



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



İHA ÜZERİNDEN DERİN ÖĞRENME TABANLI NESNE BELİRLENMESİ VE GNSS KONUM KOORDİNATLARININ HESAPLANMASI

FERİT TİRYAKİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hasan ERDAL

EŞ-DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Barış DOĞAN

İSTANBUL, 2020



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



İHA ÜZERİNDEN DERİN ÖĞRENME TABANLI NESNE BELİRLENMESİ VE GNSS KONUM KOORDİNATLARININ HESAPLANMASI

FERİT TIRYAKI

(523516011)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hasan ERDAL

EŞ-DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Barış DOĞAN

İSTANBUL, 2020

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans çalışmasında, döner kanatlı insansız hava aracı üzerinden derin öğrenme destekli nesne tanıma, takip etme ve konum koordinatlarını alma özelliklerine sahip gerçek zamanlı bir sistemin tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmam kapsamında ve her türlü konuda desteğini, bilgisini, tecrübesini ve sabrını esirgemeyen değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Hasan ERDAL ve eş-danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Barış DOĞAN hocalarıma;

Bugünlere gelebilmemi sağlayan, tüm hayatım boyunca bana inanan, güvenen, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili Aileme;

Çalışmam süresince benden arkadaşlığını ve desteğini eksik etmeyen Öğr. Gör. Fatih Serdar SAYIN ve Yunus Emre ÖZDEMİR'e;

Yardımseverlikleri ile desteklerini daima yanımda hissettiğim tüm hocalarıma, arkadaşlarıma ve çalışma arkadaşlarıma;

Projemi desteklenmeye değer bularak finansman sağlayan Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne;

Teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Eylül, 2020

Ferit TİRYAKİ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
SEMBOLLER.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Önem	9
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
2.1. İnsansız Hava Aracı Sistemi (İHAS).....	15
2.1.1. İHAS gövdesi	16
2.1.2. Motor	18
2.1.3. Pervane	18
2.1.4. Elektronik hız kontrolcüsü (ESC)	19
2.1.5. Güç modülü ve dağıtıcısı (BEC)	20
2.1.6. Uçuş kontrol birimi (FCU)	20
2.1.7. Kumanda alıcısı	21
2.1.8. Küresel navigasyon uydu sistemi (GNSS)	22
2.1.9. Telemetri modülü	23
2.1.10. Batarya.....	23
2.2. Hedef Takip Sistemi (HTS).....	24
2.2.1. Mini-Bilgisayar (MB).....	26
2.2.2. Sinirsel hesaplama çubuğu	26
2.2.3. Yalpa (Gimbal)	27
2.2.4. LiDAR mesafe ölçer	28
2.2.5. Kamera.....	29
2.2.6. WiFi adaptör	29
2.3. Yer İstasyonu ve Kontrol Verisi.....	29

2.3.1.	Yer istasyonu bilgisayarı ve telemetri modülü	30
2.3.2.	WiFi modem	30
2.3.3.	Kumanda.....	31
2.3.4.	GNSS konum ölçüm cihazı	31
2.4.	Sistem Donanım ve Yazılım Entegrasyonu	31
2.4.1.	İHAS donanım bileşenleri	31
2.4.2.	HTS donanım bileşenleri	35
2.4.3.	Yer istasyonu bileşenleri	36
2.4.4.	Bileşenlerinin montajı	36
2.4.5.	Yazılım bileşenleri.....	44
2.4.6.	Algoritma ve arayüz tasarımı	51
2.5.	Hedef Konum Koordinatlarının Elde Edilme Aşamaları	63
2.5.1.	İHAS'ın uçuşa hazırlanması	64
2.5.2.	Yardımcı konum bilgilerinin alınması.....	65
2.5.3.	Yer istasyonunun hazırlanması.....	66
2.5.4.	Havada konuşlanma ve veri toplama.....	66
3.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	69
3.1.	NCS2'nin MB performansına etkisi	69
3.2.	Elde edilen hedef konum bilgilerinin karşılaştırılması.....	73
3.3.	Tartışma	79
4.	SONUÇ ve ÖNERİLER.....	81
	KAYNAKLAR.....	83
	ÖZGEÇMİŞ	86

ÖZET

İHA ÜZERİNDEN DERİN ÖĞRENME TABANLI NESNE BELİRLENMESİ VE GNSS KONUM KOORDİNATLARININ HESAPLANMASI

Robotik sistemler, günümüzde otonom (insansız) görev uygulamalarında kullanılmaktadır. İnsansız Hava Aracı (İHA) robotik sistemlere örnek olarak verilebilir. Askeri ve sivil alanda birçok uygulamada kullanılan İHA'lar, üzerlerine eklenen çeşitli teknolojilere sahip algılayıcılar yardımıyla engelden kaçınma, nesne tanıma, otonom hedef tespiti gibi birçok görevi yerine getirebilir. Bu türden görevlerde görüntü işleme teknikleri olarak derin öğrenme ve makine öğrenmesi tabanlı yapay zekâ algoritmalarının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada, İHA aracılığıyla hedef olarak seçilen nesnenin Küresel Uydu Yönlendirme Sistemi (GNSS) koordinatlarını uzaktan hesaplayabilen bir sistem tasarlanmıştır. Sistemin kalbini 3 eksen yalpaya monte edilmiş kamera ve lazerli mesafe ölçer modülü (LiDAR) oluşturmaktadır. LiDAR yalpa üzerindeki kameranın yanına ve aynı doğrultuda yerleştirilmiştir. Anlık kamera görüntüsü ve LiDAR mesafe verileri canlı olarak arayüz yazılımına aktarılmaktadır. Arayüz yazılımında derin öğrenme yöntemleriyle görüntüdeki olası hedefler çerçevelenir. Kullanıcı seçtiği hedefi ortalayacak şekilde uzaktan kumandayla yalpa sistemini hareket ettirerek hedefi ekranın merkezine getirebilir. Arayüz yazılımından butona basılmasıyla birlikte İHA'nın GNSS koordinatları, yaw açısı ve hedef mesafesi ile yalpanın yaw ve pitch açıları düzenlenerek Vincenty formülüne gönderilir. Hedefin GNSS koordinatları hesaplanır.

Sistemin başarımını test etmek için örnek hedef nesnelerin GNSS koordinatları statik olarak ölçülüp İHA üzerinden dinamik olarak hesaplanan koordinatlar ile karşılaştırılmıştır. Haversine formülüyle, İHA'nın ölçüm sırasındaki koordinatından statik olarak ölçülen ve dinamik olarak hesaplanan koordinatlara olan mesafe ve yönelim açısı bulunmuştur. Hesaplanan koordinatın başarımı, elde edilen sapma açısı ve mesafelerin bağıl hata yüzdesi üzerinden değerlendirilmiştir.

Bu çalışma Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi

(BAPKO) tarafından desteklenmiştir (Proje No: FEN-C-YLP-170419-0123).

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı, İHA, Derin Öğrenme, Bilgisayarlı Görü, Küresel Navigasyon Uydu Sistemi, GNSS, Vincenty, Haversine.



ABSTRACT

DEEP LEARNING BASED OBJECT DETECTION VIA UAV AND COMPUTATION OF GNSS LOCATION COORDINATES

Robotic systems nowadays are used in autonomous (unmanned) task applications. An Unmanned Aerial Vehicle (UAV) can be given as an example of robotic systems. UAVs, which are used in many applications in military and civilian fields, can perform many tasks such as obstacle avoidance, object recognition, autonomous target detection with the help of sensors with various technologies attached to them. Using deep learning and machine learning based on artificial intelligence algorithms are becoming increasingly common as image processing techniques in such tasks.

In this study, a system is designed to calculate remotely the Global Navigation Satellite System (GNSS) coordinates of the selected object as a target via the UAV. The heart of the system is a 3-axis gimbal-mounted camera and laser distance measurement module (LiDAR). LiDAR is placed next to the camera on the gimbal and in the same direction. Live camera images and LiDAR distance data are transferred in real-time to the interface software. Possible targets in the image are framed by deep learning methods on the interface software. The user can move the gimbal system with the remote control to center the chosen target to the center of the screen. By pressing the button on the interface software, the GNSS coordinates, yaw angle and target distance of the UAV and yaw and pitch angles of the gimbal are arranged and sent to the Vincenty formula. The GNSS coordinates of the target are calculated.

In order to test the performance of the system, the GNSS coordinates of the sample target objects were measured statically and compared with the coordinates calculated dynamically on the UAV. Distance and bearing angle, which are from the coordinate of the UAV during the measurement to statically measured and dynamically calculated coordinates, are found with the Haversine formula. The performance of the calculated coordinate was evaluated by the obtained yaw angle and the relative error percentage of distances.

This study was supported by Marmara University Scientific Research Projects

Coordination Unit (Project No: FEN-C-YLP-170419-0123).

Keywords: Unmanned Air Vehicle, UAV, Deep Learning, Computer Vision, Global Navigation Satellite System, GNSS, Vincenty, Haversine.



SEMBOLLER

°	: derece
°C	: santigrat derece
π	: pi
μm	: mikrometre
A	: amper
Amin	: ampere-minutes - amper dakika
DC	: direct current - doğru akım
FPS	: frame per second - saniyede kare sayısı
g	: gram
GB	: gigabyte
GHz	: gigahertz
Hz	: hertz
km	: kilometre
KV	: motor velocity constant - rpm/V - volt başına dakikadaki devir sayısı
m	: metre
mA	: miliamper
mAh	: miliampere-hour - miliamper-saat
Mbps	: megabits per second
MHz	: megahertz
mm	: milimetre
rad	: radyan
V	: volt

KISALTMALAR

9DOF	: Nine Degrees of Freedom
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Alt	: Altitude
BAPKO	: Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
BEC	: Battery Eliminator Circuit - Batarya Eleyici Devre
DNN	: Deep Neural Network - Derin Sinir Ağı
CCW	: Counter Clockwise - Saat yönü tersi
CSI	: Camera Serial Interface
CW	: Clockwise - Saat yönü
D	: Doğu Boylamı
DD	: Ondalık derece
DMM	: Derece ve ondalık dakika
DMS	: Derece, dakika ve saniye
DC	: Direct Current - Doğru Akım
E.	: Eşitlik
ESC	: Electronic Speed Controller - Elektronik Hız Kontrolcüsü
FCU	: Flight Control Unit - Uçuş Kontrol Birimi
GNSS	: Global Navigation Satellite System - Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
GPS	: Global Positioning System
GSM	: Global System for Mobile Communications
HTS	: Hedef Takip Sistemi
IMU	: Inertial Measurement Unit
İHA	: İnsansız Hava Aracı
İHAS	: İnsansız Hava Aracı Sistemi
K	: Kuzey Enlemi
Lat	: Latitude - Enlem
LiDAR	: Light Detection and Ranging
LiPo	: Lityum Polimer
Lon	: Longitude - Boylam
MB	: Mini-Bilgisayar
MD	: Mikrodenetleyici

MP	: Mission Planner
NCS2	: INTEL Movidius Neural Compute Stick 2
NMEA	: National Marine Electronics Association
RasPi	: Raspberry Pi 3 B+
RGB	: Red, Green, Blue
RTK	: Real-Time Kinematic - Gerçek Zamanlı Kinematik
SBUS	: Serial Bus
SFTP	: SSH File Transfer Protocol - SSH Dosya Transfer Protokolü
TKA	: Toplam Kalkış Ağırlığı
UART	: Evrensel Asenkron Alıcı Verici
UAV	: Unmanned Aerial Vehicles
UKK	: Uçuş Kontrol Kartı
USB	: Universal Serial Bus
XNAV	: X-ışını Pulsar Tabanlı Navigasyon
VPU	: Visual Processing Unit
WiFi	: Wireless Fidelity - Kablosuz Bağlantı Alanı
YOLO	: You Only Look Once

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1-1. Derin öğrenme modeli örnek gösterimi [2]	1
Şekil 1-2. Derin öğrenme yöntemiyle nesne tanımlama uygulaması [3]	2
Şekil 1-3. Uygulama örnekleri: (a) Nesne tanıma, (b) Şerit algılama, (c) Görüntü bölütleme, (d) İnsan duruş-poz tahmini [4]	2
Şekil 1-4. Yeryüzü üzerinde paralel ve meridyenlerin gösterimi [7]	3
Şekil 1-5. GNSS koordinatlarının dünya üzerinde gösterimi [7]	4
Şekil 1-6. Trilaterasyon yöntemi ile 4 uydunun küresel kesişmesinden konum elde etme gösterimi [9]	5
Şekil 1-7. Trilaterasyon yöntemi ile uydu sinyallerinden konum hesabı [10]	6
Şekil 1-8. Otonom İHA örneği (TÜBİTAK 2018 yarışmasından, Tulpar V2)	9
Şekil 1-9. Gerçekleştirilen sistem çalışma yapısının gösterimi.....	10
Şekil 1-10. [a] Ortalama deniz seviyesi üzerindeki hedefin gösterimi, [b] Ortalama deniz seviyesi altındaki hedefin gösterimi [19].....	11
Şekil 2-1. TÜBİTAK UAV2018 yarışmasından bir görüntü	12
Şekil 2-2. Tasarlanan İHAS'ın genel blok şeması	14
Şekil 2-3. Gerçekleştirilen İHAS görünümü	15
Şekil 2-4. Gövde parçalarından bazıları	17
Şekil 2-5. Gövde toplanırken ve yalpa taşıyıcı.....	17
Şekil 2-6. İmal edilen karbon motor tutacağı.....	17
Şekil 2-7. Fırçasız DC motor.....	18
Şekil 2-8. Motor üzerine bağlanmış pervane görünümü	19
Şekil 2-9. ESC görünümü.....	19
Şekil 2-10. BEC ve ESC güç bağlantıları	20
Şekil 2-11. FCU [24]	21

Şekil 2-12. Kumanda alıcısı	21
Şekil 2-13. GNSS modülü	22
Şekil 2-14. Telemetri modülü.....	23
Şekil 2-15. Batarya	24
Şekil 2-16. Hedef tanıma ve takip sistemi görüntüsü.....	25
Şekil 2-17. Mini-Bilgisayar	26
Şekil 2-18. Sinirsel hesaplama çubuğu	27
Şekil 2-19. Yalpanın farklı açılardan görünümü	28
Şekil 2-20. LiDAR	28
Şekil 2-21. Kamera.....	29
Şekil 2-22. WiFi adaptör	29
Şekil 2-23. Yer istasyonu görünümü.....	30
Şekil 2-24. WiFi modem	30
Şekil 2-25. Kumanda.....	31
Şekil 2-26. Motor çalışma bilgileri - MT4114	32
Şekil 2-27. RasPi GPIO pin diyagramı [15].....	35
Şekil 2-28. İHAS bünyesindeki elektrik ve sinyal bağlantı şeması	37
Şekil 2-29. MB modül bağlantı şeması	38
Şekil 2-30. Gövde iskeletinin toplanması.....	38
Şekil 2-31. Motorların kollara montajı.....	39
Şekil 2-32. Güç modülü, ESC ve BEC montajı	39
Şekil 2-33. Rotor dönüş yönleri	40
Şekil 2-34. Üst kontrol katının montajı.....	41
Şekil 2-35. Batarya montajı.....	41
Şekil 2-36. HTS montajı.....	42

Şekil 2-37. Balsa ile üretilen parça.....	43
Şekil 2-38. İniş ayaklarına koruyucu bağlantı.....	43
Şekil 2-39. İHAS'ın tamamlanmış hali	44
Şekil 2-40. MP program ekranı gösterimi	44
Şekil 2-41. Servo çıkışı ayarları	45
Şekil 2-42. Uçuş modu ayarları	45
Şekil 2-43. Batarya monitörü ayarları	46
Şekil 2-44. UART ayarları	46
Şekil 2-45. Kamera yalpası MP ayarları	47
Şekil 2-46. Yalpa dönüş eksenini gösterimi	48
Şekil 2-47. Yalpa yazılımını arayüzü	48
Şekil 2-48. Uzak masaüstü programı arayüzü.....	49
Şekil 2-49. SFTP istemcisi arayüzü	50
Şekil 2-50. İHAS modülleri bağlantı şeması.....	52
Şekil 2-51. Arayüz algoritması prensip şeması.....	53
Şekil 2-52. Azimut gösterimi	53
Şekil 2-53. Arayüz programı dosya ağacı gösterimi	54
Şekil 2-54. Terminalden arayüz çalıştırma komutları	55
Şekil 2-55. Program algoritma diyagramı	56
Şekil 2-56. Tasarlanan arayüz	56
Şekil 2-57. Terminal üzerinden bilgilendirme	57
Şekil 2-58. Hedef konum hesaplama fonksiyonu.....	63
Şekil 2-59. Uçuşa hazır İHAS	65
Şekil 2-60. GNSS alıcı program arayüzü	65
Şekil 2-61. Yer istasyonu çalışma ekranı	66

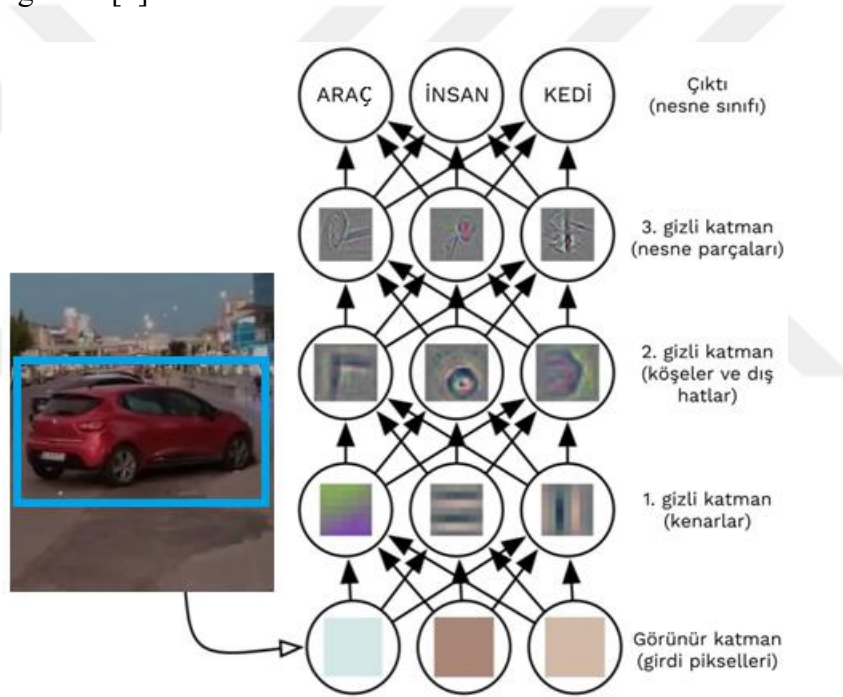
Şekil 2-62. Arayüz programı ve terminal görüntüsü	67
Şekil 2-63. Elde edilen veri dosyaları	68
Şekil 2-64. Excel içerik gösterimi	68
Şekil 2-65. Hatalı algılama örnekleri	68
Şekil 3-1. Performans etkisi bileşenleri ve bağlantıları.....	69
Şekil 3-2. Performans etkisi algoritma prensip şeması	70
Şekil 3-3. RasPi yalın örnek gösterimi (NCS2 pasif).....	70
Şekil 3-4. RasPi + NCS2 örnek gösterimi (NCS2 aktif)	71
Şekil 3-5. Tablodaki FPS değerlerinin grafiksel gösterimi	72
Şekil 3-6. Yer istasyonu ve verilerin toplanması	73
Şekil 3-7. Örnek konum bağıntısı gösterimi	75

TABLO LİSTESİ

Tablo 2-1. İHAS boyut bilgileri.....	16
Tablo 2-2. İHAS ağırlık bilgileri	16
Tablo 2-3. Gövde parçası ölçüleri.....	18
Tablo 2-4. Ülkelere göre uydu sistemleri [26].....	22
Tablo 2-5. FCU port bağlantıları	46
Tablo 2-6. Kamera yalpası için MP'ye girilen değerler ve dönüş açısı sınırları	47
Tablo 2-7. DD basamak hassasiyeti tablosu [31]	58
Tablo 3-1. Farklı durumlara göre FPS değerleri ve % değişimi	71
Tablo 3-2. Toplanan A, B ve B' konumları	77
Tablo 3-3. Bağlı hata yüzdesi (Mesafe).....	77
Tablo 3-4. Sapma hatası (Yönelim açısı).....	78

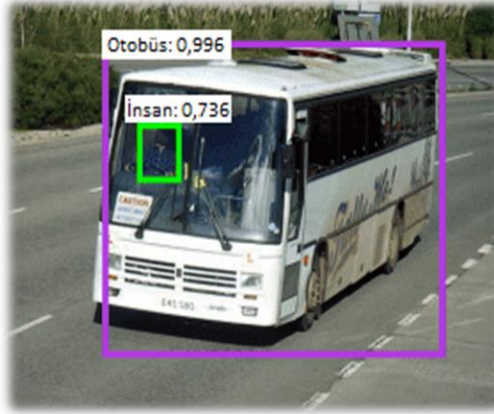
1. GİRİŞ

Kamera görüntülerinden nesnelerin belirlenmesi ve örüntü tanımlama gibi görevler günümüzde robotik sistemler tarafından otonom olarak gerçekleştirilebilmektedir. Görüntülerde aranan nesneleri tanımda derin öğrenme, makine öğrenmesi gibi popüler tekniklerin kullanımı oldukça yaygın uygulamalardır [1]. Uygulamalarda kullanılan bu yapay zekâ teknikleri aracılığıyla görüntü verilerinden otomatik olarak öznitelik çıkarılabilir ve görüntüler sınıflandırılabilir. Böylelikle görüntüde bulunan nesneler tanımlanabilir, nesne takibi ve tespiti kolaylıkla yapılabilir. Bilgisayarlı görme uygulamalarında bir derin sinir ağı modeli yapısının sadeleştirilmiş örnek gösterimi Şekil 1-1'deki gibidir [2].



Şekil 1-1. Derin öğrenme modeli örnek gösterimi [2]

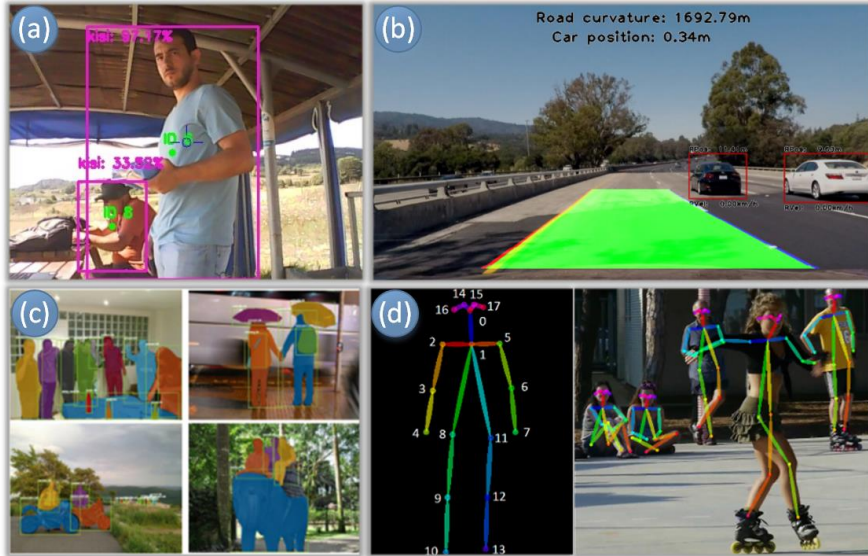
Görüntü matrisi üzerinde, yapay zekâ teknikleriyle tanımlanan nesnenin, matris üzerindeki konumu belirlenebilir ve eğitim veri tabanına göre nesnenin benzerlik oranı kolaylıkla hesaplanabilir. Şekil 1-2'de görülmekte olan uygulamada, çekilen resimde yer alan araç ve sürücüsü derin öğrenme yöntemiyle tanımlanmış ve farklı renkteki kutular ile çerçevelenmiştir. Çizilen kutunun rengi ile resimde belirlenen nesnenin türü (otobüs mor, sürücü yeşil renk) dolaylı olarak belirtilmiş ve benzerlik oranı kutu üzerine eklenmiştir. Benzerlik oranının 1'e yaklaşması, benzerliğin arttığı; 0'a yaklaşması ise benzerliğin azaldığı anlamına gelmektedir [3].



Şekil 1-2. Derin öğrenme yöntemiyle nesne tanımlama uygulaması [3]

Derin öğrenmenin kullanıldığı uygulama alanlarından bazıları aşağıda listelenmiş ve Şekil 1-3'te kullanım örneklerinden birkaçı gösterilmiştir.

- Doğal Dil İşleme
 - Çeviri
 - Ses tanıma
 - Yazı tanıma
- Görüntü/Video İşleme
- Biyomedikal Sinyal/Görüntü İşleme
- Otonom Araçlar
 - Yol, işaret ve yaya algılama vb.

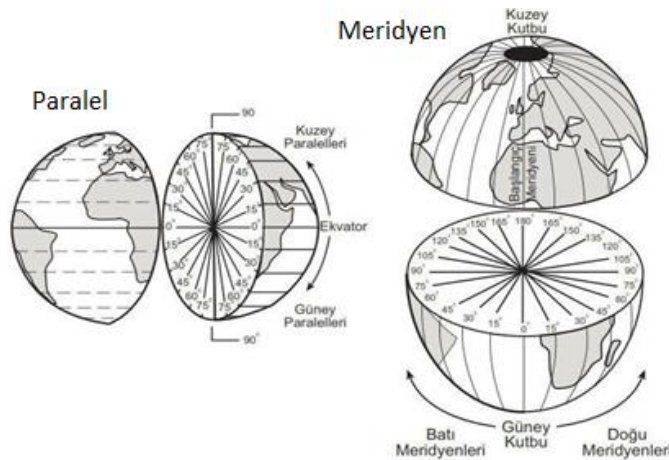


Şekil 1-3. Uygulama örnekleri: (a) Nesne tanıma, (b) Şerit algılama, (c) Görüntü bölütleme, (d) İnsan duruş-poz tahmini [4]

Robotik bir sistemi otonom olarak bir noktadan diğer bir noktaya hareket ettirebilmek için noktalar arası doğrultunun ve mesafenin doğru biçimde hesaplanabilmesi gereklidir. Nokta koordinatları belirli bir referans sistemine göre tanımlanırsa, bu hesap kolaylıkla yapılabilir. Nesnelerin coğrafi konumlarının belirlenmesi için insanlık tarihinde birçok farklı yöntem, referans sistemi geliştirilmiştir. Dünyanın manyetik kutbunu referans alarak pusula ile yön bulma; dünya üzerinde bulunan konumu güneş, ay ve belirli yıldızları referans alarak sekstant ile belirleme örnek yöntemler olarak verilebilir [5]. Günümüzde uzay çalışmalarında farklı dalga örüntüsüne sahip dört veya daha fazla Pulsar'ın yaydıkları X-ışınları kullanılarak (X-ışını Pulsar Tabanlı Navigasyon - XNAV) uzay araçlarının galaksideki konumları belirlenebilmektedir [6].

Dünya üzerindeki bir noktanın konumu farklı koordinat ve uydu sistemleri kullanılarak belirlenebilir. Koordinat sistemleri coğrafi, dik, kutupsal veya uzaysal olarak tanımlanabilir. Kullanılan koordinat sistemine göre hedef nokta farklı şekillerde ifade edilebildiği gibi, koordinat sistemleri arası dönüşüm de mümkündür [7,8].

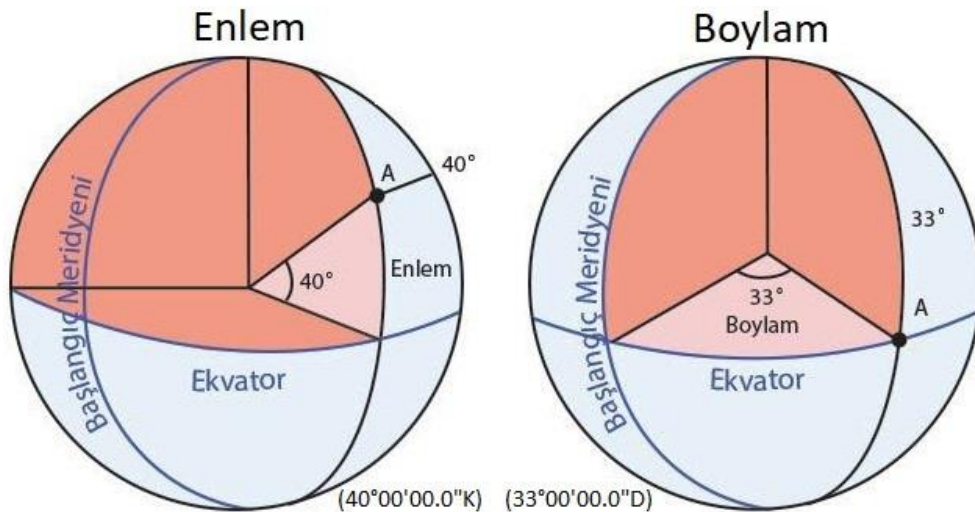
Yer küreyi enlemesine kestiği kabul edilen hayali çizgilere paralel, kutuplardan geçerek boylamasına kestiği kabul edilen hayali çizgilere ise meridyen denir. Başlangıç paraleli olarak kabul edilen Ekvator, kuzey ve güney kutbuna eşit uzaklıktaki noktaların birleşimiyle oluşan paraleldir ve 0° olarak kabul edilir. Yer küreyi kuzey ve güney yarı küre olacak şekilde ikiye böler. Başlangıç meridyeninin ise İngiltere'de bulunan Greenwich olduğu ve 0° olduğu kabul edilir. Diğer paralel ve meridyenler de, Ekvator ve Greenwich'e 1'er derece uzaklıkta olacak şekilde varsayılır. Şekil 1-4'de dünya üzerinde olduğu varsayılan paralel ve meridyenler gösterilmiştir.



Şekil 1-4. Yeryüzü üzerinde paralel ve meridyenlerin gösterimi [7]

Bu durumda 90 adet kuzey yarıkürede, 90 adet de güney yarı kürede olmak üzere toplam 180 adet paralel vardır. Benzer şekilde başlangıç meridyeninin doğusunda 180 adet, batısında da 180 adet olmak üzere toplam 360 adet meridyen vardır. Yer kürenin büyüklüğü göz önüne alındığında derece çok büyük bir mesafe ölçüsüdür. Bu nedenle daha hassas konumlama yapılabilmesi için derece (°) daha küçük ölçü birimlerine bölünerek mesafeler dakika (') ve saniye (") olarak da ifade edilebilir. 1 derecelik açı 60 dakikaya eşittir veya 3.600 saniyedir.

