



TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ
SAVAŞAN İHA YARIŞMA
KRİTİK TASARIM RAPORU

TAKIM ADI: İKÜ KIRMIZI KANATLAR
YAZARLAR: EZGİ TOPCU, EMİN KAAN GÜREŞÇİ, UMUT KAYA, BAHİRİ BERKANT İÇÖZ, OKAN KARTBAŞ, GİRAY KARADENİZ, MAHMUT ÖZER GÖZÜKIRMIZI, EGE KIRAN

İçindekiler Tablosu

1.	TEMEL SİSTEM ÖZETİ	3
1.1.	Sistem Tanımı	3
1.2.	Sistem Nihai Performans Özellikleri	3
2.	ORGANİZASYON ÖZETİ	4
2.1.	Takım Organizasyonu	4
2.2.	Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe	5
3.	DETAYLI TASARIM ÖZETİ	7
3.1.	Nihai Sistem Mimarisi	7
3.2.	Alt Sistemler Özeti.....	9
3.3.	Hava Aracı Performans Özeti	12
3.4.	Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı	14
3.5.	Hava Aracı Ağırlık Dağılımı.....	16
4.	OTONOM GÖREVLER.....	17
4.1.	Otonom Kilitlenme	17
4.1.1.	Kilitlenme Sistem Mimarisi	17
4.1.2.	Otonom Nesne Tespiti	18
4.1.3.	Sanal Kumanda ve Rota Çizme Kontrolcüsü.....	21
4.1.4.	Otonom Nesne Takibi	24
4.2.	Kamikaze Görevi	26
4.2.1.	Kamikaze İHA Görevi Yapısal Dayanım Analizi.....	28
5.	YER İSTASYONU VE HABERLEŞME.....	29
5.1.	İHA İçerisi Haberleşme	30
5.2.	Yer Kontrol İstasyonu – İHA Arası Haberleşme	31
5.3.	Yer Kontrol İstasyonu – Yarışma Sunucusu Arası Haberleşme	32
5.4.	Haberleşme Kaybı.....	32
6.	KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI.....	32
6.1.	Yer Kontrol İstasyonu Arayüzü	32
6.2.	İKK-YKİ (İKÜ Kırmızı Kanatlar – Yer Kontrol İstasyonu) Arayüzü	33
7.	HAVA ARACI ENTEGRASYONU	36
7.1.	Yapısal Entegrasyon	36
7.2.	Mekanik Entegrasyon	38
7.3.	Elektronik Entegrasyon.....	40
8.	TEST VE SİMÜLASYON	41
8.1.	Alt Sistem Testleri	41

8.1.1. İtki Doğrulama Testi	41
8.1.2. Haberleşme Menzil Testi	42
8.1.3. Kanat Yüklenme Testi	42
8.1.4. Otonom Kilitlenme Testi	44
8.1.5. Yapısal Test	45
8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi	46
8.2.1. Uçuş Testi	46
8.2.2. Uçuş Kontrol Listesi	48
9. GÜVENLİK.....	49
10. REFERANSLAR.....	49

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ

1.1. Sistem Tanımı

Tasarlanan İHA, yarışmanın iki ana görevi olan “Savaşan İHA” ve “Kamikaze İHA” görevlerini icra etmek üzere geliştirilmiştir.

Savaşan İHA görevinde İHA, it dalaşı (dog fight) durumunda rakip İHA hedeflerini tespit edip, hedeflere sanal ortamda başarıyla vuruş yaparken aynı zamanda rakip İHA’lar tarafından gerçekleştirilecek olası kilitlenme durumlarından kaçmaya çalışacaktır.

Kamikaze İHA görevinde ise İHA, yarışma pisti üzerinde konumlandırılmış yer hedeflerini farklı görüş açılarından otonom olarak tespit edecektir. Hedef ile İHA arasındaki mesafeye göre gerekli manevraları yaparak başarılı bir şekilde tespiti tamamlayacaktır.

İHA uçuş esnasında kamera verilerini doğrudan görev bilgisayarına iletmektedir. Görev bilgisayarını gelen kamera verilerini nesne tanıma-takip algoritmaları aracılığıyla işleyerek yapılması gereken manevraya karar vermektedir. Yapılacak manevra duruma göre ya rakip İHA’lara kilitlenmek ya da QR kod okumak amaçlı olacaktır. İHA, Savaşan İHA görevini icra ediyorsa yarışma sunucusundan alınan rakip İHA telemetri verileri işlenerek en yakın rakip İHA’ya kilitlenme amaçlı yönlendirilecektir. Telemetri verilerinden İHA’nın rakip İHA tarafından takip edildiğinin belirlenmesi durumunda ise kaçış manevrası icra edilecektir. İHA, Kamikaze İHA görevinde ise yarışma sunucusundan alınan QR kod konum bilgileri kullanılarak QR koda doğru yönelim ve ardından tespit gerçekleştirilecektir. Gerekli manevralar için emir görev bilgisayarından uçuş kartına gönderilmekte, uçuş kartı ise İHA motorları üzerinde manevrayı gerçekleştirecek manipülasyonu yaparak İHA’yı komuta etmektedir.

İHA ana görevlerin icrası ile eş zamanlı olarak, kamera görüntü ve telemetri verilerini Yer Kontrol İstasyonuna (YKİ) kablosuz erişim noktaları aracılığı ile kesintisiz olarak iletecektir. YKİ ise İHA’dan alınan verileri kaydederek yarışma sunucusuna aktaracaktır.

1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri

Sistemin nihai performans özellikleri Tablo 1.2.1’de özetlenmiştir.

Tablo 1.2 1 Nihai Performans Özellikleri

İHA'nın Görevleri	Otonom İt Dalaşı ve Kamikaze İHA
İt Ki Kaynağı	SunnySky X3520-780kV Fırçasız Motor
İt Ki	4000 gr
Ağırlık	3100 gr
Uzunluk	1000 mm
Yükseklik	148 mm
Kanat Açıklığı	1718 mm
Uçuş Hızı	15 m/s
Tutunma Hızı	12 m/s
Kalkış Ağırlığı	3100 gr
Uçuş Süresi	1 saat
İrtifa Aralığı	40 m – 150 m
Azami Haberleşme Menzili	40 km
İt Ki Ağırlık Oranı	1,29

2. ORGANİZASYON ÖZETİ

2.1. Takım Organizasyonu

İKÜ Kırmızı Kanatlar takımı 2020 yılında kurulmuş, İstanbul Kültür Üniversitesi Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği öğrencilerinden oluşan bir İnsansız Hava Aracı Tasarım ve Geliştirme takımıdır. Takımın danışmanlığını İstanbul Kültür Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Ertuğrul Saatçı yapmaktadır. Takım içi görev dağılımı 2 kişi Yönetim, 3 kişi Elektronik Birimi, 2 kişi Yapay Zeka ve Haberleşme Birimi, 1 kişi Tasarım Birimi, 1 kişi Yer Kontrol İstasyonu Birimi olarak belirlenmiştir. Takım üyelerinin bağlı bulunduğu birimler Şekil 2.1.1’de gösterilmiş ve de ilgili birimlerin görev ve sorumlulukları aşağıda özetlenmiştir.



Şekil 2.1 1 Takım Organizasyonu Şeması

Takım Danışmanı: Takım içi çalışmalarını ve raporlamaları denetler ve danışmanlık yapar.

Takım Kaptanı: Takım içi koordinasyonu sağlar ve proje takibini gerçekleştirir.

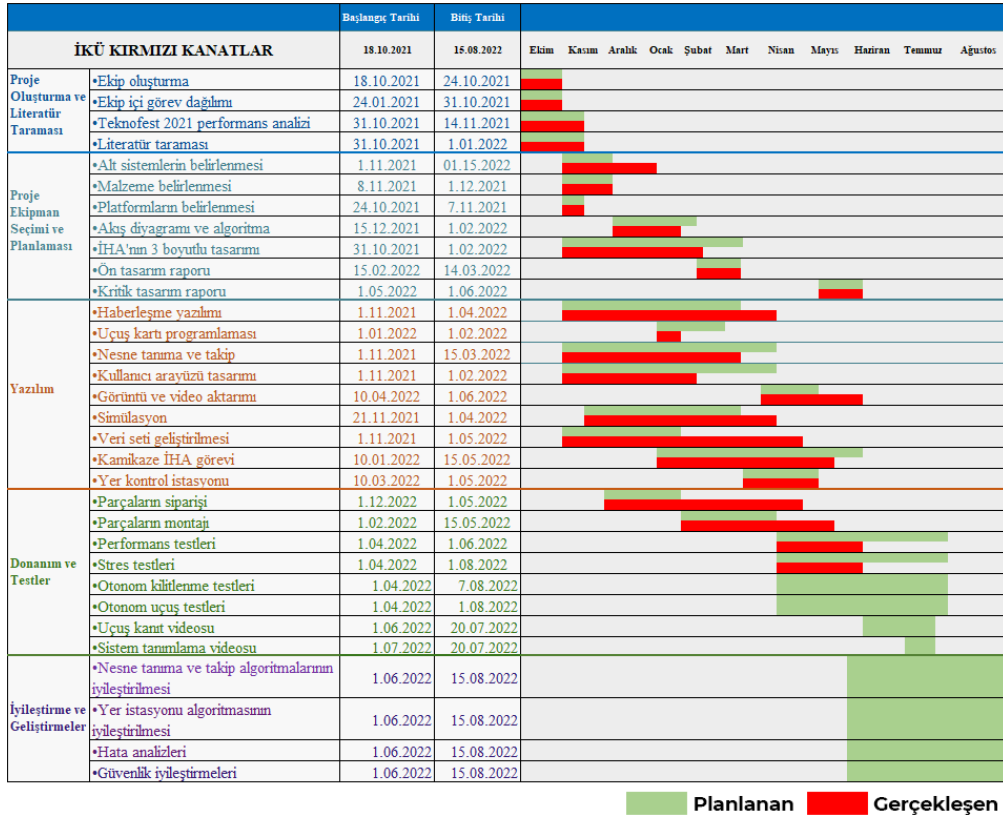
Yapay Zeka ve Haberleşme Birimi: Görüntü işleme ve yapay zeka algoritmalarının oluşturulmasından ve de İHA, YKİ ve yarışma sunucusu arasında haberleşmeyi sağlamadan sorumludur.

Tasarım Birimi: İHA'nın 3 boyutlu tasarımından sorumludur. Yapısal, mekanik analiz ve tasarımı gerçekleştirir.

Yer Kontrol İstasyonu Birimi: Kullanıcı arayüzü tasarımının oluşturulmasından sorumludur.

2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe

Takımımız, detayları Şekil 2.2.1'deki zaman akış çizelgesinde verilen ve ortalama 10 ay sürecek şekilde planlanmış olan çalışma programına yüksek oranda uymayı başarmıştır. Bahsi geçen çalışma planında ağırlıklı olarak yazılım bölümü erken tarihlerde biterken, malzeme tedarikinin zamanında tamamlanamaması nedeniyle İHA montajı daha ileri tarihte gerçekleştirilmiştir. Bazı testler belirlenen tarihin öncesinde yapılmış olup, geri kalan test ve hata iyileştirmelerinin planlanan tarihlerde gerçekleştirilmesi için çalışmalarımız sürmektedir.



Şekil 2.2 1 Zaman Akış Çizelgesi

Kavramsal sistem mimarisinden nihai sistem mimarisine geçiş yapılırken bazı bileşenlerde değişikliğe gidilmek zorunda kalınmıştır. Bu değişikliğin sebepleri şu şekilde sıralanabilir:

- Alınması planlanan “13x6.5 Karbon Pervane” satıcı tarafından tedarik edilemediği için alternatif pervane olan “13x6.5 APC” tipi pervanenin alımına karar verilmiştir. Bahsi geçen pervanenin ayrıntılı seçim sebepleri Bölüm 9. Güvenlik kısmında ayrıntılı şekilde incelenmektedir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

- Hali hazırda elimizde bulunan “3DR FPV Telemetry Modülü” yarışma şartnamesinde yer alan azami menzil sınırını karşılayamamış ve veri aktarım hızı düşük kalmıştır. Bu modül yerine yarışma isterlerini karşılayan “RFD868x Uzun Menzilli Radyo Telemetry” modülü tercih edilmiştir.
- Ön Tasarım Raporu aşamasında İHA ve YKİ’de karşılıklı olarak “Pagoda” tipi anten kullanılması düşünülmüştür. Ancak yapılan testler sonucunda İHA’da Yonca Yapraklı Anten ve YKİ’de Pagoda konfigürasyonlarının yüksek veri iletim hızına ve uzun menzile sahip olduğu gözlemlenmiştir (Bkz. 8.1.2 Haberleşme Menzil Testi).

Bahsi geçen değişiklikler, sebepleri ve bütçeye etkileri Tablo 2.2.2’de özetlenmiştir.

Tablo 2.2 2 Yapılan Değişiklikler, Sebepleri ve Bütçeye Etkileri

Kullanım Amacı	Eski Ekipman / Yeni Ekipman	Değiştirilme Sebebi	Bütçeye Etkisi
Pervane	13x6.5 Karbon Pervane / 13x6.5 APC Pervane	Tedarik edilememesi	+136,44 TL
Telemetry	3DR FPV Telemetry Modülü / RFD868x Uzun Menzilli Radyo Telemetry Modülü	Yarışma isterlerini karşılayamaması	-6499 TL
İHA Kablosuz Erişim Noktası Anteni	Pagoda 5.8G 5dBi Yönlü Anten / Yonca Yapraklı Anten	Yapılan testlerde daha yüksek performans elde edildiğinin görülmesi	-20,31 TL

Nihai sistem tasarımında yapılan değişiklikler sebebi ile bütçede 6382,87 TL tutarında artış oluşmuştur.

Nihai ekipmanların seçiminde göz önünde bulundurulacak en önemli hususlar; yarışma şartnamesine uygunluk, bileşenlerin güvenli olması, hafiflik, yüksek akımlara karşı gösterilen dayanım ve maliyet olarak sıralanabilir. Nihai Bütçe Tablo 2.2.3’de yer almaktadır.

