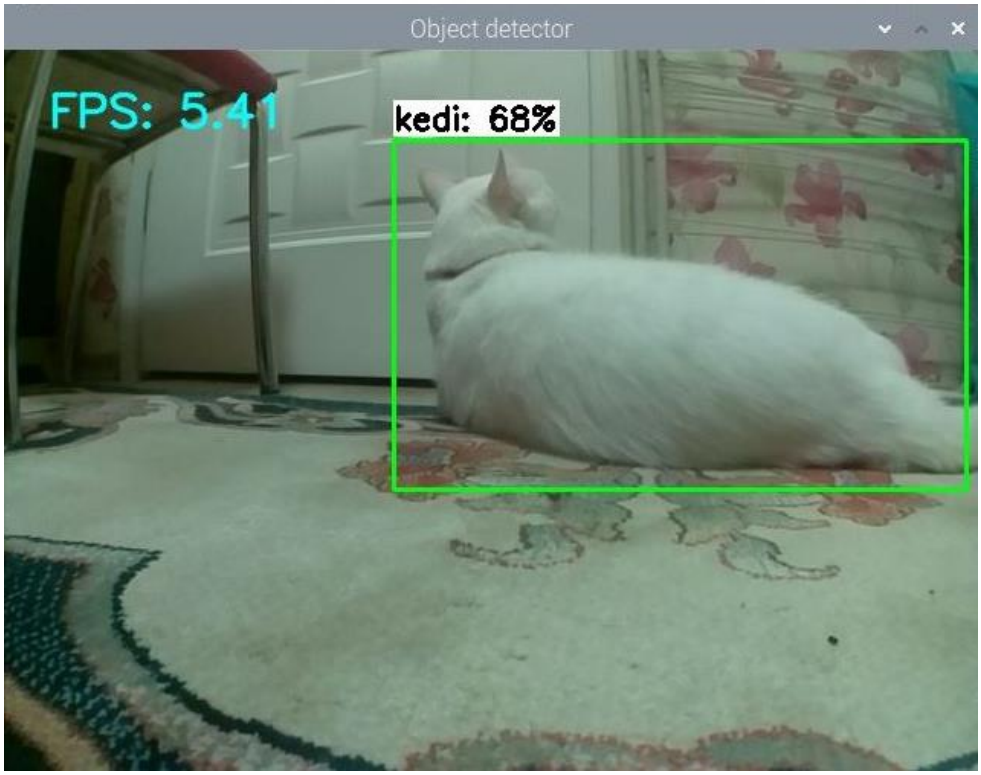
Şekil 4.4: Keşif robotu nesne tespiti testleri-Televizyon



Şekil 4.5: Keşif robotu nesne tespiti testleri-Mouse (Fare)



Şekil 4.6: Keşif robotunun canlı nesneler için tespit oranları - grafiksel görünüm



Şekil 4.7: Keşif robotu nesne tespiti testleri-Kedi

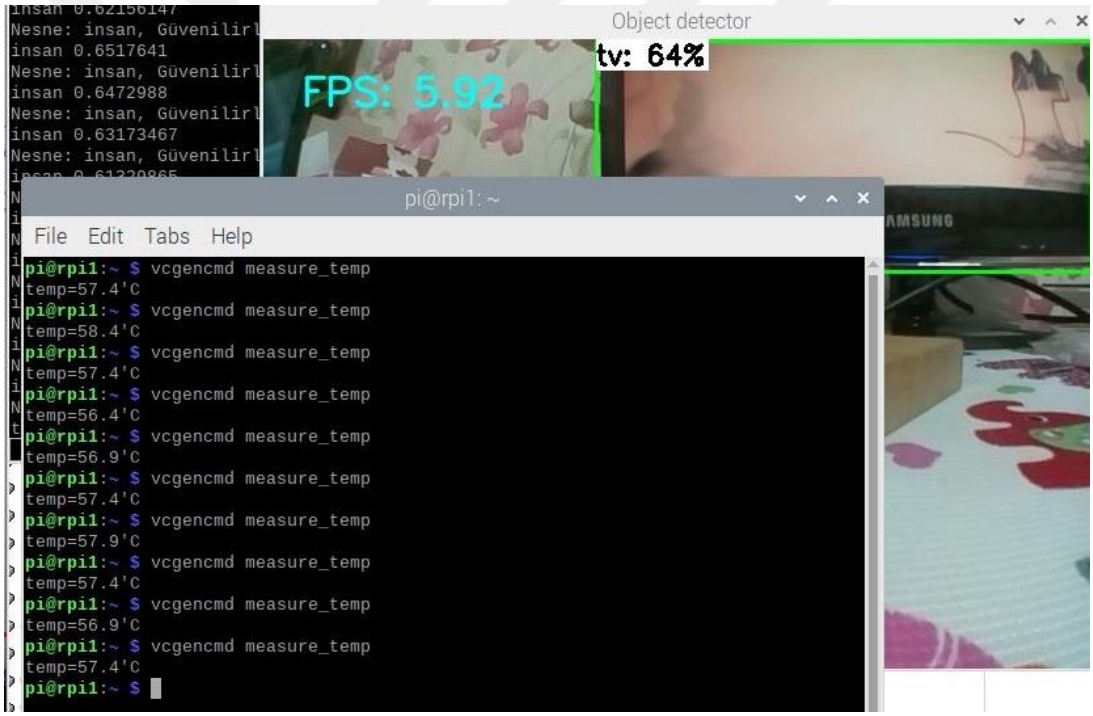


Şekil 4.8: Keşif robotu nesne tespiti testleri-İnsan

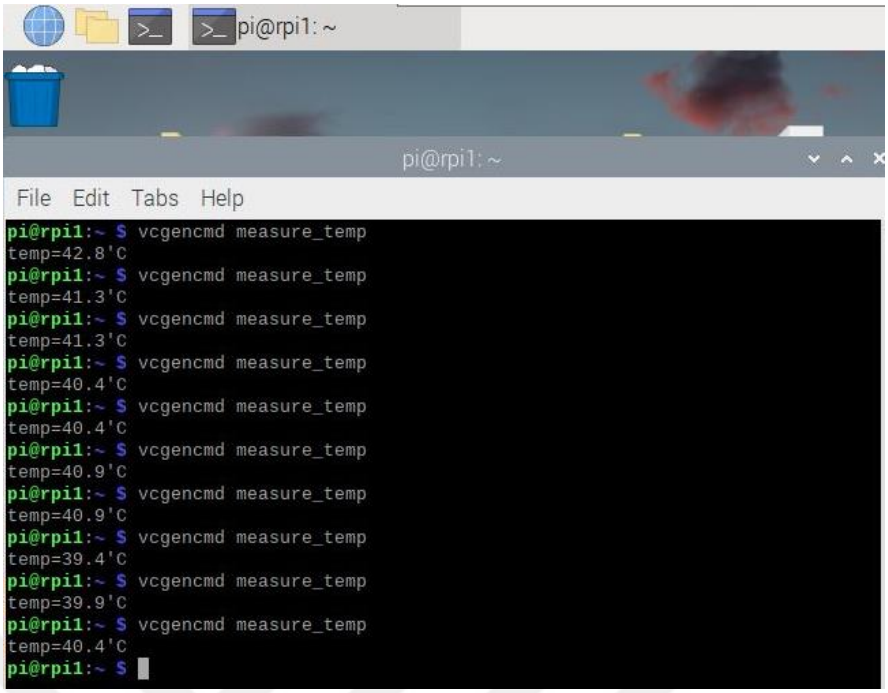
Tablo 4.1: Keşif robotu nesnelerin tespit oranları