Yeryüzündeki herhangi bir noktanın derece, dakika ve saniye cinsinden; Ekvator'a olan uzaklığına enlem, Greenwich'e olan uzaklığına ise boylam denir. Noktanın bulunduğu yer enlem ve boylam bilgileri verilerek tanımlanabilir. Enlemler tanımlanırken kuzey veya güney yarı kürede olduğunu belirtmek için Kuzey-K / Güney-G (North-N / South-S) şeklinde ekler kullanılır. Örneğin kuzey kutbunun enlemi 90° (K), güney kutbunun enlemi 90° (G) olarak ifade edilir. Benzer şekilde boylamlar tanımlanırken Greenwich'in doğusunda veya batısında olduğunu belirtmek için Doğu-D / Batı-B (East-E / West-W) ekleri kullanılır. Şekil 1-5'teki örnekte dünya üzerindeki bir A noktasının enlem ve boylam olarak koordinatları verilmiştir. Bu durumda A noktasının koordinatları 40 derece kuzey enlemi ve 33 derece doğu boylamı şeklindedir. Koordinatlar derece-dakika-saniye biçiminde gösterilirse; 40 derece 0 dakika 0 saniye kuzey ve 33 derece 0 dakika 0 saniye doğu karşılığı olarak 40°00'00.0"K ve 33°00'00.0"D biçiminde ifade edilebilir.



Şekil 1-5. GNSS koordinatlarının dünya üzerinde gösterimi [7]

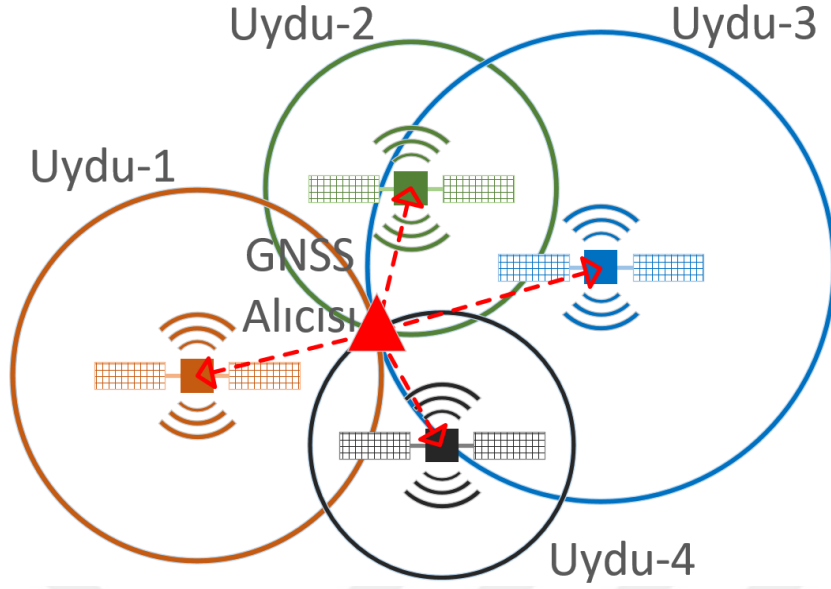
Uydu tabanlı coğrafi konumlama sistemleri ise dünya etrafında önceden belirlenmiş yörüngelerde hareket eden uyduları referans alır. Bu uyduların belirli frekans

spektrumunda yayınladıkları sinyaller, trilaterasyon yöntemi aracılığıyla, alıcı tarafın konumunun (enlem, boylam) hesaplanmasında kullanılır. Şekil 1-6'da gösterildiği gibi uyduların yaydıkları sinyaller 3 boyutlu uzayda küresel olarak yayılır ve en az 4 farklı kürenin kesişimi ile dünya üzerindeki bir konuma ait koordinatlar belirlenebilir [9,10].



Şekil 1-6. Trilaterasyon yöntemi ile 4 uydunun küresel kesişmesinden konum elde etme gösterimi [9]

Trilaterasyon yöntemi ile konum belirleme tekniği mesafe bilgisine dayanır. Yörüngede dolanan uydular nerede olduklarını ve sahip oldukları atomik saate göre zaman bilgisini sürekli olarak yayınlamaktadır. Yayınlanan bu bilgiler alıcı tarafından toplanır. Alıcı bu bilgileri kullanarak, sinyali aldığı her uyduya göre mesafesini hesaplar. Konumu ve mesafesi belirlenen uyduları merkeze alacak şekilde, alıcı etrafında Şekil 1-7'de görüldüğü gibi sanal küreler oluşturur. Uyduların alıcıya olan uzaklıkları ile kürelerin yarıçapları belirlenir. 3 boyutlu uzayda 4 ve daha fazla sayıdaki kürenin kesişimi tek bir noktayı ifade eder. Alıcı bu sanal kürelerin kesim noktasında olup, sonuç olarak 4 uydunun konumlarını referans alarak dünya üzerinde bulunduğu gerçek konumu hesaplar. Uydu, dolayısıyla sanal küre sayısının artması, alıcının konumunun daha hassas hesaplanabilmesini sağlar.



Şekil 1-7. Trilaterasyon yöntemi ile uydu sinyallerinden konum hesabı [10]

Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan farklı uydu tabanlı coğrafi konumlama sistemleri bulunmaktadır. Örneğin en çok bilinen ve yaygın olarak kullanılan konumlama sistemi Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tarafından kurulan, 24 adeti çalışır durumda ve 3 adet yedek olmak üzere toplam 27 uydudan oluşan, GPS (Global Positioning System - Küresel Konumlama Sistemi)'dir. Bunun dışında Avrupa Birliği (AB)'nin Galileo, Rusya Federasyonu'nun GLONASS ve Çin Halk Cumhuriyeti'nin ise BeiDou adlı uydu tabanlı küresel konumlama sistemi bulunmaktadır. Uydu tabanlı küresel konumlama sistemleri genel olarak GNSS (Global Navigation Satellite System - Küresel Uydu Yönlendirme Sistemi) adı verilen sistemin parçalarıdır [11].

Günümüz GNSS alıcı modülleri, aynı anda farklı uydu sistemlerinin yayınladığı sinyalleri kullanarak daha hassas konumlama yapabilmektedir. Örneğin hobi amaçlı, kendin yap (do it yourself - DIY) tipi insansız hava araçlarında (İHA, Unmanned Aerial Vehicle - UAV) yaygın olarak kullanılan M8N model GNSS alıcı modülleri; GPS, Galileo, GLONASS ve BeiDou konumlama sistemlerinden gelen uydu sinyallerinin hepsini kullanır. Alıcının konumunu NMEA (National Marine Electronics Association - Ulusal Deniz Elektroniği Birliği) kurumunun belirlediği standarda göre hesaplanır [12]. NMEA standardında elde edilen konum bilgilerinin Google Maps gibi uygulamalarda bünyesindeki haritalarda kullanılabilmesi için, konum bilgilerinin coğrafi koordinat sistemine veya enlem (Latitude - Lat) ile boylam (Longitude - Lon) sistemine dönüştürülmesi gerekir [8,13].

Küresel koordinat sisteminden elde edilen veriler ışığında alıcının konum, irtifa ve hareket yönü gibi anlık durum değişkenlerinin hesabında mikrodenetleyici (MD) veya mini-bilgisayar (MB) tabanlı sistemler kullanılmaktadır. MB sistemlerine Raspberry Pi (RasPi), BeagleBone, Edison vb. ürünler örnek olarak verilebilir. MB'lar, üzerlerinde işletim sistemi çalışabilen gelişmiş MD'lerden oluşmaktadır. Örneğin popüler bir MB olan RasPi3 Model B+ versiyonunun kalbinde ARM Cortex-A53 tabanlı, 64 bit mimariye sahip bir MD kullanılmaktadır. MB'ların küçülüp ucuzlayarak otonom robotik sistemlerde yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte, çevreden elde edilen algılayıcı verileri kullanılarak yapılan hesaplamalar, hem daha yüksek hız ve doğrulukla hem de daha üst seviyeli diller kullanılarak kodlanabilmektedir. MB'lara yüklenen işletim sistemlerinin temel özelliği olan donanım ayırma katmanı (hardware abstraction layer - HAL) sayesinde, donanım katmanı ile yazılım katmanı birbirlerinden ayrılmaktadır. Böylelikle otonom robot için C++ veya Python gibi programlama dilleri kullanılarak geliştirilmiş olan kodlar, donanımdan bağımsız olarak benzer işletim sistemi yüklü MB'lara kolaylıkla aktarılabilmektedir [14-16].

Karar verme süreçlerine ait kodların geliştirilmesi önemli bir iştir. Otonom sistemlerin karar verme süreçlerinin geliştirilmesine yapay zekâ destekli uygulamalar katkı sağlamaktadır. Bu türden karar uygulamalarının koşturulması için yüksek kapasiteli işlem gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek kapasiteli işlem gücüne yönelik ideal işlemci seçiminde performans, maliyet, enerji tüketimi gibi parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek işlem gücü, düşük maliyet ve en önemlisi enerji tüketiminin düşük olması, verimliliği arttıran faktörler olup; mobil robotlar için işlemci seçiminde en önemli kısıtlardır.

Uçuş kontrol kartı (UKK, flight control unit - FCU) kullanıcı tarafından verilen kumanda komutlarına göre İHA'nın uçabilmesini sağlayan, kendi MD, ataletsel ölçüm birimleri ve algılayıcıları olan bir elektronik karttır. Günümüz açık kaynaklı UKK bünyesinde alt seviye C++ tabanlı geliştirilmiş oldukça karmaşık yapılı ve katmanlı kodlar koşturmaktadır. İHA'nın otonom görevleri yürütebilmesi için gerekli kodlar ise, C++ veya Python gibi üst seviye diller kullanılarak kolaylıkla geliştirilebilmektedir. Kodlar geliştirilirken, robot programlama mantığına yatkın olan sıralı akış kontrolü (sequential flow chart - SFC) benzeri bir yöntem kullanılır. Otonom göreve yönelik geliştirilen bu kodlar ise RasPi gibi

MB üzerinde koşturulur. MB ile UKK arasında kurulan seri iletişim hattı üzerinden otonom görevler adım adım UKK'na gönderilir ve görev adımlarına ait işlem sonuçları takip edilebilir. Otonom görevler programlanırken, kullanıcının belirlediği kod akışı dışında, İHA bünyesindeki çeşitli algılayıcılardan elde edilen veriler kullanılarak yapay zekâ tabanlı engelden kaçınma, hedef takibi vb. görevler yürütülebilir.

Otonom karar algoritmalarının çalışma performansı, MB alışma hızı ile doğru orantılıdır. Canlı görüntü işleme, derin öğrenme gibi yapay zekâ uygulamaları, sahip oldukları karmaşık ve kalabalık matematiksel işlem betiği nedeniyle yüksek işlemci gücüne ihtiyaç duyarlar. Günümüz MB büyük bir kısmı bu algoritmaları tek başına koşturacak işlemci gücüne sahip değildir. Yüksek işlem gücün sahip sistemler ise genellikle fiziksel olarak büyük olup, İHA gibi mobil robotik sistemlerde kullanımı uygun değildir. NVIDIA firmasının, yüksek işlem kapasitesi gerektiren grafik kartları geliştirme tecrübesiyle ürettiği Jetson Nano tarzı ürünler, yüksek işlem gücü gerektiren yapay zekâ algoritmalarını çalıştıracak yeteneğe sahiptir. Bunun yanında INTEL firmasının ürünü olan Movidius görüntü işleme birimi (visual processing unit - VPU), RasPi gibi standart kapasitedeki MB haricen USB portları üzerinden bağlanırlar. Movidius gibi donanımlar, karmaşık karar algoritmalarını koşturabilmek için MB ek işlem gücü sağlarlar. Derin ğrenme uygulamaları ile ilgili kodları kendi üzerlerinde çalıştırdıkları için bilgisayar ana işlemcisine düşen yk azalır. İHA'lar gibi enerji tketimeinin kritik olduğu robotik uygulamalarda, MB işlemci g tketimeini düşürdükleri ve görüntü işlemedeki performansı misliyle arttırdıkları için Movidius gibi harici işlem hızlandırıcı donanımlar tercih edilirler.

Günümüzde derin öğrenme yöntemleriyle nesne belirleme, hedef tanımlama gibi uygulamalarda yazılım tarafı için Python, C++, vb. programlama dilleri yaygın olarak kullanılır. Ayrıca bu dil platformlarında kullanılmak üzere TensorFlow, YOLOv3, OpenCV, vb. gibi açık kaynak kodlu derin öğrenme kütüphaneleri mevcuttur.

Robotik sistemlere güzel örneklerden biri olan İHA'nın arama, kurtarma, gözetleme, denetleme gibi birçok farklı alanda kullanımı yaygınlaşmaktadır [17,18]. Bünyelerinde bulunan MB ve gelişmiş algılayıcılar sayesinde İHA'lar otonom (insansız) olarak verilen görevleri yerine getirebilmektedir. Örneğin şekil 1-8'de TEKNOFEST kapsamında düzenlenen TÜBİTAK UAV2018 yarışması için takım olarak ürettiğimiz ve otonom

görevleri yerine getirmek üzere tasarlanmış bir döner kanatlı İHA (TULPAR V2) görülmektedir. İHA'nın görevde belirlenen koordinatlara otonom olarak bırakılması istenen yükleri taşımak üzere İHA'nın alt tarafına kendi tasarımıımız yük bırakma sistemi yerleştirilmiştir. Bu tip otonom araçların görevlerini yerine getirme aşamasında anlık konum ve uçuş doğrultusunun belirlenmesi kritik öneme sahiptir. Çoğunlukla GNSS tabanlı modüller aracılığıyla elde edilen konum bilgisi oldukça güvenilirdir. Örneğin hobi amaçlı İHA'larda yaygın olarak kullanılan M8N model GNSS alıcı modülü, açık havada ve uygun şartlarda 2m hassasiyet ile konum bilgisi verebilmektedir [12]. Bu hassasiyet İHA'lar ile gerçekleştirilebilecek birçok uygulama için yeterli seviye olarak kabul edilebilir.

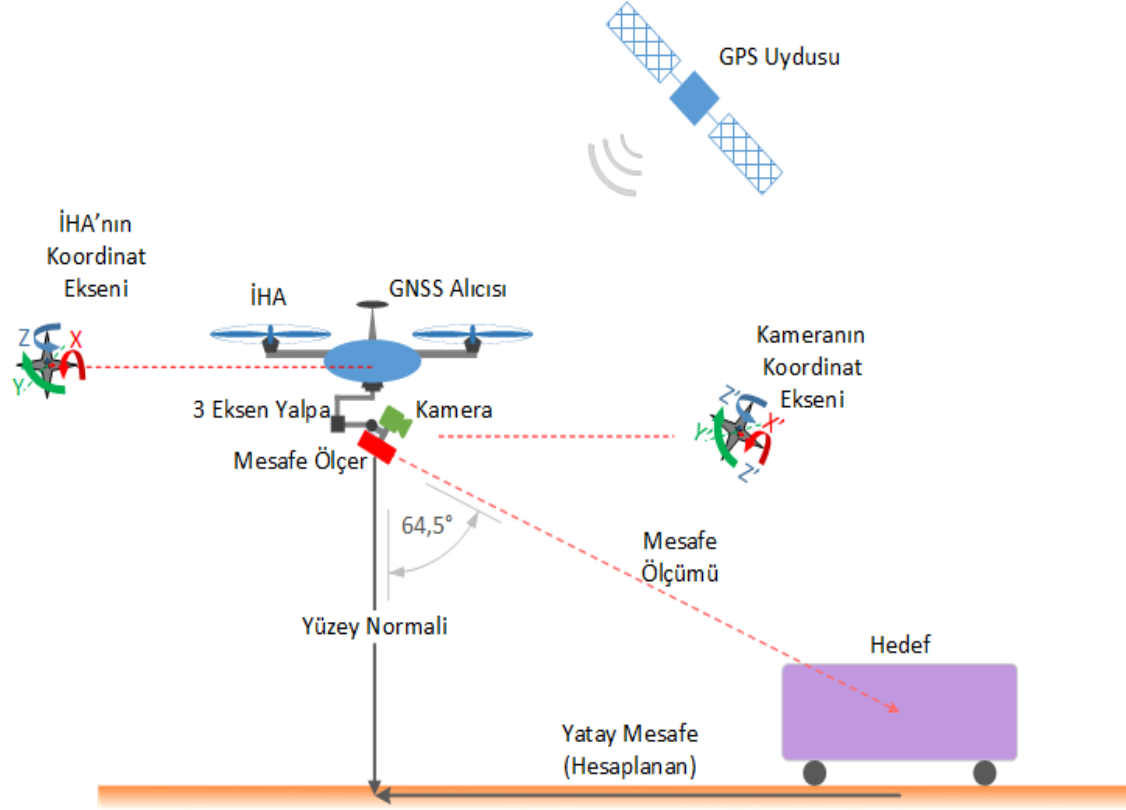


Şekil 1-8. Otonom İHA örneği (TÜBİTAK 2018 yarışmasından, Tulpar V2)

1.1. Amaç ve Önem

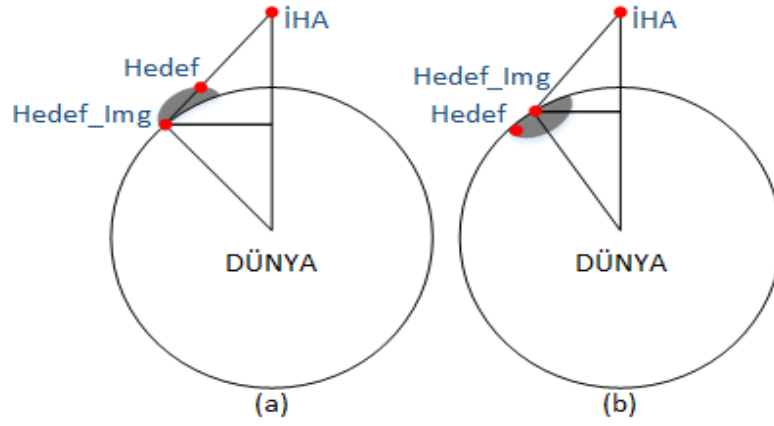
Bu çalışmanın amacı İHA üzerinden elde edilen görüntüden derin öğrenme yöntemleriyle belirlenen uzaktaki bir nesnenin GNSS koordinatlarının hesaplanmasıdır. İHA üzerinden titreşimsiz çevre görüntüsünün elde edilmesi için kamera 3 eksen hareketli yalpa (gimbal) sistemine bağlanmıştır. Elde edilen gerçek zamanlı görüntüler üzerinde derin öğrenme modeli kullanılarak önceden tanımlı araç, insan vb. nesneler algılanmaktadır. Yalpa sistemi el ile algılanan nesne görüntüsüne doğru yönlendirilebilmektedir. Yalpa sistemine kamera bakış açısı ile aynı doğrultuda yerleştirilmiş bir lazer tabanlı mesafe ölçüm sistemi (LiDAR) eklenmiştir. Böylelikle İHA üzerindeki kamera objektifinin hedefe olan uzaklığı ölçülmektedir. Şekil 1-9'da görüldüğü gibi ölçülen uzaklık, İHA'nın GNSS

koordinatları ve yaw açısı ile yalpanın yaw ve pitch açıları, detayları ileriki bölümlerde anlatılacak olan Vincenty algoritması kullanılarak hedefin GNSS koordinatları hesaplanmaktadır.



Şekil 1-9. Gerçekleştirilen sistem çalışma yapısının gösterimi

Bu alanda yapılan literatür araştırmasında bulunan uygulamalardan [19]'de, Şekil 1-10'daki gibi, görülen hedefin deniz seviyesine göre bulunduğu yüksekliğe bağlı olarak konum hesaplamaları yapılmış; [20]'de ise İHA ile hedefin üzerinde uçuş yapılarak tahmini konum verilerine göre hedef takibi yapılmıştır. Bunların dışında [17]'te otonom görevlerde mesafe ölçümü tabanlı GNSS kullanmadan, İHA'ya önceden referans derinlik haritası yüklenmiş ve uçuş sırasında taranan alanların benzerliğine bakılarak, İHA'nın bulunduğu konumun nerede olduğunu tahmin edebilen sistem oluşturulmuş; [17,18,21,22]'de ise İHA ile görüntü işleme destekli hedefe kilitlenme ve takibi çalışmaları yapılmıştır.



Şekil 1-10. [a] Ortalama deniz seviyesi üzerindeki hedefin gösterimi, [b] Ortalama deniz seviyesi altındaki hedefin gösterimi [19]

Otonom hareket edecek bir sistemin, bulunduğu ve hedef nokta koordinatlarını bilmesi, hareketin yönünü ve mesafesini hesaplayabilmesi için gereklidir. Bir noktanın koordinatlarının belirlenmesi için o noktaya bir ölçüm cihazı yerleştirmek gerekmektedir. Bazı durumlarda noktanın bulunduğu konum ulaşılması zor veya tehlikeli bir yer olabilir. Yapılan bu çalışma ile geliştirilen sistem sayesinde hareketli veya sabit durumdaki uzak bir noktaya ait GNSS konum bilgileri, o noktaya gitmeden de hesaplanabilmektedir. Sistemin İHA gibi hareket yeteneği ve alanı yüksek bir araç üzerinde olması, hedef nokta çeşitliliğini artırarak kullanımda esneklik sağlamaktadır. Örneğin otobanda hareket halindeki bir aracın GNSS konum bilgileri kolaylıkla hesaplanabilir. Bir başka uygulamada yangın bölgesinde bulunan ve tehlikedeki bir binanın GNSS konum bilgileri itfaiye helikopteri ile paylaşarak yönlendirme yapılabilir. Bu ve benzer uygulamalarda, bu çalışmada geliştirilen uzaktan ölçüm sisteminin ülkemize katkısı büyük olacaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yürütülen bu çalışma kapsamında, otonom hareket ve yönlenme gibi kabiliyetler gerektiğinden hazır olarak satılan bir döner kanatlı İHA iş görmemektedir. Hazır satılan İHA'lar genellikle dışarıdan müdahaleye izin vermeyen kapalı mimaride üretildikleri için bu çalışmada gereken istekleri karşılamamaktadır. Bu nedenle, Marmara İnsansız Hava Araçları Kulübü (İHA MARMARA) kapsamında önceden katıldığımız TÜBİTAK Uluslararası İnsansız Hava Araçları yarışmalarından da edinilen tecrübeler ışığında hazır bir İHA satın almak yerine, açık kaynak mimariye (ArduPilot) sahip uçuş kontrol kiti bulunan bir döner kanat İHA toplanmıştır. Basit ve temel bir tasarım olduğu için uygulanmasında kolaylık yaratacağı düşünüldüğünden ve maliyet bakımından daha hesaplı olduğundan dolayı toplanacak İHA'nın 4 rotorlu dönerkanat (quadcopter - quadrotor) olmasına karar verilmiştir. Şekil 2-1'de döner kanat kategorisinde mansiyon ödülünü kazandığımız TÜBİTAK UAV2018 yarışmasından bir kare görüntülenmektedir.



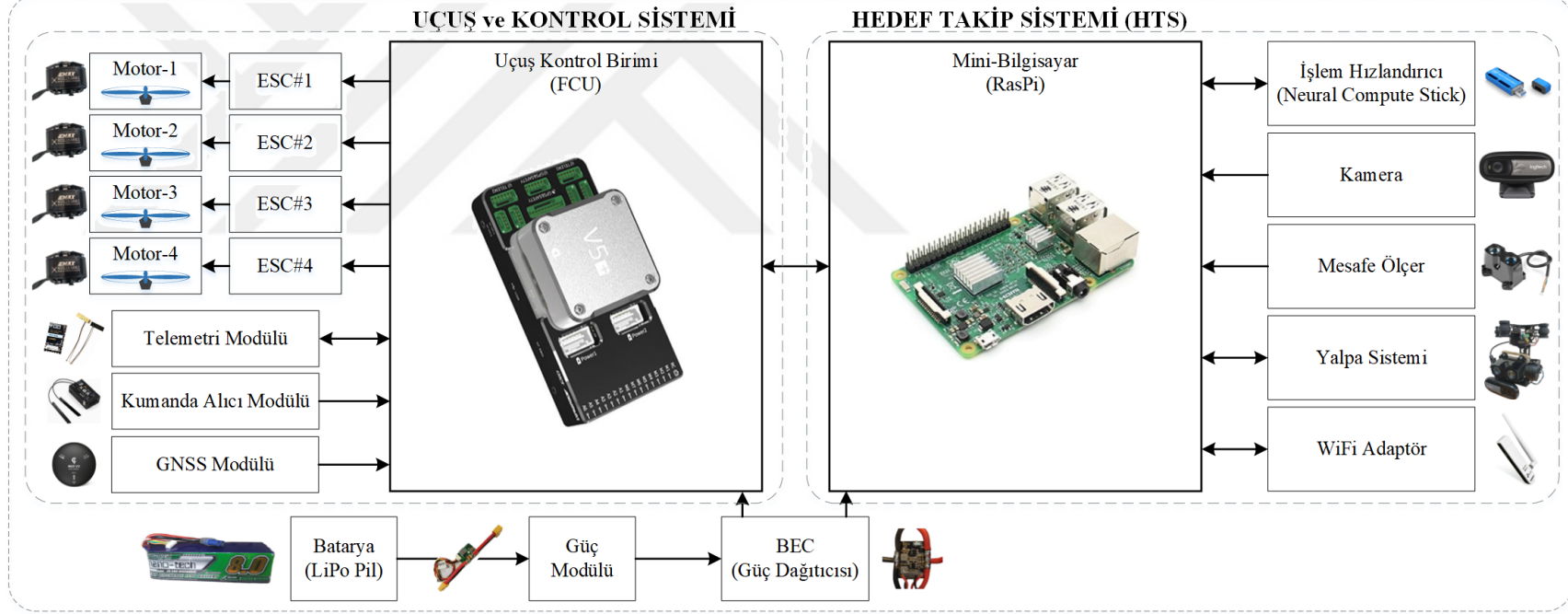
Şekil 2-1. TÜBİTAK UAV2018 yarışmasından bir görüntü

Toplanan bu İHA'ya ait donanımların çoğu hazır olarak satılmakta olan, kendini kanıtlamış ürünler arasından seçilmiştir. İHA'da kullanılacak uçuş kontrol kiti bünyesinde uçuş kontrol kartı, uzaktan kumanda alıcı modülü, yer istasyonu yazılımı ile haberleşmeyi sağlayan telemetri modülü ve İHA'nın dünya üzerindeki yerini belirleyen GNSS alıcı yer almaktadır. Yer istasyonunda yer alacak dizüstü bilgisayarda kurulu olacak görev kontrol yazılımı Mission Planner (MP), yine yer istasyonu bilgisayarına bağlı telemetri modülü üzerinden İHA ile canlı olarak haberleşmektedir. Böylelikle İHA'nın tüm anlık uçuş verileri görüntülenmekte ve gerektiğinde elle/otonom görev ile

ilgili tüm ayarlamalar görev kontrol yazılımı üzerinden gerçekleştirilmektedir. Pilot kumanda ile elle kontrol ederek uçuşu gerçekleştirme ve Hedef Takip Sistemi (HTS) üzerinden hedefe yönelme işlerini yer istasyonu desteğiyle yapmaktadır. Bu çalışma kapsamında tasarlanan İnsansız Hava Aracı Sistemi (İHAS)'nin genel yapısına ait blok şema Şekil 2-2'de verilmiştir.



İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMİ (İHAS)



YER İSTASYONU (Dizüstü Bilgisayar + Görev Kontrol Yazılımı + Pilot Kontrol)

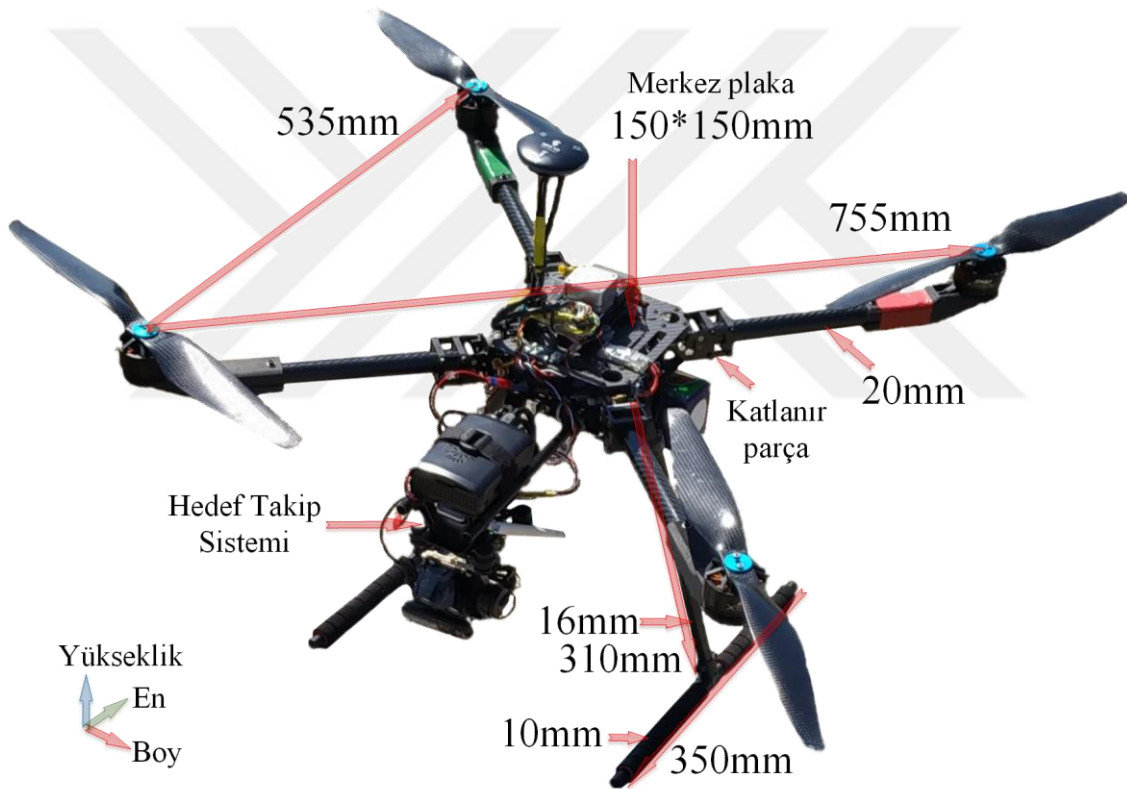


Şekil 2-2. Tasarlanan İHAS'ın genel blok şeması

2.1. İnsansız Hava Aracı Sistemi (İHAS)

İHAS robotik sistemlere bir örnektir. Kontrolcü, haberleşme modülü, batarya, eyleyici, algılayıcı, yapısal gövde, bunları birbirine bağlayan mekanik ve elektronik bileşenler robotik sistemi meydana getirmektedir.

Gövde ve üzerine yerleştirilen diğer parçalardan oluşur. Faydalı yük bağlanarak farklı amaçlar için kullanıma imkân tanımaktadır. Örneğin kamera bağlanarak havadan görüntü alınması, bazı askeri uygulamalar için silah taşınması, paket taşıyıcı olarak kullanılması gibi. Bu uygulamada döner kanatlı 4 kollu X-tipi gövdeli İHAS tasarımı tercih edilmiştir. Şekil 2-3'te montajı gerçekleştirilen İHAS gösterilmiştir.



Şekil 2-3. Gerçekleştirilen İHAS görünümü

Aşağıda belirtilen değerler sistemin kapladığı alanın boyutlarıdır. HTS üzerine montajlı haldedir. Pervaneler ve batarya takılı olmadan ölçülmüştür. Katlanabilir kollara sahip olan bu sistemin montajı tamamlandıktan sonrası için kolları katlanmış ve açık olarak boyut bilgileri Tablo 2-1'de gösterilmiştir.