Tablo 2.2 3 Nihai Bütçe Tablosu

Ekipman	Marka - Model	Adet	Toplam Fiyat
İHA Gövdesi	X-UAV Talon Epo Fpv Uçak Kiti	1	4696,34 TL
Pervane	APC 13x6.5 Pervane	1	56,90 TL
Pil	4s 10000 mAh 25C 14.8V Lipo Batarya	1	Mevcut
ESC	80 A 2S-6S Hobbywing Skywalker ESC	1	455,99 TL
Güç Dağıtım Kartı	Matek Güç Dağıtım Kartı	1	119,77 TL
Motor	X3520 V3 780kV 1395W Fırçasız Motor	1	1298,95 TL
Kumanda	Radiolink AT10 II	1	Mevcut

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

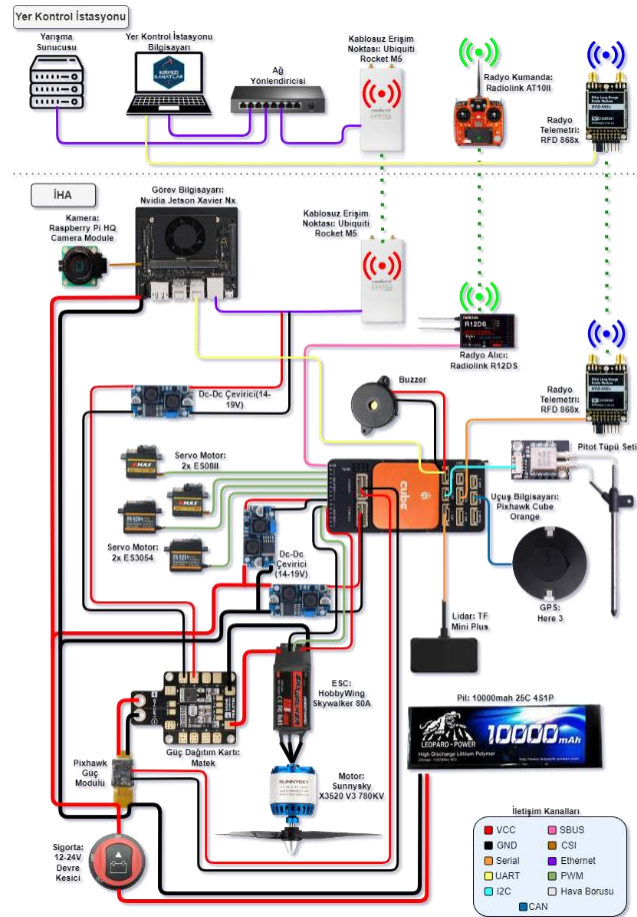
Yer İstasyonu Kontrol Kablosuz Erişim Noktası	Ubiquiti Rocket M5	1	1236,97 TL
İHA Kontrol Kablosuz Erişim Noktası	Ubiquiti Rocket M5	1	1236,97 TL
GPS	Pixhawk Here 3 GPS	1	2749 TL
Uçuş Bilgisayarı	Pixhawk The Cube Orange Standard Set	1	5949 TL
Pitot Tüpü	Pixhawk PX4 Sensör Seti	1	924,06 TL
Görev Bilgisayarı	NVIDIA Jetson Xavier NX Developer Kit	1	Mevcut
Kamera	Raspberry Pi HQ Kamera	1	952,47 TL
Lidar Sensör	TFmini Plus LIDAR	1	866,92 TL
Dijital Servo	Emax ES08D II 8.5g Dijital Servo	2	194,7 TL
Dişlili Servo	Emax Es3054 Metal Dişlili Servo	2	530 TL
Sigorta	12V-24V Devre Kesici	1	83,06 TL
Telemetri	RFD868x Uzun Menzilli Radyo Telemetri	2	6499 TL
İHA Kontrol Kablosuz Erişim Anteni	Yonca Yapraklı Anten	2	64,89 TL
Yer İstasyonu Kontrol Kablosuz Erişim Anteni	Pagoda 5.8G 5dBi Yönlü Anten	2	44,58 TL
Toplam Fiyat			27959,57 TL

3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ

3.1. Nihai Sistem Mimarisi

Sistem mimarisi tasarımında göz önünde bulundurulmuş en önemli kriter basitlik olmuştur. Bu sayede hem arıza ihtimali en aza inmekte hem de daha az donanım bileşeni kullanımıyla beraber hafiflik sağlanmaktadır. Kavramsal Sistem Mimarisi'nde yer alan "3DR FPV Telemetri Modülü" nün yarışma şartnamesinde yer alan azami menzil sınırını karşılayamaması ve veri aktarım hızının düşük kalması sebepleriyle, Radyo Telemetri sisteminde donanım bileşeni değişikliğine gidilmek zorunda kalınmıştır. Bu modül yerine

Yarışma isterlerini karşılayan “RFD868x Uzun Menzilli Radyo Telemetri” modülü tercih edilmiştir. Sistem mimarisinde yer alan tüm bileşenlerin bağlantı şematiği Şekil 3.1.1’de gösterilmiş, donanım bileşenlerinin marka/model bilgisi tanımı ise Tablo 3.1.2’de verilmiştir. Bileşenlerin ayrıntılı bir şekilde anlatımı 3.2. Alt Sistemler Özeti kısmında yer almaktadır.



Şekil 3.1 1 Nihai Sistem Mimarisi ve Kablaj Tasarımı

Tablo 3.1 2 Donanım Bileşenleri Marka / Model Bilgileri

Donanım Bileşeni	Marka / Model
Görev Bilgisayarı	Nvidia Jetson Xavier NX
Uçuş Bilgisayarı	Pixhawk The Cube Orange
Kamera	Raspberry PI HQ
Kablosuz Erişim Noktası	Ubiquiti Rocket M5
Pil	4S 10000 mAh 25C 14.8V Lipo Batarya
Güç Dağıtım Kartı	Matek Güç Dağıtım Kartı
ESC	80 A 2S-6S Hobbywing Skywalker ESC
Motor	X3520 V3 780kV 1395W Fırçasız Motor
Servo (V-Kanat)	Emax ES08D II 8.5g Dijital Servo
Servo (Aileron)	Emax Es3054 Metal Dişlili Servo
Radyo Telemetri	RFD868X Uzun Menzil Radyo Telemetri
Radyo Alıcı	RadioLink R12DS Radyo Alıcı
Lidar	TFmini Plus LIDAR
Pitot Tüpü Seti	Pixhawk PX4 Sensör Seti

GPS	Pixhawk Here3 GPS
Radyo Kumanda	Radiolink AT10 II
Yer Kontrol Bilgisayarı	Yer Kontrol İstasyonu Bilgisayarı
Yarışma Sunucusu	Teknofest Yarışma Sunucusu
Buzzer	Pixhawk Buzzer Ses Modülü
Pixhawk Güç Modülü	Pixhawk Cube Orange Power Brick Mini
Sigorta	12V-24V Devre Kesici
Voltaj Regülatörü	DC-DC Çevirici (14-19V)
Ağ Yönlendirici	TP-Link LS1008G 8 Port 10/100/1000 Mbps Gigabit Switch

3.2. Alt Sistemler Özeti

Uçuş Bilgisayarı: İHA'nın uçuş amaçlı gerçekleştirdiği aksiyonları (kontrol yüzeyi hareketleri, motor gücü) yönetir. Ön Tasarım Raporunda da belirtildiği üzere uçuş bilgisayarı olarak Pixhawk Cube Orange [1] seçilmiştir. Bulundurduğu dahili titreşim sönümlleme sistemi, 3 yedekli ataletsel ölçüm birimi sistemi ve I2C, Seri, CAN-BUS bağlantı arayüzleri uçuş bilgisayarı seçiminde bahsi geçen uçuş bilgisayarının tercih edilmesinde etkin rol oynamıştır. Ek olarak bahsi geçen bağlantı arayüzleri İHA içerisinde kullanımı planlanan tüm çevre birimler (elektronik sensörler, görev bilgisayarı) ile iletişim için yeterli çeşit ve sayıdadır. Bahsi geçen Uçuş bilgisayarı üzerinde çalıştırılmak üzere **Ardupilot** yazılımı tercih edilmiştir. Bu seçimin başlıca sebepleri arasında açık kaynak kodlu olması, geniş bir kullanıcı topluluğuna sahip olması ve Kırmızı Kanatlar ekibinin bu uçuş bilgisayarı ve yazılım üzerinde bulunan tecrübeleri yer almaktadır. Ardupilot yazılımı, Pixhawk Cube Orange uçuş bilgisayarı üzerinde çalıştırıldığında edindiği otonom uçuş, uzaktan erişim-denetim ve özelleştirmelere açıklık kabiliyetleri ile yarışma şartnamesinde belirtilen insan müdahalesinden bağımsız görev icrası için gerekli otonomi sağlanmaktadır.

Görev Bilgisayarı: İHA'nın yarışma isterleri doğrultusunda rakip bir İHA'ya otonom görüntü işleme ile kilitlenmesini sağlayacak algoritmaları çalıştırabilmek ve kamikaze İHA görevini icra edebilmek amacıyla uçuş bilgisayarı ile eşgüdümlü çalışmak üzere bir görev bilgisayarı kullanılmıştır. Söz konusu görev bilgisayarının İHA içerisindeki başlıca görevleri; görüntü işleme, kamikaze İHA görevi, İHA-YKİ haberleşmesi ve görüntü işleme aracılığı ile tespit edilen İHA'ya yönelim amacıyla uçuş bilgisayarına gerekli emirlerin üretilip iletilmesidir. Görev bilgisayarı olarak **Nvidia Jetson Xavier NX** [2] seçilmiştir. Seçiminde bu modelin tercihindeki başlıca sebepler arasında I2C, Seri ve CAN-BUS bağlantı arayüzlerini bulundurması ile beraber işlemciden bağımsız tensor çekirdekli bir grafik işleme bulundurması olmuştur. Ek olarak Nvidia Jetson Xavier NX, Nvidia Jetson ailesindeki muadil görev bilgisayarı seçeneklerine göre daha küçük boyuta, düşük güç tüketimine ve görüntü işleme algoritmaları ile eşgüdümlü olarak haberleşme işlemleri gerçekleştirebilecek bir işlemci gücüne sahiptir.

Kamera: İHA üzerinde bulunan görev bilgisayarının görevlerini yerine getirebilmesi amacıyla bir görüntü sensörüne ihtiyaç duyulmaktadır. Kamera, bu görüntü sensörü ihtiyacına karşılık vermek üzere sistemde yer almaktadır. Seçilen kameranın görüntü kalitesi, otonom nesne tespiti algoritmalarının performansını etkileyebilmekte olup, bu sebeple seçilen kameranın yüksek kalitede görüntü kaydetmesi gerekmektedir. Otonom nesne tespiti algoritmasının optimum seviyede çalışabilmesi adına kamera platformu seçilirken dikkat edilen başlıca kriterler, kare hızı, çözünürlük ve lens olarak sıralanabilir. Bu kriterler göz önüne alınarak seçilecek

kameranın otonom nesne tespit algoritması ile en yüksek uyumlulukta çalışabilmesi için en az 34 kare-saniye hıza ve 720x576 piksel çözünürlüğe sahip olması ve de güneşten etkilenmemesi amacıyla kızılötesi filtresi bulunduran bir lense sahip olması gerekmektedir. Bu kriterler göz önüne alınarak kamera üzerinde Sony IMX477R görüntü sensörü bulunduran **Raspberry Pi HQ kamera modülü** [3] ile beraber fokal uzunluğu 6mm olan kızılötesi filtreli geniş açı lens kullanımı uygun görülmüştür.

Radyo Telemetri: Tehlikeli bir durumun tespiti ve erken müdahalesi için, yarışma esnasında telemetri verilerinin YKİ'ye düşük kesinti ile iletilmesi ve YKİ komutlarının da İHA'ya düşük gecikme ile iletilmesi yüksek önem taşımaktadır. Ön tasarım raporunda kullanılacağı belirtilen 3DR telemetri modülünün kullanımından test uçuşlarında sergilediği yetersiz performans sebebiyle vazgeçilmiştir. Kritik Tasarım Raporu sürecinde, 2.2 Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe başlığında belirtilen sebeplerden dolayı bu ürün değişikliğe uğramıştır. Bu ürün yerine bahsi geçen düşük kesinti ve düşük gecikme konularında muadillerine göre oldukça yüksek başarı gösteren **RFD 868X** [4] isimli radyo telemetri cihazı İHA üzerinde kullanılmak üzere seçilmiştir. Bu alt sistem 868 MHz frekans ile çalışması sebebiyle Türkiye Cumhuriyeti sınırları içerisinde kullanımı yasaldır. Ek olarak Alt sistemin Mavlink v2.0 açık kaynak kodlu haberleşme protokolünü desteklemesi, kullanılan uçuş bilgisayarı ile seri haberleşme protokolüne göre daha yüksek hızda veri aktarımı gerçekleştirmesine olanak sağlar.

GPS: Ön Tasarım Raporunda İHA üzerinde kullanımı planlanan **Here3** GPS modülü [5], yapılan saha testlerinde gösterdiği hassas ölçüm başarısı ile İHA üzerinde kullanımını kesinleştirmiştir. GPS modülünün içinde bulunan Ublox m8p entegre devre, CAN-BUS bağlantı arayüzü ile 8 Hz yenileme süreli bir haberleşme ve ölçüm sağlar. Bir diğer yandan Here3 içerisinde bulunan dahili ataletsel ölçüm sistemi aracılığı ile düşük GPS sinyali bulunan alanlarda dahi İHA'nın ihtiyacı olan hassas global konumlandırma verisini sağlayabilecek bir kapasiteye sahiptir.

Pitot Tüpü: İHA'nın hava hızının ölçümü için gerekli bir sensördür. I2C bağlantı arayüzü bulundurması ve dahili Analog/Dijital Çevirici (ADC) bulundurması sebepleriyle İHA üzerinde **Pixhawk PX4 Sensör** [6] kullanılmasına karar verilmiştir.

Radyo Kumanda – Alıcı: Radyo kumanda olarak **Radiolink AT10II** [7], İHA üzerinde konumlandırılacak alıcı ise **R12DS** olarak tercih edilmiştir. Kumanda üzerinde bulundurduğu DSSS ve FHSS hibrit spektrum yayılımı teknolojisi ile muadili olan radyo kumandalara göre pilota stabil, dış etmenlerden etkilenmeyen ve düşük tepki gecikmeli bir kontrol sağlar.

Kablosuz Erişim Noktası: İHA üzerinde işlenen görüntülerin YKİ'ye dijital olarak aktarılması, bu görüntü verilerinin aktarımı esnasında veri güvenliği ve kalitesinin artırılması adına önemli bulunmuştur. Bu bağlamda Ön Tasarım Raporu aşamasında YKİ – İHA arası gerçekleştirilecek haberleşmede Wi-Fi modülleri kullanılması kararlaştırılmıştır. Sinyal aktarımı esnasında oluşabilecek zayıflamanın asgari düzeyde tutulabilmesi adına İHA ve YKİ platformlarında kullanılacak antenlerin aynı polarizasyon yönüne sahip olması gerekmektedir. Bu bağlamda YKİ'de kullanılacak anten pagoda olarak kararlaştırılırken, İHA üzerinde yonca yaprak anten kullanılmasına karar verilmiştir. Belirtilen antenler ile uyumlu çalışabilecek, uzun mesafe haberleşme için tasarlanmış bir Wi-Fi modülü olan **Ubiquiti Rocket M5** [8] İHA ve YKİ üzerinde kullanılmak üzere seçilmiştir. Rocket M5 içerisinde bulundurduğu AirMAX teknolojisi ile veri aktarımında görüntü dosyalarına verdiği öncelik sayesinde muadillerine göre daha düşük gecikmeli görüntü verisi aktarımına sahiptir.