Nesne	**Tespit Oranı**
Su şişesi	%61
Sandalye	%60
Oyuncak Ayı	%69
Televizyon	%60
Mouse (fare)	%68
Kedi	%68
İnsan	%68

Bu test aşamasından sonra da sistemin genel performansı için Raspberry Pi'nin sıcaklığı terminal penceresinden ölçülmüştür. Bu ölçümler Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'de gösterilmektedir. Sıcaklık testleri ile derin öğrenme modeliyle görüntü işlenirken ve modelle işleme yapılmadığında robotun stabil durumdaki sisteminin sıcaklık farkları gözlenmiştir. Bulunan bu sıcaklık değerleri tabloya işlenerek, tabloda ortalama sıcaklık da gösterilmiştir. Burada amaçlanan robotta nesne tespiti yapıldığı andaki ve hazır olarak beklediği stabil durumdaki sıcaklık farklarını gözlemlemektir. Sıcaklıkla ilgili bu sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir. Buna göre nesne tespitinde ortalama sıcaklık %40.66 artarak 16.58 °C derecelik bir artma eğilimi göstermektedir. Elde edilen bulgular, sıcaklık artışının sistemin ısıyla enerji kaybetmesine yol açtığını ve pil tüketimini artırdığını göstermektedir. Ayrıca sıcaklık artışının robotun görsel arayüzünde performans kayıplarına yol açıp yavaşlamaya neden olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.9: Keşif robotu nesne tespiti yaptığı sırada sıcaklık dereceleri ölçümü



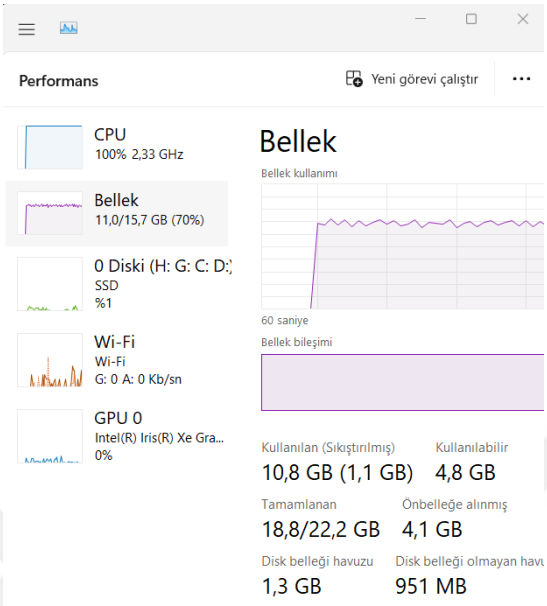
Şekil 4.10: Keşif robotu bekleme durumundayken sıcaklık dereceleri ölçümü

Tablo 4.2: Keşif robotu sıcaklık tablosu

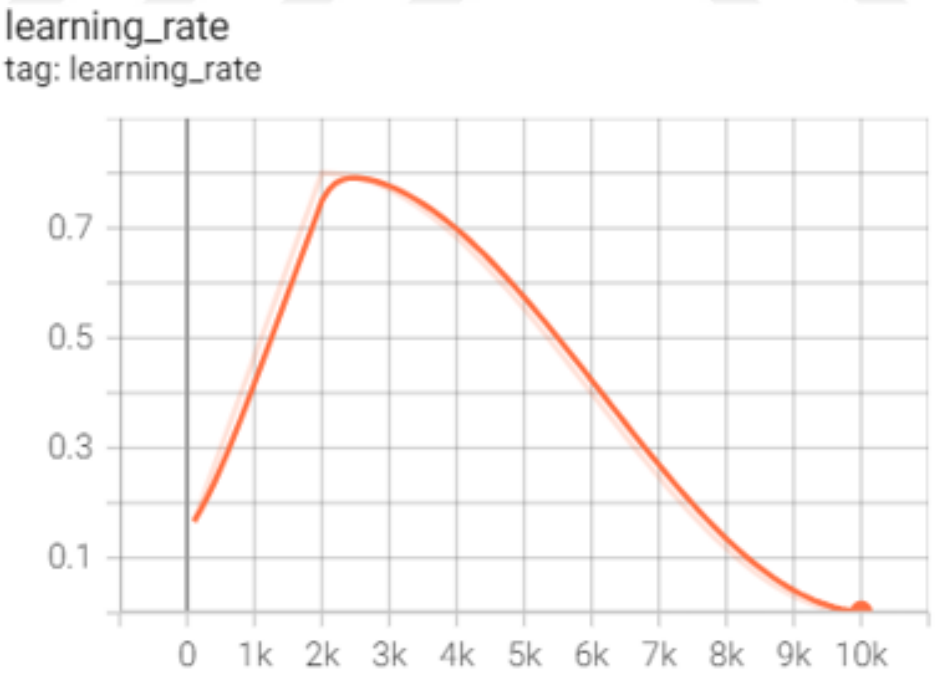
Nesne Tespitinde Sıcaklık		**Stabil durumda Sıcaklık**	
Sıcaklık	**Süre**	**Sıcaklık**	**Süre**
57.4 °C	1 dk	42.8 °C	1 dk
58.4 °C	1 dk	41.3 °C	1 dk
57.4 °C	1 dk	41.3 °C	1 dk
56.4 °C	1 dk	40.4 °C	1 dk
56.9 °C	1 dk	40.4 °C	1 dk
57.4 °C	1 dk	40.9 °C	1 dk
57.9 °C	1 dk	40.9 °C	1 dk
57.4 °C	1 dk	39.4 °C	1 dk
56.9 °C	1 dk	39.9 °C	1 dk
57.4 °C	1 dk	40.4 °C	1 dk
Ort: 57.35 °C	Ort: (10 dk)	Ort: 40.77 °C	Ort: (10 dk)

Yapılan bu testlerle kesif robotunda kullanılan “SSD mobilenet v3 small coco” TensorFlow 1 hazır modeli ile ilgili bulgulara ulaşılmıştır. Bu aşamadan sonra TensorFlow 2’de bir başka hazır model olan “SSD mobilenet v2 320x320” modeliyle bir model eğitimi yapılmaya çalışılmıştır. Buradaki eğitim derin öğrenme çalışmasını incelemek amaçlı yapılmış keşif robotunda değil dizüstü bilgisayar kamerası ve Anaconda ortamında çalıştırılmıştır. Bu amaçla hazırlanan 75’i test 300 ‘ü eğitim verisi olmak üzere 375 adet veriden; “kar küresi”, “şerit metre”, “kedili kulaklık” olarak üç farklı cismin, nesne tespiti amaçlı resimleri çekilmiş eğitim verisi ve test verisi olarak hazırlanmıştır. Anaconda aracındaki sanal ortamda TensorFlow 2’de