Tablo 2-1. İHAS boyut bilgileri

İHAS Kol Durumu	Boyutlar (En/Boy/Yükseklik)
Kollar açık	580x580x530mm
Kollar açık ve pervaneler takılı	820x820x530mm
Kollar katlanmış	430x330x530mm

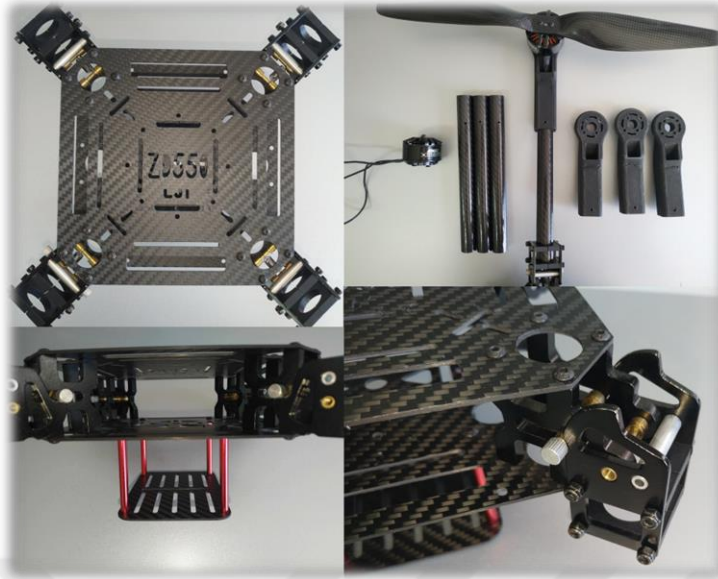
Pervaneler dâhil olarak uçuşa hazır İHAS ile ilgili ağırlık bilgileri Tablo 2-2’de bulunmaktadır. Havada bulunduğu sıradaki bütün uçuş sistemi ve taşıdığı yüklerin toplam ağırlığına uçuş ağırlığı denir. Havada kalma süresi, hareket hızı, manevra kabiliyeti gibi uçuş performansını etkileyen önemli bir parametredir.

Tablo 2-2. İHAS ağırlık bilgileri

Ölçülen Bölümler	Ağırlık (gr)
İHA (yalın - batarya ve sistem takılı olmadan)	1947
HTS	527
İHA + HTS	2474
Batarya	1100
Uçuş Ağırlığı (İHA + HTS + Batarya)	3574

2.1.1. İHAS gövdesi

Bu çalışma kapsamında imal edilen İHAS için hazır satılan ZD550 gövde kullanılmıştır. Gövdeye ait kolların katlanabilir olması sayesinde, İHAS muhafaza edilirken veya bir yerden bir yere taşınırken, daha az alana ihtiyaç duyulmaktadır. Kollar, ana gövde ve iniş takımı karbon fiber, kol bağlantı parçaları ise alüminyumdan üretilmiştir. Kullanılan gövde parçalarından bazıları Şekil 2-4’de görülebilir. Gövde üzerine Şekil 2-5’teki gibi bir yalpa taşıyıcı bağlantı noktası monte edilmiştir. Motor bağlantıları için kullanılan orijinal gövde parçası, yeniden tasarlanarak orijinalinden farklı olarak karbon destekli 3B yazıcıdan imal edilmiştir. Üretilen motor tutacağının farklı açılardan görüntüleri Şekil 2-6’da verilmiştir.



Şekil 2-4. Gövde parçalarından bazıları



Şekil 2-5. Gövde toplanırken ve yalpa taşıyıcı



Şekil 2-6. İmal edilen karbon motor tutacağı

Gövde ayakları ve kollarını oluşturmak için farklı çaplarda karbon fiber borular kullanılmıştır. İHAS'ın iniş takımı boyu, üzerine eklenen HTS'nin çalışmasını etkilemeyecek şekilde uzun olarak tasarlanmıştır. İlgili parçaların ölçüleri Tablo 2-3'teki gibidir.

Tablo 2-3. Gövde parçası ölçüleri

Parçalar	Ölçüler (mm)
Çapraz kol mesafesi	755
Motorlar arası dış uzaklık	535
Merkez plakalar (En/Boy/Kalınlık)	150x150x1,5
Kollar (Dış çap/İç çap/Uzunluk)	20x18x200
İniş takımı dikey (Dış çap/İç çap/Uzunluk)	16x14x310
İniş takımı yatay (Dış çap/İç çap/Uzunluk)	10x8x350

2.1.2. Motor

Bu çalışma için imal edilen İHAS'ın itkisini sağlamak üzere EMAX marka MT4114 model 340KV (KV: rpm/V) fırçasız DC motor seçilmiştir. İHAS'ın quadrotor olması sebebiyle, her kolunun ucuna toplamda 4 adet Şekil 2-7'de gösterilen motor bağlanmıştır. Katalog verilerine göre 340KV'lık motor kullanılmıştır. 6S (22,2V) pille çalıştırılan bu motor 141g ağırlıkta olup, 6S (22,2V) gerilim altında ve 15 inç pervane ile maksimum 2.240g itki üretmektedir [23].



Şekil 2-7. Fırçasız DC motor

2.1.3. Pervane

Pervaneler motordan gelen dönme kuvvetini, doğrusal itme kuvvetine çevirmektedir. Pervane boyutu belirlenirken üretici tarafından hazırlanmış olan motor katalog verileri

kullanılmıştır. Motora uygun pervane seçimi için firmanın hazırladığı özellik tablosunda karşılık gelen 15x55 karbon fiber pervane kullanılmalıdır. Zıt yönlerde dönen CW (saat yönü) ve CCW (saat yönü tersi) olarak 2'şer çift toplamda 4 adet pervane bulunmaktadır. Karbon fiber yapıda olması diğer pervane materyallerine göre daha hafif, mukavemeti yüksek ve iyi balansa sahip olmasını sağlamaktadır. 1555 kodunda pervanenin çapının 15 inç olduğu ve 5,5 inç hatve (pitch) uzunluğunun olduğu belirtilmektedir. Şekil 2-8'de pervanenin kol üzerindeki montajlı hali görülebilir.



Şekil 2-8. Motor üzerine bağlanmış pervane görünümü

2.1.4. Elektronik hız kontrolcüsü (ESC)

Elektronik hız kontrolcüsü motor devrini kontrol etmektedir. Kısaltılmış adı ESC olan bu modüller bataryadan sağlanan elektrik enerjisini kontrolcüden aldığı hız bilgisine göre motorların dönme hızlarını ayarlama kullanır. ESC seçiminde bağlı olduğu motorun çekeceği maksimum akımı verebilmesine ve doğru DC gerilimi sağlamasına dikkat edilmelidir. Uygulamada kullanılan motor gerilim için 6S pil ile çalıştığından aynı batarya değerinde çalışabilmelidir. Maksimum akım değerini karşılayabilecek Şekil 2-9'da gösterilen ZTW Spider 40A Opto ESC kullanılmıştır. Bağlantıları yapılmış ESC'lerin gösterimi ise Şekil 2-10'dadır.

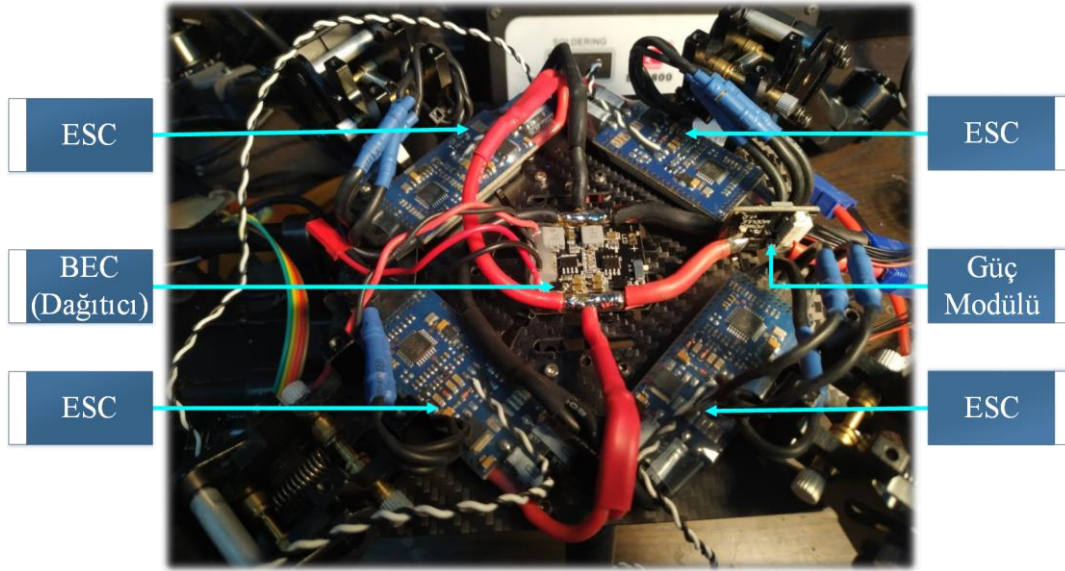


Şekil 2-9. ESC görünümü

2.1.5. Güç modülü ve dağıtıcısı (BEC)

Güç modülü olarak CUAV'a ait HV_PM yüksek voltaj güç modülü kullanılmıştır. Kullanılan batarya bu modülün girişine bağlanmaktadır. 10V-60V(3S-14S pil) giriş voltajını DC-DC çevirici ile uçuş kontrol kartı için 5V ve maksimum 5A'lık çıkış almaya izin veren portu bulunmaktadır. Uçuş kontrolcüsüne akım ve voltaj değerlerini algılaması için $\pm 0,1V$ ve $\pm 0,2A$ hassasiyetinde analog sinyal sağlar. Maksimum algılama ve çıkış akımı 60A'dır.

Güç modülünün çıkışından gelen enerji kablosu BEC (Battery Eliminator Circuit - Batarya Eleyici Devre) girişine bağlanır. BEC yardımıyla batarya voltajı farklı DC seviyelerine düşürülür. Sistemde kullanılan cihazların çalışması için gereken voltaj seviyeleri çıkışlarından alınarak dağıtılır. ESC'lerin kablo karışıklığı önlenerek enerjilendirilmesi için BEC'in üzerinde bulunan ana hat pedlerine kablo bağlantıları yapılmıştır. Batarya gücü paralel olarak bütün ESC'lere direkt dağıtılmış olur. Üzerinde DC-DC voltaj dönüştürücü bulunmaktadır. Dönüştürülmüş 5V DC ve 12V DC ise ihtiyaç duyulan sistem modüllerine buradan yönlendirilmektedir. Harcanacak toplam akım-voltaj değerlerine uygun güçte çevirici devre tercih edilmelidir. Bağlantıları yapılmış ESC, güç modülü ve BEC gösterimi ise Şekil 2-10'dadır.



Şekil 2-10. BEC ve ESC güç bağlantıları

2.1.6. Uçuş kontrol birimi (FCU)

İHAS'ın beyni olan bu modül, uçuş sırasında dâhili ve harici bağlanan sensörler

vasıtasıyla eksenlerindeki değişimi algılayarak dengede kalmasını sağlamaktadır. Otonom hareket veya manuel kumanda gibi uçuş modlarında istenen hareketi dengeli gerçekleştirmek hesaplamaları yapar. Bunun sonucunda motorları kontrol eden ESC'lere uygun sinyaller göndererek hız kontrolünü gerçekleştirir. şekil 2-11'de gösterilen Pixhawk PX4 ile uyumlu CUAV V5+ uçuş kontrolcüsü kullanılmıştır [24].



şekil 2-11. FCU [24]

2.1.7. Kumanda alıcısı

İHAS'ın kumanda aracılığıyla pilot tarafından uzaktan kontrolünü sağlayan alıcı modüldür. FCU ile SBUS hattına bağlı ve önceden kumanda ile eşleştirilmiş FrSky X8R 2.4GHz RC kumanda alıcısı üzerinden haberleşme sağlanır. 16 kanala kadar desteklemektedir. zerinde yer alan 8 adet PWM ıkışı ile ayrı ayrı servo motorlar sürülebilir. RSSI bağlantısı ile kumandaya cihaz verilerini gönderebilmektedir. şekil 2-12'de kullanılan kumanda alıcısı gösterilmektedir.



şekil 2-12. Kumanda alıcısı

2.1.8. Küresel navigasyon uydu sistemi (GNSS)

Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System - GNSS) çeşitli ülkelerin sahip olduğu uydu tabanlı navigasyon sistemlerinin hepsine verilen genel adıdır. Küresel, bölgesel veya yerel hizmet alanına sahip konumlama sistemleri bulunmaktadır [25]. Günümüzde dünya yörüngesinde en çok bilinen 6 adet uydu tabanlı konumlama sistemine ait bazı bilgiler ülkelere göre Tablo 2-4’de sunulmuştur [26]. Bunlardan bir kısmı tam kapasite çalışmakta bir kısmının da kurulumu devam etmektedir.

Tablo 2-4. Ülkelere göre uydu sistemleri [26]

Uydu Sistemi	Sahip Ülke	Kapsama Türü	Konum Hassasiyeti
GPS	ABD	Küresel	5m
GLONASS	Rusya	Küresel	4,5m - 7,4m
Galileo	AB	Küresel	1m (Genel) 0,01m (Şifreli)
BeiDou	Çin	Küresel	1m (Genel) 0, 1m (Şifreli)
QZSS	Japonya	Bölgesel	1m (Genel) 0.1m (Şifreli)
NavIC	Hindistan	Bölgesel	10m (Genel) 0.1m (Şifreli)

Kullanılan uçuş kontrolcüsüyle uyumlu olan Şekil 2-13’teki NEO V2 GNSS modülü tercih edilmiştir. Farklı iki konum uydusundan aynı anda bilgi alabilen U-Blox M8N işlemcisine sahiptir. 33g ağırlığında ve 60x15,8mm boyutlarında olan parça üzerindeki RGB ledleri ile anlık durum bilgileri gözlemlenebilmektedir. Dâhili olarak güvenlik butonu, pusula, uyarı zili bulunmaktadır. Performans olarak konum güncelleme hız değeri maksimum 10Hz olarak belirtilmiştir [27].

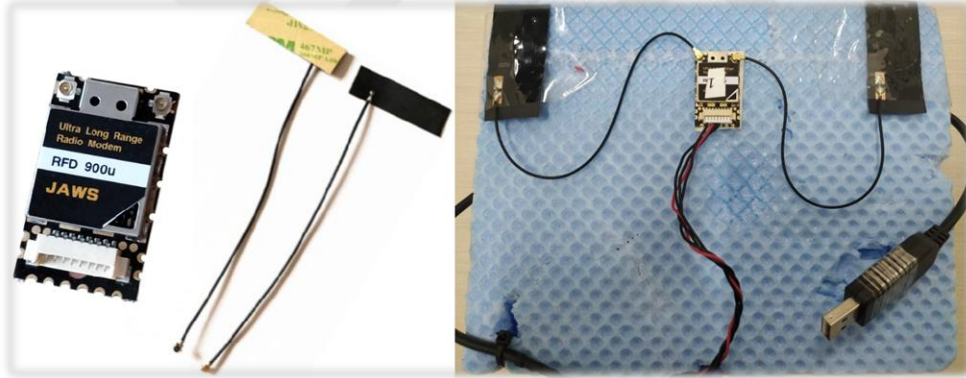


Şekil 2-13. GNSS modülü

2.1.9. Telemetri modülü

Herhangi bir uzak veya erişilemeyen sistemin uzaktan kablolu veya kablosuz olarak kontrol edilmesi veya bilgilerinin izlenmesi telemetri olarak adlandırılır. Buradaki telemetri verileri, uygulamaya göre değişkenlik göstererek kablo, kızılötesi, radyo, GSM, uydu vb. kullanılarak aktarılabilir. Kaynak üzerinde sensörlerden alınan ya da oluşturulan verilerin uzak bir noktadan okunmasına veya varsa sinyal çıkışlarının kontrolüne imkân sağlar.

Sistem bileşeni olarak 2 adet JAWS RFD 900u telemetri modülü kullanılmıştır. 2,7g ağırlığında ve 19,0x30,4x4,5mm boyutlarındadır. 902-928MHz frekans aralığı ile 10km menzile sahiptir. -40 ile +85 °C derece çalışma sıcaklık aralığıdır. Şekil 2-14'deki modül çift olarak birbirleriyle eşleştirilmiştir. Bir tanesi İHAS üzerinde FCU ya UART ile bağlanmıştır. Diğer modül ise yer istasyonu bilgisayarına USB ile UART üzerinden bağlanarak haberleşme sağlanır.



Şekil 2-14. Telemetri modülü

2.1.10. Batarya

Lityum Polimer pil (LiPo) yapısında Lityum elementi ve Polimer bileşiği bulundurmaktadır. Tekrar şarj edilebilir. Her bir hücre sayısı 1S ile adlandırılır. Hücre başına voltajı 3.7V olarak hesaplanır. Yüksek deşarj kapasitesine sahiptir. 6 hücreli yani 6S 22.2V pil kullanılmıştır. Motor seçimine ve ağırlığa bağlı olarak bu değerdeki batarya seçilmiştir. Kablo ve soket dâhil 1105g ağırlığındadır. Kullanılan Turnigy marka nano-tech 8000mAh kapasiteli 6S 25C-50C Discharge 6 hücreli 22.2V LiPo batarya görüntüsü Şekil 2-15'teki gibidir.



Şekil 2-15. Batarya

2.2. Hedef Takip Sistemi (HTS)

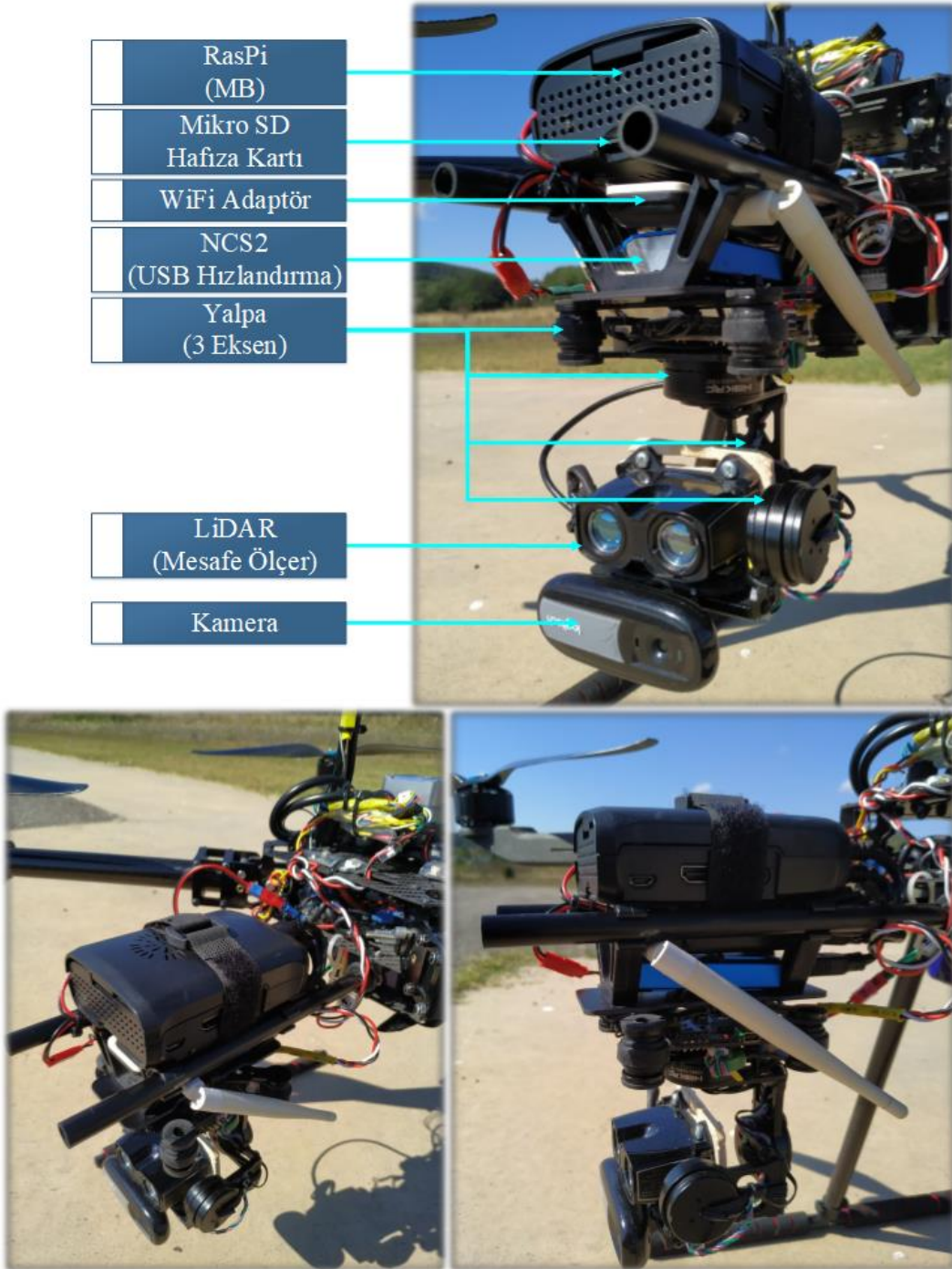
Gerçekleştirilen çalışmada hedef takip sisteminde (HTS) kullanılan donanım, montajlı olarak Şekil 2-16'da gösterilmiştir. Tasarlanan deney platformunda kullanılan bileşenlerin yaygın kullanım ağına sahip olması, birçok farklı alanda uygulama imkânı vermesi, taşınabilir olması ve düşük güç tüketimi sebebiyle seçilmiştir.

Bu bileşenlerin adları ve özellikleri aşağıda liste halinde belirtilmiştir.

- Mini-Bilgisayar
 - Raspberry Pi 3 B+ (RasPi)
- Hafıza kartı
 - SanDisk Extreme Pro 64GB Mikro SD kart
- Harici sinirsel hesaplama birimi
 - INTEL Movidius Neural Compute Stick 2 (NCS2)
- Yalpa
 - HAKRC Storm32 3 Eksenli Gimbal
- LiDAR mesafe ölçer
 - Garmin LiDAR- Lite v3HP
- Kamera
 - Logitech C170 Webcam (USB 2.0)
- WiFi adaptör
 - TP_LINK TL-WN722N 150Mbps Kablosuz USB Adaptör

Deney sistemi için mini-bilgisayarda kullanılan ana yazılım bileşenleri ve sürümleri aşağıdaki gibidir:

- Raspbian Stretch, April 2019 (İşletim Sistemi)
- Python, 3.5.3 (Programlama Dili)
- OpenCV, 4.1.0 (Görüntü İşleme Kütüphanesi)
- Google MobileNet SSD, Caffe model (Önceden Eğitilmiş Model)
- OpenVINO Toolkit RasPi 2019.1.094 (Intel Ürünleri için Araç Takımı)



Şekil 2-16. Hedef tanıma ve takip sistemi görüntüsü

2.2.1. Mini-Bilgisayar (MB)

Çeşitli dillerde program yazılmasına imkân veren işletim sistemi barındırabilmesi ve farklı giriş-çıkış arabirimlerinin bağlanabilmesi nedeniyle mini bir bilgisayar olan Raspberry Pi seçilmiştir. Dünyada geniş topluluk ağı desteği bulunmaktadır. Tek kart bilgisayar olarak da adlandırılır. Raspberry Pi serisinin düşük maliyeti ve ulaşılabilirliği okullarda temel bilgisayar becerilerinin geliştirilmesini kolaylaştırmıştır [28]. Robotik sistemler, gözetleme, insansız araçlar, hobi, otomasyon gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Şekil 2-17’de bir örneği gösterilmiştir.



Şekil 2-17. Mini-Bilgisayar

MB üzerinde Linux tabanlı bir işletim sistemi çalıştırılabilmektedir. Geniş bir kullanım ve bilgi ağına sahip olduğu için tercih edilmiştir. Ayrıca kullanılacak USB sinirsel hesaplama çubuğu ile uyumludur.

Deneyler için Raspberry Pi 3 Model B+ modeli kullanılmıştır. Üzerinde işlemci olarak 4 çekirdekli 64-bit ve 1.4GHz hızında ARM Cortex-A53 CPU ve RAM olarak 1GB LPDDR2 SDRAM vardır. 4 adet USB 2.0 portu bulunmaktadır. İşletim sistemi yükleme ve veri depolama Micro SD kart üzerinden yapılır [29]. Hafıza kartı olarak SanDisk Extreme Pro 64GB Mikro SD kartı kullanılmıştır.

2.2.2. Sinirsel hesaplama çubuğu

Bu ürün sinirsel hesaplama gücü sağlamak amacıyla USB üzerinden sisteme tak ve çalıştır olarak takılan yardımcı işlemcidir. Tek kartlı bilgisayardan daha küçük boyuttadır.

Movidius NCS2 (Neural Compute Stick 2 - Sinirsel Hesaplama Çubuğu 2) aygıtı içerisinde sinirsel hesaplamaları yapan bir işlemci bulunmaktadır. Harici birim olarak eklenen bu aygıt USB 3.0 desteği ile Tip-A üzerinden bağlanmaktadır. Açık kaynaklı TensorFlow ve Caffé gibi derin öğrenme kütüphanelerini desteklemektedir. Program ile derlenen derin öğrenme hesaplamaları üzerinde yaptırılmaktadır. Önceden eğitilmiş modeller kullanılarak sıfırdan model oluşturulmasına gerek yoktur. İhtiyaçlara göre uygun eğitilmiş modeller programa eklenerek yardımcı işlemci üzerinde çalıştırılabilir. Aşağıdaki Şekil 2-18’de kullanılan bu aygıt görülebilir.

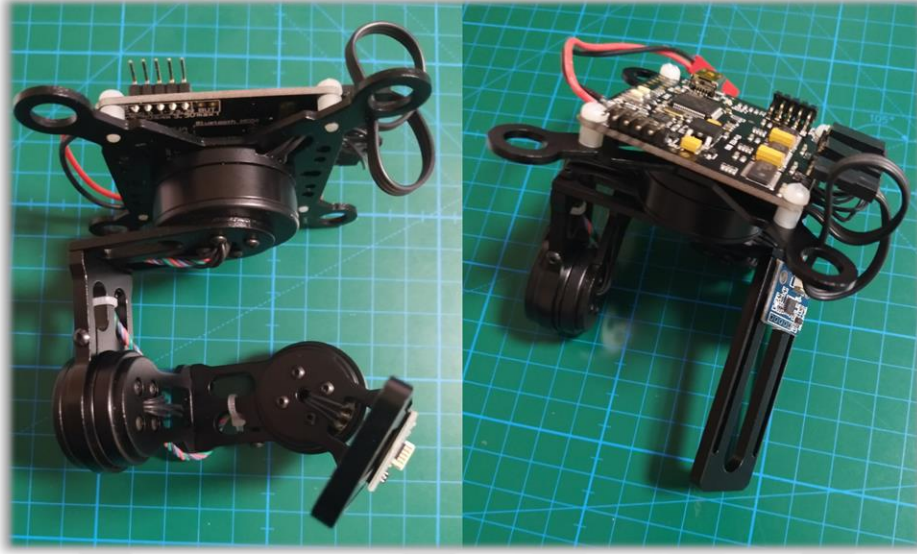


Şekil 2-18. Sinirsel hesaplama çubuğu

2.2.3. Yalpa (Gimbal)

Yalpa, dengeleme halkası veya diğer adıyla gimbal sıklıkla bir kamerayı dengelemek ve yönlendirmek için kullanılan bir alettir. İHAS’ın alt ön tarafına takılan bu sistem için Şekil 2-19’deki HAKRC Storm32 kontrol kartlı 3 eksenli fırçasız yalpa kullanılmıştır. Fiyatının diğer 3 eksenli cihazlara göre daha uygun olması ve kullandığımız uçuş kontrol kartı ile uyumlu olması sebebiyle tercih edilmiştir. Uçuşlarda üzerine bağlanan kamerayı etkileyen titreşimleri önleyerek çekimlerin daha net olmasını sağlamaktadır. Mavlink veya seri haberleşme bağlantısı ile pozisyon kontrolü yapılmasına imkân tanımaktadır. Özellikleri:

- Çalışma voltajı: 11,1V-16,8V aralığında (3-4S pil ile kullanılabilir)
- Çalışma akımı: 350mA
- Ağırlık: 180g (Üzerine kamera vs. olmadan)
- Boyutları: 80x80x100mm (En x Boy x Yükseklik)
- Kontrol açıları: Pitch: -45, +45 derece / Roll: -25, +25 derece / Yaw: -90, +90 derece



Şekil 2-19. Yalpa'nın farklı açılardan görünümü

2.2.4. LiDAR mesafe ölçer

İHA, robot veya insansız araç uygulamalarında mesafe ölçümünde optik çözüm olarak LiDAR kullanılmaktadır. Yalpa ucuna bağlanarak hedefe yönelim sonrası sistem ile arasındaki mesafe ölçülmektedir.

Bu uygulamada yüksek performanslı Garmin firması tarafından üretilmiş LiDAR-Lite v3HP lazer mesafe sensörü kullanılmıştır. PWM veya I2C ile bağlanabilen bu cihaz 5V DC çalışma gerilimine ihtiyaç duymaktadır. MB ile I2C üzerinden haberleştirilmiştir. Ölçüm aralığı 5cm ile 40m arasındandır. 1cm çözünürlükte ve 2m'den büyük mesafeler için $\pm 2,5$ cm hata payı bulunmaktadır. 1kHz'den yüksek hızda örnekleme yapabilmektedir. 905nm dalga boyunda lazer ışını kullanarak nokta ölçümü yapmaktadır. IPX7 su koruma özelliğine sahiptir, -20°C ile 60°C arası çalışmakta ve 34g ağırlığındadır. Şekil 2-20'de görünümü bulunmaktadır.



Şekil 2-20. LiDAR

2.2.5. Kamera

Görüntü verisini elde etmede Logitech C170 Webcam kullanılmıştır. Şekil 2-21'deki cihaz USB 2.0 üzerinden mini-bilgisayara bağlanmaktadır. Sabit odağa sahip bu cihaz 720p/30FPS maksimum çözünürlüğe sahiptir ve 58° görüş alanı bulunmaktadır. Programda gerçek zamanlı verdiği kamera görüntüleri üzerinden nesne tanıma işlemleri yapılmaktadır.



Şekil 2-21. Kamera

2.2.6. WiFi adaptör

Yer istasyonun MB'nin haberleşmesi için kullanılmıştır. MB üzerine USB 2.0 portu üzerinden bağlanmıştır. MB üzerinde çalıştırılan arayüz programının kullanımı için uzaktan erişim programı VNC Viewer aracılığı ile erişim sağlanmıştır. WiFi adaptör ile yer istasyonuna bağlı modem arasında kablosuz haberleşme yapılmıştır. Kullanılan cihaz MB ile çalıştırılabilmesi, dâhili WiFi modülünden daha geniş çekim alanına sahip olması, az yer kaplaması ve USB adaptör olması nedeniyle seçilmiştir. TP_Link TL-WN722N 150Mbps adaptörü görüntüsü Şekil 2-22'de gösterilmiştir.