Yer Kontrol İstasyonu: YKİ, İHA'dan alınan verilerin yarışma sunucusuna iletilmesi ve yarışma sunucusundan alınan verilerin İHA'ya iletilmesi görevlerini üstlenmektedir. Bu bağlamda Windows 10 işletim sistemli bir kişisel bilgisayarın kullanımı uygun görülmüştür.

İtki Sistemi: İtki sistemi İHA'nın ihtiyacı olan ivmelenme hareketinin gerçekleştirilmesinde görev almak ile beraber motor, pervane ve ESC'den oluşmaktadır. Bu sistemi oluşturan ekipmanların tercihi yapılırken İHA'nın tahmini ağırlığı ve kalkış esnasında ihtiyaç duyulacak yüksek ivmelenme kuvveti göz önünde bulundurulmuştur. Ön Tasarım Raporunda belirtilen motor-pervane ikilisi üzerinde yapılan itki testinde planlanan İHA için yeterli itkiyi sağlayacağı görülmüş ve bu parçalar üzerinde bir değişikliğe gidilmemiştir. İHA üzerinde kullanılması planlanan motor ve pervanenin teknik değerleri Tablo 3.2.1'de verilmiştir.

Tablo 3.2 1 Motor ve Pervane Teknik Özellikleri

Motor	Pervane (İnç)	Gerilim (V)	Çekilen Akım (A)	Güç (Watt)	İtki (Gram)	Verimlilik (Gram/Watt)
SunnySky X3520 V3 780kV [9]	13x6,5	16,8	57,6	967,68	4100	4,23

Bahsi geçen motorun uçuş bilgisayarı tarafından kontrol edilebilmesi için **Hobbywing Skywalker 80A [10]** model bir ESC tercih edilmiştir. Bu ESC modelinin tercih edilmesinde modelin 5V 5A değerinde bir UBEC, pil geriliminin regülatör kullanılarak 5 volt gerilime düşürüldüğü devreye sahip olması ve motorun ihtiyaç halinde çekebileceği normal üstü akım değerlerini sağlayabilmesi ana kriterler olmuştur. İtki sistemi, uçuş bilgisayarı, görev bilgisayarı ve diğer elektronik alt sistemlerin ihtiyacı olan güç **Leopard Power 4S 10000mAh LiPo** batarya tarafından karşılanacak olup, sistemin performans değerleri 3.3 Hava Aracı Performans Özeti bölümünde belirtilmiştir.

Servo: İHA üzerinde iki farklı servo modeli bulunmaktadır. İki farklı servo modeli İHA üzerinde bulunan toplam dört farklı kontrol yüzeyini kontrol etmekte olup, aileron kontrol yüzeylerinde **Emax Es3054** model servo tercih edilirken V-kanat yüzeylerinde **Emax ES08D II** model servo tercih edilmiştir. Bahsi geçen servoların boyutları, dönüş açıları, çözünürlükleri ve ağırlıkları Tablo 3.2.2'de verilmiştir. Servoların farklı güçlerde tercih edilmesinin sebebi uçuş esnasında V-kanat kontrol yüzeyleri üzerinde oluşan baskı kuvvetinin aileron kontrol yüzeyleri üzerinde oluşan baskı kuvvetine göre daha düşük olmasıdır. Bahsi geçen durumda V-kanatlarda kullanılmak üzere daha hafif servolar tercih edilmiş olup, bu durum İHA'nın hafiflemesinde bir etken olmuştur.

Tablo 3.2 2 Servo Teknik Özellikleri

Servo	Boyut (Milimetre)	Dönüş Açısı (Derece)	Çözünürlük (Derece)	Ağırlık (Gram)
Emax Es3054	28,4 x 13 x 31,1	180	1	17
Emax ES08D II	23 x 11.5 x 24	180	1	8,5

Sigorta: İHA'nın nakliyesi veya olası kaza durumlarında İHA'nın uçuş ekibine verebileceği olası hasardan kaçınmak amaçlı İHA üzerinde üst ön kısımda bir akım kesici sigorta

konumlandırılmıştır. İHA'nın ihtiyacı olan akımı üzerinden sorunsuz geçirebilmesi ve dışarıdan rahatlıkla tespit edilebilmesi amacıyla İHA üzerinde **Agus 500A-3sn Devre Kesici Şalter Mini** isimli devre kesici kullanımına karar verilmiştir.

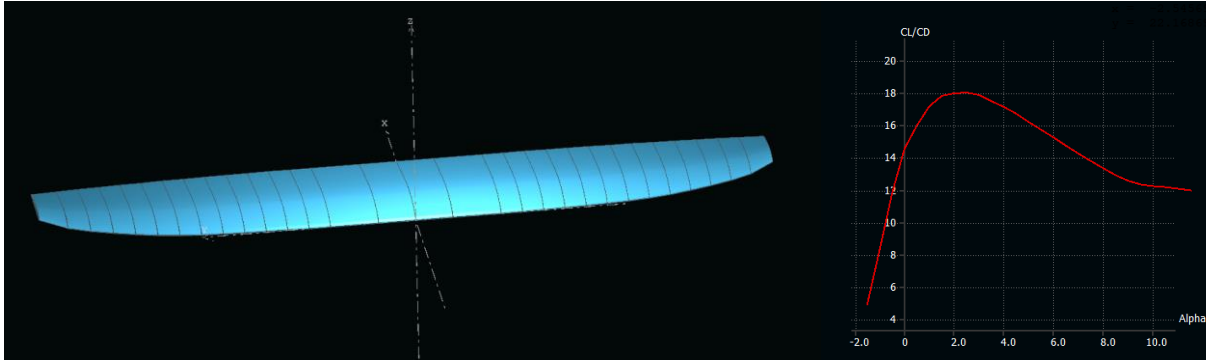
3.3. Hava Aracı Performans Özeti

İHA bileşenlerinin seçimi sürecinde kullanılan en önemli kriterlerden biri bileşenlerin uçuş süresine etkisi olmuştur. İHA'nın müsabaka süresince olası gecikme senaryoları dahil havada kalabilmesi beklenmektedir. Bu nedenle ilgili bileşenlerin havada kalma süresine etkilerini ortaya çıkarabilmek amacıyla simülasyon ve hesaplamalar yapılmış ve de elde edilen veriler analiz edilmiştir.

İHA'nın kanat analizi XFLR-5 simülasyon ortamında yapılmıştır. İHA'nın kanat profili (airfoil) E205 tipi kanat profilidir ve kanat ağırlığı 470 gramdır. 1718 mm uzunluğa sahip kanat E205 kanat profili kullanılarak, Şekil 3.3.1'de görüldüğü şekilde XFLR-5 simülasyon ortamında çizilmiştir. Kanat karakteristiği hesaplamaları için minimum hücum açısı -3 derece, maksimum hücum açısı 15 derece olarak belirlenmiş ve yapılan analizler bu değerler arasında gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen Cl/Cd (kaldırma katsayısı/sürtünme katsayısı) oranının Alpha (hücum açısı) ile değişimi Şekil 3.3.2'de verilen grafikte görülmektedir. Eşitlik (1)'den görülebileceği üzere Cl/Cd oranı ile beraber taşıma kuvvetinin de hesaplanması halinde sürtünme kuvveti değeri elde edilir.

$$\frac{\text{Taşıma kuvveti (L)}}{\text{Sürtünme kuvveti (D)}} = \frac{\text{Kaldırma katsayısı (Cl)}}{\text{Sürtünme katsayısı (Cd)}} \quad (1)$$

İHA gövdesi yere paralel iken, kanatları 3 derece hücum açısına sahiptir. Kanat 3 derece hücum açısına sahipken Cl/Cd oranının değeri 18 olduğu görülmektedir. Bu durumda $Cl=0,398$ ve $Cd=0,022$ değerlerine sahip olmaktadır.



Şekil 3.3 1 XFLR-5 İHA Kanat Çizimi

Şekil 3.3 2 Cl/Cd - Alpha Grafiği

İHA'nın sabit bir irtifa ve hızla uçabilmesi için taşıma kuvvetinin ağırlığa, itme kuvvetinin de sürtünme kuvvetine eşit olması gerekmektedir [11]. Eşitlik (2), (3) ve (4)'de itme kuvveti, ağırlık, sürtünme kuvveti ve taşıma kuvveti arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\frac{\text{İtme kuvveti (T)}}{\text{Ağırlık (W)}} = \frac{\text{Sürtünme kuvveti (D)}}{\text{Taşıma kuvveti (L)}} \quad (2), \quad L = W \quad (3), \quad T = D \quad (4)$$

İHA'nın ağırlığı (W) 3100 gramdır. Eşitlik (3) kullanılarak İHA'nın havada kalabilmesi için asgari taşıma kuvveti (L):

$$L = W = 3100 \text{ gram}$$

olarak bulunur.

Eşitlik (4)'de bulunan sürtünme kuvveti değerinin hesaplanabilmesi için Eşitlik (1)'den yararlanılır. Eşitlik (1) kullanılarak sürtünme kuvveti (D):

$$D = \frac{Cd \times L}{Cl} = \frac{0,022 \times 3100}{0,398} = 171,356 \text{ gram}$$

olarak bulunur.

Eşitlik (4) kullanılarak itme kuvveti (T):

$$T = D = 171,356 \text{ gram}$$

olarak bulunur. İHA'nın sabit bir irtifa ve hızla uçabilmesi için gereken itme kuvveti Eşitlik (4) vasıtasıyla hesaplanmış olan 171,356 gramdır. İHA'nın, Kamikaze İHA ve Savaşan İHA görevlerini icra ettiği esnada kaçış algoritmasının devreye girmesi halinde ani manevralar yapması öngörülmektedir. İHA'nın bu ani manevraları gerçekleştirdiği esnada maksimum 2300 gram itki kuvvetine ihtiyaç duyacağı hesaplanmıştır.

Azami havada kalma süresi hesabı: İHA'nın azami havada kalma süresi hesabında İHA içerisi elektronik donanımların ihtiyacı olan güç ile İHA itki gücünü üreten motorun 2300 gram itki üretebilmesi için ihtiyaç duyduğu güç kullanılmıştır. Tüm bu sistemlerin ihtiyaç duyduğu toplam güç 494,02 Watt olup, 16,8 Volt gerilim ile bu gücün sağlanabilmesi için yaklaşık 29,40 amper akıma ihtiyaç duyulmaktadır. Teorik hesaplara göre sahip olunan 10000 mAh batarya 29,40 amper akımı yaklaşık 20,4 dakika sağlayabilecektir. İHA içerisi elektronik donanımların çalışma gerilimleri ve ortalama akımları kullanılarak bulunan güç tüketimleri Tablo 3.3.3'de ve kullanılan bağıntılar Eşitlik (5) ve (6)'da verilmiştir.

Tablo 3.3 3 İHA Elektronik Alt Sistemlerinin Güç Tüketimleri

Alt sistem	Adet	Çalışma Gerilimi (V)	Ortalama Akım (A)	Tüketilen Güç (W)
Uçuş Bilgisayarı	1	5	2	10
Telemetri	1	5	1	5
Servo (V- Kanat), (Aileron)	4	5	0,5	2,5
Görev Bilgisayarı	1	5	3	15
Kablosuz Erişim Noktası	1	24	0,33	7,92
Motor	1	16,8	27	453,6
Toplam				494,02

$$\text{Güç (Watt)} = \text{Gerilim (Volt)} * \text{Akım (Amper)} \quad (5)$$

$$494,02 \text{ W} / 16,8 \text{ V} = 29,40 \text{ A}$$

$$Pil\ kapasite\ değeri\ (mAh) / (1000 * Akım\ (A)) = Uçuş\ süresi\ (Saat) \quad (6)$$

$$10000\ mAh / (1000 * 29,40) = 0,340\ Saat = 20,4\ Dakika$$

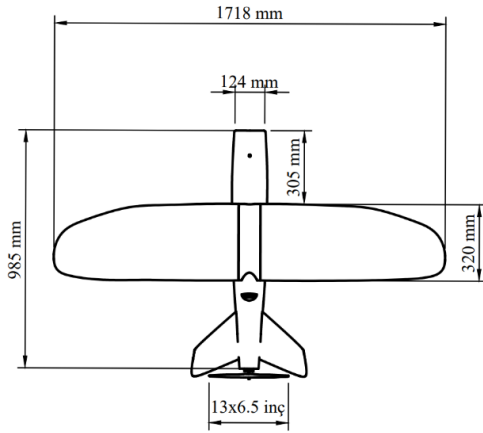
Yapılan analiz ve hesaplamalar sonucunda, İHA agresif manevralar ile gerçekleştirilen bir uçuş esnasında 20,4 dakika havada kalabilmektedir. Bu süre bir yarışma turunun süresinden daha fazla olmak ile beraber pilota yaklaşık 5,4 dakika fazladan uçuş süresi sağlamaktadır. Teorik hesapların doğrulanması amacıyla azami havada kalma süresi tespit test prosedürü tasarlanmıştır. Tasarlanan bu testin ayrıntıları 8.2 Uçuş Testi ve Uçuş Öncesi Kontrol Listesi bölümünde anlatılmıştır. Test henüz gerçekleştirilmemiş olup, yaz çalışma planında yer almaktadır.

3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı

“Hüma” olarak isimlendirilen İHA’nın, 3 boyutlu tasarım modeli Autodesk tarafından geliştirilen Autodesk Fusion 360 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Hüma, gerçek boyutları dikkate alınarak modellenmiştir. Şekil 3.4.1’de Hüma’nın 3 boyutlu tasarım modeli görülmektedir.



Şekil 3.4 1 Hava Aracı 3 Boyutlu Tasarım Modeli



Şekil 3.4 2 Hava Aracı Teknik Resmi

Hüma’nın, kanat açıklığı Şekil 3.4.2’deki teknik resimde belirtildiği üzere 1718 mm’dir. Hüma’nın toplam uzunluğu 985 mm ve kanat kök veter uzunluğu 320 mm’dir. Pervane boyutları 13x6.5 inç iken İHA’nın ön bölgesinin çapı 124 mm’dir.