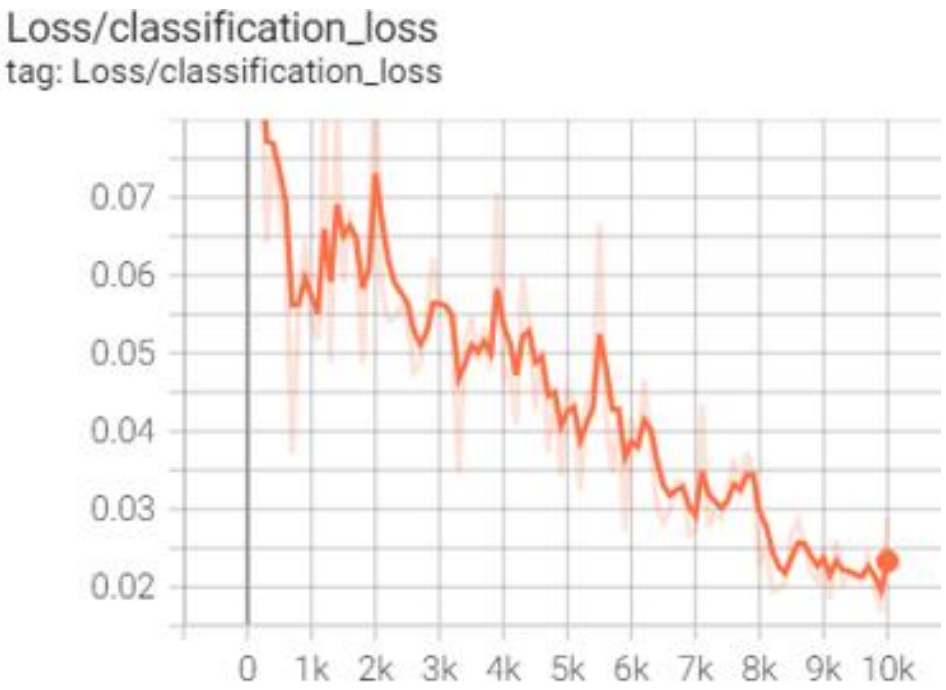
bu modelin eğitimi yapılmıştır. Eğitim 10000 adımda CPU ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen eğitim sürecine dair görseller ve TensorBoard grafikleri Şekil 4.11 ve Şekil 4.17 arasında verilmiştir.



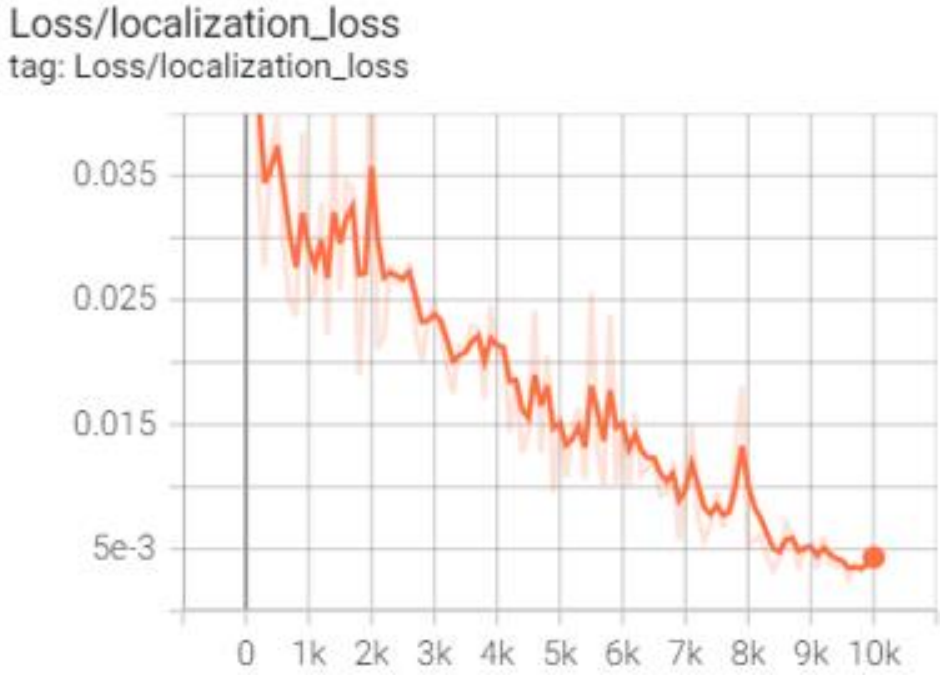
Şekil 4.11: TensorFlow model eğitimi sırasında CPU'nun kullanımı



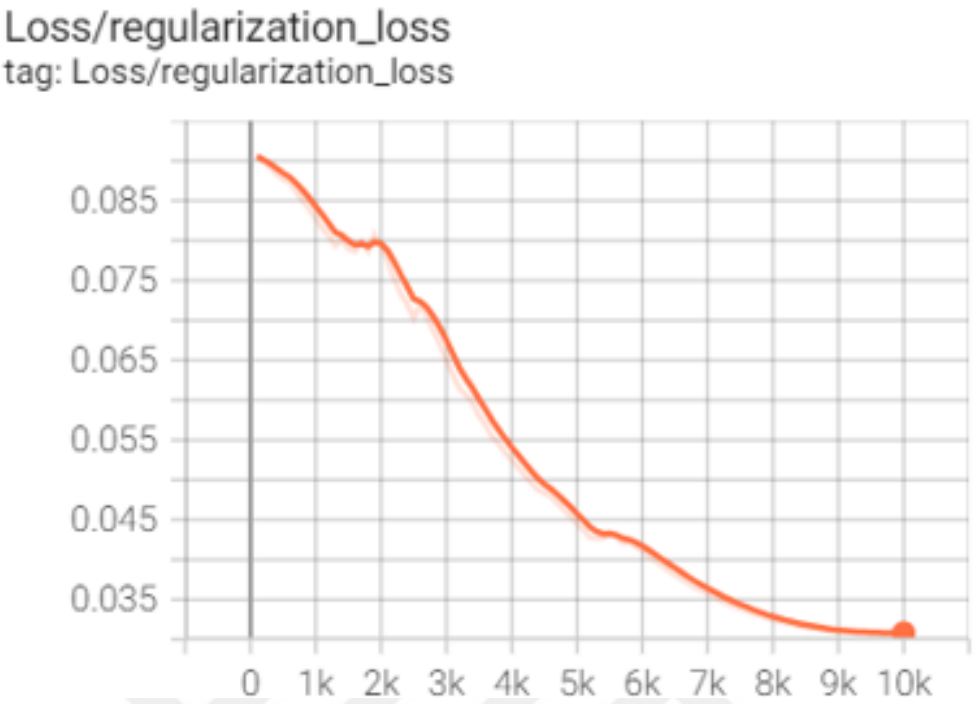
Şekil 4.12: TensorBoard learning rate grafiği



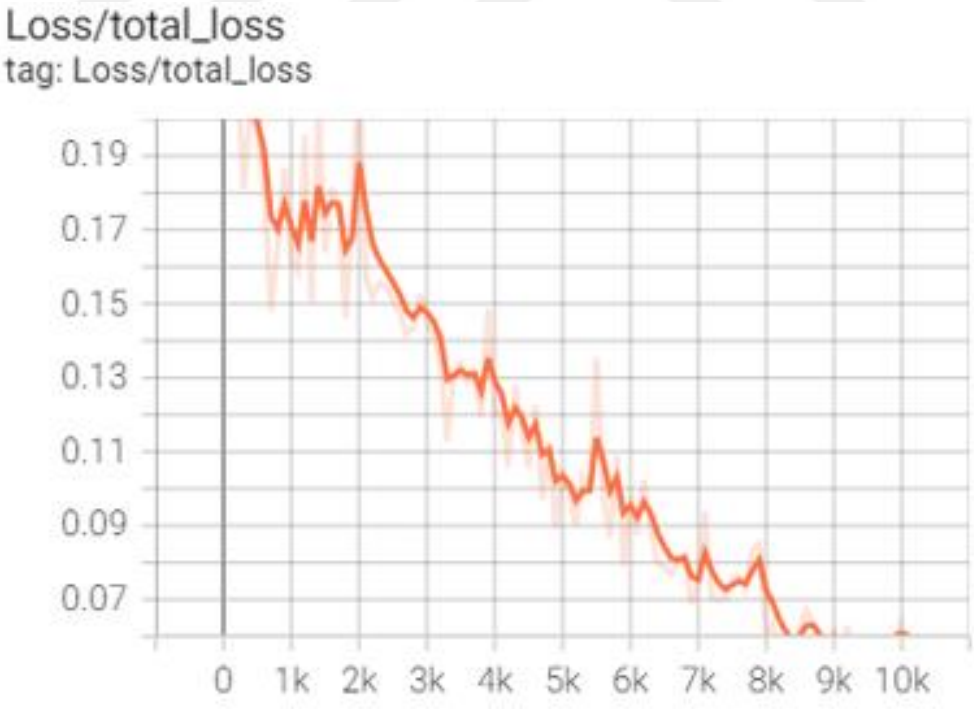
Şekil 4.13: TensorBoard loss/classification rate grafiği