Şekil 2-22. WiFi adaptör

2.3. Yer İstasyonu ve Kontrol Verisi

Bu başlığın altındaki başlıklarda yer istasyonunu oluşturmak ve kontrol verisini elde etmek amacıyla kullanılan sistem bileşenlerinin bilgileri sunulmuştur. Yer istasyonu görselleri Şekil 2-23'te bulunmaktadır.



Şekil 2-23. Yer istasyonu görünümü

Kontrol istasyonu olarak dizüstü bilgisayar, haberleşmenin geniş mesafede olması amacıyla WiFi modem ve telemetri, pilotun İHAS kontrolü için kumanda ve konum karşılaştırma verilerini toplamada GNSS destekli cep telefonu kullanılmıştır.

2.3.1. Yer istasyonu bilgisayar ve telemetri modülü

Yer istasyonu olarak Windows 10 işletim sistemli Asus N61JQ bilgisayar kullanılmıştır. Kullanılan programlar kolay yüklenip çalıştırılabildiğinden testler sırasında elimizde olan başka bilgisayarlardan da yararlanılmıştır. MP programı yüklenmiş, İHAS üzerine takılan telemetri modülüyle eşleştirilmiş diğer telemetri modülü USB üzerinden bilgisayara bağlanmıştır. İHAS FCU ile MP programı arasında telemetri modülleri üzerinden veri transfer bağlantısı sağlanmıştır. Program ile FCU kurulumu ve ayarları yapılmıştır. Anlık verilerin takip edilmesi ve karar destek sistemi denetimi MP üzerinden yapılmıştır.

2.3.2. WiFi modem

Hedef algılama ve takip sisteminde bulunan MB'ye WiFi aracılığıyla bağlanabilmek için Asus DSL-AC68U modemi kullanılmıştır. Kablosuz bağlantı çalışma menzili, sabit IP atama özelliği ve kararlılığından dolayı tercih edilmiştir.



Şekil 2-24. WiFi modem

2.3.3. Kumanda

İHAS'ın uzaktan el aygıtı ile kontrol edilmesi gereken durumlarda ve hedefleme sistemini yönlendirmede kullanılmak üzere FrSky Taranis QX7 2.4GHz 16 kanal kumanda kullanılmıştır. Açık kaynak kodlu bir kumandadır. Kumanda ile yönlendirme ve kontrolü gerçekleştirmek için anlık veriler radyo dalgalarıyla gönderilmektedir. Şekil 2-25'te kumandanın görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 2-25. Kumanda

2.3.4. GNSS konum ölçüm cihazı

Önceden belirlenen hedeflerin GNSS konum koordinatları Xiaomi Mi 8 Lite akıllı telefon kullanılarak toplanacaktır. Akıllı telefonların sahip oldukları GNSS alıcı özelliği ile harita üzerinden anlık konum bilgilerinin alınabildiği Google Earth, GNSS Viewer programları kullanmıştır. Elde edilen konum bilgileri tablo olarak hedef bilgileriyle karşılaştırılmak üzere kaydedilmiştir.

2.4. Sistem Donanım ve Yazılım Entegrasyonu

Bu bölümde İHAS, HTS ve yer biriminde kullanılan bileşenlerin seçimi ve birleştirilmesi hakkında bilgi verilmiştir. Montajı yapılan bu sistemlerin çalışmaya hazır hale getirilmesinde kullanılan programlar ve yazılım bilgileri açıklanmıştır.

2.4.1. İHAS donanım bileşenleri

İHAS'ın uçuşa hazır hale getirilmesi ve faydalı yük ile entegrasyonu için bir takım

aşamalardan geçilmiştir. Oluşturulan bu sistemde ilk önce yapılmak istenen iş özellikleri belirlenmiş ve bu işin gerçekleşmesini sağlayacak parçaların seçimi yapılmıştır. Ayrıca gelecekte yapılacak çalışmalar için üzerinde taşıyacağı faydalı yük miktarının artabileceği değerlendirilmiştir. İHAS'ın taşıma kapasitesi, uçuş süresi, stabilizasyonu, kullanım ve taşıma kolaylığı gibi parametreler dikkate alınmıştır.

Yapılacak deney için uygun İHAS malzemelerinin seçiminde ilk önce gövde iskeleti seçilmiştir. Uçuş ve kontrol sistemi modüllerinin seçimi bunun üzerinden yapılmıştır. Gövde iskeleti ilk başta S500 hazır karbon fiber İHAS gövdesi belirlenmişti. Fakat yerine laboratuvarında bulunan ZD550 karbon fiber gövde kullanılmıştır. Kollarının katlanabilir, boyutlarının ve kol mesafesinin daha büyük olması gibi nedenlerle bu gövde seçilmiştir.

Bu iskeletin satış sayfalarındaki teknik özelliklerinde üzerinde kullanılabilir motor, pervane ve ESC seçiminde yardımcı bilgiler bulunmaktadır. Buna göre önerilen motor özelliklerine yakın olan fırçasız DC motor olan EMAX markalı MT4114 340KV seçilmiştir. Her bir kol için toplam 4 adet motor kullanılmıştır. Önceki bölüm de Şekil 2-6'da gösterilen karbon yazıcı ile üretilmiş motor tutacağı kollara monte edilmiştir.

Pervane seçiminde gövde için önerilen listeye ve motor üreticisinin verdiği karşılık tablosuna göre uygun olan tip ve boyuta dikkat edilir. 1555 karbon fiber pervane uygun görülmüş ve kullanılmıştır. Motorun seçilen pervane için çalışma bilgileri Şekil 2-26'dan incelenebilir [23].

The voltage (V)	Propeller size	current (A)	thrust (G)	power (W)	efficiency (G/W)	speed (RPM)
24	1555 Carbon fiber Propeller	1	280	24	11.7	2250
		2	500	48	10.4	3060
		3	680	72	9.4	3570
		4	840	96	8.8	3930
		5	1000	120	8.3	4270
		6	1120	144	7.8	4550
		7	1280	168	7.6	4800
		8	1380	192	7.2	5000
		9	1500	216	6.9	5190
		10	1620	240	6.8	5400
		11	1730	264	6.6	5530
		12	1820	288	6.3	5720
		13	1910	312	6.1	5890
		14	2020	336	6.0	6000
		15	2110	360	5.9	6120
		16.7	2240	400.8	5.6	6320

Şekil 2-26. Motor çalışma bilgileri - MT4114

Tabloda çalışma voltajı 24V olarak okunmaktadır. Bunun anlamı sistemde 6S pil kullanılması gerektiğidir. Hücre sayısı olarak 6S pili (22.2V) destekleyen bir ESC seçilmelidir. Her koldaki motor için 4 adet ZTW Spider 40A Opto ESC kullanılmıştır.

Batarya olarak 6 hücreli 22.2V Turnigy marka nano-tech 8000 mAh kapasiteli 6S 25C-50C Deşarj özellikli LiPo batarya seçilmiştir. Uçuş süresine etkisi, ağırlığı ve boyutları gibi faktörlere bakılarak bu seçim yapılmıştır. Kablo ucuna dişi EC5 konnektör lehimlenmiştir.

FCU olarak Pixhawk PX4 ile uyumlu CUAV V5+ uçuş kontrolcüsü tercih edilmiştir. Satın alındığı zamanda güncel ve yakın tarihli üretilmiş modellerden biridir. Üzerinde bağlantı noktası sayısı ve stabilizasyonu destekleyen koruyuculu sensörlerinden dolayı bu model belirlenmiştir. NEO V2 GNSS modülü ile beraber paket olarak alınmıştır. GNSS modülü GPS&SAFETY portuna SERIAL3-GPS protokolü ile bağlanmıştır.

Paket içerisinde ayrıca CUAV'a ait HV_PM yüksek voltaj güç modülü bulunmaktadır. Bataryadan gelen voltajın FCU çalışma voltajına dönüştürülmesi, batarya akımı ve voltajı analog değerlerinin aktarılmasını sağlayan bağlantı soketine sahiptir. FCU üzerinde POWER1 portuna bağlanmıştır. Bataryaya bağlanan enerji ucuna ise erkek EC5 konnektör bağlanmıştır. Bu modül sonrasında kabloyla BEC'e aktarılan batarya voltajı direkt ESC'lere ve regülatörlerde 12V DC ve 5V DC'ye çevrilerek dağıtılmaktadır. Şekil 2-10'da montajlanmış hali bulunmaktadır.

FCU ile SBUS hattına bağlı önceden FrSky Taranis QX7 2.4GHz 16 kanal kumanda ile eşleştirilmiş FrSky X8R 2.4GHz kumanda alıcısı üzerinden İHAS'ın el ile kontrolü ve hedefleme sisteminin yönlendirilmesi sağlanmaktadır. Kumanda ile kontrolü için SBUS hattı FCU üzerindeki PPM RC portuna bağlanmıştır. RSSI bilgisi almak için FCU üzerinde bulunan DSM/SBUS/RSSI portu kullanılmıştır.

Elimizde bulunan 2 adet eşlenik JAWS RFD 900u telemetri modülü sistemde kullanılmıştır. FCU'nun anlık uçuş bilgilerinin yer istasyonunda MP programı ile görüntülenmesini ve kontrol edilmesini sağlamaktadır. TELEM1 portu üzerinden SERIAL1-MAVLink1 protokolü ile FCU'ya bağlanmıştır. Diğer eşleniği ise yer istasyonuna USB2.0 portu üzerinden bağlanarak kullanılmaktadır.

Seçilen parçalarla oluşturulmuş İHAS'ın uçuş süresinin hesaplanması için ilk önce bataryanın dakikada verebileceği akım bulunur. Bu değer batarya kapasitesinin %100'ünü göstermektedir. Burada %85 olarak efektif kapasitesi alınmıştır. Efektif kapasite hesaplaması her bir hücrenin tam şarj ve minimum düşmesinin istendiği şarj

voltajının oranından elde edilmektedir. Uçuşlarda pil alarmı 3,7V seviyesi ve altına geldiğinde alarm çalacak şekilde ayarlanmıştır. Böylece yere indirilmesi gerektiği uyarısını vermektedir. Tam şarjda batarya hücresi voltajı 4,2V olmaktadır.

- Batarya kapasitesi = 8000mAh = 8Ah
- $8Ah * 60 = 480$ Amin (Amper-Dakika)
- Efektif Kapasite = $4,2V \Rightarrow 3,7V = (3,7/4,2)*100 = \%85,71 = \sim\%85$
- Dakikada sunulan kapasite = $480 * \%85 = 408$ Amin
- Toplam Kalkış Ağırlığı (TKA) = (İHA+Sistem+Batarya) = 3574 gr
- Motor başına düşen yük = $TKA / 4 \text{ motor} = 3574 / 4 = 893,5$ gr

Motor başına düşen yük miktarı uçuşta İHAS'ın havada dengede kalması için her kolda gereken kaldırma kuvveti 893,5gr hesaplanmıştır. Bu değere yakın değer motor çalışma tablosunda itki kuvvetine karşılık gelen çektiği Amper değeri alınır. Tabloda yakın olarak alınan 1000gr itkiye karşılık motor akım değeri 5A olduğu görülmektedir. Bu değer üzerinden İHAS'ın uçuş süresini hesaplarsak:

- Anlık talep edilen akım = $4 \text{ motor} * 5A = 20A$
- Uçuş süresi ortalama = $408 \text{ Amin} / 20A = 20,4$ dakika

LiPo bataryanın tam güç altında istenen akımı verebilmesinin kontrolü için C değerinin kontrolü yapılmalıdır. Sistem tarafından ihtiyaç duyulan maksimum akım hesaplanır. Sistemin ihtiyaç duyabileceği maksimum akım değeri bulunur.

- Batarya deşarj değerleri = 25C sürekli (constant) / 50C anlık maksimum (burst)
- Bataryanın sunduğu saatlik toplam sürekli akım = $8 * 25 = 200A$
- Tam yük (%100) altında her bir kolun itki kuvveti (Şekil 2-26'dan) = 2240 gr
- Tam yük altında motor akımı (Şekil 2-26'dan) = 16,7A
- Sistemin ihtiyaç duyduğu maksimum akım = $4 \text{ motor} * 16,7A = 66,8A$

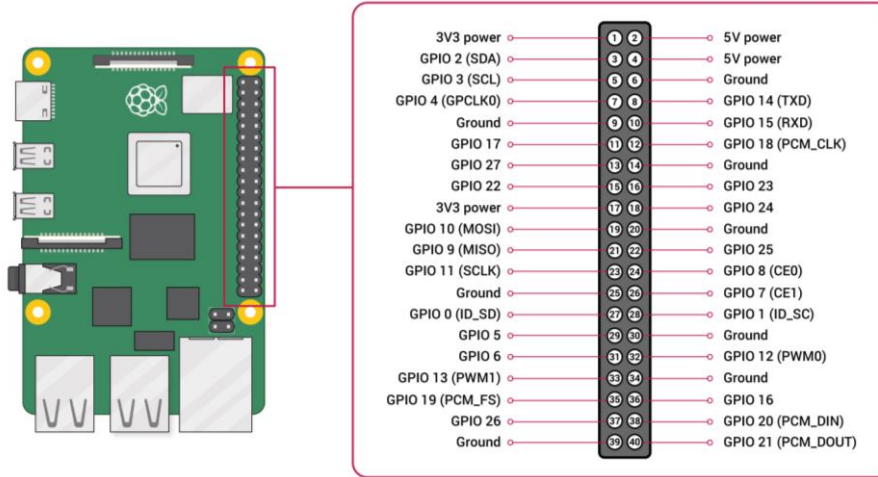
Elde edilen bataryanın 200A'lik deşarj değeri ihtiyacımız olan maksimum 66,8A çalışma akımı çok üzerinde olduğundan seçilen batarya sistemde kullanılmaya uygundur.

- Motorların toplam gücü = $4 \text{ motor} * 2240 \text{ gr} = 8960 \text{ gr} = \text{Tam güçte itki kuvveti}$

Motorların toplam itki kuvveti toplam kalkış ağırlığının 2 katından fazladır. Yerden kalkış ve havada stabil hareketi için yeterli güçte olduğu gözlemlenmiştir.

2.4.2. HTS donanım bileşenleri

MB olarak geniş kullanım alanına sahip RasPi tercih edilmiştir. Üzerinde çalıştırılan Python gibi dillerle yazılan programlar sayesinde, sahip olduğu I/O'lara bağlanabilen farklı algılayıcı veya aktüatör modüllerin kullanımını desteklemektedir. GPIO pinleri ve USB portlarına bağlanan sinirsel hesaplama hızlandırıcısı NCS2, LiDAR mesafe ölçer, kamera, WiFi adaptör ve FCU haberleşmesi ile üzerinden kontrol edilen yalpa bileşenleri entegre bir şekilde çalıştırılmıştır. MB, FCU ile TELEM2 portu üzerinden bağlanarak SERIAL2-MAVLink1 protokolü ile haberleşmektedir. İHAS'ın kontrolü, konum koordinatları ve uçuş bilgilerinin okunması gibi işlemler bu hat üzerinden gerçekleştirilmektedir. MB üzerinde bulunan 40 pinli GPIO bağlantı noktası diyagramı gösterimi ve numaralandırılması Şekil 2-27'deki gibidir.



Şekil 2-27. RasPi GPIO pin diyagramı [15]

MB'nin sahip olduğu işlem gücünün artırılması amacıyla sisteme USB port üzerinden bağlanabilen sinirsel hesaplama çubuğu Intel NCS2 eklenmiştir. Görüntü tanıma ve hedef bulma yazılımında gerçek zamanlı veri işleme hızının artırılması sağlanmıştır.

Yalpa olarak maliyet ve özelliklerinden dolayı HAKRC Storm32 ürünü kullanılmıştır. Açık kaynaklı yazılımı ve kontrollerinin seri port haberleşme ile yapılabildiğinden tercih edilmiştir. FCU ile UART4 portu üzerinden SERIAL4-SToRM32 Gimbal Serial protokolü ile kontrol edilmektedir. RasPi ile kontrolü için yazılım komutlarının FCU'ya gönderilmesi ve FCU'nun yalpaya komutu iletmesi gerekmektedir. Burada FCU sayesinde yalpa sisteminin havadaki dönüşlere ve titreşimlere rağmen bakış yönünün korumasını sağlayacak düzeltmeler otomatik gerçekleştirilir.

Mesafe ölçme işlemi için Garmin LiDAR-Lite v3HP lazer mesafe sensörü kullanılmıştır. 40 metrelik menzili olan bu cihaz yüksek hızlı ve hassas ölçüm yapabilmektedir. RasPi MB ile I2C üzerinden haberleşmektedir.

Kamera olarak Logitech C170 Webcam kullanılmıştır. Boyutları ve maliyetinden dolayı tercih edilmiştir. USB port üzerinden MB ile haberleşmektedir.

WiFi adaptör olarak TP_Link TL-WN722N kullanılmıştır. MB üzerinde USB portuna bağlanmıştır. Adaptör ile MB'nin WiFi çekim alanı arttırılmak istenmiştir. Bu model, MB'nin Linux sisteminde sürücü desteği olduğundan dolayı seçilmiştir.

2.4.3. Yer istasyonu bileşenleri

Bağlantının yapıldığı ve sistemin takip edildiği bilgisayar olarak sahip olunan Asus N61JQ model Win10 işletim sistemli bilgisayar kullanılmıştır. İHAS ile istasyon arasındaki haberleşme de geniş çekim alanına sahip Asus DSL-AC68U WiFi modem ve elimizde bulunan JAWS RFD 900u telemetri modülü ile sağlanmıştır. Modem ile oluşturulan kablosuz ağ aracılığıyla HTS MB'sine ve kamera verilerine erişilmiştir. Bilgisayar USB portuna takılarak kullanılan telemetri modülü yardımıyla ise İHAS uçuş verilerine ulaşılmıştır.

Pilot FrSky Taranis QX7 kumanda aracılığıyla İHAS'ı yönetmiştir. **Şekil 2-25'**te gösterilen kumandanın üst kısımda bulunan analog 2 adet döner potansiyometreye kanal atanmış ve bunlar ile HTS'ye bağlı yalpa Yaw/Pitch ekseninde yönlendirilmiştir.

Deneyde karşılaştırma amacıyla İHAS ile hedeflenen nesnelerin statik GNSS konum bilgileri, Xiaomi Mi 8 Lite akıllı telefon yardımıyla alınmıştır.

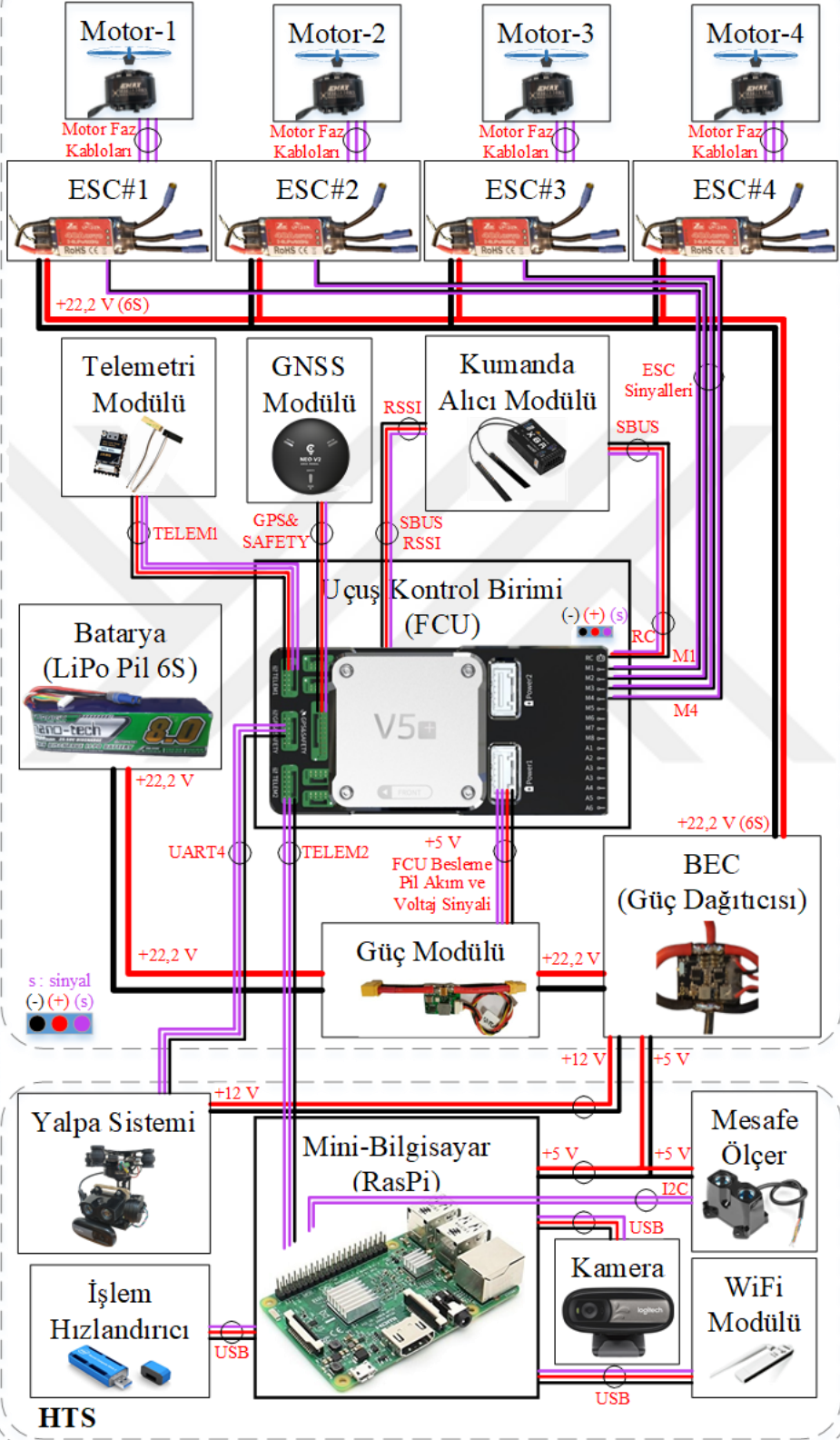
2.4.4. Bileşenlerinin montajı

Tasarımı gerçekleştirilen İHAS ve HTS'nin deney için kullanıma hazır hale getirilmesinde üzerinde bulunan modüllerin enerjilendirilmesi ve birbirleriyle iletişimi için bağlantılar yapılmıştır. Elektrik ve sinyal bağlantıları Şekil 2-28'de gösterilmiştir.

Elektrik ve sinyal bağlantıları yapılırken uygun kablolar tercih edilerek ilgili yerlerde lehimlemeler yapılmış ve uç noktalarında soketler kullanılmıştır. BEC üzerine ESC enerji kabloları Şekil 2-10'da da görüldüğü gibi karışıklığı önleyecek şekilde yönlendirilerek lehimlenmiş ve kablo bağı ile sabitlenmiştir.

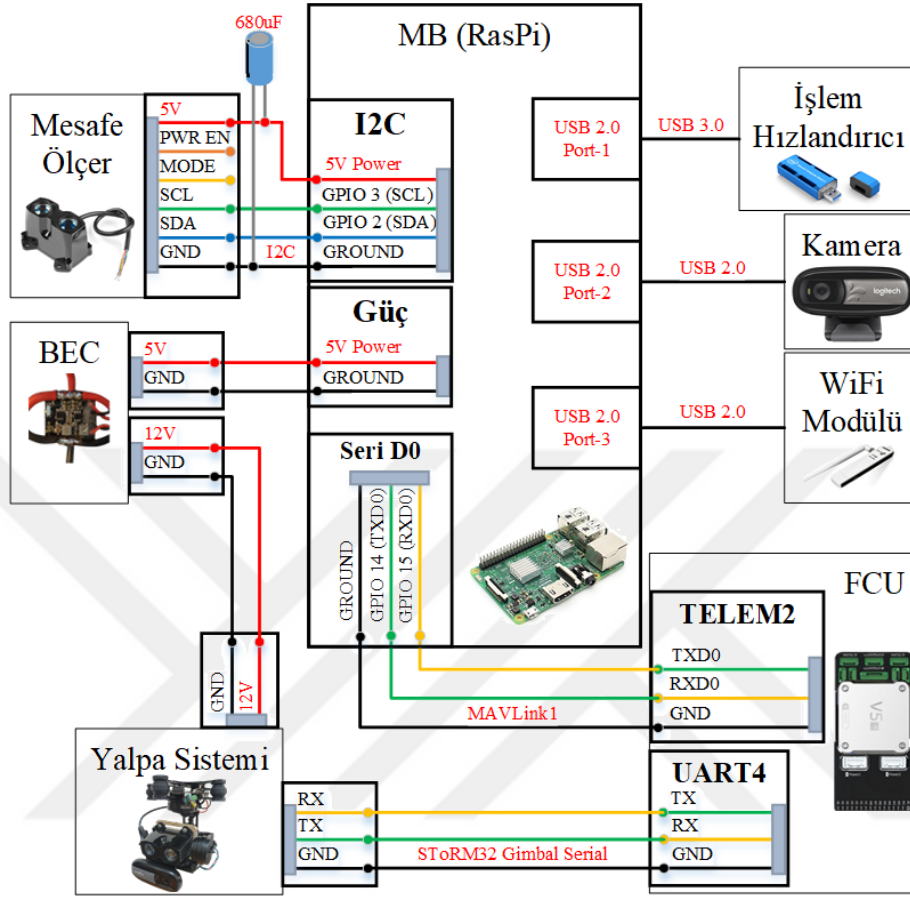
İHAS

UÇUŞ ve KONTROL SİSTEMİ



Şekil 2-28. İHAS bünyesindeki elektrik ve sinyal bağlantı şeması

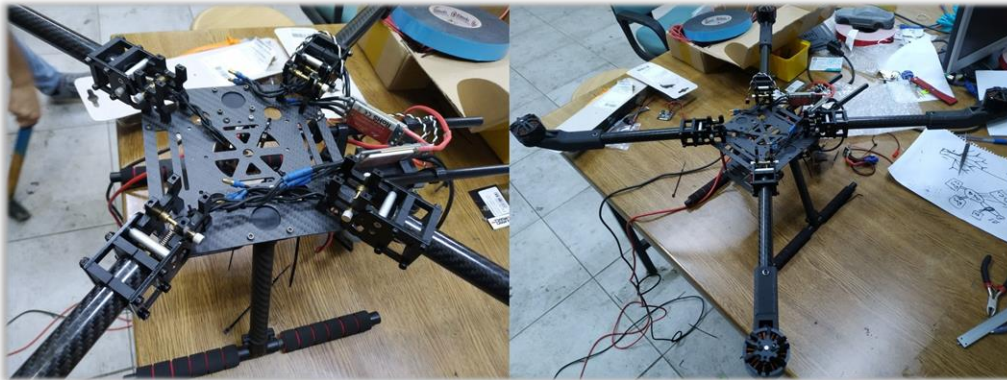
MB üzerine bağılı modüllerin iletişimi için ilgili haberleşme hatlarının hangi pinlere karşılık geldiği aşağıdaki Şekil 2-29’da blok şema olarak gösterilmektedir.