Kameranın oluşabilecek olumsuz durumlardan (kaza, kırım, vb.) korunması amacıyla İHA’nın ön kısmına şeffaf bir radom takılmaktadır. Şeffaf radomun İHA’ya entegre edilmesi ile beraber İHA’nın gövde uzunluğu 1100 mm’ye erişmektedir. Şeffaf radomun İHA’ya entegre edilmiş hali Şekil 3.4.1’de verilen modelde görülmektedir.

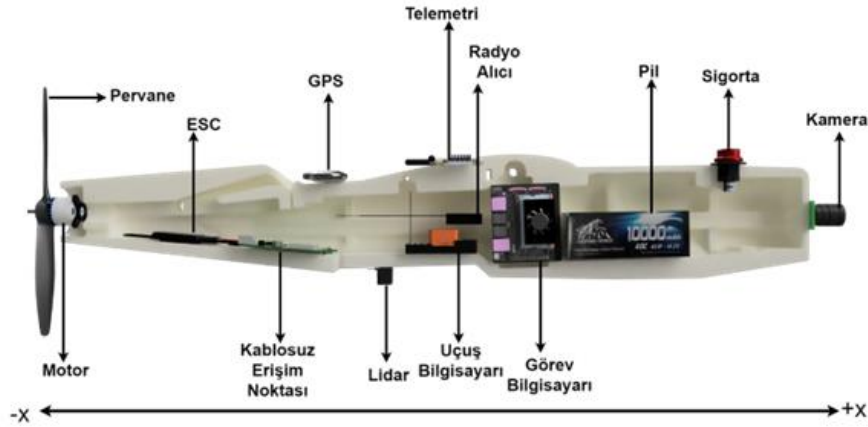
İHA’nın gövde içi alt sistem entegrasyonu yapılırken taşıma kuvveti noktası dikkate alınmıştır. Ağırlık merkezi ve taşıma kuvveti noktası hesaplamaları 3.5 Hava Aracı Ağırlık Dağılımı bölümünde verilmiştir. Gövde içi alt sistem yerleşimi Şekil 3.4.3 ve Şekil 3.4.4’de görülmektedir. İHA gövdesi içerisinde sıklıkla erişilmesi veya gövde içerisinden çıkartılması

gereken bileşenler (batarya, uçuş bilgisayarı, görev bilgisayarı); erişilmesi kolay ve gövde kapağına en yakın bölgelere konumlandırılmıştır. İHA içerisinde kablo uzunluklarının minimum olmasına dikkat edilmiştir. İHA'nın gövde içi malzeme yerleşimi yapılırken dikkat edilen bir diğer konu ise cihazların birbirini olumsuz etkilemeyecek şekilde yerleştirilmesi olmuştur. Cihazların birbirinin çalışmasını ve performansını etkileyebilecek başlıca etmenler şunlardır:

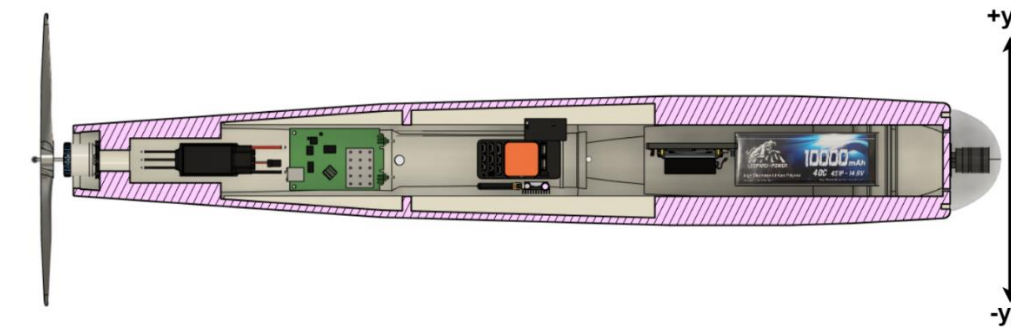
- Elektromanyetik girişim (enterferans)
- Sıcaklık
- Titreşim

Yukarıda bahsedilen etmenlere önlem olarak kullanılan bazı yerleşim teknikleri şunlardır:

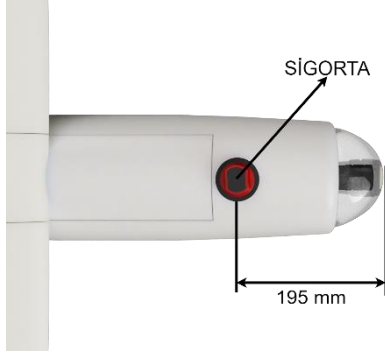
- Yüksek elektromanyetik girişim yaratabilecek cihazlar haberleşme modüllerinden mümkün olduğunca uzak konumlandırılmakla beraber bu cihazlara güç sağlayan kablolar üzerinde elektromanyetik kalkanlama (EMI shielding) uygulanmıştır.
- Uçuş esnasında yüksek sıcaklıklara erişebilecek cihazlar (ESC, motor) İHA'nın arka tarafında bulunan hava alığına yakın şekilde konumlandırılmıştır.
- Uçuş esnasında uçuş bilgisayarı jiroskop ve ivme sensörlerinin motor tarafından üretilen titreşimden asgari düzeyde etkilenmesi amacıyla, uçuş bilgisayarı motordan uzak bir noktada konumlandırılmıştır.



Şekil 3.4 3 Hava Aracı Alt Sistemleri Yerleşimi – Yan Kesit Görünümü

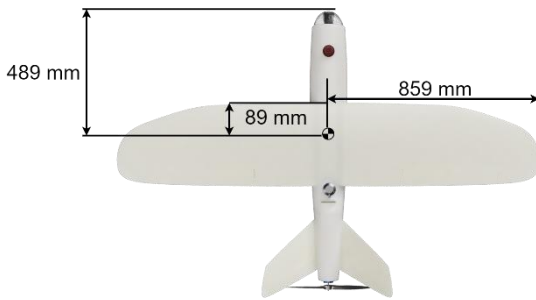


Şekil 3.4 4 Hava Aracı Alt Sistemleri Yerleşimi-Üst Kesit Görünümü



Şekil 3.4.5’de sigortanın konumu gösterilmektedir. Sigorta doğrudan bataryaya bağlı olmalı ve gövde üzerinde erişilmesi kolay bir noktada konumlandırılmalıdır. Bu hususlar dikkate alınarak sigorta, İHA üzerinde en uygun konum olan radomdan 195 mm geride gövdenin üst kısmına yerleştirilmiştir.

Şekil 3.4 5 Hava Aracı Sigorta Konumu



İHA’nın ağırlık merkezi Şekil 3.4.6’da gösterilmiştir. İHA’nın ağırlık merkezinin radoma olan uzaklığı 489 mm’dir. İHA’nın sağ ve sol kanat ucunun ağırlık merkezi ile arasındaki mesafe 859 mm’dir. İHA’nın kanat ucunun ağırlık merkezine olan uzaklığı 89 mm’dir.

Şekil 3.4 6 Hava Aracı Ağırlık Merkezi

3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı

Hava aracının ağırlık dağılımı hesabı yapılırken alt sistemlerin ağırlık merkezleri orta noktaları olarak alınmıştır. Moment hesabı yapılırken referans noktası, X ve Y eksenlerinin kesişimi (orijin), kanat ucundan 89mm geride seçilmiştir. 3.4 Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı bölümünde yer alan Şekil 3.4.6’da hava aracının radom ve kanat ucuna göre ağırlık merkezi gösterilmiştir. Bahsi geçen ağırlık merkezi referans alınarak Tablo 3.5.1’de alt sistemlerin bu merkeze uzaklık ve ağırlık bilgileri verilmiştir. Kablolama ağırlığı, ağırlık dağılımı hesabında ihmal edilmiştir. Verilen uzaklık değerleri 3.4 Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı bölümündeki görseller ile örtüşmekte olup, görsel içerisinde kullanılan tüm alt sistemler 1:1 oranla Fusion 360 ortamında modellenmiştir.

Tablo 3.5 1 Alt Sistemlerin Ağırlık Merkezine Uzaklık ve Ağırlık Bilgileri

Alt Sistem	Ağırlık (g)	X Eksen Uzaklığı (mm)	Y eksen Uzaklığı (mm)	Dikilme Momenti (mm*g)	Yatış Momenti (mm*g)
Pil	901	192,05	0	173037,05	0
Görev Bilgisayarı	167	26,3	0	4392,1	0
Uçuş Bilgisayarı	75	-83,95	0	-6296,25	0
Kablosuz Erişim Noktası	47	-290,45	0	-13651,15	0
Motor	248	-579,95	0	-143827,6	0

Pervane	25	-623,95	0	-15598,75	0
ESC	82	-428,95	0	-35173,9	0
Kamera	92	426,05	0	39196,6	0
Servo (V-Kanat)	24	-475,95	0	-11422,8	0
Servo (Aileron)	38	-47	0	-1786	0
GPS	48,8	-220,95	0	-10782,36	0
Pitot Tüpü	62	276,05	0	17115,1	0
RC Alıcı	29	-138,95	40,9	-4029,55	1186,1
Sigorta	40	320	0	12800	0
Lidar	11	-158,95	0	-1748,45	0
Telemetri	30	-73,95	-39,5	-2218,5	-1185
Diğer	130,2	0	0	0	0
İHA Gövde	1050	0	0	0	0
Toplam Ağırlık	3100		Toplam Moment (Dikilme, Yatış)	5,54	1,1

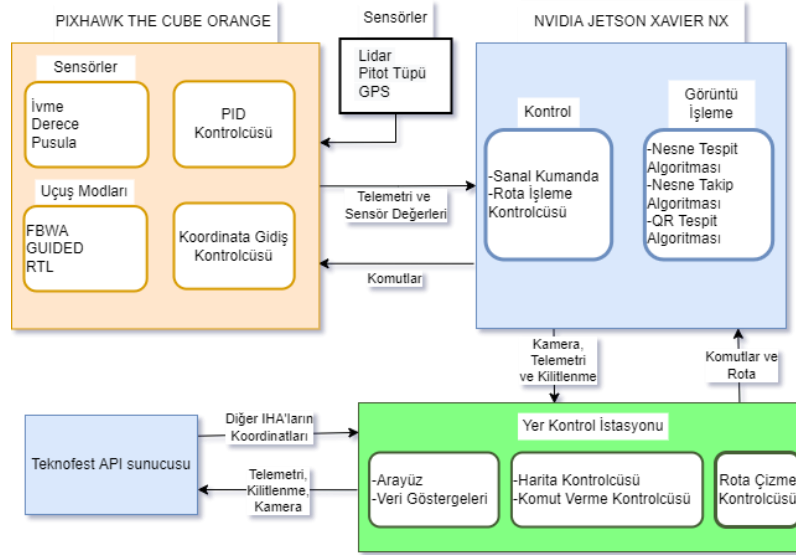
4. OTONOM GÖREVLER

4.1. Otonom Kilitlenme

Bu bölümde geliştirilen İHA'nın görev isterlerinden biri olan otonom kilitlenme sistemi detaylandırılacaktır.

4.1.1. Kilitlenme Sistem Mimarisi

Otonom kilitlenme sistemi, kendi konum - durum verilerini, rakip İHA'ların radar verilerini ve İHA üzerindeki kameradan alınan verileri kullanarak, kilitlenme için rakip İHA'ya göre bulunması gereken konum ve durumu belirleyebilmelidir. Yarışma şartnamesinde belirtildiği üzere; rakip İHA görüntüsünün, ekran görüntüsünün yatay ve dikey eksenlerinden en az birinin en az %5'ini kapsaması, rakip İHA kilitlenme dörtgeni boyutunun ekran görüntüsünün merkezinde yer alarak ekran görüntü boyutunun dikey ekseninde azami %80'ini, yatay ekseninde ise azami %50'sini kapsaması ve kilitlenmenin en az 4 saniye sürmesi gerekmektedir. Ek olarak bahsi geçen işlemlerin tamamı otonom bir şekilde gerçekleşmelidir. Bu görevi icra etmek için tasarlanan kilitlenme sistem mimarisi Şekil 4.1.1.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1.1 1 Kilitlenme Sistem Mimarisi

Şekil 4.1.1.1’de görüldüğü üzere kilitlenme sistem mimarisinde 3 adet ana bileşen bulunmaktadır. Bunlar; rota çizme kontrolcüsü, kontrol algoritması ve görüntü işleme algoritmalarıdır. Kontrol ve görüntü işleme algoritmaları senkron şekilde Nvidia Jetson Xavier NX kartının üzerinde, rota çizme kontrolcüsü ise asenkron şekilde YKİ’de çalışmaktadır. İHA, YKİ’ye telemetri bilgilerini gönderir ve rota çizme kontrolcüsünden rota bilgilerini alır. Alınan rota bilgilerine göre hedefin QR kod mu yoksa rakip İHA mı olduğu tespit edilir. Tespit sonucuna göre rota işleme kontrolcüsüne komut gönderilir. Rota işleme kontrolcüsü bu komutlara göre uçuş modunu belirler ve belirlenen hedef doğrultusunda yönelim gerçekleştirir.

4.1.2. Otonom Nesne Tespiti

Otonom nesne tespitinde amaç; kamera aracılığıyla görüntüyü alarak kilitlenme dörtgeni üzerinde bulunan rakip İHA’nın yatay ve dikey eksenindeki konumunu ve nesne tespitinin gerçekleştiği bilgisini YKİ’ye iletmektir. Görüntünün otonom şekilde tespit edilebilmesi için iki farklı yaklaşım düşünülmüştür. Bu yaklaşımlar şu şekilde sıralanabilir:

- Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines), K-NN (K-Nearest Neighbors Algorithm) veya Rassal Ağaçlar (Random Forest) gibi standart makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak İHA’ların tespitinin yapılması.
- Derin öğrenme tabanlı nesne tanıma algoritmaları kullanılarak İHA’ların tespitinin yapılması.

Derin öğrenme tabanlı nesne tespiti algoritmaları başarımları ve hız bakımından standart makine öğrenmesi algoritmalarına göre daha yüksek performans sergiledikleri için kullanımlarına karar verilmiştir. Derin öğrenme algoritmalarının seçimi sürecinde ise erişim kolaylığı, üzerinde değişiklik yapıp kişiselleştirme, özgülleştirme ve geliştirmeye izin vermeleri nedenleriyle açık kaynak kodu desteğine sahip güncel algoritmalar tercih edilmiştir.