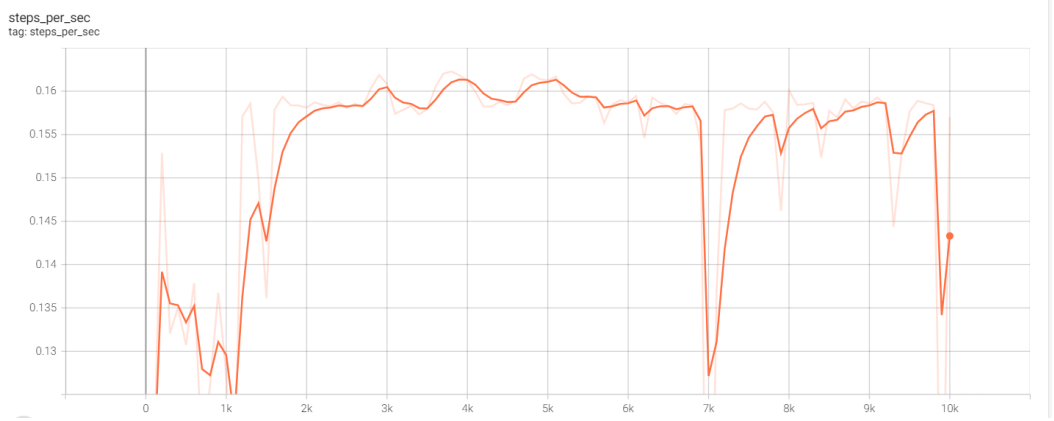
Şekil 4.14: TensorBoard loss/localization loss grafiği



Şekil 4.15: TensorBoard loss/regularization loss grafiği

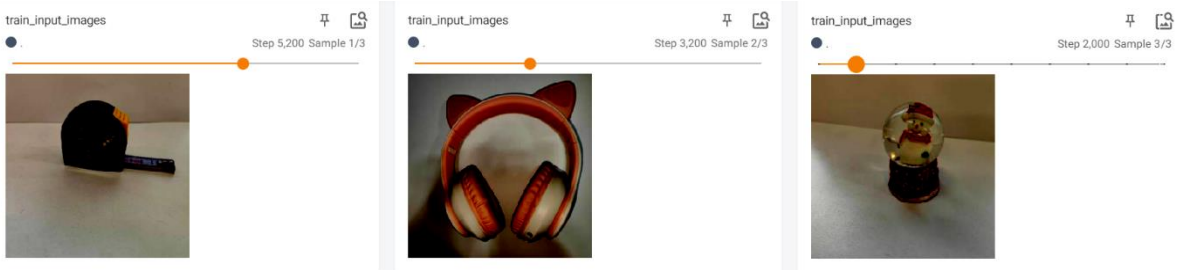


Şekil 4.16: TensorBoard loss/total loss grafiği



Şekil 4.17: TensorBoard steps per sec grafiği

Grafik bulguları açıklanacak olursa, TensorBoard learning rate grafiği, modelin öğrenme oranının eğitim süresince nasıl değiştiğini gösterir. TensorBoard loss/classification rate grafiği, modelin eğitim sırasında kayıp ve sınıflandırma doğruluğunu gösterir. Kayıplar, modelin tahminlerinin gerçek değerlerden ne kadar uzak olduğunu ölçer. TensorBoard loss/localization loss grafiği, modelin nesne tespiti veya konumlandırma görevlerindeki kayıplarını gösterir. TensorBoard loss/regularization loss grafiği, düzenlileştirme kaybını gösterir. Düzenlileştirme, aşırı uydurmayı (overfitting) önlemek için kullanılan bir tekniktir. Aşırı uydurma, bir modelin eğitim verilerine çok iyi uyması, ancak yeni veya görünmeyen verilere kötü uyması durumunu ifade eder. TensorBoard loss/total loss grafiği, toplam kaybı gösterir. Bu da sınıflandırma kaybı, konumlandırma kaybı ve düzenlileştirme kaybının toplamını içerir. Modelin eğitim sırasında performansını değerlendirmek için kullanılır. TensorBoard steps per seecond grafiği, her eğitim adımının saniyede kaç kez tamamlandığını gösterir. Bu, eğitim sürecinin hızını ve verimliliğini değerlendirmek için kullanışlıdır. TensorBoard train ınput images görseli eğitim verilerinin bazı örneklerini veya giriş görüntülerini gösteren TensorBoard'ın bir görsel arayüzdür.



Şekil 4.18: TensorBoard train input images

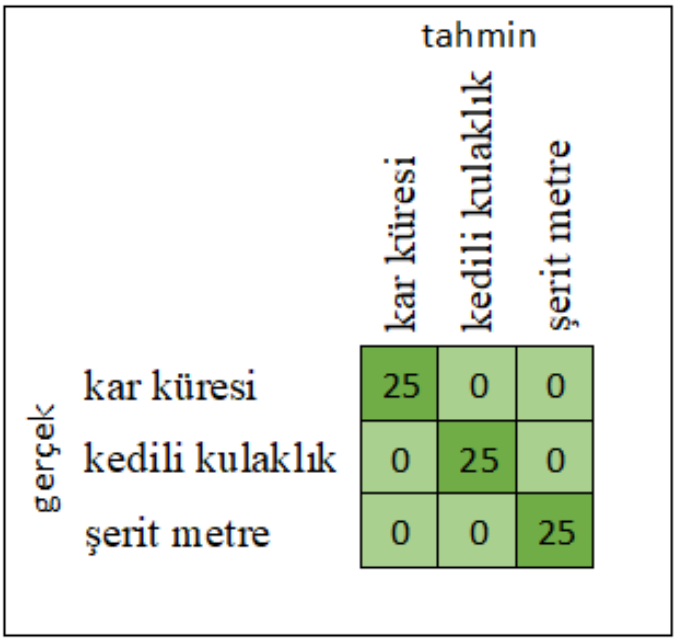
TensorBoard train input images görseli eğitim verilerinin bazı örneklerini veya giriş görüntülerini gösteren TensorBoard'ın bir görsel arayüzdür. Modelin nasıl çalıştığını görsel olarak anlamak için kullanılır ve Şekil 4.18'te gösterilmektedir. Bu grafik yorumlarından sonra

eğitilen modelin doğruluk (accuracy) değerini hesaplamak için Confusion Matrix (Karmaşıklık Matrisi) oluşturulmuştur. Confusion Matrix dört temel terim içerir. Matris açıklanırsa, doğruya doğru demek (True Positive - TP), yanlışa yanlış demek (True Negative - TN), doğruya yanlış demek (False Positive - FP) ve yanlışa doğru demek (False Negative - FN) şeklinde ifade edilir. Bu matristen yararlanarak doğruluk değeri (accuracy) hesaplanabilir. Şekil 4.19 da Confusion Matrix yapısı gösterilmiştir.