Şekil 2-29. MB modül bağlantı şeması

Montaj gerçekleştirilirken yapılan işlemlerin genel sıralaması aşağıdaki gibidir:

- 1- Gövde iskeletinin toplanması (Şekil 2-30)
 - a. Ana gövde üzerine kol, bacak ve yük taşıyıcı bağlantı parçalarının montajı



Şekil 2-30. Gövde iskeletinin toplanması

2- Motorların kollara montajı (Şekil 2-31)

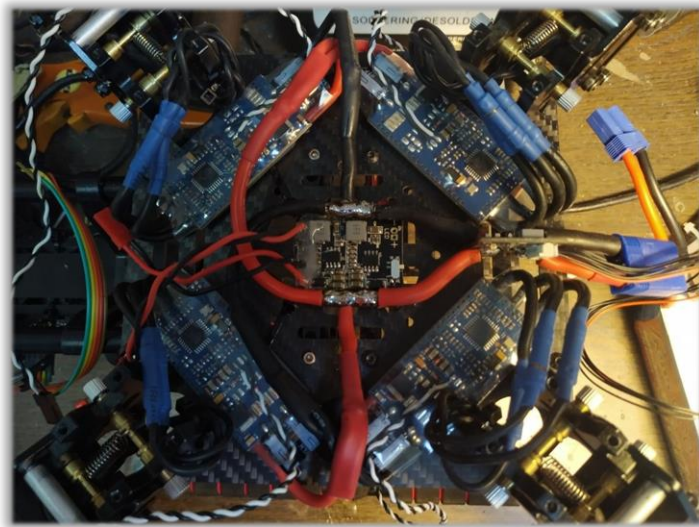
- a. Fiber boru içerisinden kablolarının merkeze çekilmesi
- b. Çekilen kablo uçlarına konnektör bağlantısı
- c. Motorların vidalanması



Şekil 2-31. Motorların kollara montajı

3- Güç modülü, ESC ve BEC montajı (Şekil 2-32)

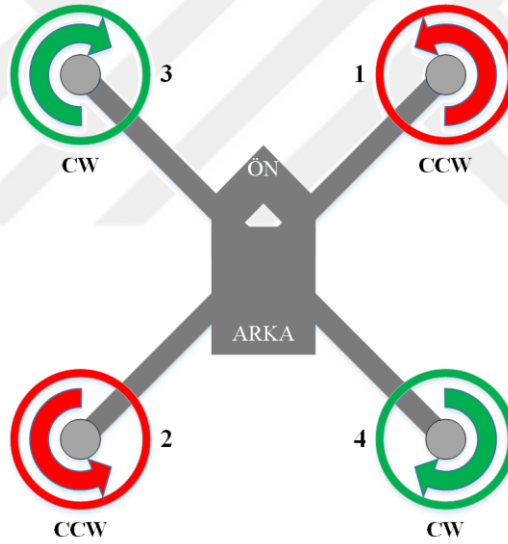
- a. Güç dağıtım bağlantılarının lehim ve konnektörlerle yapılması
- b. Ana gövde alt katına yerleşimi ve sabitlenmesi
- c. Batarya, motor sinyal ve 5V/12V DC güç konnektörlerinin ayarlanması



Şekil 2-32. Güç modülü, ESC ve BEC montajı

4- Döner kanat 4 rotorlu X-tipi İHAS'ın uçabilmesi için kanat dönüşlerinin üstten bakışla Şekil 2-33'te belirtildiği yönlerde olacak şekilde ayarlanması

- ESC'den her bir motora giden 3 faz kablosunun bağlanması
- ESC'ye güç bağlanarak servo sürücünden sinyal verilmesi
- Çalıştırılan motorun bulunduğu koldaki dönüş yönü kontrol edilmesi.
- İlgili kolda dönüş yönü ters ise motorun fazlarından herhangi ikisi yer değiştirilerek karşılıklı uçların işaretlenmesi
- Çevre düzenlemeleri ve bağlantıları yapıldıktan sonra kalıcı montajın yapılması
- Kanat dönüş yönüne uygun CW veya CCW pervanelerin motora dönüşüne göre takılması



Şekil 2-33. Rotor dönüş yönleri

5- Üst kontrol katının montajı (Şekil 2-34)

- İHAS uçuş yönüne göre FCU ile eş yönde, titreşim önleyici damper üzerinde merkeze yakın noktaya sabitlenmesi
- GNSS anteni, kumanda alıcısı ve telemetri modülü yerleşimi ve bağlantıları
- Kumanda alıcısı ve telemetrinin sahip olduğu antenlerin güç kablolarından uzak şekilde yerleşimi

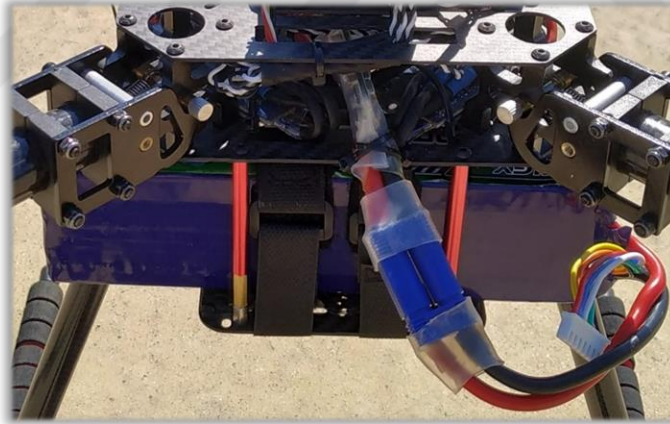
- d. FCU üzerine enerji, GNSS, alıcı, telemetri ve ESC motor sinyallerinin bağlanması



Şekil 2-34. Üst kontrol katının montajı

6- Batarya montajı (Şekil 2-35)

- Batarya taşıyıcısının İHAS'ın ağırlık dağılımını merkezde tutacak şekilde yerleştirilmesi
- Bataryanın kaymasını ve kolay çıkmasını önleyici tutucu kayış eklenmesi



Şekil 2-35. Batarya montajı

7- HTS (faydalı yük) montajı (Şekil 2-36)

- İHAS gövdesinin önüne eklenen S500 iskeletinden alınmış yük taşıyıcı aparatın montajı
- Takılıp çıkarılabilen bu aparatın üst kısmına MB'nin yerleşimi ve montajı
- Alt tabanına yalpanın yerleşimi ve montajı
- Yalpa uç noktasına kamera ve LiDAR'ın eş ekseninde sabitlenmesi için taşıyıcı parça montajı

- e. LiDAR ve kameranın montajı, kablolarının düzenlemesi, MB ile bağlantılarının yapılması
- f. MB ile aparat arasında kalan boşluğa WiFi adaptör ve NCS2 yerleşimi ve montajı
- g. USB-USB kısa uzatma kabloları ile MB'ye bu modüllerin bağlanması
- h. FCU ile MB haberleşmesi için takılabilen bağlantı kablosunun ayarlanması
- i. FCU ile yalpa haberleşmesi için takılabilen bağlantı kablosunun ayarlanması
- j. İHAS üzerinden alınacak 5V ve 12V DC için dişi konektör kablolarının ayarlanması



Şekil 2-36. HTS montajı

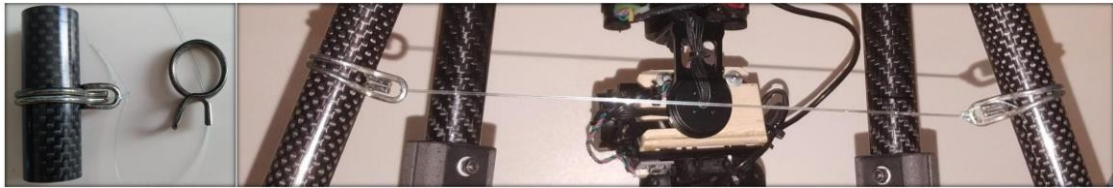
Yalpa ucunun döndürülmesi sonucu oluşabilecek kabloya bağlı problemlerin çözümü için LiDAR'ın enerji ve sinyal kabloları değiştirilmiştir. Sinyal ve güç kabloları eski bir mini fareden alınan ince dört-uçlu USB kablosu kullanılarak eksenlerdeki fırçasız motorların ortasından geçirilmiş ve üst tarafta bulunan MB'ye ulaştırılmıştır. Aynı şekilde kamera kablolarının taşınması istenilmiş fakat motor yuvalarında yeterli alan kalmadığından Kamera kablosu esnek ve dönüşü engellemeyecek şekilde dışarıdan MB'nin USB portuna bağlanmıştır.

Kameranın ve mesafe ölçerin montajında dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Burada hedefe yönelim açıları önemli olduğundan kamera ve mesafe ölçerin eş eksende ve merkez noktalarının birbirine yakın olması gerekmektedir. Kamera ile görüntünün ortasına getirilen hedefin mesafesinin elde edilmesinde doğruluğu arttırmak için aynı yönde ve odağa yakın noktadan LiDAR ölçüm yapmalıdır. Bu iki modülün konumlandırılması ve yalpa ucu üzerine oturtulması için balsa malzemesinden Şekil 2-37'deki parça kesilmiş ve bağlanmıştır.



Şekil 2-37. Balsa ile üretilen parça

İHAS üzerine eklenen sistemin yere çarpmasını önlemek amacıyla iniş ayaklarında 310mm uzunluğunda karbon fiber boru takılmıştır. Ayakların uzunluğu nedeniyle bağlantı aparatının gövde ile montajlandığı bölgede bükülmeye bağlı hasar ihtimali değerlendirilmiştir. Basit bir çözüm olarak, ayakların dışa doğru açılarak gövdeyi etkileyen bükülmeyi sınırlamak için Şekil 2-38'deki gibi 16mm yaylı vidasız tip boru kelepçesi ve 0.4mm çapında misina kullanılmıştır.



Şekil 2-38. İniş ayaklarına koruyucu bağlantı

Tüm parça montajlarının tamamlanmış ve deney için uçuşa hazır hale getirilmiş İHAS'ın son görüntüsü Şekil 2-39'da gösterilmiştir.



Şekil 2-39. İHAS'ın tamamlanmış hali

2.4.5. Yazılım bileşenleri

ArduPilot ve Pixhawk PX4 yazılım tabanlı insansız araçlar için geliştirilen açık kaynak kodlu uçuş kontrol sistemi yazılımıdır. Kullandığımız CUAV V5+ FCU bu iki otopilot sistemine de uyumludur. FCU aygıt yazılımının yüklenmesi için ilk kurulum aşaması olarak yer kontrol istasyonu yazılımı olan Mission Planner (MP) programı indirilerek bilgisayara kurulmuştur. İHAS gövdesine monte edilmiş FCU'nun alıcı, güç ve motor bağlantıları yapılmış durumdadır. Kullanılan bu yazılım aracılığıyla konfigürasyon ve kalibrasyon ayarları yapılmıştır. MP programının arayüzü Şekil 2-40'da görülebilir.



Şekil 2-40. MP program ekranı gösterimi

Program ekranı üzerinde bulunan bağlantı butonuyla ArduPilot sitesine gidilebilir. Bu kaynaktaki kurulum yönergelerinden faydalanılarak aygıt yazılım güncellemesi

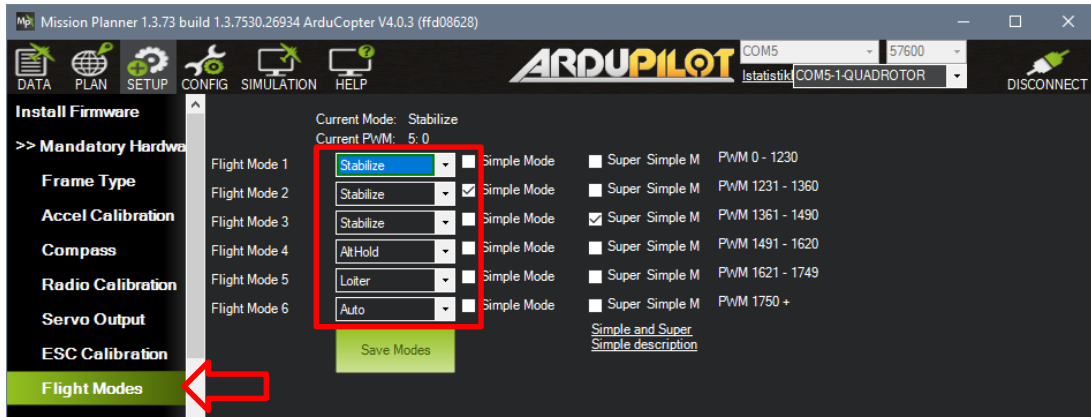
tamamlanmıştır. Sahip olunan aygıt yazılımı ArduCopter V4.0.3'tür. İşlem sırasında dikkat edilmesi gereken önemli noktalar zorunlu donanım sekmesi altındaki adımların sırayla kontrol edilmesi ve ayarlamaların yapılmasıdır. Deney düzeneği için yapılan özel ayarların sekmelere göre ekran görüntüleri aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.

Servo çıkışı sayfasında motor ve servo yapılandırması için ilgili parametre değerleri ayarlanmaktadır. (Şekil 2-41)



Şekil 2-41. Servo çıkışı ayarları

Uçuş modu ayarları kısmında yapılan seçimler ile radyo kalibrasyonu yapılmış kumanda anahtarlarının konumları değiştirilerek farklı uçuş modlarına geçilebilir. (Şekil 2-42)



Şekil 2-42. Uçuş modu ayarları

Batarya monitörü sayfasında kullandığımız CUAV HV_PM güç modülü bilgileri ve batarya kapasite bilgileri girilmiştir. (Şekil 2-43)

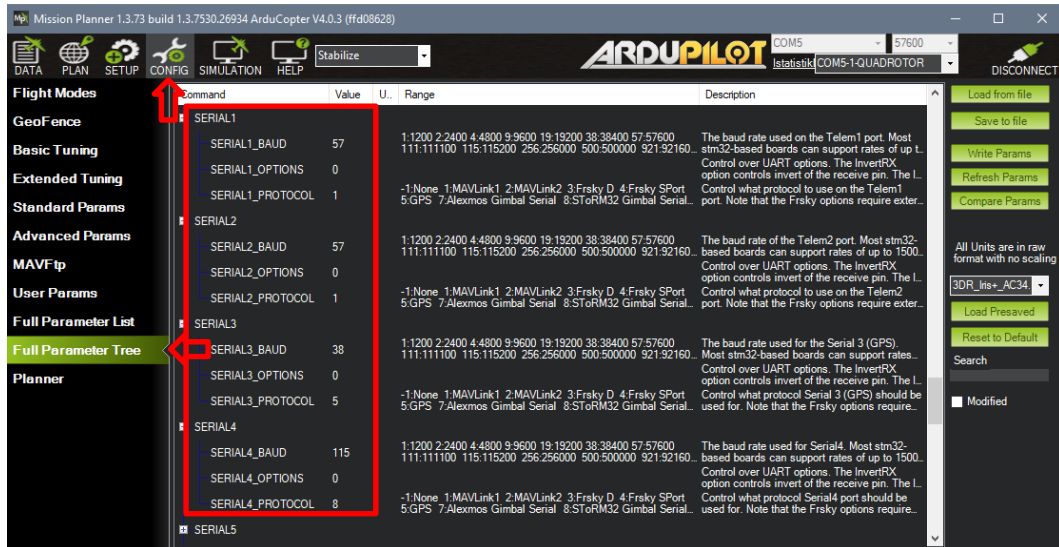


Şekil 2-43. Batarya monitörü ayarları

Ayar menüsü “Tam Parametre Ağacı” sayfasında FCU üzerine bağlanan bileşenlerin port seçenekleri bölümü bulunmaktadır. Bu kısımda port özellikleri ilgili modüllere göre Tablo 2-5’teki gibi ayarlanmıştır. Sayfanın görüntüsü Şekil 2-44’de gösterilmektedir.

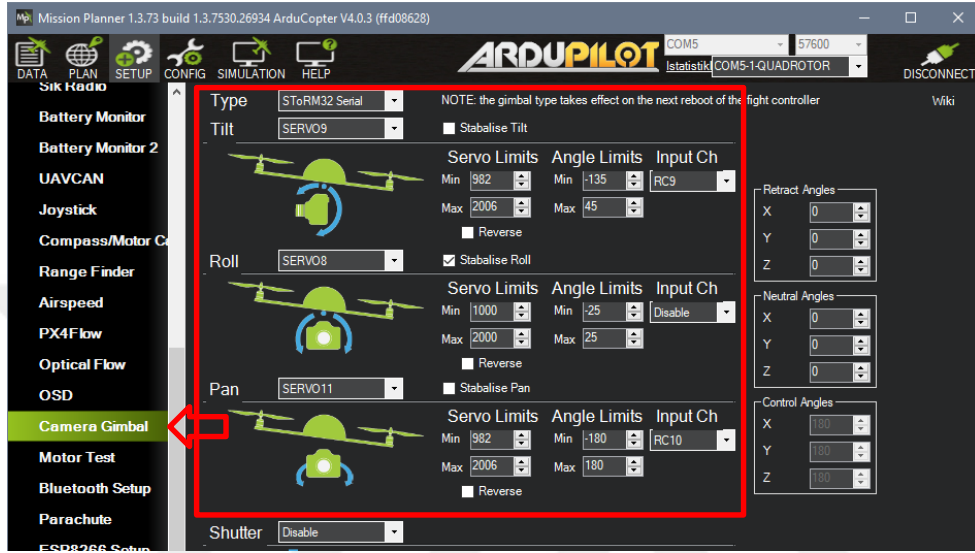
Tablo 2-5. FCU port bağlantıları

Bağlı Bileşen	Port	UART	BAUD	PROTOCOL
Telemetry Modülü	TELEM1	SERIAL1	57 (57600)	1 (MAVLink1)
RasPi MB	TELEM2	SERIAL2	57 (57600)	1 (MAVLink1)
GNSS Modülü	GPS&SAFETY	SERIAL3	38 (38400)	5 (GPS)
Yalpa Modülü	UART4	SERIAL4	115 (115200)	8 (SToRM32 Gimbal Serial)



Şekil 2-44. UART ayarları

Deney sistemi için önemli bir bölüm olan kamera yalpa ayarları sayfası Şekil 2-45'te görülmektedir. Doğru bağlantı parametrelerinin girilmesi yalpa sisteminin düzgün, kararlı ve güvenli kullanılabilmesini sağlamaktadır. Burada yalpa haberleşme tipi olarak “SToRM32 Gimbal Serial” seri bağlantı seçilmiştir. Yalpa yazılımında ayrıca ilgili ayarlar yapılarak FCU ile iletişimleri gerçekleştirilmiştir.

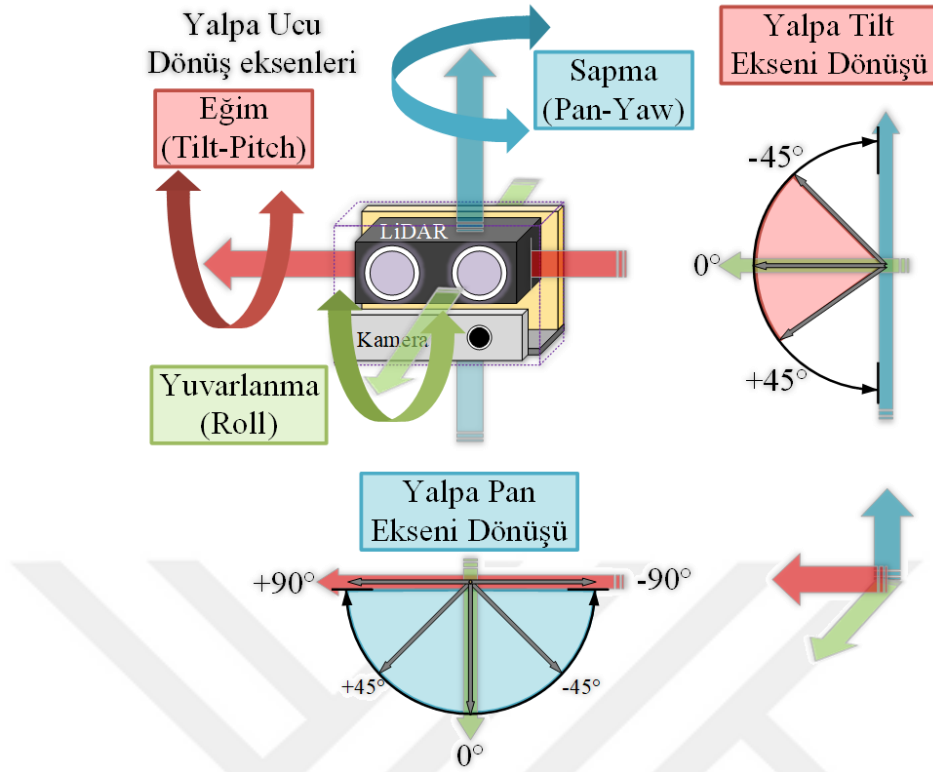


Şekil 2-45. Kamera yalpası MP ayarları

Eksenlere göre açı limitleri verilerek belirli açılarda kontrollü dönüşü sağlanmıştır. Yalpa için eksenlerdeki dönüşlere MP tarafında verilen açı limitleri Tablo 2-6’da, dönüş eksenlerinin gösterimi Şekil 2-46’daki gibidir. Roll (yuvarlanma) eksenini içeren döndürme kanalı atanmamıştır. Stabilize etme seçeneği ile bu eksen otomatik olarak yeryüzüne göre dengelenmektedir. İHAS gövdesinin yaptığı dönüşler, yalpanın roll ekseninde yere göre paralel hareket ederek açısal sapmasını engellemektedir. FCU bu işlemi İHAS üzerinde bulunan IMU ve yalpanın sahip olduğu IMU bilgilerini karşılaştırarak yapmaktadır.

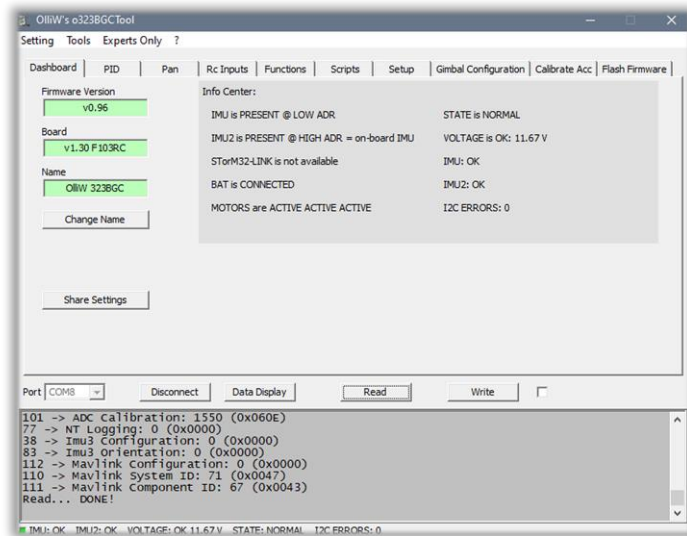
Tablo 2-6. Kamera yalpası için MP’ye girilen değerler ve dönüş açısı sınırları

Dönüş Eksenini	MP Girilen Açı Limitleri (°)	Giriş Kanalı	Oto Stabilizasyon	Dönüş Açısı Sınırları (°)
Eğim (Tilt-Pitch)	Min: -135 / Maks: 45	RC9	Pasif	Min: -45 / Maks: 45
Yuvarlanma (Roll)	Min: -25 / Maks: 25	Disable	Aktif	Min: -25 / Maks: 25
Sapma (Pan-Yaw)	Min: -180 / Maks: 180	RC10	Pasif	Min: -90 / Maks: 90



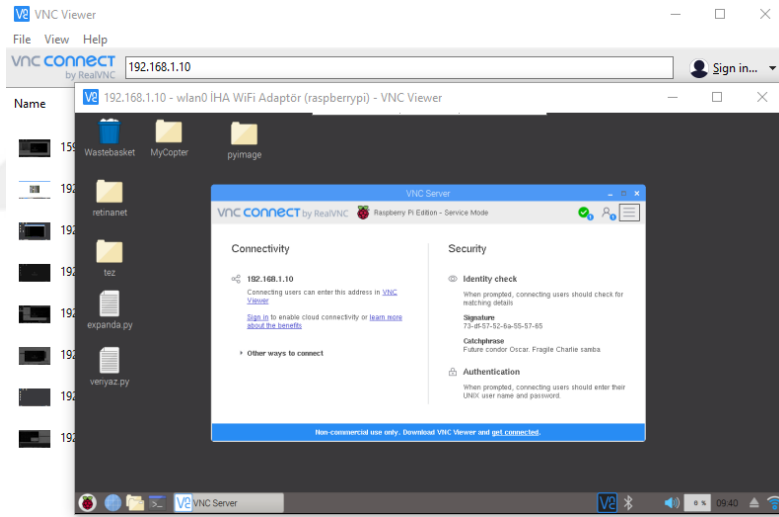
Şekil 2-46. Yalpa dönüş eksen gösterimi

HAKRC Storm32 yalpa sisteminin kalibrasyon ve ayarlarının yapılması amacıyla OlliW's o323BGCTool v0.96 for I2C IMUs yazılımı kullanılmıştır. Kurulumunun gerçekleştirilmesi sonrası ilgili program sekmelerinden PID, Pan, RC giriş, IMU, yalpa konfigürasyonu, dönüş açı limitleri ve bağlantı tipi seçimi gibi parametrelere müdahale edilebilmektedir. Şekil 2-47'de giriş ekranı görülmektedir.



Şekil 2-47. Yalpa yazılımı arayüzü

Yer istasyonu bilgisayarında İHAS üzerinde çalışan MB'nin oturum ekranına WiFi aracılığıyla bağlanmak için VNC Viewer programı indirilmiş ve kurulmuştur. MB işletim sisteminde VNC Server programı kurulu halde gelmektedir. İki bilgisayarında bağlandığı kablosuz ağ üzerinden veri aktarımı sağlanmaktadır. MB'nin ağa bağlandıktan sonra aldığı IP adresi VNC Server penceresi açılarak alınmıştır. Bu IP adresi bilgisayardaki VNC Viewer programında uzaktan bağlanma için kullanılır. Adres çubuğuna adres girilip enter tuşuna basılır. Karşınıza gelen kullanıcı adı ve şifre bölümlerine karşıdaki RasPi'nin oturum bilgileri girilir. Onaylanma sonrası gelen ekran uzaktan bağlı olunan İHAS üzerindeki MB'ye aittir. Ana masaüstü gibi bu bilgisayar masaüstünde de işlemler yapılarak program arayüzü çalıştırılır. Uzak masaüstüne bağlanıldığında bağlanan bilgisayarın VNC Viewer penceresi Şekil 2-48'deki gibidir. Pencere boyutlandırılarak ve çözünürlüğü değiştirilerek uygun görüntü elde edilebilir. Programın dosya transfer özelliği kullanılarak karşılıklı olarak dosyalar aktarılabilir.



Şekil 2-48. Uzak masaüstü programı arayüzü

SFTP (SSH File Transfer Protocol - SSH Dosya Transfer Protokolü) farklı makineler arasında dosya ve verilerin şifreli ve formatlı paketlerle bir ağ üzerinden SSH kanalıyla veri transfer etme yöntemidir. SFTP kullanılarak RasPi'deki dosya ve klasörler kolayca değiştirebilir, taranarak incelenebilir ve düzenlenebilir. Uygulama yazılımı geliştirilirken ücretsiz ve açık kaynak kodlu olan WinSCP SFTP istemcisi kullanılmıştır. İstemci yer istasyonu bilgisayarına kurularak kullanılmıştır. Şekil 2-49'daki RasPi ile erişim ayarları için yapılanlar:

- Yeni bağlantı ile “SFTP” dosya iletişim kuralı seçilmiş,

- Sunucu adına atanan IP adresi olan “192.168.1.10” girilmiş,
- Port yani kapı numarası varsayılan olarak “22” kullanılmış,
- Alt kısımdaki kullanıcı adı ve parola girişine RasPi makinesinde ayarlanan kullanıcı adı (değiştirilmediği için “pi”) ve şifresi girilerek oturum açılmıştır.

Şekil 2-49. SFTP istemcisi arayüzü

Sunucuya bağlandıktan sonra ekranın sağ penceresinde RasPi'nin dosya sistemi sol ekranında ana makinenin dosya sistemi görüntülenir. Dosya açma, değiştirme, ekleme ve silme işlemleri bu pencereler üzerinden hızlıca yapılabilir. Bu programın kullanımda sağlanan avantaj ise ana bilgisayar masaüstünden yüksek işlem hızı ile yardımcı kaynaklara erişim, kısıtlı olmayan ve güçlü yazılım editörlerini kullanım imkânı oluşturmaktadır. İstemci üzerinden editör bağlantılı açılan yazılım dosyalarında yapılan değişiklik kaydedildiğinde otomatik olarak RasPi dosya sistemi içerisinde ilgili dosya güncellenmektedir. Tekrarlı dosya taşımaya gerek kalmamıştır. Yüksek hızda veri transferi gerçekleştirmektedir.

Görüntü işleme kütüphanesi olarak OpenCV 4.1.0 kullanılmıştır. Kamera ile alınan gerçek zamanlı görüntü üzerinde bu açık kaynaklı kütüphane işlemleri uygulanmıştır. Görüntü alma, bulma, değiştirme, çevirme, karşılaştırma, üzerine yazı/şekil yazdırma gibi farklı fonksiyonları bulunmaktadır. Kurulumu yapılırken beraberinde başka paketlerinde yüklenmesi gerekmektedir.

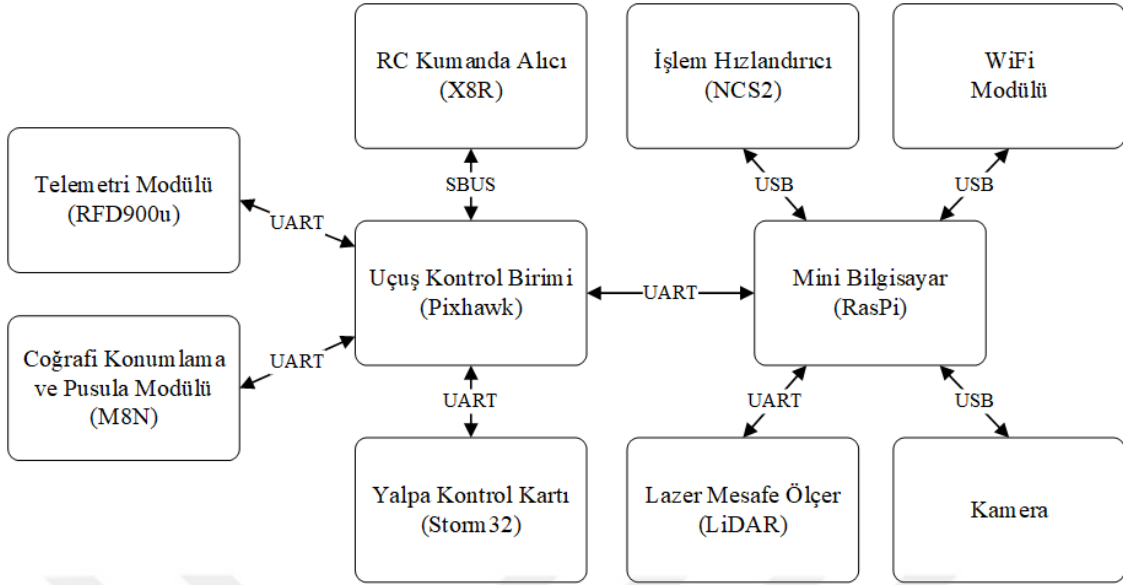
Nesnelerin tespit edilmesi ve sınıflandırmasında derin sinir ağları ile belirli sayıda sınıf için önceden eğitilmiş bir Google MobileNet SSD nesne algılayıcı Caffe modeli kullanılmıştır. Caffe DNN modülü Python programlama dilinde yazılmış programda çağırılmıştır.

FCU uçuş verilerinin ve konum koordinatlarının çekilmesi, üzerine bağlanan yalpa sisteminin kontrolü gibi işlemlerde Dronekit-Python kütüphanesi kullanılır. MB arayüz uygulamasında kütüphane kodları kullanılarak İHAS'ın konum bilgileri alınır. Yalpa için açılış değerleri gönderilerek istenilen pozisyona dönüşü sağlanır.

Derin öğrenme modellerinin kullanımında NCS2 sinirsel hesaplama çubuğundan yararlanabilmek için OpenVINO Toolkit RasPi 2019.1.094 kütüphanesi yazılıma eklenmiştir. NCS2'nin resmi sayfasında ve pyimagesearch adresinde bulunan kurulum yönergeleri takip edilmiştir. Arayüz oluşturma için sanal ortam hazırlık aşamaları ve model dosyalarının kullanımında pyimagesearch sayfası çalışmalarından faydalanılmıştır. RasPi'de kullanılması için program, kütüphane yüklemeleri ve ayarlar yapılmıştır [30].

2.4.6. Algoritma ve arayüz tasarımı

Çalışma için gerekli İHAS toplandıktan ve uçuş testleri yapıldıktan sonra, İHAS'a HAKRC Storm32 3-eksen fırçasız DC kamera yalpası, Logitech C170 kamera, WiFi kablosuz veri aktarma modülü, RasPi mini-bilgisayarı, NCS2 işlem hızlandırıcı ve LiDAR Lite v3HP lazerli mesafe ölçer donanımları entegre edilmiştir. LiDAR ise 3 eksen yalpa üzerinde ve kamera ile aynı doğrultuda yerleştirilmiş olup elektriksel olarak MB'ye bağlanmıştır. Yalpa kontrolcüsüyle haberleşme FCU üzerinden yapılır. MB üzerinde önceden öğretilmiş derin öğrenme modeli ve kodları çalıştırılmaktadır. NCS2 desteğiyle MB'nin sinirsel hesaplama işlem gücü arttırılmıştır. Yer istasyonu bilgisayarında yüklü olacak uzaktan bağlantı yazılımı (VNC Viewer) ile İHAS üzerindeki MB'ye yer istasyonundan WiFi ağı üzerinden bağlanılmaktadır. Blok diyagram olarak İHAS modüllerinin genel bağlantı şeması Şekil 2-50'de gösterilmektedir.