Seçim aşamasında YOLO (You Only Look Once), Faster R-CNN ve SSD (Single Shot Multibox Detector) algoritmaları karşılaştırılmıştır. Geliştirilen yazılımda, nesne tanıma algoritmasının seçiminde kullanılan en yüksek öneme sahip ölçütler: Saniyedeki çerçeve sayısı (Frame Per Second) değerinin büyüklüğü, nesne tanıma sırasında doğruluk değerinin yüksekliği ve gerçek zamanlı nesne takibi için uygunluk olarak sıralanabilir.

R-CNN algoritması bölge bazlı nesne tespitine dayalı olduğundan, nesne bulunma ihtimali yüksek olan bölgeleri belirlemekte ve o bölgelerde ayrı ayrı CNN (Convolutional Neural Network, Evrimsel Sinir Ağları) sınıflandırıcıları çalıştırmaktadır. Bu algoritma iki ana adımdan oluşmaktadır. Öncelikle seçici arama (selective search) ile görselde nesne barındırmaya aday bölgeler belirlenir, sonrasında yaklaşık 2000 bölge belirlendikten sonra her biri ayrı ayrı CNN modellerine girdi olarak verilip sınıfları ve sınırlayıcı kutuları belirlenir. Nesne tespit algoritmasının karmaşıklığı işlem yükünü arttırmakta ve düşük FPS değerleri elde edilmesine neden olmaktadır.

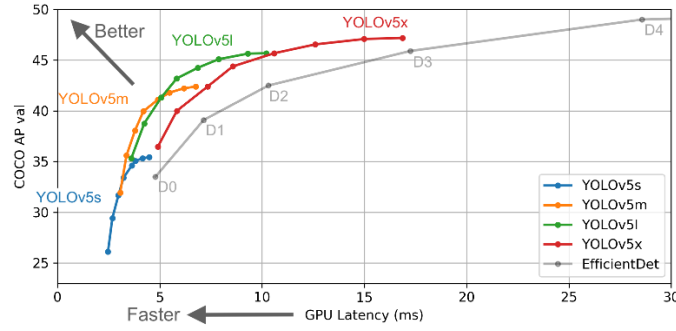
R-CNN algoritmasının geliştirilmiş hali olan Faster R-CNN algoritması R-CNN algoritmasının daha geliştirilmiş hali olmasına karşın gerçek zamanlı nesne tanıma için hala yeterli olmayan FPS değerleri vermektedir. Yarışmada düşük FPS değerleri yeterli olamayacağı için bu algoritma seçenekler arasından çıkarılmıştır. SSD algoritması ise R-CNN algoritmasına göre daha yüksek FPS değerine sahiptir. Ancak yapılan araştırmalarda doğruluk değerinin RCNN'den düşük olduğu görülmüştür. Araştırma sonucuna göre nesne tespitinde, SSD algoritması %76,61 doğruluk değerine, Faster R-CNN algoritması ise %99,52 doğruluk değerine sahiptir [12].

YOLO algoritmasının karşılaştırılan diğer iki algoritmaya göre bahsi geçen kriterlerde daha iyi olması, YOLO algoritmasının tercihinde önemli rol oynamıştır. YOLO algoritmasının dezavantajı ise rakiplerine oranla küçük objelerde nesne tanıma konusunda zorlanmasıdır. Bu dezavantajın algoritmada yapılacak iyileştirme ve geliştirmeler ile giderilebileceği belirlenmiştir. YOLO, Faster R-CNN ve SSD algoritmalarının avantaj ve dezavantajları Tablo 4.1.2.1'de karşılaştırmalı olarak yer almaktadır.

Tablo 4.1.2 1 YOLO, Faster R-CNN ve SSD Algoritmalarının Karşılaştırmalı Avantaj ve Dezavantajları

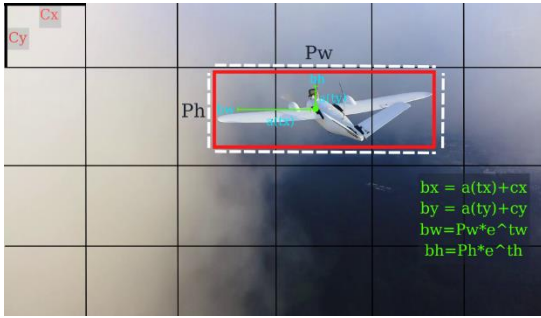
ALGORİTMA	AVANTAJ	DEZAVANTAJ
SSD	Tekli ağ yapısı sayesinde, Faster R-CNN'e göre daha hızlı nesne tanıma işlemi gerçekleştirir.	Nesne tanıma doğruluk değeri Faster R-CNN'e göre daha azdır.
YOLO	Objelerin konumunu bulma ve tanımakta oldukça etkili olduğundan gerçek zamanlı uygulamalarda kullanım için uygundur.	Küçük nesnelerin tanınmasında zorluklar yaşayabilmektedir.
Faster R-CNN	Kullanılan RPN metodu, 0.12 saniyelik tepkime süresi ile neredeyse gerçek zamanlı nesne tanıma gerçekleştirir.	Algoritma hızlı olmasına rağmen gerçek zamanlı uygulamalarda kullanmak için hızı yeterli değildir.

YOLO algoritması kendi içinde sürümlere ayrılmaktadır. Geliştirme için en güncel sürümlerden, aynı zamanda en hızlı ve küçük olan YOLOv5s modeli seçilmiştir. YOLOv5s, YOLOv5 algoritmasının bir türevidir. YOLOv5s diğer algoritmalar ile (YOLOv5n, YOLOv5s, YOLOv5m, YOLOv5l, YOLOv5x) MS COCO veri kümesi üzerinde karşılaştırıldığında daha düşük performansa sahip olduğu görülmektedir fakat İHA içerisindeki donanımsal kısıtlamalar nedeniyle YOLOv5s kullanımına karar verilmiştir (Bkz. Şekil 4.1.2.2).



Şekil 4.1.2 2 YOLOv5 Model Performans Karşılaştırmaları

YOLO Algoritmasında kullanılan ızgara, ızgara içindeki dörtgen bölgeler ve model parametreleri Şekil 4.1.2.3’de gösterilmiştir. Özetle İHA’nın orta noktası ızgaranın 14. kutusuna denk geldiği için İHA’nın tespitinde ve etrafına sınırlayıcı kutu çizilmesinde 14. kutu kullanılacaktır. Şekilde verilen tx, ty, tw ve th parametreleri ise her bir kutu içindeki nesne için derin sinir ağı tahmini yapılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda işlem yapılan kutunun hangi kutu olduğu bilindiği için bu kutunun sol üst köşeye uzaklığı da Cx ve Cy parametreleri aracılığıyla bulunabilmektedir.



Şekil 4.1.2 3 YOLO Algoritmasında Kullanılan Izgara, Izgara İçindeki Dörtgen Bölgeler ve Model Parametreleri

bx = Nesnenin orta noktasının x koordinatı (piksel)
by = Nesnenin orta noktasının y koordinatı (piksel)
Cx, Cy = Izgaradaki bir dörtgenin yatay ve düşey doğrultudaki boyutları (piksel)
bw = Nesnenin genişliği (piksel)
bh = Nesnenin yüksekliği (piksel)

Pw = Şablon (Anchor box) genişliği (piksel)

Ph = Şablon (Anchor box) yüksekliği (piksel)

Izgaradaki her bir dörtgen bölgenin (kutu) kendine özel ayrı bir tahmin vektörü bulunmaktadır. Bunların her birinin içinde “Güven skoru” dediğimiz bir değer bulunmaktadır. Bu skor, geçerli dörtgen bölgenin içinde nesne bulunup bulunmadığından ne kadar emin olduğunu göstermektedir. “0” değeri, kesinlikle olmadığı anlamına, “1” değeri ise kesinlikle olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca bu sistem, parametreler [0, 1] aralığına normalize olduğu için derin sinir ağı ile kullanım için uygundur.

Ek olarak YOLO algoritmasında önceden tanımlanmış belirli en ve boya sahip çevreleyen kutular kullanılmaktadır. Bu kutular şablon (anchor box) olarak anılacaktır. Şablonlar, veri kümesinde saptanmak istenen belirli nesne sınıflarının ölçek ve en boy oranları göz önüne alınarak seçilir. YOLO algoritmasında, her bir dörtgen bölgede önceden belirlenmiş şablon sayısı kadar tahmin yapılmaktadır.

Veri Artırımı Yöntemleri Kullanılarak Ham Veri Kümesi Oluşturulması

Projede hazır veri kümeleri yerine, kendi belirlediğimiz İHA resimlerini içeren bir veri kümesi oluşturulmuştur. Veri kümesi içerisinde yer alan resimler kullanılan modele öğretilerek, yarışma esnasında rakip İHA'ların tespit edilmesi hedeflenmiştir. Veri kümesi oluşturulur iken kullanılacak İHA görüntüleri yarışma ortamına benzer özellikte seçilmiş olup, küme yaklaşık 5000 görüntüden oluşmaktadır. Kümede bulunan verileri, çeşitli tekniklerle değiştirerek yeni ve sentetik bir veri kümesi elde etmek için veri artırımı (data augmentation) yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler; döndürme (90, 180 ve 270 derece), bulanıklaştırma ve aynalama yöntemleridir. Böylece veri kümesi 5000 görüntüden 30000 görüntüye yükselmiştir. Şekil 4.1.2.4'de veri kümesinde yer alan örnek bir görüntünün veri artırımı yöntemi ile çoğaltılmış görüntüleri görülmektedir.



Şekil 4.1.2.4 Orijinal İHA ve Veri Artırım Yöntemi Kullanılarak Elde Edilen İHA Görselleri

4.1.3. Sanal Kumanda ve Rota Çizme Kontrolcüsü

Bu alt bölümde geliştirilen İHA'nın sanal kumanda ve rota çizme kontrolcüsü kısımları detaylandırılacaktır.

Sanal Kumanda: İHA'nın hem görev içi hem de serbest uçuşta ihtiyaç duyduğu manevraları sağlamak amacıyla "Sanal Kumanda" adlı kontrol algoritması oluşturulmuş ve uçağın manevraları için 3 farklı yöntem düşünülmüştür. Bu yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

Yöntem 1: FBWA uçuş modunda kanal değerleri manipüle edilerek İHA'nın kontrolü.

Yöntem 2: Uçuş bilgisayarına dinamik şekilde değişen (hedef koordinat bilgisinin anlık olarak güncellenmesi) koordinat bilgisi vermek.

Yöntem 3: Hassas ve ani manevralar için **Yöntem 1**, uzun manevralar için **Yöntem 2**'nin tercih edilmesi.

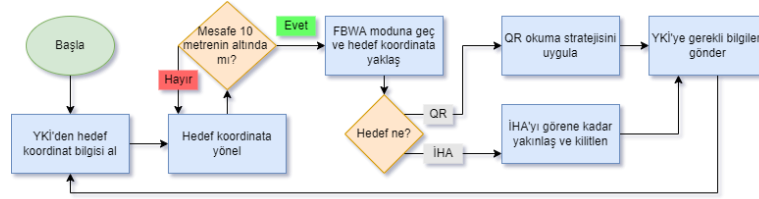
Savaşan İHA yarışması doğası gereği anlık manevralar barındırmaktadır. **Yöntem 1**'de İHA'nın hassas ve ani manevraları gerçekleştirebilmesi amacıyla fiziki bir kumanda taklit edilerek uçuş bilgisayarının doğrudan kontrolü gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemin uzun manevralarda başarısız olduğu gözlemlenmiştir. **Yöntem 2**'de uçuş bilgisayarına koordinat bilgisi dinamik şekilde verilerek manevra sağlanır. Bu yöntem test edilirken GPS hassasiyetinden dolayı verilen hedef noktaya yüksek hata oranı (≤ 10 metre) ile varılmıştır.

Yöntem 3, Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin güçlü yanları alınarak oluşturulmuş yeni bir yöntemdir. Bu yeni yöntemde hassas ve ani manevralar için fiziki bir kumanda taklit edilerek kontrol

sağlanırken, uzun manevralarda ise uçuş bilgisayarına koordinat bilgisi dinamik şekilde verilmiştir. **Yöntem 3**'ün özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

- İHA'nın FBWA modunda olmasından kaynaklı kullanıcı tarafından belirlenmiş manevra kısıtlamaları bulundurması.
- İHA'nın FBWA modunda dönme şiddetinin ayarlanabilmesinden dolayı İHA ile ani manevralar yapılabilmesine olanak sağlaması.
- İHA'nın FBWA modunda yakın mesafede ani manevralara izin vermesinden dolayı İHA takibinde başarılı olması.
- Çevresel etkenleri (rüzgar, hava durumu vb.) iyi şekilde tolere edebilmesinden dolayı uzak manevralarda başarı oranının yüksek olması.
- Enlem, boylam ve irtifa bilgilerini doğrudan kullanarak hedefe ulaşabilmesi.

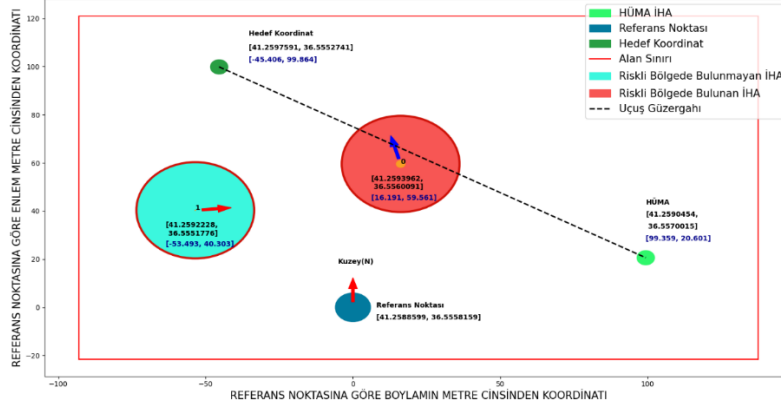
Yöntem 3'de kullanılan algoritma Şekil 4.1.3.1'de yer alan akış diyagramında gösterilmektedir.



Şekil 4.1.3 1 Yöntem 3'de Kullanılan Algoritma için Akış Diyagramı

Rota Çizme Kontrolcüsü: Yarışma esnasında İHA, seçilen hedef koordinata doğru yönelirken; İHA'nın yarışma alanından çıkmasını, rakip İHA'lar ile çarpışmasını ve rakip İHA'lar tarafından vurulmasını engellemek için YKİ'de çalışan “Rota Çizme Kontrolcüsü” adlı algoritma geliştirilmiştir.