		Tahmin	
		Negatif	**Pozitif**
Gerçek	**Negatif**	TN	FP
	Pozitif	FN	TP

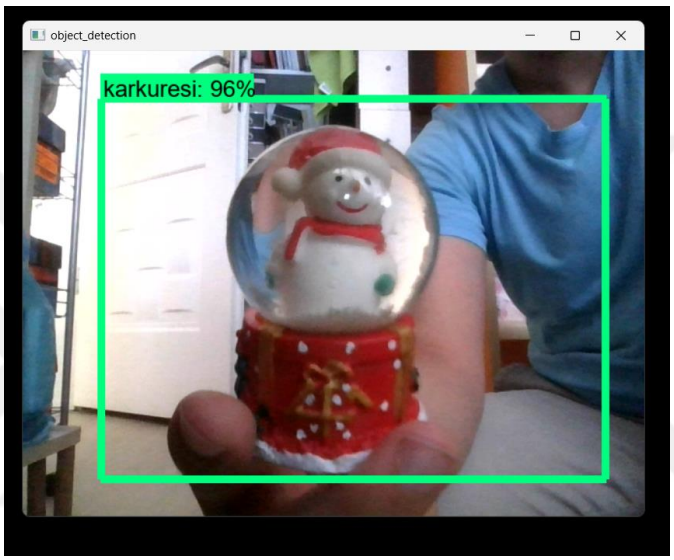
Şekil 4.19: Confusion Matrix yapısı

Doğruluk değeri, TN ve TP değerlerinin toplanıp TN, TP, FN ve FP değerlerinin toplamına bölünmesi ile bulunur. Bunun sonucunda modelin doğruluk değeri (accuracy) değeri 1.0 ’dır. Şekil 4.20’de eğitilen modelin Confusion Matrix’i gözükmektedir.

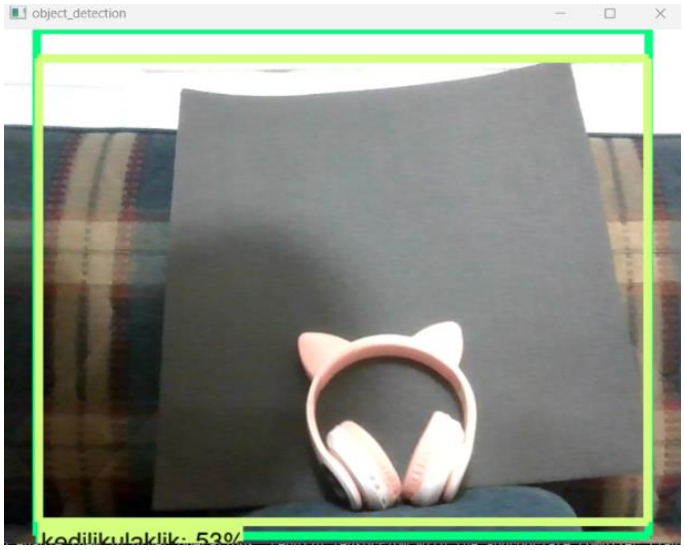


Şekil 4.20: Eğitilen modelin Confusion Matrix’i

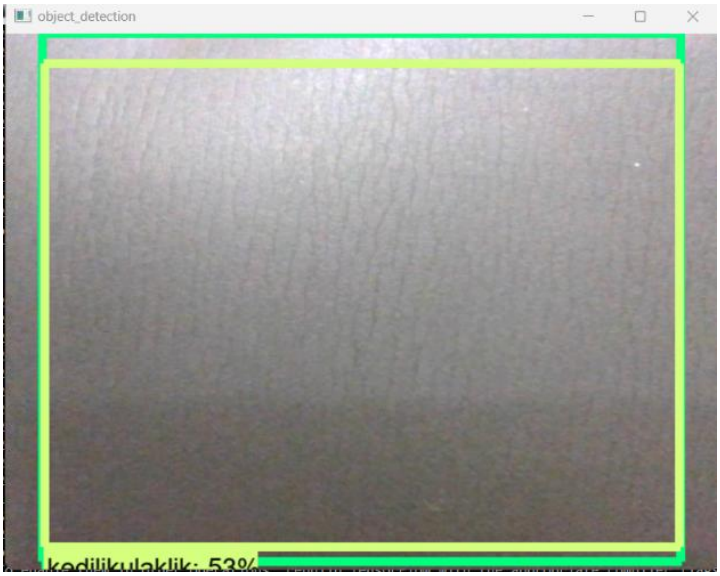
Eğitilen model gerçek ortamda da çalıştırılıp gözlemlenmiştir. Eğitilen modelin laptop kamerasından elde edilen test görselleri Şekil 4.21 - 4.24 arasında gösterilmiştir. Model çalışması sırasında laptop webcam'i açıldığında henüz ekrana cisimler gösterilmeden çerçeve tespit karesinin sabit şekilde kalması gibi durumlar da gözlenmiştir (Şekil 4.23). Bu gözlemler çalışmada kullanılan verilerin sayısının artırılması gerektiğini, resimler, resim etiketlemeleri, resim arka plan seçimlerinin gözden geçirilmesi ve model konfigürasyon ayarlarının da gözden geçirilip eğitim adım sayısı da artırılarak modelin eğitilmesi gerektiği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 4.21: Model eğitimi sonrası test sonucu 1



Şekil 4.22: Model eğitimi sonrası test sonucu 2



Şekil 4.23: Model eğitimi sonrası test sonucu 3



Şekil 4.24: Model eğitimi sonrası test sonucu 4

5. TARTIŞMA

İlgili çalışmalardaki robotlara bakıldığında, keşif robotlarının çoğunlukla kameralı türde robotlar olduğu ve bu robotların uzaktan kumandayla yönetilen veya otonom türde robotlar olduğu gözlemlenmiştir [4], [6], [7]. Son zamanlarda yapay zekadaki derin öğrenme ve görüntü işlemedeki gelişmeler ışığında keşif robotlarında da değişmeler gözlenmiştir. Bu yeni teknolojiler keşif robotlarının yapay zeka ile uyumlu hale gelip performansı daha yüksek ve çevresini tanıyabilen, nesne tespit edebilen robotlar olmalarını sağlamıştır. Çalışmalarda bunu destekler yönde keşif robotları yapıldığı da görülmektedir [8], [9]. Değişen teknoloji ve çalışmalardaki bu gelişmeler ışığında bu tezde oluşturulan keşif robotunun performansı, robotun test ortamında gerçek zamanlı verilerle denenip ilgili veri sonuçları gözlemlendi. Prototip robot kamera ile bağlantı ve uzaktan yönlendirme gibi temel yeteneklerini test ortamında başarıyla yerine getirmiştir. Bu durum, keşif robotunun keşif görevlerinde verimlilik, doğruluk ve kullanılabilirlik gibi ölçülere uygun olduğunu göstermektedir. Keşif robotu nesnelerin tespitinde belirlenen %60 tespit eşiği ve üstündeki nesnelerin tespitini yapıp bulgularında bunu göstermiştir. Bu çalışmada keşif robotunun IoT yeteneği de vurgulamaktadır. Keşif robotu Flask çerçevesi, MQTT protokolü, Telegram uygulaması gibi kontrol arayüzlerini kullanarak internet üzerinden komuta merkeziyle iletişim halinde olmuş IoT ekosisteminde çalışabilme anlamında da başarılı bir sonuç almıştır. Bununla birlikte, bazı sınırlamalar, zorluklar, olumsuzluklar da gözlemlenmiştir. Keşif robotunda bir kare çerçeve görüntüyü işleme sırasında gecikmeler yaşanabilmektedir. Raspberry Pi kameradan elde edilen görsellerde gecikme zaman kaybı yaşanmasını ifade eder. Kesif robotu bir cisim gördüğünde zamansal olarak bir insanın gördüğü görüntü ile keşif robotunun gördüğü arasında gecikme olmaktadır. Keşif robotunu kumanda eden komuta merkezi Raspberry Pi'deki görseli gecikmeli görecektir. Bu gecikme keşif robotun kullanım alanı olan güvenlik robotu kurgusu için önemli olabilir. Çalışmalardaki benzer keşif robotlarında da bu tarz gecikmeler donanımsal yetersizlik ve seçilen öğrenme modelinin donanıma uyumsuzluğu sonucu gözlenebilir bir durum olduğu görülmüştür [9]. Bu bağlamda bu durumun anormal olmadığı söylenebilir. Ayrıca, robotun enerji yönetimi konusunda da dikkatli olunması gerektiği görüntü işlemenin ciddi oranda ısı artışına sebep olduğu ve pil harcadığı gözlenmiştir. Keşif robotunun framerate'i düşürülerek işlemcinin işlediği kare sayısının azaltılması sıcaklık artışı için bir olası çözüm olabilir. Uzun