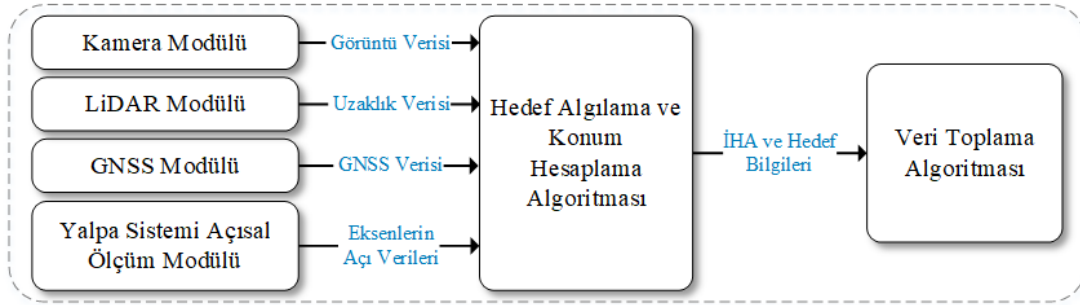


Şekil 2-50. İHAS modülleri bağlantı şeması

Hedef belirleme algoritmasının çalışacağı derin öğrenme destekli arayüz yazılımı uzaktan görüntülenebilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Böylelikle arayüz üzerindeki kamera görüntüsünden faydalanılarak hedef bilgileri toplanmaktadır. Pilot karar destek sistemi aracılığıyla anlık görüntüyü kullanarak üzerinde etiketli algılanan nesneleri gözle takip ederek kumanda üzerinden yalpayı yaw ve pitch ekseninde dönüşlerle yönlendirmektedir. Konum bilgileri alınmak istenen noktaya görüntünün ortasındaki yarım artı işaretçisi hareket ettirilir ve hedef üzerinde tutulur. Arayüz üzerinde bulunan “Hedef Koordinatı Al!” butonuna basılır. Sonrasında aşağıda detayları verilen ve Şekil 2-51’de prensip şeması gösterilen hedef algılama ve veri toplama algoritması koşturulmaktadır:

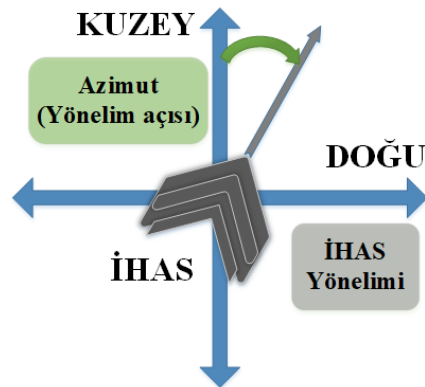
1. Kamera görüntü verisi üzerinde arayüz kapatılana kadar algılanan nesneler kutu içerisine alınarak etiketlenmesi,
2. LiDAR modülü ile hedefe doğrudan uzaklık ölçümü,
3. Hedefin ekranın ortasına gelen noktası için 3 eksen kamera yalpası anlık yaw/pitch açı bilgilerinin FCU’dan okunması,
4. FCU’dan İHAS’ın anlık GNSS konumu, azimut, irtifa verilerinin toplanması,
5. İHAS ile hedef arasındaki yatay ve dikeydeki mesafelerin hesaplanması,
6. Kamera yalpasının yaw/pitch açıları ile İHAS’dan alınan veriler birleştirilerek (sensor fusion) hedef GNSS koordinatları ve uzaklık bilgilerinin hesaplanması,
7. Hedefin ekran çerçevesindeki görüntüsünün “.jpg” olarak kaydedilmesi,

8. Toplanan ve hesaplanan veriler liste olarak düzenlenerek “.xlsx” ve “.csv” türünde dosya olarak kayıt edilmesi.



Şekil 2-51. Arayüz algoritması prensip şeması

Yukarıda belirlenen algoritmaya göre, derin öğrenme yazılımı gerekli hesaplamaları yapmakta ve kullanıcıya bilgi vermektedir. Kullanıcı tarafından seçilen hedefin ekranın ortasında bulunduğu kabul edilmektedir. Kameranin pan/tilt eksenlerinde yönlendirme hareketi durdurulmuştur. 3 eksen yalpa kontrolcüsü eksenlerinin açı verilerini göndermektedir. Kamera ile aynı doğrultuda olan lazerli mesafe ölçer ile hedefin uzaklığı ölçülmektedir. Uçuş kontrol biriminden anlık azimut yani Şekil 2-52’de gösterilen İHAS burnunun yatay düzlemde pusula kuzeyi ile arasındaki dönüş açısı, irtifa ve GNSS bilgileri alınmıştır. LiDAR’dan uzaklık bilgisi ve yalpa kontrolcüsünden gönderilen yaw/pitch açı bilgileri de kullanılarak önce kameranin yüzey normali ile yaptığı açı sonra da hedefin GNSS koordinatları hesaplanmaktadır. Arayüz üzerindeki konum hesaplama butonuna basıldığı anda ekran görüntüsü, İHAS bilgileri ve hesaplanan hedef bilgileri kaydedilir. Hesaplanan ve toplanan veriler liste haline getirilerek dosyalanır.



Şekil 2-52. Azimut gösterimi

Python dili ile RasPi üzerinde çalışması için yazılan arayüz programı dosyaları düzeni ağaç tipi olarak Şekil 2-53’te gösterilmiştir.

```

pi@raspberrypi:~/Desktop/tez/tez_gui $ tree
.
├── benioku.txt
├── lib_uav
│   ├── centroidtracker.py
│   ├── gui_uav.py
│   ├── hedefkoordinat.py
│   ├── lidar.py
│   └── yazVeri.py
├── model
│   ├── MobileNetSSD_deploy.caffemodel
│   └── MobileNetSSD_deploy.prototxt
├── output
│   ├── 2020-07-22_23-42-08.csv
│   ├── 2020-07-22_23-42-08.jpg
│   └── 2020-07-22_23-42-08.xlsx
└── start_gui.py

3 directories, 12 files
pi@raspberrypi:~/Desktop/tez/tez_gui $

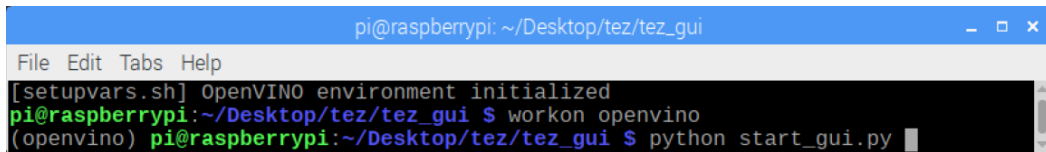
```

Şekil 2-53. Arayüz programı dosya ağacı gösterimi

- “tez_gui” klasörü: Tüm program dosyalarını içeren ana klasördür.
 - “benioku.txt”: Dosya içeriğinde programı çalıştırabilmek için gerekli bilgi notları ve terminalden girilmesi gereken komut satırları bulunmaktadır.
 - “lib_uav” klasörü: Algoritmada kullanılan görevlere ait Python modül dosyalarını içermektedir.
 - “centroidtracker.py”: Algılanan her bir nesneye tanımsız ID numarası atamada kullanılan modüldür. Bu ID ile görüntüde belirli sayıda nesne etiketlenerek takip edilmektedir. Modülün avantajı örnek verilirse görüntüde etiketlenmiş bir araba yer değiştirdiğinde aynı etiket numarası ile gösterilmeye devam etmektedir. Belirlenen yenileme sayısı sonrasında etiketli hedef görüntüde bulunamazsa ID ataması silinerek ekrandan kaldırılmaktadır.
 - “gui_uav.py”: Tasarlanan arayüzün çalıştırılması ve kamera görüntüsünün üzerinde yapılan değişiklikler/eklemeler bu modülde yazılmıştır. Eklenen iki adet koordinat alma ve anlık ekran görüntüsünü kaydetme butonları ile bağlantılı modül fonksiyonları aktifleştirilir.
 - “hedefKoordinat.py”: Hedef koordinat verilerinin toplanmasını ve hesaplamaları gerçekleştiren modüldür. FCU’ya “dronekit” kütüphanesi ile bağlanarak bilgiler sorgulanır ve toplanır. “lidar” modülü üzerinden LiDAR mesafe verisi alınır. Veriler “geopy” kütüphanesi fonksiyonlarına uygun düzenlenerek hedef noktanın Lat, Lon konum hesaplamaları yapılır. Ek hesaplamalarla beraber

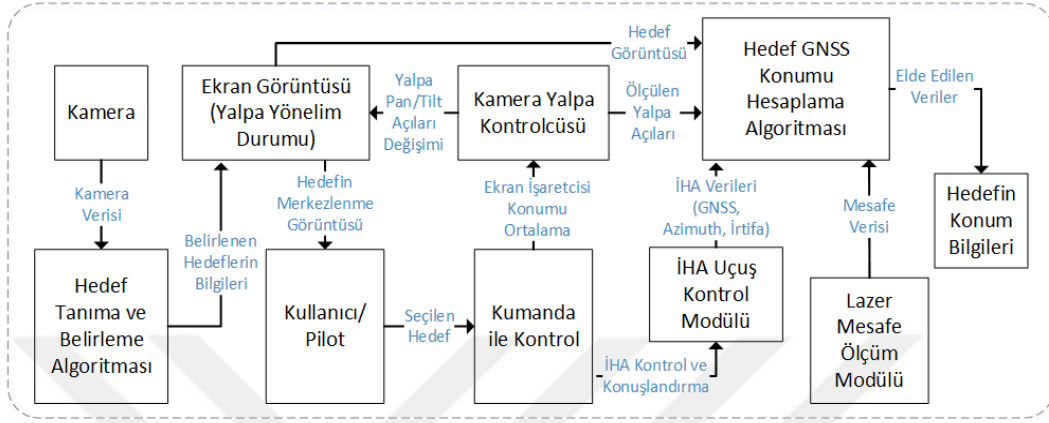
anlık toplanan veriler tek satırda paketlenerek fonksiyon cevabı olarak “gui_uav” modülüne döndürülür. Bilgiler arayüzün çalıştırıldığı terminal ekranına yazdırılır. Fonksiyonu her çağırmada güncel veriler toplanarak işlemler tekrar yaptırılır.

- “lidar.py”: LiDAR ile I2C haberleşmesinin yapıldığı ve mesafe ölçüm değerlerinin “cm” cinsinden okunduğu modüldür.
- “yazVeri.py”: Fonksiyona gönderilen başlık satırı ve veri tablosunu birleştirip düzenleyen modüldür. Veri tablosuna satır numaralarını atar ve gelen başlık satırı ile tabloyu birleştirir. O andaki tarih ve saat ile adlandırılarak “output” klasörüne Excel ve CSV türünde dosya olarak kaydeder.
- “model” klasörü: Algoritmada çağrılarak derin öğrenme ile nesne tanıma işleminin yaptırılması için gereken önceden eğitilmiş Caffe modeli (MobileNetSSD_deploy.caffemodel ve MobileNetSSD_deploy.prototxt) dosyalarının çağrıldığı klasördür.
- “output” klasörü: Toplanan ve hesaplanan verilerin düzenlenmesiyle oluşturulan “.csv”, “.xlsx” ve görüntü için “.jpg” dosyaların kaydedildiği klasördür.
- “start_gui.py”: Arayüz programının çalıştırıldığı ana Python dosyasıdır. Başlangıç atama ve ayarlamalarını yaptıktan sonra modüllere bağlanarak arayüzü başlatır. NCS2 ve kameranin hazırlık aşamaları burada gerçekleştirilir. Çalıştırılması için Şekil 2-54’deki gibi terminalden komutlar girilmelidir.
 - Terminalden sırasıyla “\$ workon openvino” komutu ile NCS2 için sürücü ve kütüphane dosyalarını yükleyerek kurulumunu yaptığımız sanal ortam çalıştırılır.
 - “\$ python start_gui.py” komutu ile giriş değişkenleri ayarlanmış, model dosyaları ve veri çıktı yolu gösterilmiş program başlatılır.

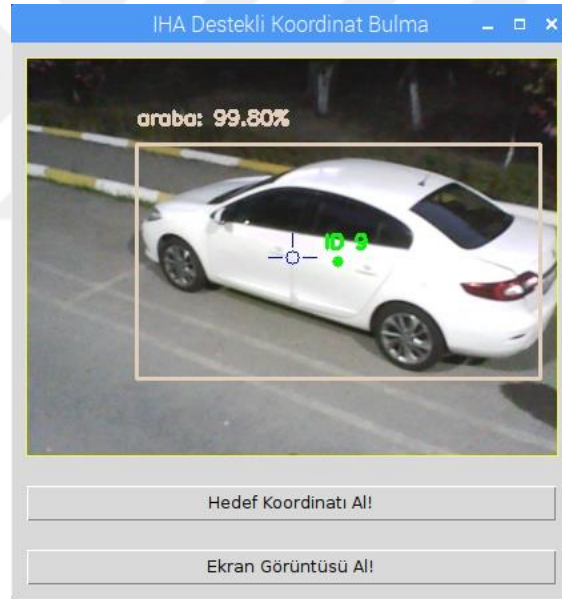


Şekil 2-54. Terminalden arayüz çalıştırma komutları

Burada “lib_uav” klasörü içerisinde bulunan Python modül/kütüphane dosyaları algoritma içerisinde çağrılarak gerekli işlemler yaptırılmıştır. Arayüz programı algoritmasının genel çalışma biçimi Şekil 2-55’de diyagram olarak ve Şekil 2-56’te ise görüntüsü eklenmiştir.



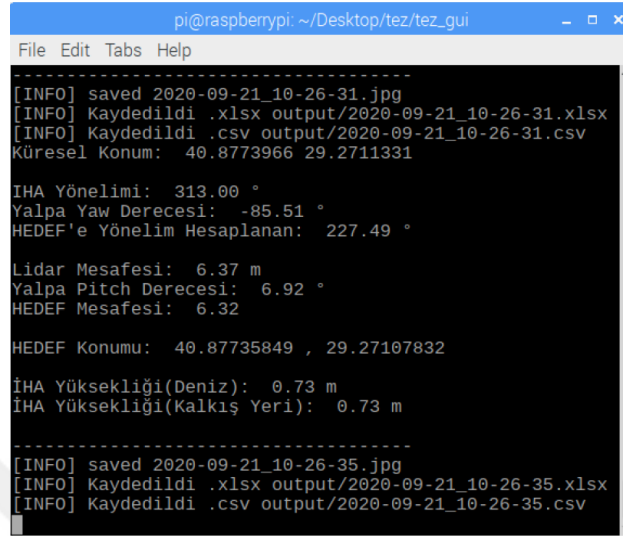
Şekil 2-55. Program algoritma diyagramı



Şekil 2-56. Tasarlanan arayüz

Programın başlatıldığı terminal penceresinde program çalışması sırasında işlem bilgileri gösterilmektedir. Her koordinat al butonuna basılmasında oluşturulan bilgiler, pencere sonu satırına Şekil 2-57’deki gibi çıktı olarak yazdırılmaktadır. Arayüzde görüntü altındaki bölgede üstte “Hedef Koordinatı Al!” ve altta “Ekran Görüntüsü Al!” olarak iki adet buton bulunmaktadır. Alttaki butona her basıldığında anlık işlenmiş görüntü verisi etiketlenerek “output” klasörüne kaydedilmektedir. Üstteki buton ise hem görüntü verisi, hem de hedef koordinatı hesaplama verilerini toparlayarak “yazVeri” modülüne gönderir.

Veriler zaman damgalı bir şekilde “jpg”, “.xlsx” ve “.csv” türlerinde “output” dosyasına kayıtlı edilmektedir.



```
pi@raspberrypi: ~/Desktop/tez/tez_gui
File Edit Tabs Help
-----
[INFO] saved 2020-09-21_10-26-31.jpg
[INFO] Kaydedildi .xlsx output/2020-09-21_10-26-31.xlsx
[INFO] Kaydedildi .csv output/2020-09-21_10-26-31.csv
Küresel Konum: 40.8773966 29.2711331

İHA Yönelimi: 313.00 °
Yalpa Yaw Derecesi: -85.51 °
HEDEF'e Yönelim Hesaplanan: 227.49 °

Lidar Mesafesi: 6.37 m
Yalpa Pitch Derecesi: 6.92 °
HEDEF Mesafesi: 6.32

HEDEF Konumu: 40.87735849 , 29.27107832

İHA Yüksekliği(Deniz): 0.73 m
İHA Yüksekliği(Kalkış Yeri): 0.73 m

-----
[INFO] saved 2020-09-21_10-26-35.jpg
[INFO] Kaydedildi .xlsx output/2020-09-21_10-26-35.xlsx
[INFO] Kaydedildi .csv output/2020-09-21_10-26-35.csv
```

Şekil 2-57. Terminal üzerinden bilgilendirme

Sistemde hesaplamaların yapılabilmesi için hazırlanan veriler ilgili bileşenlerden çekilmekte ve dönüşümleri yapılarak ilgili formüllerde kullanılmaktadır. Hesaplama için kullanılan parametlerden önemli olanları yazının devamında açıklanmıştır.

İHAS'a ait Küresel Koordinat konum bilgisi GNSS modülü yardımıyla elde edilir. FCU ile haberleşmede “Dronekit-Python” kütüphanesinden yararlanılmaktadır. Veriler uçuş kontrol kartı üzerinden MB arayüz uygulamasına kütüphane kodları ile taşınmaktadır.

Konum ve yönelim bilgileri toplanması aşamasında bilinmesi gereken önemli noktalar bulunmaktadır. Coğrafi koordinat sistemi olarak WGS84 konum biçimi kullanılmıştır. Konum koordinatlarının farklı biçimlerde gösterimleri bulunmaktadır. Deneyisel çalışmada “GeoPy” kütüphanesi ile hesaplanan konum bilgileri ondalık derece (DD) biçimindedir. Harita programlarında kullanılabilen bazı biçim örnekleri aşağıdaki gibidir:

- Derece, dakika ve saniye (DMS): 40°59'11.15"K 29°3'12.54"D
- Derece ve ondalık dakika (DMM): 40 59.1859, 29 3.2089
- Ondalık derece (DD): 40.986431, 29.053482

Ekvator enlemi üzerinden geçen boylam çizgileri ile 360 dereceye ayrılmıştır. Dünyanın çevresinin uzunluğu derece sayısına bölündüğünde ekvator paraleli üzerinde her derece 111,32km mesafeyi temsil eder. Küresellikten dolayı ekvator'dan kutuplara doğru gidildikçe paralellerden geçen 1 derecede geçen boylam çizgileri arasındaki mesafe sıfıra

yaklaşır. DD değerine göre dünyada ekvator ve 45° K/G paralelleri üzerinde derece mesafesinin ondalık basamak hassasiyeti Tablo 2-7’de gösterilmiştir [31].

Tablo 2-7. DD basamak hassasiyeti tablosu [31]

Ondalık Basamak	Derece Basamağı	Ekvatorda K/G veya D/B	45° K/G’de D/B
0	1,0	111,32 km	78,71 km
1	0,1	11,132 km	7,871 km
2	0,01	1,1132 km	787,1 m
3	0,001	111,32 m	78,71 m
4	0,0001	11,132 m	7,871 m
5	0,00001	1,1132 m	787,1 mm
6	0,000001	111,32 mm	78,71 mm
7	0,0000001	11,132 mm	7,871 mm
8	0,00000001	1,1132 mm	787,1 µm

Konumlar arası mesafeyi hesaplayabileceğimiz üç farklı dünya modeli vardır [32]:

- Düz dünya (Pythagorean teoremi)
- Küresel (Haversine formülü)
- Elipsoid (Vincenty formülü)

Çalışmada Haversine ve Vincenty formüllerinden yararlanılmıştır. Küresel dünya temeline dayalı model olan Haversine formülünü kullanmak (elipsoidal etkilerin göz ardı edilmesi), dünyanın çok az elipsoid olmasından dolayı %0,3’e kadar hesaplama hatasına neden olmaktadır ve 1km’de 3m’lik bir doğruluktur. Daha fazla doğruluk için kullanılan Vincenty formülü, jeodezik yapıyı baz aldığından kutuplardan basık küremsi kabul edilen dünya yüzeyindeki bir konumu hesaplamada 1mm’ye kadar hassas sonuçlar verir. Farklı Enlem/Boylam noktaları arasında mesafenin elde edilmesi, yön ve kesişim noktası bulunması gibi farklı çeşitlerde problemler çözümlenebilmektedir [32,33].

Basit küresel kosinüs hesaplamaları için Haversine formülü kullanılarak küçük mesafelerde birkaç metreye kadar iyi sonuçlar alınmaktadır. “Hedef noktanın başlangıç noktasından verilen mesafe ve yönelim açısı ile bulunması” yöntemine ait hesaplamalar bulunmaktadır. Verilen bir başlangıç noktası(ϕ_1, λ_1), baştaki yönelim açısı(θ) ve mesafe(d) verildiğinde dünya modeli üzerinde yay çizilerek (en kısa mesafede) varılacak hedef noktanın Lat ve Lon koordinatları(ϕ_2, λ_2), hesaplanabilmektedir. Aşağıda Haversine formülü ile coğrafi koordinatları bulmak için kullanılan değişkenlerin

tanımları verilmiştir. Eşitlik(E.)(2.1)’deki bağıntı ile hesaplama yapıldığında hedef noktanın Lat değeri, E.(2.2)’deki bağıntı ile hesaplama yapıldığında ise hedef noktanın Lon değeri elde edilir [33].

- φ_1, φ_2 : Enlem (Latitude: 1- başlangıç noktası, 2- hedef nokta),
- λ_1, λ_2 : Boylam (Longitude: 1- başlangıç noktası, 2- hedef nokta),
- θ : Yönelme açısı (Azimut, Kuzeyden saat yönünde),
- d : Katedilmiş mesafe (metre),
- r : Dünyanın yarıçapı (~6371000 metre),
- δ : Açısal mesafe (d/r),

$$\varphi_2 = \arcsin(\sin \varphi_1 * \cos \delta + \cos \varphi_1 * \sin \delta * \cos \theta) \quad (2.1)$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \arctan2(\sin \theta * \sin \delta * \cos \varphi_1, \cos \delta - \sin \varphi_1 * \sin \varphi_2) \quad (2.2)$$

Hedefin koordinatlarının İHAS üzerinden bulunmasında, projeye dahil edilen “GeoPy” kütüphanesi “geopy.distance” modülünden “VincentyDistance” fonksiyonu kullanılmıştır. Fonksiyon, Vincenty’nin doğrudan jeodezik formülünü kullanarak hedef konumunu hesaplamaktadır. Fonksiyonda 3 parametre girişi istenmektedir. Merkez nokta (orijin), hedefe olan uzaklık ve hedefin kuzeye göre (saat yönünde) hangi açıda olduğu bilgisidir. Merkez olarak İHAS GNSS Lat, Lon değerleri alınmıştır. Hedefin merkez noktaya yatay mesafesi kilometreye çevrilmiş ve kullanılmıştır. Son verilen parametre ise hedef YAW açısı yani hedefin yönelim (kuzeye göre saat yönünde) açısıdır. Hesaplama sonucunda hedef Lat, Lon koordinatları elde edilmiştir.

Aşağıda Vincenty formülünün doğrusal problem çözümü için hesaplamaları aşağıdaki E.(2.3-2.17) bağıntısında gösterilmektedir. Doğrusal çözüm ile jeodezik yaklaşım üzerinden hesaplamada, P_1 başlangıç noktası (φ_1, L_1), başlangıç azimut (α_1) ve mesafe (s) bilgileri verildiğinde, P_2 hedef nokta (φ_2, L_2) ve hedef azimut (α_2) bulunmaktadır [33,34].

Doğrusal problem çözümünde kullanılan Vincenty formülünün notasyon, kısaltma ve bağıntıları:

- a : Elipsoid yarı-büyük eksen uzunluğu (WGS84 = 6378137,0 m),
- f : Elipsoid düzleştirme (WGS84 = 1/298,257223563),
- $b = (1 - f)a$: Elipsoid yarı-küçük eksen uzunluğu (WGS84 = 6356752,314245m),
- φ_1, φ_2 : Enlem (latitude, 1 - P_1 , 2 - P_2 , ekvator kuzeyi pozitif),
- $U_1 = \arctan((1 - f) \tan \varphi_1)$: İndirgenmiş enlem (yardımcı küre üzerindeki),
- $U_2 = \arctan((1 - f) \tan \varphi_2)$: İndirgenmiş enlem (yardımcı küre üzerindeki),

- L_1, L_2 : Boylam (Longitude: 1 - P_1 , 2 - P_2),
- $L = L_2 - L_1$: Noktaların boylam farkı,
- λ : Yardımcı küre üzerindeki noktaların boylam farkı,
- α_1, α_2 : Noktalardaki ileri (saat yönünde) azimut,
- α : Ekvatordaki jeodezik ileri azimut,
- s : P_1, P_2 noktaları arasındaki elipsoidal eğri uzunluğu,
- σ : P_1, P_2 noktaları arası küre üzerindeki açısal mesafe,
- σ_1 : Ekvatordan P_1 noktasına küre üzerindeki açısal mesafe,
- σ_m : Ekvatordan çizginin orta noktasına kadar olan küre üzerindeki açısal mesafe,

$$U_1 = \arctan[(1 - f) \tan \varphi_1] \quad (2.3)$$

$$\sigma_1 = \arctan2(\tan U_1, \cos \alpha_1) \quad (2.4)$$

$$\sin \alpha = \cos U_1 \sin \alpha_1 \quad (2.5)$$

$$u^2 = \cos^2 \alpha \left(\frac{a^2 - b^2}{b^2} \right) = (1 - \sin^2 \alpha) \left(\frac{a^2 - b^2}{b^2} \right) \quad (2.6)$$

$$A = 1 + \frac{u^2}{16384} \{4096 + u^2[-768 + u^2(320 - 175u^2)]\} \quad (2.7)$$

$$B = \frac{u^2}{1024} \{256 + u^2[-128 + u^2(74 - 47u^2)]\} \quad (2.8)$$

Sonrasında, $\sigma = \frac{s}{bA}$ başlangıç değerinden kullanılarak, σ 'da önemli bir değişiklik olmayana kadar aşağıdaki E.(2.9-2.11) bağıntıları itere edilir(tekranlanır).

$$2\sigma_m = 2\sigma_1 + \sigma \quad (2.9)$$

$$\Delta_\sigma = B \sin \sigma \left\{ \cos(2\sigma_m) + \frac{1}{4}B \left(\cos \sigma [-1 + 2 \cos^2(2\sigma_m)] - \frac{1}{6}B \cos[2\sigma_m] [-3 + 4 \sin^2 \sigma] [-3 + 4 \cos^2(2\sigma_m)] \right) \right\} \quad (2.10)$$

$$\sigma = \frac{s}{bA} + \Delta_\sigma \quad (2.11)$$

E.(2.9-2.11) bağıntısı iterasyonunda σ için yeterli kesinliğe ulaşıldığında E.(2.12-2.17) arası bağıntılara devam edilir:

$$\varphi_2 = \arctan2\left(\sin U_1 \cos \sigma + \cos U_1 \sin \sigma \cos \alpha_1, (1 - f)\sqrt{\sin^2 \alpha + (\sin U_1 \sin \sigma - \cos U_1 \cos \sigma \cos \alpha_1)^2}\right) \quad (2.12)$$

$$\lambda = \arctan2(\sin \sigma \sin \alpha_1, \cos U_1 \cos \sigma - \sin U_1 \sin \sigma \cos \alpha_1) \quad (2.13)$$

$$C = \frac{f}{16} \cos^2 \alpha [4 + f(4 - 3 \cos^2 \alpha)] \quad (2.14)$$

$$L = \lambda - (1 - C)f \sin \alpha \{ \sigma + C \sin \sigma (\cos[2\sigma_m] + C \cos \sigma [-1 + 2 \cos^2(2\sigma_m)]) \} \quad (2.15)$$

$$L_2 = L + L_1 \quad (2.16)$$

$$\alpha_2 = \arctan2(\sin \alpha, -\sin U_1 \sin \sigma + \cos U_1 \cos \sigma \cos \alpha_1) \quad (2.17)$$

Başlangıç noktası olarak Kuzey veya Güney kutbu alınırsa, ilk denklem E.(2.3) belirsiz olmaktadır. Başlangıç azimutu tam Doğu (90°) veya tam Batı (270°) ise o halde ikinci denklem E.(2.4) de belirsizdir.

MB tarafından GNSS Konum hesaplanması için değerler FCU'dan ve LiDAR'dan okunmuştur. Okunan değerler hesaplamalarda kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Programda kullanılan değişkenler ve hesaplamalar örnek bir ölçümün değerleri üzerinden aşağıda adım adım anlatılmıştır.

FCU'dan okunacak parametreler:

- İHA GNSS koordinatları
 - “glbLat, glbLon” değişkeni olarak atanan değerler İHAS’ın gökyüzünde bulunduğu küresel konum Lat, Lon değerleridir. Ör:
 - glbLat: 40.9852231 °, glbLon: 29.0542926 °
- İHA azimut/yönelim açısı
 - “glbHeadingDeg” değişkeni olarak M8N kumpas modülünden kuzeye göre İHAS yönü derecesidir. Ör:
 - glbHeadingDeg: 58 °
- Yalpa YAW açısı
 - “conv_gmbl_yaw” değişkeni yalpanın yaw ekseninde dönüş yaptığı açı değeridir. Ör:
 - conv_gmbl_yaw: -0.84 °
- Yalpa PITCH açısı
 - “gmblPitchDeg” değişkeni yalpanın pitch ekseninde dönüş yaptığı açı değeridir. Ör:
 - gmblPitchDeg: 26.8 °
- İHA yüksekliği - Deniz seviyesi
 - “glbAlt” değişkeni İHAS’ın deniz seviyesine göre ölçülen yükseklik değeridir. Bilgi olarak tabloya eklenmiştir. Ör:

- glbAlt: 61.7 m
- İHA yüksekliği - Kalkış seviyesi
 - “glbAltRlt” değişkeni İHAS’ın yerden kalkış seviyesine göre ölçülen yükseklik değeridir. Bilgi olarak tabloya eklenmiştir. Ör:
 - glbAlt: 11.2 m

LiDAR'dan okunacak parametreler:

- LiDAR mesafe bilgisi
 - “lidDist” değişkeni LiDAR’ın hedef olarak yöneltildiği nokta ile arasındaki mesafe değerini tutar. Ör:
 - lidDist: 21.7 m

Hesaplamalar:

- Hedef YAW açısı = İHAS yönelim açısı + Yalpa YAW açısı
 - “cal_trg_heading” değişkeni hedef koordinatının bulunması için ölçülen mesafenin yer düzlemi üzerinde hangi açıda kaydırılacağını belirlemede kullanılır. Ör:
 - $\text{cal_trg_heading} = 58 + (-0.84) = 57.16^\circ$
- Hedefe yatay mesafe = LiDAR mesafe bilgisi * Cos(Radyan(Yalpa PITCH açısı))
 - “cal_trg_dist” değişkeni İHAS’ın yer düzlemine göre bulunduğu nokta ile hedef nokta arasındaki yatay eksen uzaklığını hesaplamada kullanılır. İHAS konumunun hedef konuma kaydırılma mesafesidir. Python “math.cos(x)” fonksiyonu kullanıldığından x dereceden radyana dönüştürülmüştür. Ör:
 - $\text{Radyan}(26.8^\circ) = 26.8 * (\pi / 180) = 0.467 \text{ rad}$
 - $\text{Cos}(0.467 \text{ rad}) = 0,893$
 - $\text{cal_trg_dist} = 21.7 * 0,893 = 19.37 \text{ m}$
- Hedef GNSS konum koordinatları
 - “target_konum.latitude, target_konum.longitude” değişkenlerine hedef koordinat değerleri (Lat, Lon), “geopy.distance.VincentyDistance” paketi ile hesaplanarak atanmıştır.
 - Merkez nokta = uavLat: 40.9852231, uavLon: 29.0542926

- Hedefe uzaklık = 19.37 m / 1000 = 0.01937 km
- Hedefe yönelim açısı = 57.16 °
- target_konum=

VincentyDistance(kilometers=0.01937).destination(

Point(40.9852231,29.0542926), 57.16)
- target_konum.latitude: 40.98531768
- target_konum.longitude: 29.05448598

Şekil 2-58’de hedef konumunu hesaplamak için “hedefKoordinat” modülünde bulunan “cal_trg_crdnt” fonksiyonu içeriği gösterilmektedir.

```

105 def cal_trg_crdnt(self): #
106     #Konum Koordinat Bilgileri
107     self.glbStatus = vehicle.location.global_frame
108     self.glbLat = vehicle.location.global_frame.lat
109     self.glbLon = vehicle.location.global_frame.lon
110     #self.glbAlt = vehicle.location.global_frame.alt
111     uavLat = self.glbLat
112     uavLon = self.glbLon
113     #uavAlt = self.glbAlt
114     self.glbHeadingDeg = vehicle.heading
115     uavHeading = self.glbHeadingDeg
116     targetHeading = self.cal_trg_heading()
117     targetDistanceCM = self.cal_trg_dist()
118     targetDistanceKM = targetDistanceCM/100000
119     origin = geopy.Point(uavLat, uavLon)
120     targetDestination = VincentyDistance(kilometers = targetDistanceKM).destination(origin, targetHeading)
121     return targetDestination
122

```

Şekil 2-58. Hedef konum hesaplama fonksiyonu

2.5. Hedef Konum Koordinatlarının Elde Edilme Aşamaları

Bölüm altında bulunan başlıklarla hedefin konum koordinatlarının uzaktan İHAS ile elde edilmesi aşamalarında yapılan işlemler açıklanmıştır. Bu başlıklar sırasıyla özet olarak aşağıdaki gibidir:

1. İHAS’ın güvenlik denetimi ve uçuşa hazır hale getirilmesi,
2. Karşılaştırma amacıyla elimizdeki GNSS alıcısı ile hedeflenecek noktanın bulunduğu konum bilgilerinin toplanması (Bu aşama havada ölçümler yapıldıktan sonra da yapılabilir.),
3. Yer istasyonunun bağlantılarının ve programlarının ayarlanarak pilot için MP uçuş kontrolcüsü ile gerçek zamanlı işlenmiş görüntü sağlama ve konum bilgisi alma arayüz algoritmasının çalışır hale getirilmesi,

4. İHAS'ın pilot tarafından uçurularak havada konuşlanması ve belirlenen hedeflere kumanda aracılığıyla yalpa yöneltilerek arayüz üzerinden hedef noktanın konum bilgisinin etiketli anlık görüntüsü ile elde edilmesidir.