Bahsi geçen algoritma yarışma sunucusundan rakip İHA'ların verilerini alır. Aldığı verilerdeki koordinat ve yönelme açısı bilgilerini kullanarak rakip İHA'ları 20 metre yarıçaplı “Risk Alanı” adı verilen sanal bir çemberin merkezine oturtur. İHA uçuş güzergahı oluşturulurken risk alanlarını içeren riskli bölgelerden sakınacak şekilde güzergah oluşturulur. Yarışma sunucusundan gelen verilerdeki koordinat bilgileri coğrafi koordinat olduğu, yani bu koordinat bilgisi uzun mesafelerde hesaplamalar yapmak için kullanıldığından bu veriler üzerinde yapılan işlemlerde hata payı yüksektir. Bu hata payının azaltılması ve işlem kolaylığı sağlanması amacıyla veriler Kartezyen Koordinat Sistemine dönüştürülmüştür. Verilerin Kartezyen Koordinat Sisteme dönüştürülmesi işleminde öncelikle İHA'nın uçacağı bölgenin içinde veya yakınında orijin noktası olarak kabul edilecek bir referans noktası belirlenir. Yarışma sunucusundan alınan her bir rakip İHA konum verisindeki enlem ve boylam bilgileri ile orijin noktası enlem ve boylam bilgisi arasındaki mesafe metre cinsinden hesaplanır. Hesaplanan mesafe verileri kullanılarak İHA konumlarının Kartezyen Sistem üzerindeki koordinat bilgileri elde edilir. Bahsi geçen senaryo Şekil 4.1.3.2'de görselleştirilmiştir.



Şekil 4.1.3 2 Mesafe Verileri Kullanılarak İHA Konumlarının Kartezyen Sistem Üzerindeki Koordinatlarının Bulunması

Bütün noktalar metreye çevrildikten sonra rota çizimine başlamadan önce yol üstünde bir engel (Rakip İHA ya da alan sınırı) olup olmadığı kontrol edilir. Bu kontrolü yapmak için hedef ile İHA koordinatlarının üzerinden geçen bir doğru parçası çizilir ve engellerin bu doğru parçasına temas edip etmediği tespit edilir. Doğru parçasına temas eden engel bulunması halinde engelin türüne göre rota çizme kontrolcüsü iki ayrı aksiyon alır. Temas eden engel alan sınırı ise, İHA hedef nokta alan sınırı içerisine dönene kadar kendi etrafında daire çizer ya da bir sonraki belirlenen hedef noktaya ilerler. Temas eden engel Rakip İHA ise riskli bölgenin etrafından rota çizilir. Rota çizimi için önce hedef koordinatı (x_1, y_1) ile İHA koordinatı (x_2, y_2) 'den geçen doğrunun eğimi Eşitlik (7) yardımıyla bulunur ve İHA'nın koordinatı kullanılarak genel doğru denklemi Eşitlik (8) yardımıyla yazılır.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (7)$$

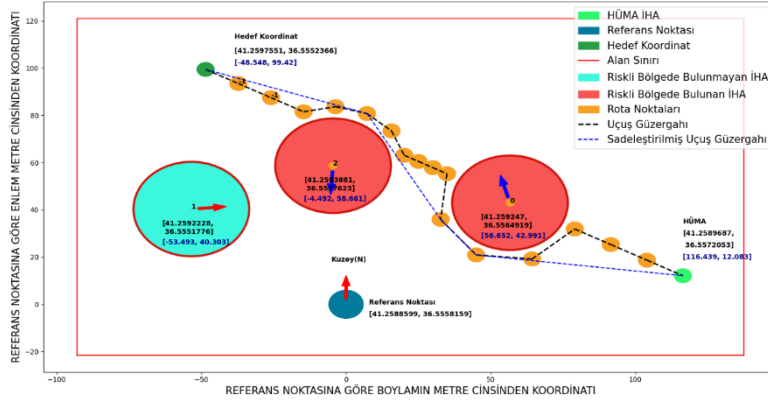
$$y = mx + b \Rightarrow y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} * x_1 + b \quad (8)$$

Doğru denklemindeki eğim ve sabit hesaplandıktan sonra doğru parçasının üstünde olan rakip İHA'ları çevreleyen çemberler Eşitlik (9) ile hesaplanarak, Eşitlik (10) yardımıyla ortak çözüm yapılır ve kökler bulunur. Eşitliklerde (x_3, y_3) çemberin merkezi olarak kullanılan rakip İHA koordinatı ve R ise çemberin yarıçapıdır. Bulunan kökler doğrunun çemberi kestiği noktalar. Kesişim noktalarının tam riskli bölgenin üstünde bulunmaması için yarıçap 20 metre yerine 25 metre alınır. Böylece uçuş güzergahının riskli bölgeden geçme olasılığı azalmış olur.

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = R^2 \quad (9)$$

$$(x - x_3)^2 + ((mx + b) - y_3)^2 = R^2 \quad (10)$$

Şekil 4.1.3.3'de gösterildiği gibi kesişen noktalar her rakip İHA için ayrı ayrı hesaplanır. Noktalar bulunduktan sonra bu iki nokta arasına rakip İHA'nın baktığı yönün (mavi ok) tersine doğru eşit açıda 4 nokta eklenir. Aynı zamanda rakip İHA boş kalan doğru parçalarına da eşit uzaklıkta 3 nokta eklenir ve güzergah oluşturulur. Oluşturulan bu güzergah güvenli ama yeterince optimize değildir. Bu yüzden bu algoritmaya özel geliştirilen güzergah sadeleştirme algoritması kullanılarak en optimum ve güvenli rota oluşturulmuş olur.



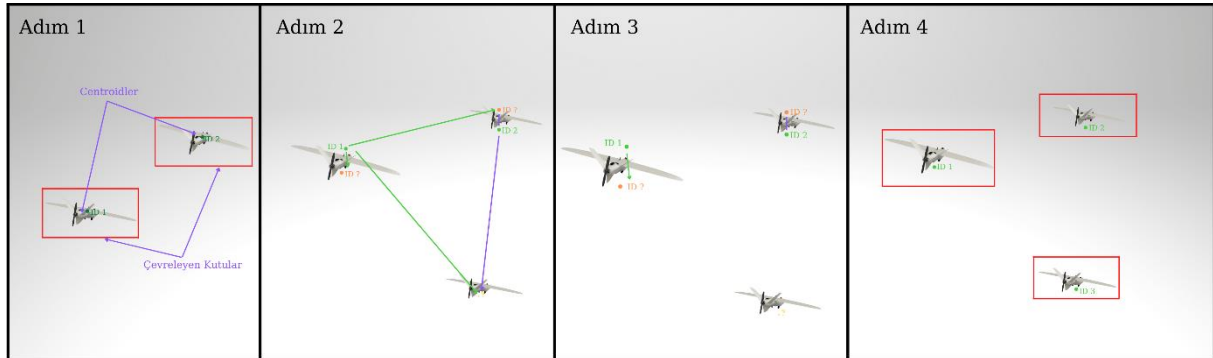
Şekil 4.1.3 3 İHA için Optimum ve Güvenli Rotanın Oluşturulması

4.1.4. Otonom Nesne Takibi

Bu alt bölümde otonom nesne takibinde kullanılan merkez takipçisi ve geliştirilen nesne takip algoritması detaylandırılacaktır.

Merkez Takipçisi (Centroid Tracker)

İHA'ların gerçek zamanlı takibi için YOLOv5s algoritması ile eş zamanlı kullanılmak üzere OpenCV kütüphanesinde yer alan ve tespit edilen nesnelere kimlik numarası (ID) vermeyi sağlayan "Centroid tracking" yöntemi ve geliştirilen gerçek zamanlı takip algoritması kullanılmaktadır. Centroid tracking yönteminde kullanılan algoritmanın adımları şu şekilde sıralanabilir:



Şekil 4.1.4 1 Centroid Tracker Algoritmasının Adımlar Halinde Gösterimi

Adım 1: Centroid tracking algoritması, Şekil 4.1.4.1'de görüldüğü gibi her bir karede tespit edilen her nesne için çevreleyen kutunun sol üst köşe (x,y) koordinatları ile beraber piksel cinsinden en ve boylarının bilindiğini varsayar. Ardından her nesnenin çevreleyen kutusunun orta noktasını, yani centroid'ini bulur. Her çevreleyen kutu için birbirinden farklı birer kimlik numarası "ID" atanır. Bu ID'ler nesneleri birbirinden ayırt etmede kullanılmaktadır.

Adım 2: Gelen yeni karede bulunan çevreleyen kutuların orta noktaları ile ilk adımda kullanılan karedeki çevreleyen kutuların orta noktaları arasındaki Öklid uzaklıkları bulunur ve karşılaştırma yapılır. Birbirlerine en yakın olan eski ile yeni nokta ilişkilendirilir ve yeni nokta cismin yeni pozisyonu olarak atanır.

Adım 3: Birbirlerine en yakın olduğu tespit edilen eski ve yeni çevreleyen kutu orta noktalarının birbiri ile ilişkili olduğu kabul edilir. Birbirleri ile ilişkili olan eski orta noktanın

ID değeri yeni oluşan orta noktaya devredilir, böylece eski orta noktanın ID değeri silinmiş olur. Bu şekilde nesnenin bulunduğu konum da güncellenmiş olur. Ayrıca bu adımda, eski noktalar ile bağlantısı bulunmayan yeni bir çevreleyen kutu orta noktası bulunur ise eski noktalar ile ilişkilendirilmez.

Adım 4: Adım 3’de bulunan yeni orta noktaya ID atanması sağlanır. Bu sayede karedeki eski nesnelerin konumu güncellenmiş iken, yeni nesnelerin de Centroid tracking sistemine girişi sağlanmış olur.

Adım 5: Bir nesnenin kareden çıkıp çıkmadığı tespit edilir. Eğer eski bir nesnenin orta noktası yeni belirlenen herhangi bir nesnenin orta noktası ile ilişkili bulunamazsa bu nesnenin orta noktasına atanan ID değeri silinir. Bu sayede her yeni nesne için farklı ID atanmasına gerek kalmaz ve işlem kapasitesi sınırlanmamış olur. Bu adımda kaydedilen orta nokta bilgileri ile beraber Centroid Tracking algoritmasının 2. adımına dönülerek algoritmanın her bir yeni gelen kare için yeniden çalıştırılması sağlanır.

Centroid tracking yönteminin tercih edilmesinde en önemli etken düşük işlem gücüyle yüksek performans elde edilmesine olanak sağlamasıdır. Bu yöntemin doğruluk değeri, düşük FPS değerleri ile çalışan kamera ve algoritmalarda düşme eğilimi gösterse de tasarlanan sistem mimarisinin yüksek işlem kapasiteli grafik işlemci birimi ve yüksek FPS değerleri sağlayan bir kamera içermesi sayesinde yöntemin bu açığı giderilmiştir. Tasarlanan sistem mimarisinin özellikleri 3.1 Nihai Sistem Mimarisi bölümünde detaylı olarak tartışılmıştır.

Nesne Takip Algoritması

Algılanan İHA’ların gerçek zamanlı takibi için, YOLOv5s gerçek zamanlı nesne tanıma algoritması ve nesnelere kimlik atayan Centroid Tracking ile eş zamanlı kullanılmak üzere, gerçek zamanlı ve özgün bir nesne takip algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma basitçe Centroid Tracking ve iki boyutlu düzlemde iki nokta arası Öklid uzaklığı hesabına dayanmaktadır. Takip algoritması ve YOLOv5s algoritmasının eş zamanlı çalışma prensibi aşağıda açıklanmıştır:

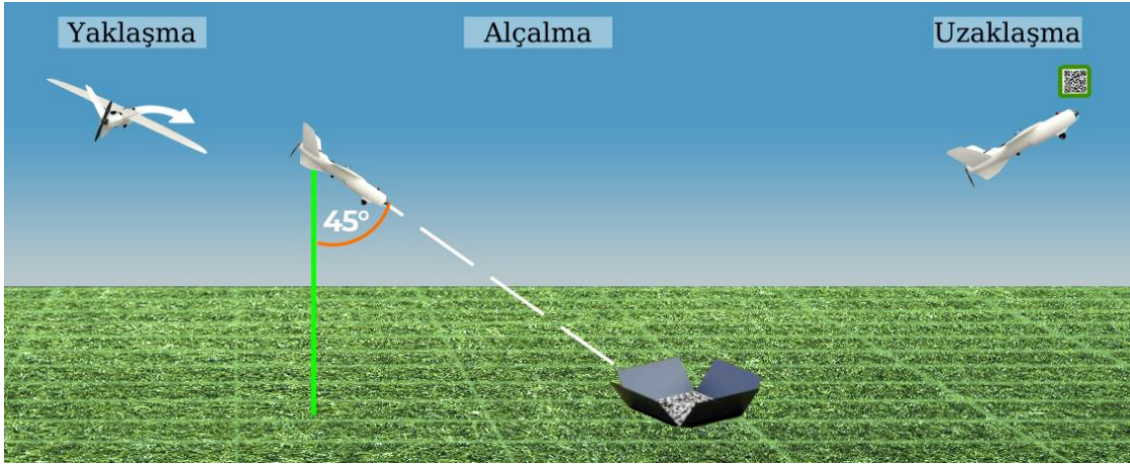
- YOLOv5s algoritması; kameradan alınan görsel verileri İHA içerisinde bulunan görev bilgisayarı (Nvidia Jetson Xavier NX) üzerinde işleyerek görüş hattındaki rakip İHA’ların tespitini sağlar.
- Tespiti sağlanan rakip İHA’ların, ekran üzerindeki çevreleyen kutu konumları YOLOv5s algoritmasından elde edilerek, geliştirilen takip algoritmasının Centroid Tracking bölümüne aktarılır.
- Centroid Tracking algoritması tarafından çevreleyen kutuların merkezleri (centroidleri) hesaplanır. Hesaplanan bu merkezlerin her birine, Centroid Tracking tarafından eşsiz birer kimlik numarası atanır.
- Rakip İHA’lardan ilk kimlik numarası atanan İHA, hedef olarak kabul edilir. Ardından algoritmanın takip bölümüne geçiş yapılır.
- Hedef kabul edilen rakip İHA’nın centroidi ile kilitlenme dörtgeninin merkezi arasındaki piksel türünden mesafe iki nokta arası Öklid uzaklığı hesaplanarak elde edilir.
- Elde edilen bu mesafe, PID kontrol birimine aktarılır ve buradaki mesafe birim tarafından “hata” olarak kabul edilir.
- PID kontrol birimi, hatanın giderilebilmesi için gereken emirleri uçuş kartına gönderir.

- Uçuş kartı, elde edilen yönelme emirlerini uygulamak için motor sürücülerine gerekli yönlendirmeyi yapar.