süreli çalışması için daha yüksek bir batarya kapasitesiyle desteklenerek verimli çalışması sağlanabilir. Keşif robotu, bir iç mekân güvenlik keşif robotu konsepti şeklinde düşünülmüştü ve bu şekilde gerçeklendi. Keşif robotu için bir kısıtlama getiren bu çalışma alanı sınırlaması seçimi, aynı zamanda keşif robotlarının farklı alanlarda kullanımı bakımından sonraki çalışmalarda araştırmacılar için yeni bir ilgili çalışma örneği de teşkil etmiş olacaktır. Keşif robotunun kullanım senaryolarında bahsedilen canlı hayatının kurtarılmasının önemli olduğu arama-kurtarma gibi kritik çalışmalarda canlı tespiti eşik oranının yükseltilmesi daha yüksek kesinlikli tespit alınmasını sağlayabilir. Çalışmada model eğitiminin nasıl yapıldığını öğrenmek ve daha sonraki çalışmalarda kullanabilme yeteneğine ulaşmak amacıyla bir derin öğrenme model eğitimi de gerçekleştirilmiştir. Bu model eğitimiyle hedeflenen amaç, gelecekte hazır ön eğitimli modellerin ön tanımlı nesnelerini kullanmak yerine araştırıcı tarafından eğitilen bir model kullanılarak, keşif robotunda yeni ve başka nesnelerinde tespitine imkan sağlanmasıdır. Bu model eğitiminden elde edilen performans sonuçları, modelin daha uzun adım sayısıyla daha çok test ve eğitim verisi içerecek şekilde eğitilmesi gerektiği sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple bu amaca yönelik çalışmalara devam edilecektir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Robotlar, insan hayatını kolaylaştırma amacıyla tekrar eden işleri ve insanlar için zor olan işleri yapmak maksadıyla üretilmiştir. Keşif robotları ise arama kurtarma, araştırma, keşfetme, ortamı tarama, tespit, takip faaliyetleri için geliştirilmiş uzaktan kumanda edilen veya otonom araçlardır. Bu tip robotlar, insan kontrolu veya insan kontrolu olmadan çeşitli ortam durumlarında kendilerine verilen görevleri yapmaya hazır olmaları amacıyla tasarlanmışlardır. Bu tez çalışmasında, ağ üzerinden kontrol edilen nesnelerin interneti tabanlı TensorFlow ve OpenCV kütüphanesi ile nesne tespit işlemi yapabilen bir keşif robotu gerçekleştirilmiştir. Yapılan çeşitli testlerde keşif robotu nesneleri istenilen eşik değeri üzerinden ayarlanarak tahmin edebilmiştir. Çalışma da bu eşik değeri %60 olarak belirlenmiştir. Keşif robotu donanım olarak Raspberry Pi 4 mini bilgisayarı ile oluşturulmuştur. Bu çalışmada Raspberry Pi tercih edilmesi sebebi olarak kolay kullanımı, kolay temin edilebilmesi ve çok sayıda proje yapılması nedeniyle kolayca bilgi erişimi sağlaması gösterilebilir. Ayrıca projelerinin fiziksel gerçekleşmesinde Arduino ve benzeri rakiplerine oranla daha güçlü bir donanım yapısı sunması da tercih edilmesinde etkili olmuştur. Keşif robotunun yazılım kısmı için Python dilinden yararlanılmıştır. Python dili ile benzer yazılım dillerine göre daha az kod satırı ile kod yazılabilme avantajı bulunmaktadır. Keşif robotunun elektronik - mekanik gövdesi için Raspberry Pi 4, Raspberry Pi kamera, DC motorlar, tekerlekler, L298N motor sürücüsü, şase, batarya modülü, batarya, kablolar, yapıştırıcı vb. ekipmanlar kullanılarak prototip oluşturulmuştur. Keşif robotunun uygulama testlerinde nesne tespit işlemlerinin başarıyla yapıldığı ancak ışık şiddetine gece ve gündüz farkına göre nesnelerin tespitinde farklılıklar yaşandığı gözlenmiştir. Daha iyi gece görüşlü bir kamera kullanılması önerilebilir. Ayrıca sıcaklık artışı ile gecikmeler yaşanabilmektedir. Yaşanan bu gecikme robotun uzaktan kontrolünü zorlaştırmakta ve pilin de tüketimi artırmaktadır. Framerate oranının düşük tutulması bir çözüm olarak önerilebilir. Keşif robotunda kullanılan Raspberry Pi mini bilgisayarı nesne tespit için uzun süreli kullanımda yeterli olmayabilir. Raspberry sistemin görüntü işleme yaparken mini bilgisayarın işlemcisinin ısınma nedeniyle performans sorunlarına yol açmaktadır. Bu ısınma sorunu Raspberry Pi üzerine yerleştirilen alüminyum soğutucu parçalar ve mini bir fanla aşılmaya çalışılmıştır. Bu konuda çalışacak araştırmacılar bir soğutma sistemi de tasarlayarak sistemi daha verimli hale getirebilirler. Bir başka öneri olarak, yeni araştırıcılar robotu farklı donanımlarla oluşturup

donanımsal farkları gözlemleyebilir. Ayrıca nesne tespiti için farklı derin öğrenme kütüphaneleri bulunmaktadır. TensorFlow bunlardan sadece biri olup başka derin öğrenme kütüphanelerinin kullanılması da mümkündür. Bunun yanı sıra TensorFlow 1 ve 2 Detection Model Zoo GitHub platformunda, derin öğrenme modellerinin çeşitli modelleri için çalışma yapmak mümkündür. Yeni araştırmacılar, çalışmalarındaki istenilen ihtiyaca göre bu öğrenme modellerini test edilebilir ve istenilen eşik hassasiyeti ile farklı modellerle çalışan prototipler üretebilirler. Tezdeki keşif robotu bir iç mekan güvenlik keşif robotu olarak kurgulanmıştır. Prototip keşif robotu, çeşitli kullanım senaryosu örneklerinde canlı nesne tespitinde kullanılıp can ve mekan güvenliği amaçlı görevlendirilebilir. Keşif robotunun dış ortamlarda da kullanılabilmesi için düzgün olmayan yeryüzü şekillerine uygun özel tekerlek kullanılması veya bir palet sistemi geliştirilmesi gerekmektedir. Prototip keşif robotu sadece etrafındaki cisimleri tespite diğer bir ifade ile genel keşif kullanıma uygun tasarlanmıştır. Robot önleyici bir güvenlik robotu olarak düşünüldüğü için robota silah benzeri bir sistem yerleştirilmemiştir. Araştırıcılar, agresif güvenlik amaçlı uyarı ateşi açabilen bir keşif robotu tasarlamak isterlerse, bu sonraki çalışmalar için mümkün olabilir ve gelecekteki kullanılabilirliği de önerilebilir. Bu çalışmada ayrıca gelecekte keşif robotlarında eğitilmiş derin öğrenme modellerini kullanılabilme ve bunun nasıl gerçekleştirildiğini anlamak amacıyla bir derin öğrenme modelinin eğitilmesi de gerçekleştirilmiştir. Bu model eğitimiyle, önceden eğitilmiş modellerin önceden tanımlanmış nesnelerini kullanmak yerine araştırmacı tarafından eğitilen bir modelin, keşif robotunda yeni ve farklı nesneleri tespit etme yeteneğini sağlamak hedeflenmektedir. Elde edilen modelin performans sonuçları, modelin daha fazla eğitim verisi ve daha uzun eğitim süreleriyle daha iyi bir performans göstermesi gerektiği sonucunu ortaya koymuştur. Bu alandaki çalışmaların daha verimli sonuçlar vermesi için üzerinde çalışılması gereken ve geliştirilmeye uygun bir problem olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] O. Çelik, E. Yiğiter, ve H. Sedef, "Kablosuz Ağ Tabanlı Gezgin Keşif Robotu: Kaşif", *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği*, c. 13, 2009.