2.5.1. İHAS'ın uçuşa hazırlanması

Batarya seviyesi, modüllerin yerleşimi, pervaneleri, kablo ve mekanik bağlantıları gözle ve elle kontrol edilmiş İHAS açık alana götürülerek yere konur. Kumanda üzerindeki sol taraftaki gaz çubuğu en alt seviyeye getirilmelidir. Açma butonuna basılarak enerjilendirilir. Batarya soketi takılı değilse takılır. Pilotun uçuracağı alanı karşısına almış olması, tehlike unsuru oluşturabilecek yerlerden uzak olunması, uçurulacak yönde güneşin doğumu ve batımının olmaması gibi durumlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Yere konulurken İHAS'ın ön tarafı pilot ile aynı yöne bakması sağlanmalıdır. Bu sayede kumanda kontrolü uçuş tecrübesi az olanlar için daha kolaylaşmaktadır. Kontroller tamam olduktan sonra GNSS üzerinde bulunan “Safety” - “Güvenlik” butonu devamlı yanıp söndüğü görülmektedir. Butona pervanelerin erişim alanı dışından korunma amaçlı 2 saniye kadar basılarak İHAS “Prearm” - “Kurma öncesi” durumuna getirilir ve üzerindeki ışık devamlı yanmaya başlar. Sonrasında cihazın yanından uzaklaşılır. Hazır hale getirilen İHAS artık eşleştirilmiş olduğu kumanda aracılığıyla “Arm” - “Kurma” için soldaki gaz çubuğu en sağ alt köşeye çekilir. Kurma uyarı sesi gelmesi sonrası gaz çubuğu serbest bırakılır. Motorlar düşük devirde dönmeye başlar. Artık İHAS gaz verilerek uçurulmaya hazırdır.

“Disarm” - “Kurma iptali” için İHAS yere indirilmişken gaz çubuğu bu kez sol alt köşeye çekilerek birkaç saniye beklenir. Sonrasında uyarı sesi verilir ve motorları durdurarak GNSS üzerindeki Güvenlik butonu ledi yanıp sönmeye başlar. Bu durumda tekrardan kumanda ile kurma gerçekleşemez. Yanına gidilerek buton yeniden aktif edilmelidir. Deney uçuşları için hazır hale getirilen İHAS Şekil 2-59'da gösterilmektedir.

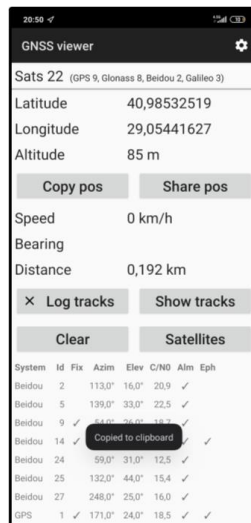


Şekil 2-59. Uçuşa hazır İHAS

2.5.2. Yardımcı konum bilgilerinin alınması

GNSS konum alma cihazı olarak cep telefonu yardımıyla hedefin bulunduğu konum koordinatları karşılaştırma amaçlı alınır. Bu işlem için ilgili hedef noktanın yanına gidilir. Cep telefonunda konum servisi açılır ve GNSS uygulaması çalıştırılır. Hedefin üzerinde orta noktasında açık alana bırakılır. Uydu sinyallerinin toplanması için 30sn kadar beklenir. Sonrasında konum koordinatları uygulama aracılığıyla alınır. Şekil 2-60'da GNSS Viewer programıyla alınmış konum bilgileri ekranı görülmektedir. Bu değerler deney sonunda karşılaştırılmak amacıyla hedef noktayı tanımlayıcı etiket ile veri tablosuna işlenir.

Örnek hedef-1 konumu = Lat: 40.985304 °K - Lon: 40.054388 °D

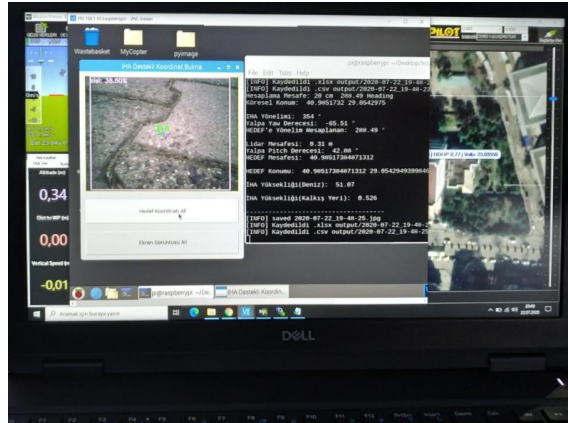


Şekil 2-60. GNSS alıcı program arayüzü

2.5.3. Yer istasyonunun hazırlanması

Aygıt yazılımı yüklenmiş, kalibrasyon ve konfigürasyon ayarları yapılmış İHAS ile haberleşmenin sağlanması için telemetri modülü bilgisayar USB portuna bağlanmıştır. Batarya bağlantısı yapıp enerji verildikten sonra Şekil 2-40'daki gibi bir MP program penceresi açılır. Burada sağ üstte yer alan bağlantı noktası "AUTO", bant hızı "57600" seçilir ve "CONNECT" butonuna basılır. Farklı bant hızları seçilebilir. Parametrelerin yüklenmesi bittikten sonra artık İHAS verileri anlık olarak ekrandan takip edilebilmektedir.

WiFi modem enerji verilerek çalıştırılır. Üzerinden kurulmuş kablosuz ağa MB ve bilgisayar bağlanır ve alınan IP'ler kontrol edilir. Genellikle modem tarafından ağda bir cihaza atanan IP adresi aynı kalmaktadır. Modem ayarlarından MAC adresine göre sabit IP ataması yaptırılabilir. Yer istasyonu bilgisayarı WiFi ağı üzerinden MB IP adresi ile sistem masaüstü görüntüsüne VNC Viewer programı ile bağlanır. Buradan hedef sistem arayüz programı çalıştırılarak kameranın çektiği gerçek zamanlı görüntü görülmektedir. Program algoritması açılışa çalışmaya başladığından dolayı kamera tarafından görülen alan içerisinde tanımlanabilen nesneler varsa kare içerisine alınarak ekranda gösterilmektedir. Şekil 2-61'de bağlantıları ve programları hazır hale getirilmiş yer istasyonu ekranı görüntülenmiştir.



Şekil 2-61. Yer istasyonu çalışma ekranı

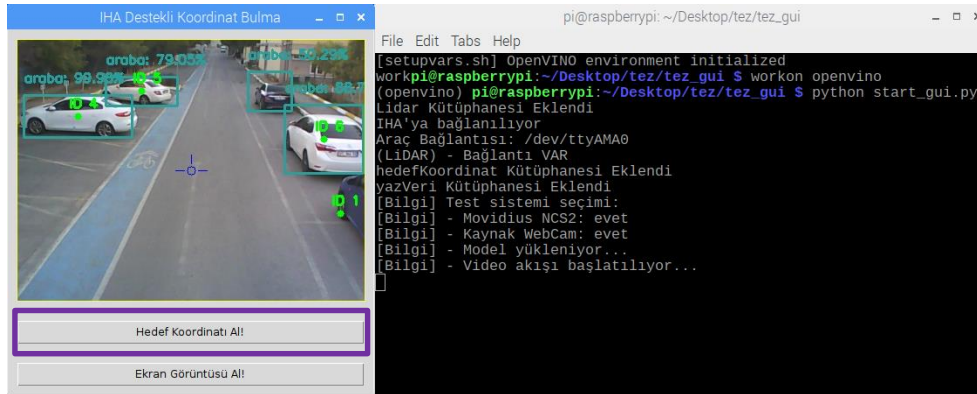
2.5.4. Havada konuşlanma ve veri toplama

İHAS'ın uçuşa hazır ve yer istasyonunda görüntülerin pilot tarafından görülebilecek durumda olması sonrasında kumanda ile gaz verilerek İHAS uçurulur. Küresel çalışma alanı dikkate alınarak LiDAR'ın maksimum ölçüm mesafesi olan 40m'ye kadar uzaklıkta

bir konumda pilot tarafından İHAS havada konuşlandırılır. İHAS üzerindeki hedef sistemi MB'si, WiFi modem ağına bağlanma sınırları içerisinde olması gerekmektedir. Ağ bağlantısı kuramadığında sadece MB'ye erişilemez. Sistemindeki hedefleme sistemi Python arayüz programı görüntülenemez. Pilot'un kumanda üzerinden İHAS'ın uçuş kontrolü devam etmektedir. WiFi modem daha açık ve/veya yakın alana getirilerek tekrar bağlantı kurulması sağlanır. Kullanılan modemın sinyal gücü yüksek olduğundan deney uçuşlarında fazla problem yaşanmamıştır.

Hedefleme sisteminin gerçek zamanlı görüntüsü VNC Viewer programı aracılığıyla bilgisayar ekranından pilot tarafından takip edilmektedir. Bu program WiFi aracılığıyla İHAS üzerindeki MB'nin masaüstüne bağlanmayı ve programları çalıştırmayı sağlamaktadır. Burada hedeflenen noktayı gösteren arayüz programına uzaktan erişilmektedir. Algılanan nesnelerin ekran ortasına alınması kumanda ile yapılır. Pilot kumanda üzerindeki ilgili kanala atanmış potansiyometreler ile yalpa ucunun yaw ve pitch eksenlerinde dönüşünü sağlayarak kamerayı yönlendirir. Görüntünün merkez kısmındaki hedefleme çemberi belirlenen hedef nokta üzerine geldiğinde kamera odağı ve LiDAR aynı doğrultuda hedef noktaya çevrilmiş olur.

Ekran ortasına getirilmesi sonrası arayüzde bulunan “Koordinat al” butonuna basılarak anlık LiDAR ve açı bilgileri toplanır. Program içerisinde toplanan veriler dönüştürülerek hesaplamalar yapılır ve GNSS koordinatları bulunur. Butona basıldığı andaki işlenmiş kamera görüntüsü “.jpg”, hesaplama sırasında kullanılan veriler ve elde edilen koordinat bilgileri zaman etiketli olarak “.xls” ve “.csv” dosya uzantılarıyla dosyaya kaydedilir. Aynı zamanda yapılan işlem bilgileri programın çalıştırıldığı terminal ekranına Şekil 2-62’de gösterildiği gibi açıklanmalı olarak yazdırılmaktadır.



Şekil 2-62. Arayüz programı ve terminal görüntüsü

İHAS ile arayüz aracılığıyla hedef bir noktanın verileri “Hedef Koordinat Al” butonuna basıldıktan sonra dosyaya kaydedilmektedir. Oluşturulan dosyaların görüntüsü Şekil 2-63’te ve verilerin excel tablosu içeriği Şekil 2-64’deki gibidir.



Şekil 2-63. Elde edilen veri dosyaları

	A	B	C	D	E	F	G
	Nu	Veri Etiketi	Küresel Konum Lat: g1bLat	Küresel Konum Lon: g1bLon	IHA Yönelimi: g1bHeadingDeg	Yalpa Yaw Derecesi: conv_gmb1_yaw	HEDEF'e Yönelim Hesaplanan: cal_trg_heading
1							
2	55	2020-07-22_19-41-34	40,9852231	29,0542926	58 °	-0.84 °	57.16 °

	H	I	J	K	L	M	N
	Lidar Mesafesi: lidDist	Yalpa Pitch Derecesi: gmb1PitchDeg	HEDEF Mesafesi: cal_trg_dist	HEDEF Konumu: Lat	HEDEF Konumu: Lon	İHA Yüksekliği (Deniz): Alt	İHA Yüksekliği (Kalkış Yeri): Rtlv_Alt
1							
2	21.7 m	26.8 °	19.37 m	40,98531768	29,05448598	61.7	11.157

Şekil 2-64. Excel içerik gösterimi

Derin öğrenme modeli görüntü üzerinde nesneleri Şekil 2-65’teki gibi farklı türlerde yanlış algılama, algılayamama veya nesne olmayan alanlarda nesne var gibi algılama hatalarını yapabilmektedir. Hedeflerin bulunması ve kare içerisinde gösterilmesinin bu uygulamadaki amacı pilota karar destek sistemi olarak yardımcı olunmasıdır. Gelecekteki kontrol yazılımı güncellemesi ile bulunan belirli hedeflere otonom yönelme ve bilgi toplatılması planlanmıştır.



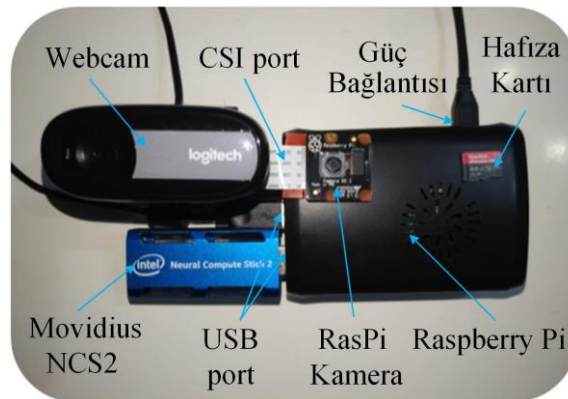
Şekil 2-65. Hatalı algılama örnekleri

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

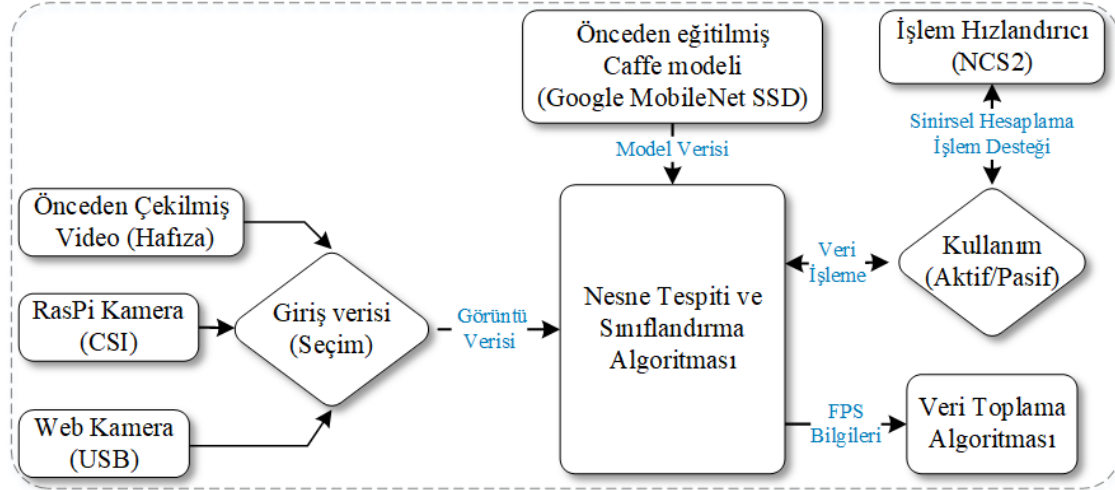
Bu bölümde iki farklı deneysel çalışma yapılarak sonuçları sunulmuştur. İlk deneyde sinirsel işlem hızlandırıcı (NCS2) kullanımının, mini-bilgisayar (MB) üzerinde koşturulan derin öğrenme modeli işlem performansına etkisi incelenmiştir. Performans kriteri olarak ölçülen saniyede kare sayısı (FPS) seçilmiştir. İkinci deneyde ise insansız hava aracı sistemi (İHAS) aracılığıyla hedef koordinat tespitinin uzaktan yapılması sağlanmıştır. İHAS üzerine eklenmiş hedef takip sistemi (HTS) ile hedef konum koordinatları hesaplanmıştır. Hesaplanan ile hedefin bulunduğu nokta üzerinden alınan koordinatların İHAS'a olan mesafeleri karşılaştırılarak sistemin bağıl hata yüzdesi üzerinden doğruluğu değerlendirilmiştir. Bu iki noktaya göre azimut açıları arasındaki fark ile de sapma değeri bulunmuştur.

3.1. NCS2'nin MB performansına etkisi

Performans değerlendirmesinde görüntü işleme sürecindeki saniyede kare sayısı (Frame per second - FPS) dikkate alınmıştır. Önceden eğitilmiş model olan Google MobileNet SSD nesne algılayıcı Caffe modeli nesnelerin tespit edilmesi ve sınıflandırmasında kullanılmıştır. Python dili ile yazılmış programda Caffe DNN modülü çağırılmıştır. RasPi üzerinde program koşturulmuştur. NCS2 kullanıma hazırlamak için sürücü dosyaları kurulmuş ve USB port üzerinden MB'a bağlanmıştır. 3 farklı görüntü verisi girişi olarak RasPi kamera, Webcam ve hafızaya kayıtlı video kaydı kullanılmıştır. Görüntü verisi giriş aygıtı olarak Logitech C170 Webcam USB porta takılmıştır. Performans etkisi çalışması için oluşturulan düzenek bileşenleri Şekil 3-1'de ve algoritma prensip şeması ise Şekil 3-2'de gösterilmektedir.

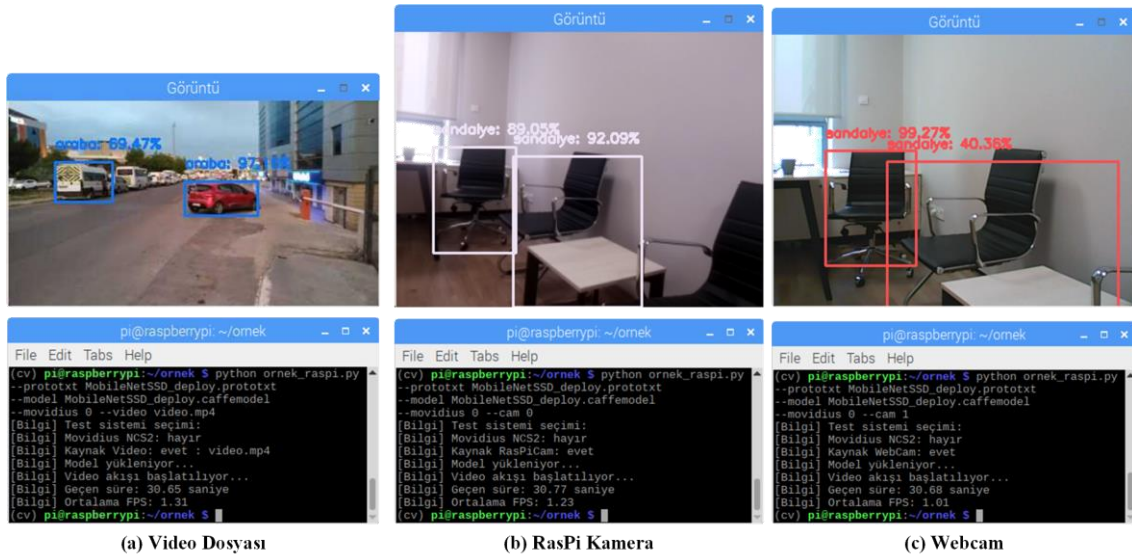


Şekil 3-1. Performans etkisi bileşenleri ve bağlantıları

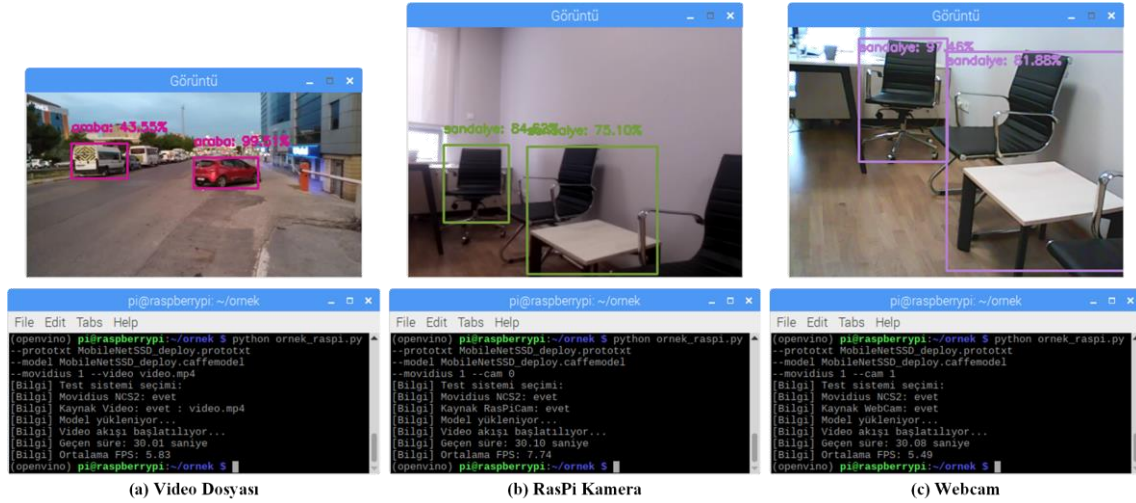


Şekil 3-2. Performans etkisi algoritma prensip şeması

NCS2'nin hem aktif ve hem de pasif durumları için RasPi içerisindeki Python 3 dilinde geliştirilen yazılım kodu çalıştırılmış, elde edilen görüntüler üzerinde bulunan ve derin öğrenme modeli tarafından ne olduğu tahmin edilen nesne, kutu içerisine alınarak sınıfı ve tahmin değeri (% benzerlik oranı) bilgileri eklenmiştir. 6 farklı çalışma tipinde kod çalıştırılmıştır. Kodda ilk görüntü karesinin işleme alınması ile belirlenen toplam sürede (30sn) sonuçlanan kare sayısı elde edilmiştir. Ortalama FPS uygulama çıktısından alınarak tablo oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlarla ilgili görseller için yalın RasPi kullanımıyla Şekil 3-3'te ve RasPi ve NCS2'nin aktif edilerek kullanımı Şekil 3-4'de gösterilmiştir.



Şekil 3-3. RasPi yalın örnek gösterimi (NCS2 pasif)



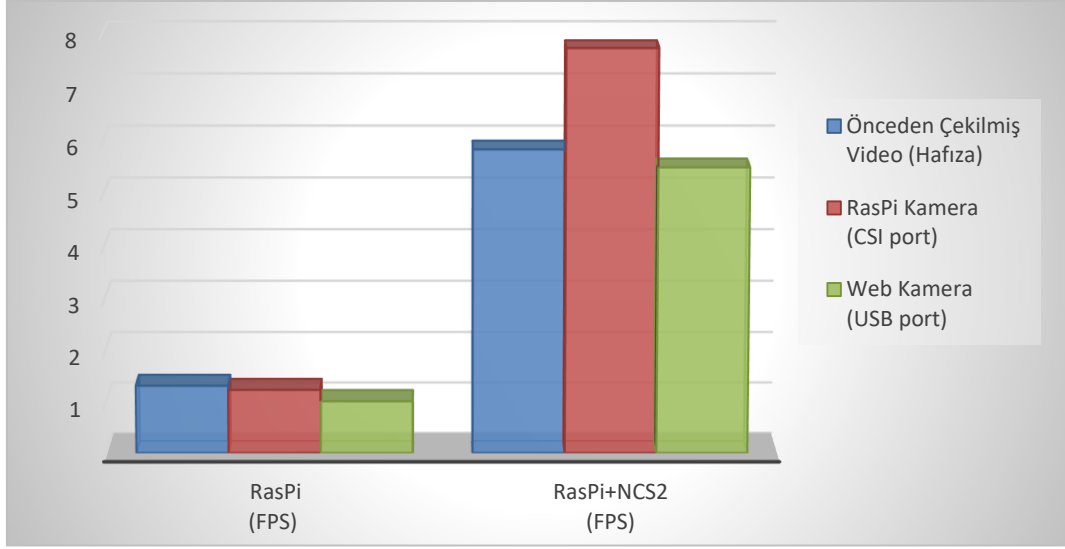
Şekil 3-4. RasPi + NCS2 örnek gösterimi (NCS2 aktif)

Sinirsel hesaplama çubuğunun mini-bilgisayarda kullanımına bağlı olarak örnek bir derin öğrenme destekli nesne tanıma algoritması işlem performansının incelenmesiyle elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 3-1’de sunulmuştur. Oluşturulan sistem ile aynı örnek görüntüleri işleme sürecinde modül hızlandırıcı ile ve olmadan ortalama işlem süresi ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır.

Tablo 3-1. Farklı durumlara göre FPS değerleri ve % değişimi

Video Verisi	RasPi (FPS)	RasPi+NCS2 (FPS)	FPS Artışı (%)
Önceden Çekilmiş Video (Hafıza kartı)	1,31	5,83	445,04%
RasPi Kamera (CSI port)	1,23	7,74	629,27%
Web Kamera (USB port)	1,01	5,49	543,56%

Şekil 3-5’teki grafik incelendiğinde NCS2 kullanımı ile belirtilen farklı veri girişlerinin tümünde FPS artışı meydana geldiği görülmektedir. MB’lerde sinirsel ağ hesaplayıcıları yardımıyla derin sinir ağı işleme hızının artmasına imkân sağlandığı görülmektedir.

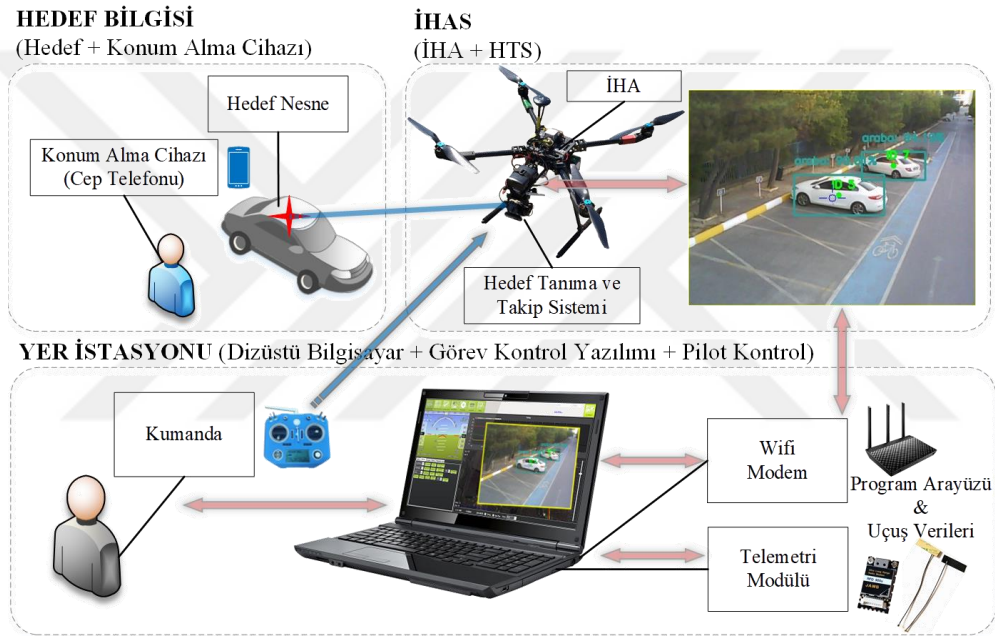


Şekil 3-5. Tablodaki FPS değerlerinin grafiksel gösterimi

Deney sonuçları incelendiğinde RasPi mini-bilgisayarına takılan NCS2 hesaplama çubuğunun çalıştırılmasıyla işlem performansının arttığı görülmüştür. Görüntü verisi USB port, CSI port ve hafıza kartı gibi farklı veri yollarından alınarak işlenmiş ve bunların hız değişimi karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu veri yollarının hepsi için işlem hızının arttığı görülmüştür. Taşınabilir ve küçük boyutlu olmasıyla derin sinir ağı hesaplamalarına ihtiyaç duyan insansız araçlarda ve robotik uygulamalarda kullanım avantajına sahip olduğu görülmüştür.

3.2. Elde edilen hedef konum bilgilerinin karşılaştırılması

Deneysel çalışmanın işlem aşamalarını sembolize eden blok diyagramı Şekil 3-6’da gösterilmiştir. Özetle derin öğrenme yazılımı desteği ile pilot tarafından kumanda edilmiştir. Görüntüde belirlenen nesneler arasından seçilen hedef karesinin ekran ortasına kumanda kontrolüyle getirilmesi sağlanmıştır. Arayüz uygulama görüntüsünde, hedef ortalanarak veri alma butonuna basılmıştır. İHAS’ın bulunduğu konum üzerinden HTS aracılığıyla veriler toplanmış ve uzak noktadaki hedefe ait enlem (Lat) ve boylam (Lon) değerleri hesaplanmıştır. Toplanan veriler ve hesaplama sonuçları düzenlenerek dosyaya eklenmiştir.