Yukarıdaki adımlarda belirtilen süreç aslında rakip İHA'ya kilitlenmeye karşı gelmekte olup; 4 saniyelik bir periyotta yukarıdaki adımlar kesintisiz uygulanabiliyor ise bu kilitlenmenin başarılı bir şekilde tamamlandığı anlamına gelmektedir.

4.2. Kamikaze Görevi

Yarışma başlangıcında YKİ üzerinde kurulu UDP sunucu aracılığıyla yarışmadaki QR kodların enlem, boylam ve irtifa bilgilerinin İHA'ya iletilmesi ve saklanması sağlanacaktır. Yarışma esnasında YKİ üzerinde kurulu olan UDP sunucudan İHA'ya "QR kod aramaya başla" komutu gönderildiğinde İHA, daha önceden veya o an teslim edilmiş olan QR kodlarını baz alarak göreve başlayacaktır. Kamikaze İHA görevi için yaklaşma, alçalma ve uzaklaşma olmak üzere 3 aşamadan oluşan bir strateji belirlenmiştir. Bu strateji Şekil 4.2.1'de görselleştirilmiştir.



Şekil 4.2 1 Aşamalar Halinde Kamikaze İHA Görev Gösterimi

Yaklaşma aşamasında İHA, QR kod ile arasında düşeyde ve yatayda eşit mesafe kalıncaya değin irtifasında ve yatış açısında düzeltmeler yapacaktır. Düşey ve yatay mesafe azami 80 metrede eşitlendiğinde ikinci aşama olan alçalma aşaması devreye girecektir. Alçalma aşamasında İHA'nın QR kodu okuma ihtimalini arttırmak amacıyla İHA 45 derece burun aşağı verecektir ve gerektiği durumda yatış açısında düzeltmeler yapmaya devam edecektir. İHA, QR kodu başarılı bir şekilde okuyuncaya değin 40 metre irtifaya kadar alçalmaya devam edecektir. İHA QR kodu başarılı bir şekilde okuduğunda elde edilen mesajı ve QR kodun fotoğrafını YKİ'ye gönderecektir ve kod burada saklanacaktır.

İHA'nın QR koda hamle yapmasına rağmen QR kodu okumakta başarısız olması durumunda ise İHA YKİ'ye bir veri gönderiminde bulunmayacaktır. İHA'nın QR kodu okuyup okumamış olmasından bağımsız olarak alçalma aşamasının sonunda uzaklaşma aşaması devreye girecektir. Uzaklaşma aşamasında İHA'nın önceliği seyir irtifasını geri kazanmaya çalışmak olacaktır. İHA'nın QR kodlara yönelmesinde kullanılacak bilgilerin işlenmesinde, Python dilinde coğrafi hesaplamalar yapılmasına olanak sağlayan GeoPy kütüphanesi kullanılmıştır. İHA'nın QR koda yönelmesi için planlanan süreç aşağıda adım adım verilmiştir.

1. Rastgele belirlenmiş bir referans noktasına göre İHA'nın ve QR kodun, enlem boylam bilgileri metre cinsine çevrilir.

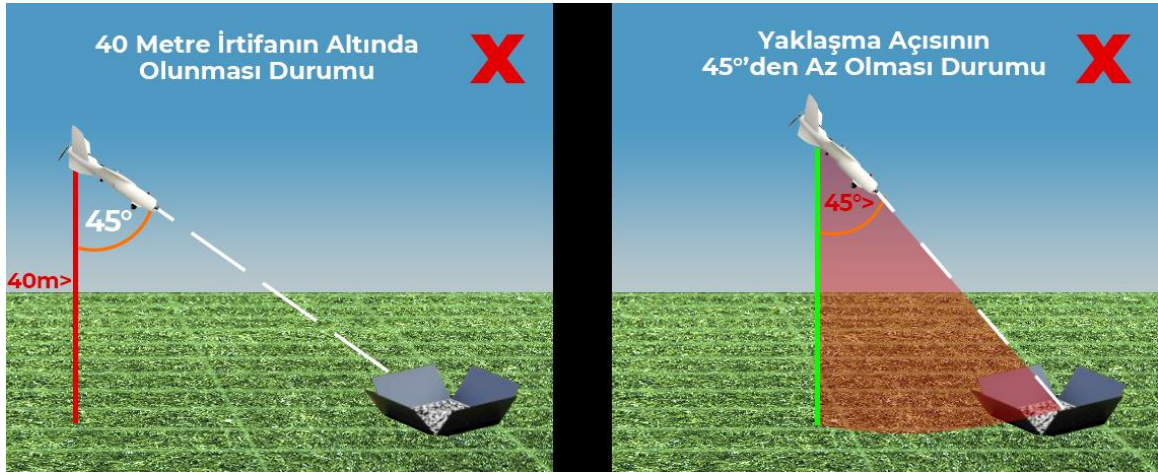
2. Elde edilen metrik değerler kullanılarak İHA ile QR kodu arasındaki açı hesaplanır.
3. Hesaplanan açı ve QR kod ile İHA arasındaki irtifa farkı göz önünde bulundurularak, İHA QR koda ulaştırılır.

Kamikaze İHA görevinde YKİ'den İHA'ya görevi bırakmasına yönelik bir komut geldiğinde ve/veya İHA'nın pas geçmesine sebep olacak durumlardan en az bir tanesi olduğunda, İHA pas geçme prosedürünü devreye alacaktır. Pas geçmeye sebep olabilecek durumların listesi ve pas geçme prosedürü aşağıda verilmiştir.

Pas Geçmeye Sebep Olabilecek Durumlar

- İHA'nın irtifasının 40 metrenin altında olması.
- İHA'nın alçalma aşamasından önce QR koda göre düşey ve yatay uzaklığının 45 derece açıyla alçalma için elverişli olmaması.

Pas geçmeye sebep olabilecek durumlar Şekil 4.2.2'de görselleştirilmiştir.



Şekil 4.2 2 Pas Geçmeye Sebep Olabilecek Durumların Görsel Gösterimi

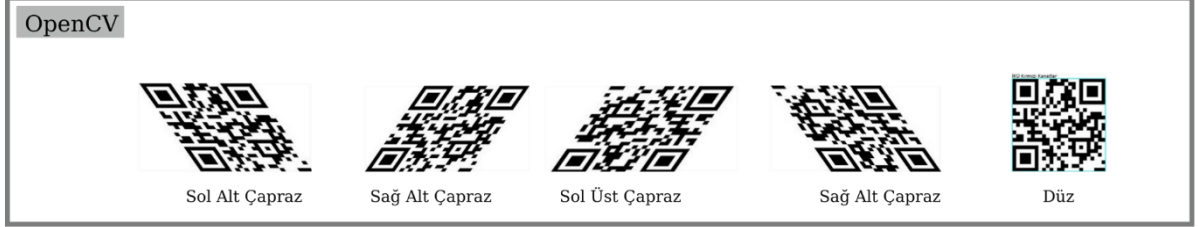
Pas Geçme Prosedürü

- İHA'nın kontrol altına almaya çalışacağı ilk parametre irtifası olacaktır. İHA irtifasını 70 metreye sabitleyene kadar yükselecektir.
- İHA irtifasını geri kazanmaya çalışırken perdövites (stall) durumuna düşmemesi için tırmanma bitene kadar motora tam güç verilecektir.
- İHA kendisine azami manevra şansını yaratabilmek için yarışma alanı sınırlamalarını göz önünde bulundurarak kendisini QR koda göre en uzak noktaya götürecektir.
- İHA kendini yarışma alanındaki en uzak noktaya konumlandırırken irtifası ve uzaklığı eşitlendiğinde, yeniden QR kod okuma denemesi yapacak veya Savaşan İHA görevine geçiş yapacaktır.

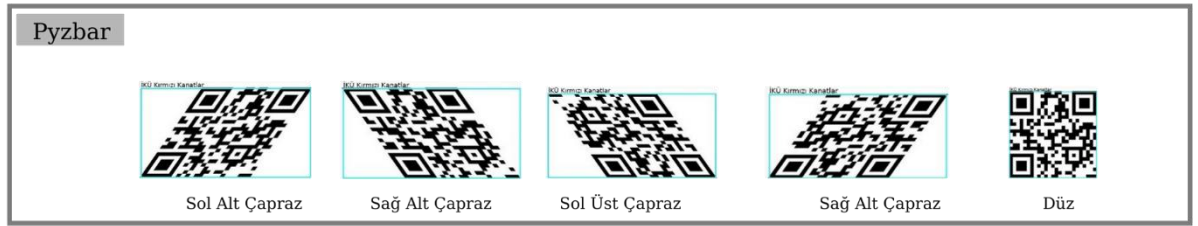
İHA'nın görevi iptal etmesine sebep olacak bir durum oluşmadığında İHA QR kod arayışında olacaktır. İHA'nın QR kodu okuyabilmesi için Python dilinde var olan Pyzbar kütüphanesi aşağıda listelenen sebeplerden dolayı tercih edilmiştir.

- QR kodunun kameraya dik olmadığı durumlarda da başarılı bir şekilde QR kodu okuyabilmesi.
- Esnek okuma açılarına sahip olmasına rağmen QR kodu okumada büyük gecikmeye sahip olmaması.

Şekil 4.2.3 ve Şekil 4.2.4’de sırasıyla OpenCV ve Pyzbar kütüphaneleri kullanılarak, üzerinde “İKÜ Kırmızı Kanatlar” yazan QR kod farklı bakış açılarında okunmaya çalışıldığında elde edilen sonuçlar görülmektedir. Şekillerden görüldüğü üzere OpenCV kütüphanesi farklı açılarda başarılı okuma gerçekleştiremezken, Pyzbar kütüphanesi başarılı bir şekilde okuma gerçekleştirmiştir.



Şekil 4.2 3 OpenCV Kütüphanesi Farklı Açılarda QR Kod Okuma Denemeleri



Şekil 4.2 4 Pyzbar Kütüphanesi Farklı Açılarda QR Kod Okuma Denemeleri

4.2.1. Kamikaze İHA Görevi Yapısal Dayanım Analizi

İHA, QR koda yönelim ve pas geçme prosedüründe gerçekleştireceği manevralar sebebiyle yapısal olarak basınç kuvvetine maruz kalacaktır. Bir cisim üzerindeki yük faktörü (G) cismin hızından bağımsız olup, bu bağımsızlık Eşitlik (11)’de verilen yük faktörü bağıntısından görülebilmektedir.

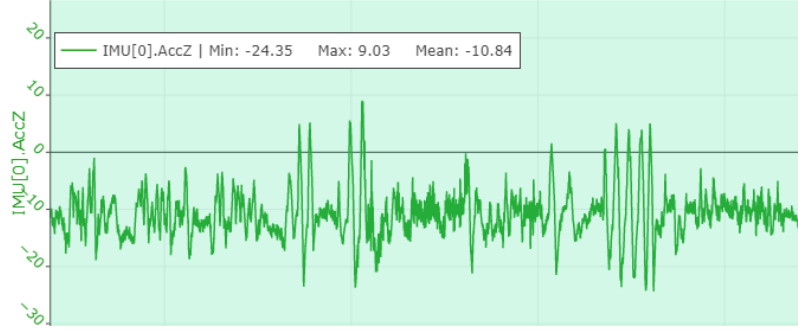
$$Yük Faktörü = 1/\cos(dönüş\ açısı) \quad (11)$$

İHA pas geçme prosedüründen önce ufuğa göre burun aşağı 45° dikilmede iken pas geçme sırasında İHA burun yukarı 20° dikilme gerçekleştirmektedir. İki hal arası açı farkı 65° olmakta ve bu dönüş açısı ile İHA üzerinde oluşan yük faktörü Eşitlik (11) yardımıyla

$$1/\cos(65^\circ) \cong 2,36 G$$

olarak hesaplanmaktadır.

İHA’nın hesaplanan yük faktörüne karşı yapısal dayanıklılığı uçuş testleri ile kanıtlanmış olup, uçuş testlerinden birinde kaydedilmiş ivme sensörü verisi Şekil 4.2.1.1’de görülmektedir.



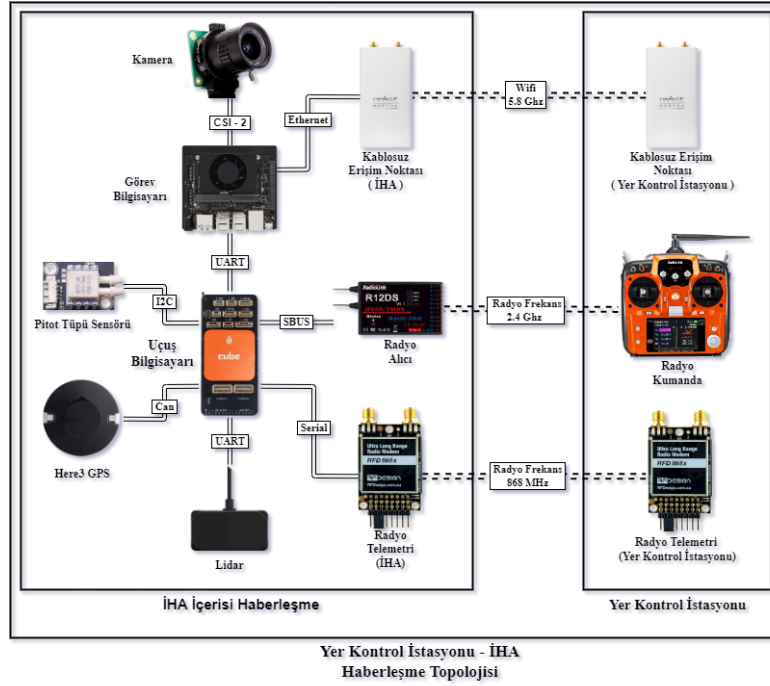
Şekil 4.2.1 1 Test Uçuşu İvme Grafiği

Şekil 4.2.1.1’de görülen değerler m/s^2 cinsinden olup bu değerlerin “G” cinsine dönüştürülmesi için 9,8’e bölünmesi gerekmektedir. İHA üzerinde bulunan ivme sensörü ufuğa göre 180° ters yerleştirildiğinden ivme verileri ters kaydedilmiştir. Şekil 4.2.1.1’de verilen değerler İHA’nın gerçekleştirdiği manevralar sırasında pozitif yönde azami $24,35m/s^2$ ve negatif yönde azami $9,03m/s^2$ kuvvete maruz kaldığını göstermektedir. Bu kuvvetler G cinsinden pozitif 2,48 G ve negatif 0,92 G’ye denk gelmektedir.