[2] K. Kedikli, B. Yildiz, K. Toka, ve A. Genç, "Deprem Enkazı Sonrasında Keşif için Radyo Frekansıyla Uzaktan Kontrollü Sürüngen Robot Prototipinin Gerçekleştirilmesi", *Gazi Journal of Engineering Sciences*, c. 8, sy 1, ss. 41-48, 2022, doi: 10.30855/gmbd.2022.01.05.

[3] A. Çakır, L. Karaca, ve M. Özkul, "RF Kontrollü Araştırma ve İnceleme Robotu", *Anka E-Dergi*, c. 2, sy 1, 2017.

[4] E. Sakarya ve A. Alkan, "Havada ve Karada Hareket Edebilen 3 Boyutlu Tünel Haritalama Robotu", *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, c. 2, sy 2, ss. 51-57, 2021.

[5] N. C. Örger, B. Özcan, ve T. B. Karyot, "Gezici Mikro Ay Robotu Prototip Tasarımı", program adı: V. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, 8-10 Eylül Kayseri, Erciyes Üniversitesi, 2014.

[6] B. Kapusız ve Y. Uzun, "Mobil Kontrol- Görüntü Aktarımı ve Lazer Savunma Gücüne Sahip Tank Robot Tasarımı", *European Journal of Science and Technology*, sy 28, ss. 1246-1253, 2021, doi: 10.31590/ejosat.1015692.

[7] E. Sakarya ve A. Alkan, "Savunma Sanayiinde Kullanılabilecek Kamikaze İHA Uygulaması", *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, c. 2, sy 1, ss. 24-28, 2021.

[8] M. Uzunoğlu, B. Vural, A. Kızıl, ve Ö. Ç. Onar, "Akıllı Keşif Robotu (AKERO)", program adı: Havacılıkta İleri Teknolojiler ve Uygulamaları, 2004 İstanbul, Yeşilköy Hava Harp Okulu, 2004. doi: 10.13140/2.1.4168.7047.

[9] U. Talaş, U. Yüzgeç, ve B. Çubukçu, "Derin Öğrenme ile Nesne Tanıyan Robot", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, sy 31, ss. 127-133, 2021.

[10] T. Shibata, "An Overview of Human Interactive Robots for Psychological Enrichment", *Proceedings of the IEEE*, c. 92, sy 11, ss. 1749-1758, 2004, doi: 10.1109/JPROC.2004.835383.

[11] M. Devecka, "Did the Greeks Believe in Their Robots?", *The Cambridge Classical Journal*, c. 59, ss. 52-69, 2013, doi: 10.1017/S1750270513000079.

[12] B. Çırak ve A. Yörük, "Mekatronik Biliminin Öncüsü İsmail El-Cezeri", *Siirt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, sy 4, ss. 175-194, 2016.

[13] O. Özdoğan, *Endüstri 4.0: Dördüncü Sanayi Devrimi ve Endüstriyel Dönüşümün Anahtarları*. İstanbul: Pusula, 2017.

[14] Ç. Ersoy, *Robotlar, Yapay Zeka ve Hukuk*, 4. bs. İstanbul: On İki Levha, 2019.

[15] K. Capek, *RUR (Rossum's universal robots)*. Penguin, 2004.

[16] robots.ieee.org, "What Is a Robot? - Robots: Your Guide to the World of Robotics". Erişim: 30 Mart 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://robots.ieee.org/learn/what-is-a-robot/

[17] B. Çengelci ve H. Çimen, "Endüstriyel Robotlar", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 2, sy 2, ss. 69-78, 2005.

[18] L. Pagliarini ve H. H. Lund, "The future of Robotics Technology", *Journal of Robotics, Networking and Artificial Life*, c. 3, sy 4, ss. 270-273, 2017, doi: https://doi.org/10.2991/jrnal.2017.3.4.12.

[19] J. AJ. Gowlett, "The Discovery of Fire by Humans: a Long and Convoluted Process", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, c. 371, sy 1696, s. 20150164, Haz. 2016, doi: 10.1098/rstb.2015.0164.
[20] J. Aguzzi *vd.*, "Exo-Ocean Exploration with Deep-Sea Sensor and Platform Technologies", *Astrobiology*, c. 20, sy 7, ss. 897-915, 2020, doi: 10.1089/ast.2019.2129.
[21] C. Kunz *vd.*, "Deep Sea Underwater Robotic Exploration in the Ice-Covered Arctic Ocean with AUVs", içinde *2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 14 October 2008 Nice, France: IEEE, 2008, ss. 3654-3660. doi: 10.1109/IROS.2008.4651097.
[22] W. T. Huntress, V. I. Moroz, ve I. L. Shevalev, "Lunar and Planetary Robotic Exploration Missions in the 20th Century", *Space Science Reviews*, c. 107, sy 3, ss. 541-649, 2003, doi: 10.1023/A:1026172301375.
[23] mars.nasa.gov, "Home | Curiosity – NASA's Mars Exploration Program", NASA Mars Exploration. Erişim: 26 Mayıs 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://mars.nasa.gov/msl/home
[24] M. Z. Gündüz ve R. Daş, "Nesnelerin İnterneti: Gelişimi, Bileşenleri ve Uygulama Alanları", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 24, sy 2, ss. 327-335, 2018, doi: 10.5505/pajes.2017.89106.
[25] cisco.com, "What Is IoT (Internet of Things)?", Cisco. Erişim: 23 Mayıs 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/what-is-iot.html
[26] D. Evans, "The Internet of Things - How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything", *Whitepaper Cisco Internet Business Solutions Group*, sy 1, ss. 1-12, 2011.
[27] K. Doğan ve S. Arslantekin, "Büyük Veri: Önemi, Yapısı ve Günümüzdeki Durum", *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, c. 56, sy 1, ss. 15-36, 2016.
[28] K. Çelik, "Bulut Bilişim Teknolojileri", *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 12, sy 24, ss. 436-450, 2021, doi: 10.47129/bartiniibf.1019898.
[29] L. M. Dang, M. J. Piran, D. Han, K. Min, ve H. Moon, "A Survey on Internet of Things and Cloud Computing for Healthcare", *Electronics*, c. 8, sy 7, s. 768, 2019, doi: 10.3390/electronics8070768.
[30] H. F. Atlam, R. J. Walters, ve G. B. Wills, "Fog Computing and the Internet of Things: A Review", *Big Data and Cognitive Computing*, c. 2, sy 2, s. 10, Haz. 2018, doi: 10.3390/bdcc2020010.
[31] mqtt.org, "MQTT - The Standard for IoT Messaging". Erişim: 24 Nisan 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://mqtt.org/
[32] R. A. Atmoko ve D. Yang, "Online Monitoring & Controlling Industrial Arm Robot Using MQTT Protocol", program adı: 2018 IEEE International Conference on Robotics, Biomimetics, and Intelligent Computational Systems (Robionetics), 08-10 August 2018 Indonesia, Bandung: IEEE, 2018, ss. 12-16. doi: 10.1109/ROBIONETICS.2018.8674672.
[33] J. McCarthy, M. L. Minsky, N. Rochester, ve C. E. Shannon, "A proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955", *AI magazine*, c. 27, sy 4, ss. 12-12, 2006.
[34] A. Yılmaz, *Yapay Zeka*. İstanbul: Kodlab, 2018.
[35] B. Chitradevi ve P. Srimathi, "An Overview on Image Processing Techniques", *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, c. 2, sy 11, ss. 6466-6472, 2014.