Şekil 3-6. Yer istasyonu ve verilerin toplanması

İki konum arasındaki ($Lat_1, Lon_1 - Lat_2, Lon_2$) mesafe ve yönelim açısı değerlerinin bulunmasında Haversine formülünden yararlanılmıştır. HTS üzerinden dinamik ölçüm ile oluşturulan hedef için “hesaplanan konum” verileri (B'_{Lat}, B'_{Lon}), hedefin bulunduğu (statik) konum ile karşılaştırılmıştır. Hedefin durduğu noktadan GNSS alıcı cihaz ile “referans konum” koordinatları (B_{Lat}, B_{Lon}) elde edilmiştir. “İHAS’ın anlık konum” koordinatları (A_{Lat}, A_{Lon}) merkez alınarak hesaplanan, (B_{Lat}, B_{Lon})’ye olan “referans mesafesi” ($A-B$) ve “referans açısı” ($A>B$) değerleri gerçek değer olarak kabul edilir. Merkez aynı nokta kalarak (B'_{Lat}, B'_{Lon}) noktalarına göre “hesaplanan mesafesi” ($A-B'$) ve “hesaplanan açısı” ($A>B'$) bulunur. Hesaplanan ve referans mesafeleri arasındaki farkın mutlak değeri alınarak, mesafenin “mutlak hatası” (ϵ_m) bulunmuştur. Ayrıca bulunan

yönelim açıları farkının mutlak değeri “sapma hatası” (θ_3) olarak bulunmuştur. Sonuçları değerlendirmede, sapma hatası ve “yüzde bağıl hata” (ε_b , mutlak hatanın referans değere yüzdelik oranı) değerleri kullanılmıştır.

Haversine formülü, iki farklı GNSS konum koordinatlarının ($Lat_1, Lon_1 - Lat_2, Lon_2$) arasında çizilen (dünyayı küresel bir model kabul ederek) en kısa yay mesafesini (d) ve sapma açısını (θ_{1-2} , kuzey kutbuna göre başlama noktasından bitiş noktasına olan yönelim) hesaplamada kullanılmaktadır. Konumların Lat ve Lon değerleri üzerinden hesaplamaları E.(3.1-3.2)’de verilen bağıntılar kullanılarak yapılmaktadır [33,34].

- φ_1, φ_2 : Enlem (Latitude: 1- başlama noktası, 2- bitiş noktası),
- λ_1, λ_2 : Boylam (Longitude: 1- başlama noktası, 2- bitiş noktası),
- $\Delta\lambda$: Boylam farkı ($\lambda_2 - \lambda_1$),
- θ_{1-2} : Yönelim açısı (1-2: Başlama noktasından bitiş noktasına doğru, Azimut),
- d : İki nokta arasındaki en kısa yay mesafesi (metre),
- r : Dünyanın yarıçapı (~ 6371000 metre),

$$d = 2 * r * \arcsin\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right) + \sin^2\left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2}\right) * \cos(\varphi_1) * \cos(\varphi_2)}\right) \quad (3.1)$$

$$\theta_{1-2} = \arctan2(\sin(\Delta\lambda) * \cos(\varphi_2), \cos(\varphi_1) * \sin(\varphi_2) - \sin(\varphi_1) * \cos(\varphi_2) * \cos(\Delta\lambda)) \quad (3.2)$$

Bağıl hata, mutlak hata değerinin referans değere oranı olarak ifade edilmektedir. Mutlak hata ise hata kavramının negatif ifade edilmemesi için pozitif olarak gösterilmesinde kullanılan bir hata çeşididir. Mutlak hatanın bulunmasında referans değer ile hesaplanan değer biliniyor olması gerekir. Bağıl hata 100 ile çarpılarak yüzde(%) bağıl hata hesaplanmaktadır. Mutlak hata E.(3.3)’te ve yüzde bağıl hata formülü E.(3.4)’de bağıntısı gösterilmiştir.

$$\varepsilon_m = \text{Mutlak Hata} = |\text{Referans Değer} - \text{Hesaplanan Değer}| \quad (3.3)$$

$$\varepsilon_b = \% \text{ Bağıl Hata} = \left| \frac{\text{Referans Değer} - \text{Hesaplanan Değer}}{\text{Referans Değer}} \right| \times 100 \quad (3.4)$$

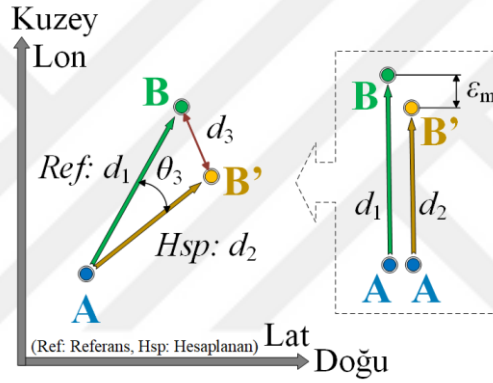
Deney verileri üzerinden “2020-07-22_19-41-34” etiketli ölçüm ile örnek bir hesaplama yapmak amacıyla;

- A: İHAS Koordinatları,
- B: Referans Hedef Koordinatları,
- B’: Hesaplanan Hedef Koordinatları,

alınmıştır. Haversine formülü yardımıyla;

- d_1 : A-B arasındaki mesafe Referans Mesafe,
- d_2 : A-B' arasındaki mesafe Hesaplanan Mesafe,
- d_3 : B-B' arasındaki mesafe,
- θ_1 : A>B arasındaki yönelim Referans Açısı,
- θ_2 : A>B' arasındaki yönelim Hesaplanan Açısı,
- θ_3 : AB>AB' arasındaki Sapma Açısı,

bulunmuştur. Bulunan bu iki mesafe farkının mutlak değeri ε_m alınarak referans değeri kabul edilen d_1 'e bölünmüştür. 100 ile genişletilerek % bağlı hatası elde edilmiştir. Koordinat noktaları ve aralarındaki mesafelerin bağıntısı aşağıda Şekil 3-7'deki grafikte gösterilmiş ve E.(3.5-3.9) bağıntıları ile hesaplamaları yapılmıştır.



Şekil 3-7. Örnek konum bağıntısı gösterimi

Toplanan konum koordinat değerleri:

- $A_{Lat} = 40,9852231^\circ$
- $A_{Lon} = 29,0542926^\circ$
- $B_{Lat} = 40,98532552^\circ$
- $B_{Lon} = 29,05441518^\circ$
- $B'_{Lat} = 40,98531768^\circ$
- $B'_{Lon} = 29,05448598^\circ$

Haversine formülü ile referans (d_1) ve hesaplanan (d_2) uzaklıklarının bulunması:

$$d_1 = 2 * 6371000 * \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{B_{Lat} - A_{Lat}}{2} \right) + \sin^2 \left(\frac{B_{Lon} - A_{Lon}}{2} \right) * \cos(A_{Lat}) * \cos(A_{Lon})} \right) \quad (3.5)$$

- d_1 : (A-B, Referans Değer) = 15.35 m

$$d_2 = 2 * 6371000 * \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{B'_{Lat} - A_{Lat}}{2} \right) + \sin^2 \left(\frac{B'_{Lon} - A_{Lon}}{2} \right) * \cos(A_{Lat}) * \cos(A_{Lon})} \right) \quad (3.6)$$

- d_2 : (A-B', Hesaplanan Değer) = 19,34 m

Mutlak hata ve yüzde bağıl hatasının bulunması:

$$\varepsilon_m = |d_1 - d_2| \quad (3.7)$$

- $\varepsilon_m = 3,99$ m

$$\varepsilon_b = \left| \frac{d_1 - d_2}{d_1} \right| \times 100 \quad (3.8)$$

- $\varepsilon_b = \%25,99$

Haversine formülü ile referans (B) ve hesaplanan (B') konumlar arasındaki mesafenin (B-B' yani d_3) bulunması:

$$d_3 = 2 * 6371000 * \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{B'_{Lat} - B_{Lat}}{2} \right) + \sin^2 \left(\frac{B'_{Lon} - B_{Lon}}{2} \right) * \cos(B_{Lat}) * \cos(B_{Lon})} \right) \quad (3.9)$$

- d_3 : (B-B', arasındaki mesafe) = 6,01 m

Açısal sapmaların bulunması için E.(3.10-3.12) bağıntılarında ilgili değişkenlere konum değerleri konularak işlemler gerçekleştirilmiş ve θ_1 , θ_2 ve θ_3 açıları derece($^\circ$) cinsinden bulunmuştur.

$$\theta_1 = \arctan2(\sin(B_{Lon} - A_{Lon}) * \cos(B_{Lat}), \cos(A_{Lat}) * \sin(B_{Lat}) - \sin(A_{Lat}) * \cos(B_{Lat}) * \cos(B_{Lon} - A_{Lon})) \quad (3.10)$$

- θ_1 : (A>B, Referans Açısı) = 42,10 $^\circ$

$$\theta_1 = \arctan2(\sin(B'_{Lon} - A_{Lon}) * \cos(B'_{Lat}), \cos(A_{Lat}) * \sin(B'_{Lat}) - \sin(A_{Lat}) * \cos(B'_{Lat}) * \cos(B'_{Lon} - A_{Lon})) \quad (3.11)$$

- θ_2 : (A>B', Hesaplanan Açısı) = 57,06 $^\circ$

$$\theta_3 = |\theta_1 - \theta_2| \quad (3.12)$$

- θ_3 : (AB>AB', Sapma Açısı) = |42,10 – 57,06| = 14,96 $^\circ$

Deney sisteminin hassasiyeti bu tek örnek üzerinden değerlendirilmek istenirse:

- Referans mesafe ile hesaplanan mesafe arasında %26,02 oranında hatalı mesafe ölçümü olduğu görülmüştür.
- Hesaplanan açının, referans kabul edilen doğrultu üzerinde olması gerekirken (0 $^\circ$ ideal), idealden 14,96 $^\circ$ hata ile sapma yaptığı anlaşılmıştır.

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi park alanında İHAS uçuşu gerçekleştirilmiştir.

Bu uçuşlarda statik hedef olarak tek bir araç dikkate alınmıştır. İHAS dinamik olarak bu aracın etrafında havada farklı konumlarda ve uzaklıklarda konuşlandırılmıştır. Araç, kumanda kullanılarak HTS görüntüsü üzerinde merkezlenmiş ve yer istasyonu aracılığıyla arayüz kontrol edilerek veri toplama işlemi yapılmıştır. Toplanan veriler arasından 5 farklı harf ile numaralandırılmış İHAS konumu (A), statik referans konum (B) ve dinamik hesaplanan konum (B') enlem/boylam (Lat/Lon) koordinatları ondalık derece biçiminde Tablo 3-2'ye eklenmiştir. A koordinatları yedi basamaklı ondalık sayı (FCU'dan gelen veri hassasiyeti), B ve B' koordinatları sekiz basamaklı ondalık sayı olarak işleme alınmıştır. Referans konum (B) olarak aracın konumu, cep telefonuna yüklenmiş GNSS Viewer programı ile elde edilmiştir. Hedef tek bir noktada sabit durduğundan (statik) tabloda aynı referans konum koordinatı kullanılmıştır.

GNSS programı ile ölçülen hedef aracın statik konum koordinatları:

- $B_{Lat} = 40,98532552^{\circ}$
- $B_{Lon} = 29,05441518^{\circ}$

Tablo 3-2. Toplanan A, B ve B' konumları

Nu	İHAS Konumu		Referans Konum		Hesaplanan Konum	
	$A_{Lat} (^{\circ})$	$A_{Lon} (^{\circ})$	$B_{Lat} (^{\circ})$	$B_{Lon} (^{\circ})$	$B'_{Lat} (^{\circ})$	$B'_{Lon} (^{\circ})$
(a)	40,9851898	29,0542911	40,98532552	29,05441518	40,98530692	29,05447162
(b)	40,9852223	29,0542904	40,98532552	29,05441518	40,98530088	29,05449929
(c)	40,9852049	29,0542479	40,98532552	29,05441518	40,98527954	29,05451547
(d)	40,9853754	29,0542959	40,98532552	29,05441518	40,98527580	29,05440027
(e)	40,9854286	29,0542783	40,98532552	29,05441518	40,98530448	29,05442682

A-B (d_1), A-B' (d_2) ve B-B' (d_3) için konumlar arası mesafeler Haversine formülü ile hesaplanmıştır. d_1 , d_2 ve d_3 mesafeleri metre (m) cinsinden alınmıştır. d_1 ve d_2 mesafelerinin yüzde bağıl hatası bulunarak Tablo 3-3'e eklenmiştir.

Tablo 3-3. Bağıl hata yüzdesi (Mesafe)

Ölçüm Nu	A-B	A-B'	B-B'	Mutlak Hata	Bağıl Hata Yüzdesi
	d_1 (m)	d_2 (m)	d_3 (m)	ε_m (m)	ε_b (%)
(a)	18,34	19,98	5,17	1,64	8,94
(b)	15,54	19,59	7,57	4,05	26,06
(c)	19,42	23,94	9,85	4,52	23,27
(d)	11,45	14,12	5,67	2,67	23,32
(e)	16,23	18,6	2,54	2,37	14,60

$A>B$ (θ_1) ve $A>B'$ (θ_2) için A merkez noktası alındığında konumlar arası kuzeye göre yönelim açıları Haversine formülü ile hesaplanmıştır. Sapma hatası olarak $AB>AB'$ arası (θ_3) sapma açı değerini bulmak için (θ_1) ve (θ_2) açıları farkının mutlak değeri, $|(\theta_1) - (\theta_2)|$, alınmıştır. θ_1 , θ_2 ve θ_3 açıları derece ($^\circ$) cinsinden hesaplanarak Tablo 3-4'e eklenmiştir.

Tablo 3-4. Sapma hatası (Yönelim açısı)

Ölçüm Nu	A>B θ_1 ($^\circ$)	A>B' θ_2 ($^\circ$)	$ AB>AB' $ θ_3 ($^\circ$)
(a)	34,61	49,32	14,71
(b)	42,38	63,51	21,13
(c)	46,31	69,72	23,41
(d)	118,86	141,66	22,80
(e)	134,93	137,91	2,98

Bu sistem ile konum ölçümünde, tablolarda belirtilen değerlerde ölçüm hatası oluşmuştur. Tablo 3-3 verileri incelendiğinde; hesaplanan sonuçlar ile elde edilen bağıl hata yüzdeleri minimum %8,94; maksimum %26,06 oranında olduğu görülmüştür. Hedefin bulunduğu noktaya olan uzaklık değerinin, belirtilen minimum-maksimum hata oranlarında değişimine bağlı olarak konumda kayma meydana gelmiştir. Tablo 3-4 verilerine göre hesaplanan sonuçlarda, yönelim açısı belirlenmesinde en düşük $2,98^\circ$ ve en yüksek $23,41^\circ$ hatalı açısal dönüş olduğu görülmektedir. Sapma hatasına bağlı olarak, mesafe ölçümü küçük değerlerde (maks: 40m) yapıldığından, açısal kaymadan dolayı konum yer değişimi fazla etkilenmeyecektir.

Dinamik ölçümler, İHAS üzerindeki GNSS modülüyle ve statik ölçümler GNSS konum ölçen farklı bir cihaz ile yapılmıştır. İki ölçüm sisteminin farklılığı hataya neden olan parametrelerden biridir. Google Viewer programı ve hesaplanan Lat, Lon konumları sekiz basamak hassasiyetli ondalık sayı olarak toplanmıştır. Bizim kullandığımız İHAS'a bağlı GNSS alıcısından yedi ondalık basamak çözünürlükte konum koordinatı elde edilebilmiştir. Buradaki ondalık basamak farkı, ölçümlerin hassasiyetini etkilemektedir.

3.3. Tartışma

Bu kısımda çalışmada karşılaşılan problemler, kısıtlamalar ve bunlar için bulunan farklı çözüm yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

Hedef noktaların gerçek konumlarını bulmak için GNSS alıcılar ile toplanan referans koordinatların ölçüm doğruluğuna etki eden faktörler bulunmaktadır. Uydu tabanlı konumlandırma sistemleriyle elde edilen konum koordinatların doğruluk ve hassasiyetini arttırmak amacıyla RTK (Real-time Kinematic) sistemleri kullanılmaktadır. Çalışmada eğer RTK sistemi kullanılsaydı daha keskin ve doğru ölçüm sonuçlarına yaklaşılabildi.

İHA'nın koordinatlarına göre hedef nokta koordinatlarının hesabında, hedef ile aradaki mesafenin hassas bir şekilde belirlenmesi sırasında kamera ve mesafe ölçerinin stabilizasyonu önemlidir. Stabilizasyonu sağlamada kamera yalpasının yeryüzü normali ile yaptığı açının bırakıldığı noktada sabit kalması gerekir. Böylece titreşimlerin veya aracın dönüşlerinin hedefleme hatasına etkisi azaltılır. İHA ile yalpanın yeryüzü normali düzlemleri arasındaki sapma açıları sürekli ölçülerek düzeltmeler yapılmalıdır. Bu açı ölçümleri kamera yalpası üzerinde de bulunan 9 serbestlik dereceli (nine degrees of freedom - 9DOF) ataletsel ölçüm birimi (Inertial Measurement Unit - IMU) kullanılarak yapılabilir. Yalpanın eksenlerden sapma açılarının belirlenmesinde, yalpa kontrolöründen elde edilen değerlerin aktarılmasına ihtiyaç vardır. Uygulamada yalpa sisteminin dengede ve bırakılan yön açı değerlerinde kalması için Uçuş Kontrol Birimi (FCU - Flight Control Unit) ya da diğer adıyla Uçuş Kontrol Kartı (UKK) ile seri port üzerinden haberleştirilerek otomatik stabilizasyon özelliği aktif edilmiştir.

Yalpa sisteminin roll ekseninde döndürülmesi otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Roll ekseninin stabilizasyon özelliği, MP'den aktif edilerek İHAS'ın eksenel dönüşlerinde yalpa sisteminin yeryüzüne göre açısı düzeltilerek otomatik dengelendiği gözlemlenmiştir. Storm32 kontrolcü kartlı yalpa sistemi, kendi IMU'larına sahip olduğundan otomatik stabilizasyona imkân veren özelliktedir. FCU, kontrolcü ile uyumlu çalışarak IMU bilgilerini okuyabilmekte ve yalpayı kontrol edebilmektedir.

Üretilen bu prototip İHAS'ın bulunduğu noktaya göre maksimum ölçüm mesafesi maksimum 40m'dir. Küresel çalışma alanındaki açı sınırları Şekil 2-46'da pan/tilt ekseninde gösterilmiştir. Mesafesi daha yüksek algılayıcı kullanılarak çalışma uzaklığı

arttırılabilir. Eksen dönüş açılarının daha geniş olduğu bir yalpa sistem takılarak küresel çalışma alanı genişletilebilir. Ayrıca çalışma alanını etkileyen sabit iniş takımı, motor kontrollü kapatma sistemiyle güncellenerek görüş alanı engellemesi önlenabilir.

Yalpa sistemi Storm32 kart ayarlarında “Pan modu varsayılan ayarı” “hold hold pan” olarak seçilmiştir. Roll ve pitch eksenini “hold”, yaw eksenini ise “pan” modu olarak ayarlıdır. Bu ayar sayesinde pitch eksenini dönüşü için kumanda ile verilen açı değeri pot üzerinden değişmediği sürece üzerindeki IMU’lar sayesinde Storm32 kartı tarafından yalpa sistemi ucu, yeryüzü düzlemine göre aynı açı doğrultusunda kalacak şekilde durduğu görülmüştür. Örneğin kumanda tilt potu 25 dereceye ayarlı ise yalpa ucu İHAS’ın roll ve pitch ekseninde eğilmesine rağmen yeryüzü düzlemine göre 25 derece olacak şekilde otomatik düzgünleşmektedir. Yaw eksenini modu “pan” olduğundan İHAS’ın yaw’da yaptığı hareketler yalpa ucunun pan tekniği ile dönmesine neden olmaktadır. Bu mod ile havada ani yaw dönüşlerinde yalpa ucunun motor açısı sınırlarını zorlayarak dönmeye çalışması önlenmektedir.

Kullanılan RasPi’den daha yüksek işlem gücüne sahip ve derin öğrenme projelerinde kullanıma daha uygun MB’ler bulunmaktadır. Örnek MB olarak RasPi yerine NVIDIA firmasının Jetson ürünleri verilebilir. Bu yapıda MB sayesinde yüksek çözünürlüklü daha kamera görüntüleri işlenebilir ve eş zamanlı olarak daha fazla işlem gerçekleştirilebilir.

Yer istasyonuyla görüntü transferi ve arayüz kontrolü WiFi modem ağı üzerinden sağlanmıştır. Yerde bulunan modemini ve İHAS üzerindeki MB’nin sahip olduğu WiFi modülünün birbirleriyle haberleşebildiği mesafeye kadar iletişim imkânı bulunmaktadır. İHA kullanılan görevlerde bu sınırlı çalışma alanı yeterli değildir. Bizim çalışmamızda İHAS’ın uzak noktaya gitmesi gerekmediğinden WiFi ağı üzerinden haberleşme tercih edilmiştir. Bu mesafe sınırlandırmasını kaldırmak için MB’lerin canlı dijital görüntü verisini uzak mesafelere taşıyabilecek video/ses alıcı verici modülleri kullanılabilir. WiFi sistemine göre dezavantajı ise tek yönlü sadece veri alımını desteklemektedir. Veri gönderme ve alımının olması istendiğinde monitörleme ve kontrolü birlikte destekleyen sistemler tercih edilebilir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

İHA sistemleri uzaktan görüntü elde etme, bölge gözetleme, arazi taraması, haritalama, askeri bilgi toplama, arama-kurtarma faaliyetleri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. LiDAR kullanılarak mesafe bulma, alan taraması yapma gibi uygulamalardan elde edilen noktaların karşılık geldiği gerçek dünya konumlarının bulunmasında GNSS bilgisi önemli rol oynamaktadır.

Günümüzde haritalama alanında GNSS ile konum verilerinin toplanması çalışmaları artmaktadır. Fotogrametrik yöntemle elde edilen haritalandırma projelerinde LiDAR yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada alan taraması ile GNSS bilgileri birleştirilerek harita konumuna bağlı bölgesel yüzey modeli oluşturulabilir.

Bu çalışmada gerçek zamanlı kamera verileri kullanılarak derin öğrenme modeli ile nesne algılama ve sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Nesne algılama için önceden eğitilmiş derin öğrenme modeli seçilmiştir. Bu sayede model oluşturma ve test süreci için ek zaman ayrılmamıştır. Kullanılan mini-bilgisayara sinirsel ağ hesaplayıcı eklenerek görüntü işleme hızı arttırılmıştır. Yapılan örnek çalışmada eklenen bu hesaplayıcı modül ile mini-bilgisayarın saniyedeki kare işlem sayısı performansının ortalama 6 kata kadar arttığı gözlemlenmiştir.

Tez kapsamında hedef belirlenmesi, karar destek sistemi, verilerin toplanması ve denetim için arayüz hazırlanmıştır. Pilot tarafından arayüz aracılığı ile hedefin takibi, yalpa yönelme açılarının kontrolü gibi işlemler yer istasyonu üzerinden gerçek zamanlı denetlenebilmiştir. Zaman etiketli İHAS anlık konum bilgileri ve kumandayla HTS'nin yöneltildiği noktaya ait hesaplanan konum koordinatları toplanmış ve dosyalanmıştır.

Tez çalışmasında yalpa açıları ve ucuna bağlı LiDAR'dan alınan mesafe bilgilerinin yardımıyla hedef nesnenin hesaplanan konum bilgilerinin doğruluğu test edilmiştir. Elde edilen veriler arayüz algoritmasıyla toplanmış ve sonuçlar hesaplanmıştır. Hedefin iki eksenindeki Lat ve Lon değerleri referans ölçülen ve hesaplanan değerleriyle karşılaştırılarak konum duyarlılığı bağlı hatası yüzdesi ile tablo olarak gösterilmiştir. İHAS'a göre hedefin uzaklığı, minimum %8,94 - maksimum %26,06 oranında doğrulukla hesaplanmıştır. Hedef doğrultusundaki azimut ise minimum 2,98° ve maksimum 23,41°'lik sapma ile doğru ölçülmüştür.

Ölçülen verilerin konum doğruluğu hesapları ve iyileştirme yöntemleri ayrıntılı bir konu olduğundan ayrıca üzerine araştırma yapılması gerekmektedir. Hassas konum belirleme yöntemleri kullanılarak konum ölçümünde hassasiyeti yüksek sonuçlar alınabilir. RTK (Real-Time Kinematic) tarzı daha güvenilir konum ölçüm sistemleri örnek olarak verilebilir.

Sistem üzerindeki MB yazılımı geliştirilerek, elle kontrol yerine yarı-otonom veya tam-otonom olarak belirli hedeflere kilitlenebilme, veri toplama gibi görevler gelecekte otomatik yaptırılması planlanmaktadır. İHAS'ın kumandaya ihtiyaç olmadan kontrolü ayrıca MB üzerinde koşturulan yazılım güncellenerek gerçekleştirilebilir durumdadır.



KAYNAKLAR

- [1] Şeker, A., Diri, B., Balık, H. H. (2017). Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3(3), 47-64.
- [2] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2018). Derin Öğrenme. Ankara: Buzdağı Yayınevi.
- [3] <https://sigmoidal.io/dl-computer-vision-beyond-classification/> (Ziyaret tarihi: 01.05.2020)
- [4] <https://medium.com> (Ziyaret tarihi: 01.05.2020)
- [5] Temizer, S., Kaya, M. Ç. (2013). Mesafe ölçümü tabanlı güvenilir konum tespiti teknikleri ve kara ve hava araçları için örnek uygulamalar. Journal of Aeronautics & Space Technologies/Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 6(2), 33-48.
- [6] Vidal, C. (2017). Pulsar positioning system: a quest for evidence of extraterrestrial engineering. International Journal of Astrobiology, 1-22.
- [7] <https://yoldanciktim.com/cografi-koordinat-sistemi-nedir/> (Ziyaret Tarihi: 01.05.2020)
- [8] <http://www.earthpoint.us/Convert.aspx> (Ziyaret Tarihi: 01.05.2020)
- [9] <https://gisgeography.com/trilateration-triangulation-gps/> (Ziyaret Tarihi: 01.05.2020)
- [10] <https://gisgeography.com/wgs84-world-geodetic-system/> (Ziyaret Tarihi: 01.05.2020)
- [11] Li, X., Ge, M., Dai, X., Ren, X., Fritsche, M., Wickert, J., Schuh, H. (2015). Accuracy and reliability of multi-GNSS real-time precise positioning: GPS, GLONASS, BeiDou, and Galileo. Journal of Geodesy, 89(6), 607-635.
- [12] https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/u-blox8-M8_ReceiverDescrProtSpec_%28UBX-13003221%29_Public.pdf (Ziyaret Tarihi: 01.05.2020)

- [13] <https://support.google.com/maps/answer/18539?co=GENIE.Platform%3DDesktop&hl=tr> (Ziyaret Tarihi: 01.05.2020)
- [14] Şenel, F., Çetişli, B. Görüntü İşleme ve Beş Eksenli Robot Kol ile Üretim Bandında Nesne Denetimi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(5), 158-161.
- [15] <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/> (Ziyaret Tarihi: 01.05.2020)
- [16] Bergeon, Y., Krivánek, V., Motsch, J. (2019). Raspberry Pi as an Interface for a Hardware Abstraction Layer: Structure of Software and Extension of the Turtlebot 2 - Kobuki Protocol. International Conference on Military Technologies (ICMT), 30-31 May, Brno, Czech Republic.
- [17] Vanegas, F., Campbell, D., Roy, N., Gaston, K. J., Gonzalez, F. (2017). UAV tracking and following a ground target under motion and localisation uncertainty. Aerospace Conference, 2017, 1-10.
- [18] Min, J., Jeong, Y., Kweon, I. S. (2010). Robust visual lock-on and simultaneous localization for an unmanned aerial vehicle. The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 18-22 October, Taipei, Taiwan.
- [19] Mohammed, A. K., Mokhtar, R. A., Eltahir, H. E. (2015). Target coordinates calculation using GPS/inertial-aided sensors. International Conference on Computing, Control, Networking, Electronics and Embedded Systems Engineering (ICCNEEE), 7-9 September, Khartoum, Sudan.
- [20] Dobrokhodov, V. N., Kaminer, I. I., Jones, K. D., Ghabcheloo, R. (2006). Vision-based tracking and motion estimation for moving targets using small UAVs. American Control Conference, 14-16 June, Minneapolis, Minnesota, USA.
- [21] Kemsaram, N., Thatiparti, V. R. K., Guntupalli, D. R., Kuvvarapu, A. (2017). Design and development of an on-board autonomous visual tracking system for unmanned aerial vehicles. Aviation, 21(3), 83-91.
- [22] Kechagias-Stamatis, O., Aouf, N., Nam, D. (2017). 3D Automatic Target

Recognition for UAV Platforms. Sensor Signal Processing for Defence Conference (SSPD), 6-7 December, London, UK.

- [23] <https://emaxmodel.com/catalog/product/view/id/42/s/emax-multicopter-motor-mt4114/> (Ziyaret Tarihi: 01.05.2020)
- [24] https://docs.px4.io/master/en/flight_controller/cuav_v5_plus.html (Ziyaret Tarihi: 01.05.2020)
- [25] İçen, E., Küresel ve Bölgesel Konumlama Sistemleri, Teknolojileri ve Uygulamaları, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Uzmanlığı Tezi, Haziran 2018.
- [26] Georgiev, N. L., Pehlivanski, V. I., Todorov, O. G. (2018). Main Means of Navigating Unmanned Aircraft. International Conference “NDT Days”, 4-8 June, Sozopol, Bulgaria.
- [27] https://store.cuav.net/index.php?id_product=97&rewrite=neo-v2-gps&controller=product (Ziyaret Tarihi: 01.05.2020)
- [28] Pajankar, A., Kakkar, A. (2016). Raspberry Pi By Example. Packt Publishing Ltd., 3, UK.
- [29] <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/> (Ziyaret Tarihi: 01.05.2020)
- [30] <https://www.pyimagesearch.com/> (Ziyaret Tarihi: 01.05.2020)
- [31] Pesavento, D., Grassi, G., Palazzi, C. E., Pau, G. (2013). A naming scheme to represent geographic areas in NDN. IEEE/IFIP Wireless Days (WD), 13-15 Nov, Valencia, Spain.
- [32] Lawhead, J. (2015). Learning Geospatial Analysis with Python. Packt Publishing Ltd., 158-167, UK.
- [33] <https://www.movable-type.co.uk/> (Ziyaret Tarihi: 01.05.2020)
- [34] Vincenty, T. (1975). Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with Application of Nested Equations, Survey Review 22 (176), 88–93.
- [35] <https://www.vcalc.com/wiki/vCalc/Haversine++Distance> (Ziyaret Tarihi: 01.05.2020)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ferit TİRYAKİ
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul - 1988
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca
E-Posta : ferit.tiryaki@gmail.com



Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm/Program	Üniversite/Lise	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Mekatronik Mühendisliği	Marmara Üniversitesi	2020
Lisans	İşletme	Anadolu Üniversitesi	2017
Lisans	Mekatronik Mühendisliği	Gaziosmanpaşa Üniversitesi	2015
Ön Lisans	İşletme Yönetimi	Anadolu Üniversitesi	2014
Lisans	Mekatronik Öğretmenliği	Marmara Üniversitesi	2011
Lise	Elektronik Bölümü	Tuzla Anadolu Meslek Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012 - 2013	Yeditepe Üniversitesi	Laboratuvar Teknisyeni
2017 - Devam	Türk-Alman Üniversitesi	Öğretim Görevlisi