[36] T. Yılmaz, "Raspberry Pi Kartı Kullanarak Nesne Tespit ve Takip Robotunun Tasarımı ve Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstütüsü, 2019.
[37] Y. E. Baygeldi, "Nesne Takipli Otonom Robot Prototipi Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
[38] A. Ceylan, "Dört Rötorlu Hava Aracı ile Görme Tabanlı Nesne Takibi", Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstütüsü, 2018.
[39] R. Daş, B. Polat, ve G. Tuna, "Derin Öğrenme ile Resim ve Videolarda Nesnelerin Tanınması ve Takibi", *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 31, sy 2, ss. 571-581, 2019, doi: 10.35234/fumbd.608778.
[40] M. F. Aslan, K. Sabanci, A. Durdu, ve M. F. Unlersen, "COVID-19 Diagnosis Using State-of-the-art CNN Architecture Features and Bayesian Optimization", *Computers in Biology and Medicine*, c. 142, s. 105244, 2022, doi: 10.1016/j.compbiomed.2022.105244.
[41] A. Dey, "Machine Learning Algorithms: A Review", *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, c. 7, sy 3, ss. 1174-1179, 2016.
[42] C. Sertkaya, "Derin Öğrenme Tabanlı Nesne Tanıma Yeteneklerine Sahip Akıllı Robot Sisteminin Geliştirilmesi", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, sy 34, ss. 211-216, 2022, doi: 10.31590/ejosat.1080183.
[43] A. Sağlam, M. Taş, ve N. A. Baykan, "Geri Dönüştürülebilir Atıkların Materyallerine Göre Sınıflandırılması için Raspberry Pi Tabanlı Donanım Geliştirilmesi", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, sy özel sayı, ss. 30-38, 2020, doi: 10.31590/ejosat.802692.
[44] W. S. McCulloch ve W. Pitts, "A logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity", *Bulletin of Mathematical Biophysics*, c. 5, sy 4, ss. 115-133, 1943, doi: 10.1007/BF02478259.
[45] Y. Taigman, M. Yang, M. Ranzato, ve L. Wolf, "DeepFace: Closing the Gap to Human-Level Performance in Face Verification", program adı: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 23-28 June 2014 Columbus, OH, USA: IEEE, 2014, ss. 1701-1708. doi: 10.1109/CVPR.2014.220.
[46] K. Lee ve M. Son, "DeepSpotCloud: Leveraging Cross-Region GPU Spot Instances for Deep Learning", program adı: 2017 IEEE 10th International Conference on Cloud Computing (CLOUD), 25-30 June 2017 Honolulu, CA, USA: IEEE, 2017, ss. 98-105. doi: 10.1109/CLOUD.2017.21.
[47] C. Xin, D. Qiao, S. Hongjie, L. Chunhe, ve Z. Haikuan, "Design and Implementation of Debris Search and Rescue Robot System Based on Internet of Things", program adı: 2018 International Conference on Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA), 09-10 June 2018 Changsha, China: IEEE, 2018, ss. 303-307. doi: 10.1109/ICSGEA.2018.00082.
[48] opencv.org, "Home", OpenCV. Erişim: 10 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://opencv.org/
[49] M. Kushal, K. Kumar B.V., C. Kumar M.J., ve M. Pappa, "ID Card Detection with Facial Recognition Using Tensorflow and OpenCV", içinde *2020 Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, 15-17 July 2020 Coimbatore, India: IEEE, 2020, ss. 742-746. doi: 10.1109/ICIRCA48905.2020.9183342.
[50] D. Kavitha, B. R. Kiran, B. Niteesh, ve S. Praveen, "Multiple Object Recognition Using OpenCV", *Revista Geintec-Gestao Inovacao E Tecnologias*, c. 11, sy 2, ss. 1736-1747, 2021.
[51] "TensorFlow", tensorflow.org. Erişim: 12 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.tensorflow.org/

[52] M. Abadi *vd.*, "Tensorflow: Large-scale machine learning on heterogeneous distributed systems", *arXiv preprint arXiv:1603.04467*, 2016.

[53] S. Tokui, K. Oono, S. Hido, ve J. Clayton, "Chainer: a Next-Generation Open Source Framework for Deep Learning", *In Proceedings of Workshop on Machine Learning Systems (LearningSys) in the Twenty-Ninth Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS)*, c. 5, ss. 1-6, 2015.

[54] "models/research/object_detection/g3doc/tf1_detection_zoo.md at master · tensorflow/models", GitHub. Erişim: 13 Eylül 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://github.com/tensorflow/models/blob/master/research/object_detection/g3doc/tf1_detection_zoo.md

[55] "models/research/object_detection/g3doc/tf2_detection_zoo.md at master · tensorflow/models · GitHub". Erişim: 13 Eylül 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://github.com/tensorflow/models/blob/master/research/object_detection/g3doc/tf2_detection_zoo.md

[56] A. Rawat, "A Review on Python Programming", *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, c. 3, sy 12, ss. 8-11, 2020.

[57] "Welcome to Python.org", Python.org. Erişim: 26 Mayıs 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.python.org/

[58] "Anaconda | The World's Most Popular Data Science Platform", Anaconda. Erişim: 13 Eylül 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.anaconda.com/

[59] "Welcome to Flask — Flask Documentation (3.0.x)". Erişim: 10 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://flask.palletsprojects.com/en/3.0.x/

[60] R. P. Foundation, "Teach, learn, and make with the Raspberry Pi Foundation", Raspberry Pi Foundation. Erişim: 10 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.raspberrypi.org/

[61] J. D. Brock, R. F. Bruce, ve M. E. Cameron, "Changing the world with a Raspberry Pi", *J. Comput. Sci. Coll.*, c. 29, sy 2, ss. 151-153, 2013.

[62] "Welcome to the Model Garden for TensorFlow". tensorflow, 14 Eylül 2023. Erişim: 14 Eylül 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://github.com/tensorflow/models

[63] "TensorBoard | TensorFlow". Erişim: 14 Eylül 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.tensorflow.org/tensorboard?hl=tr

EKLER

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

Fatih Kayrancı

ORİJİNALLİK RAPORU

%6	%5	%1	%4
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%4
2	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	%1
3	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
4	hdl.handle.net İnternet Kaynağı	%1
5	Submitted to La Trobe University Öğrenci Ödevi	<%1
6	acikkaynak.bilecik.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
7	icidaai.yalova.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
8	www.mdpi.com İnternet Kaynağı	<%1
9	acikerisim.erbakan.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1

KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☒ **Kurum izni gerekmemektedir.**

Fatih KAYRANCI
(İmza)