Şekil 4.2.1.1’de verilen Test Uçuşu İvme Grafiği ve 8.1.3 Kanat Yükleme Testi’nde elde edilen veriler İHA’nın yukarıda hesaplamaları yapılan pas geçme manevrası için gereken 2,36 G kuvvetten daha yüksek bir kuvvet olan 2,48 G’ye dayanabildiğini göstermiştir. Sonuçlar İHA’nın Kamikaze İHA görevi sırasında gerekli yapısal dayanıma sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME

Bu bölümde İHA içerisi haberleşme, Yer Kontrol İstasyonu – İHA arası haberleşme, Yer Kontrol İstasyonu – Yarışma Sunucusu arası haberleşme ve haberleşme kaybı konuları detaylandırılacaktır. İHA içerisi ve Yer Kontrol İstasyonu – İHA arası haberleşmede kullanılan topoloji Şekil 5.1’de gösterilmiş olup detaylı incelenmesi alt bölümlerde yapılacaktır.



Şekil 5 1 İHA İçerisi ve Yer Kontrol İstasyonu – İHA Arası Haberleşme Topolojisi

5.1. İHA İçerisi Haberleşme

Bu alt bölümde Şekil 5.1’de topolojisi görülen İHA içerisinde yer alan birimler arasındaki haberleşme incelenecektir.

Görev Bilgisayarı – Uçuş Bilgisayarı: Görev bilgisayarı ile uçuş bilgisayarı arası veri haberleşmesinde MAVLink protokolü, veri aktarımında ise Evrensel Asenkron Alıcı Verici (UART) kullanılmaktadır. UART birçok platformda tercih edilmekte olup veri alışverişini iki ayrı hat üzerinden gerçekleştirmektedir. Bu sayede birçok cihaz birbirine kolayca bağlanarak full-duplex bir veri iletimi sağlanabilmektedir.

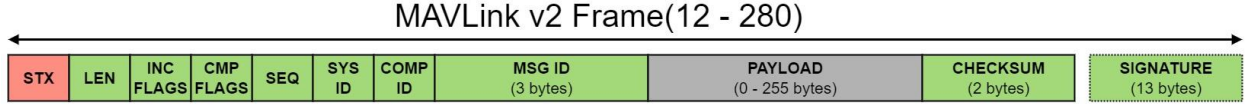
Görev Bilgisayarı – Kamera: Kameradan gelen görüntü verileri CSI-2 tipi bağlantı aracılığıyla görev bilgisayarına iletilmektedir. CSI-2 tipi bağlantı kullanılması görüntü verisinin bir aracı donanım olmadan doğrudan görev bilgisayarının işlem birimine iletimini sağlayarak görüntü iletim hızını artırmaktadır.

Görev Bilgisayarı – Kablosuz Erişim Noktası: Görev bilgisayarı ile kablosuz erişim noktası arasındaki iletişim iki cihaz üzerinde de bulunan Ethernet portları vasıtasıyla CAT6 tipi Ethernet kablosu kullanılarak sağlanmaktadır. CAT6 tipi Ethernet kablosu 10Gbps veri hızına sahip olup 5 ms mertebelerinde gecikme ile iki cihaz arasında HD görüntü aktarımı yapabilmektedir.

Uçuş Bilgisayarı – Here3 GPS: İHA içerisinde kullanılan GPS modülünün iletişim arabirimi CAN protokolünü (Kontrolör Alan Ağı) kullanmaktadır. CAN protokolü yüksek hızlı bir iletişim ağı protokolü olmakla beraber ağın çalışması için iki adet veri iletim kablosu (CAN_H, CAN_L) yeterlidir. CAN protokolü sahip olduğu dahili hata algılama ve gürültü bağışıklığı özellikleri ile GPS modülü için ideal bir haberleşme protokolüdür.

Uçuş Bilgisayarı – Radyo Telemetri: Telemetri modülü ile uçuş bilgisayarı arası haberleşme UART ile MAVLink protokolü aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Karşılıklı telemetri paketleri

(Yer Kontrol İstasyonu - İHA) MAVLink protokolü formatı ile düzenlenip uçuş bilgisayarına veya Yer Kontrol İstasyonuna aktarılır. MAVLink protokolünde kullanılan paket yapısı Şekil 5.1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 1 MAVLink Paket Yapısı

Uçuş Bilgisayarı – Pitot Tüpü Sensörü: Uçuş bilgisayarı ile pitot tüpü sensörü arası iletişim I2C (Inter-Integrated Circuit - Entegre Devreler Arası) protokolü aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu sensör elde ettiği analog basınç verisini sahip olduğu analog/dijital dönüştürücü aracılığıyla dijitale dönüştürerek uçuş kartına iletir.

Uçuş Bilgisayarı – Lidar: İki cihaz arası haberleşme UART üzerinden gerçekleştirilecek olup, fiziksel bağlantı portu olarak uçuş bilgisayarının GPS1 portu kullanılmaktadır.

Uçuş Bilgisayarı – Radyo Alıcı: Uçuş bilgisayarı ile RC alıcı arası haberleşme SBUS protokolü aracılığıyla sağlanmaktadır. SBUS, tek bir sinyal kablosu üzerinden 16 adede kadar kumanda kanal girdisini 100000 baud rate ile iletebilmektedir.

5.2. Yer Kontrol İstasyonu – İHA Arası Haberleşme

Bu alt bölümde Şekil 5.1’de topolojisi görülen Yer Kontrol İstasyonu – İHA arası haberleşme incelenecektir.

Kablosuz Erişim Noktası (İHA) – Kablosuz Erişim Noktası (YKİ): YKİ ve İHA üzerinde bulunan kablosuz erişim noktaları, Ubiquiti marka Rocket M5 model olup aynı cihazlardır. İki cihaz arası iletişim 5.8 GHz frekans bandında WPA2-PSK şifreleme yöntemi kullanan Wi-Fi bağlantısı ile gerçekleşmektedir. Yarışma esnasında İHA çok farklı manevralar yapabileceğinden, İHA üzerindeki antenler radyasyon alanı uçağın her tarafını kapsayacak şekilde konumlandırılmıştır. İki cihaz arası iletişimin kesilmesine karşı alınan önlemler 5.4 Haberleşme Kaybı alt başlığında incelenmiştir.

Radyo Kumanda – Radyo Alıcı: RC Kumanda ile RC alıcı arası bağlantı 2.4 GHz frekans bandında 12 kanal olacak şekilde kablosuz olarak gerçekleşmektedir. RC Kumanda, kullanıcı tarafından verilen komutları QPSK modülasyonu ile RC alıcıya göndermektedir. RC alıcı ise RC kumandadan gelen komut sinyallerini demodüle ederek uçuş bilgisayarına iletmektedir. İki cihaz arası iletişimin kesilmesine karşı alınan önlemler 5.4 Haberleşme Kaybı alt başlığında incelenmiştir.

Radyo Telemetri (İHA) – Radyo Telemetri (YKİ): İki cihaz arasındaki seri haberleşme 868-869 MHz frekans bandında MAVLink protokolü kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Haberleşme yer modülü ile hava modülü arasında olup, havadaki veri transfer hızı 500kbit/s’ye ulaşabilmektedir. Şekil 5.1.1’de gösterilen MAVLink paket yapısıyla oluşturulan veri paketleri PPM (darbe pozisyon modülasyonu) ile modüle edilerek alıcı tarafa gönderilmektedir. İki cihaz arası iletişimin kesilmesine karşı alınan önlemler 5.4 Haberleşme Kaybı alt başlığında incelenmiştir.

5.3. Yer Kontrol İstasyonu – Yarışma Sunucusu Arası Haberleşme

Yer Kontrol İstasyonu bilgisayarı İHA'dan alınan konum ve kilitlenme verilerinin yarışma sunucusuna iletimini sağlarken, eş güdümlü olarak yarışma sunucusundan alınan rakip İHA konumları ile yarışma sunucusu saatini İHA'ya aktarmaktan sorumludur. Bahsedilen görevlerin icrası için gereken yarışma sunucusuyla haberleşme, Ethernet kablosu aracılığı ile IEEE 802.3 LAN protokolü kullanılarak gerçekleştirilecektir. Yarışma sunucusunda çalıştırılan RESTful API ile haberleşme için ise HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) protokolü kullanılacaktır.

5.4. Haberleşme Kaybı

İHA'nın otonom ya da manuel kontrolü esnasında haberleşme kaybı yaşanması durumları ayrı ayrı göz önüne alınarak iki ayrı senaryo oluşturulmuştur.

Otonom Kontrol: İHA'nın otonom kontrolü sırasında oluşacak haberleşme kaybının tespiti için, İHA üzerinde çalışacak otonom haberleşme kaybı algılama algoritması geliştirilmiştir. Bahsi geçen algoritma 10 saniye boyunca İHA'nın YKİ ile iletişime geçememesi durumunda İHA'nın aktif görevini durdurarak kalkış yapılan alana otonom iniş yapmasını sağlamaktadır. Algoritma, İHA'nın otonom iniş denemelerinde 2 defa inişi tamamlayamadığı durumda uçuş sonlandırma işlemi gerçekleştirmektedir.

Manuel Kontrol: İHA'nın manuel kontrolü esnasında radyo kumanda ile 5 saniye boyunca haberleşme kaybı yaşanması durumunda uçuş bilgisayarı radyo kumanda fail-safe moduna geçerek uçuş sonlandırma işlemi gerçekleştirmektedir.

Otonom ve manuel haberleşme kaybı durumlarında devreye giren uçuş sonlandırma işlemi dört adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

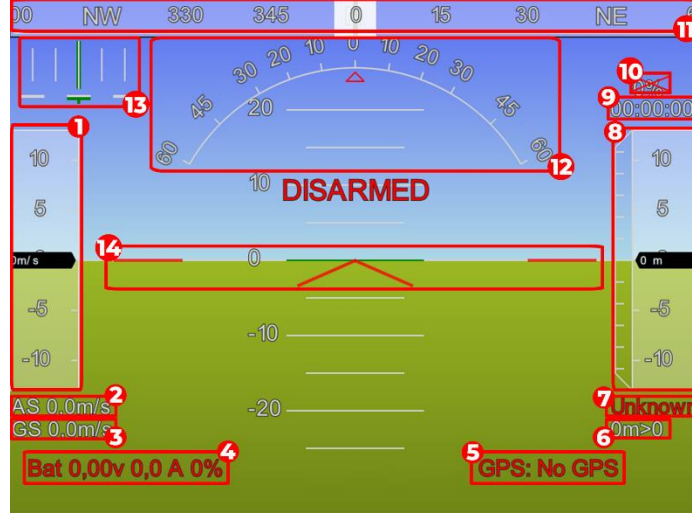
- Gazın kesilmesi
- Tam yukarı irtifa
- Tam sağ dümen
- Tam sağ (sol) kanatçık

6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

YKİ üzerinde açık kaynak kodlu “Mission Planner” arayüzü, bağlantı ve görev takip için ise C# tabanlı .net Framework ile geliştirilmiş olan İKK-YKİ (İKÜ Kırmızı Kanatlar – Yer Kontrol İstasyonu) ismi verilen arayüz kullanılmaktadır. Bu bölümde bahsi geçen arayüzler ve özellikleri detaylı şekilde incelenecektir.

6.1. Yer Kontrol İstasyonu Arayüzü

YKİ'de açık kaynak kodlu Mission Planner [13] uygulaması kullanılmıştır. Bu uygulama üzerinden İHA uçuş bilgisayarının GPS, lidar, pitot tüpü, ESC ve kumanda kalibrasyonlarını yapabilmenin yanında İHA'nın hız ve yükseklik gibi anlık verilerinin gösterildiği Şekil 6.1.1' de görülen HUD (Head Up Display) ekranının takibi de yapılabilmektedir. Mission Planner, İHA anlık verilerinin gösterimi yanında İHA'nın testleri sırasında otonom uçuş planlayıcısı olarak da kullanılmıştır. Ek olarak HUD ekranında İHA uçuş bilgisayarının verdiği hata mesajları ve hata kodları da gösterilmektedir. Bu sayede YKİ ekibi ve İHA pilotu uçuş bilgisayarı üzerinde ihtiyaç duyulan hata giderme prosedürlerini en kısa sürede gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 6.1 1 HUD (Head Up Display) Ekranı

Şekil 6.1.1’de etiketlenen bölümlerin gösterdiği bilgiler ve görevleri Tablo 6.1.2’de özetlenmiştir.

Tablo 6.1 2 HUD Ekranında Etiketlenen Bölümlerin Gösterdiği Bilgiler ve Görevleri

Bölüm (Eleman, Numara)	Gösterilen Bilgi / Görev
1)Hız Göstergesi (Hava Hızı)	İHA hızının hava hızı cinsinden gösterimi
2)Hava Hızı Göstergesi	İHA hızının hava hızı cinsinden tam ve ondalık halinde gösterimi
3)Yer Hızı Göstergesi	İHA hızının yer hızı cinsinden tam ve ondalık halinde gösterimi
4)Pil Durum Göstergesi	İHA pilinin anlık gerilim ve akımının gösterimi
5)GPS Durum Göstergesi	GPS Bağlantı durumunun gösterimi
6)Seçili Koordinat ve Uzaklık Göstergesi	İHA’nın seçili koordinatını ve bu koordinata olan uzaklığının gösterimi
7)Uçuş Modu Göstergesi	İHA’nın anlık geçerli uçuş modu gösterimi
8)İrtifa Göstergesi	İHA’nın anlık göreceli yüksekliğinin gösterimi
9)GPS Saati	GPS uydularından alınan saat verisinin gösterimi
10)Telemetri Bağlantı Kalite Göstergesi	İHA telemetri ve YKİ telemetri cihazı arası sinyal kalitesinin gösterimi
11)Uçuş Başı Göstergesi	İHA’nın anlık uçuş başının derece cinsinden gösterimi
12)Yatış Açısı Göstergesi	İHA’nın anlık yatış açısının derece cinsinden gösterimi
13)Rota Hatası ve Dönüş Göstergesi	İHA’nın oluşturulan rota takip hatası ve bu hatanın düzeltilmesi için yapılan dönüş şiddetinin gösterimi
14)Dikilme Açısı Göstergesi	İHA’nın dikilme açısının derece cinsinden gösterimi

6.2. İKK-YKİ (İKÜ Kırmızı Kanatlar – Yer Kontrol İstasyonu) Arayüzü

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Takımımız; özelleştirilebilen, verilere erişimi kolaylaştıran ve YKİ'nin yerine getirmesi istenen görevleri tek bir uygulama üzerinden gerçekleştirebilme olanağı sağlayan C# tabanlı .net Framework ile İKK-YKİ (İKÜ Kırmızı Kanatlar-YKİ) arayüzünü geliştirmiştir. İKK-YKİ arayüzü Bağlantı ve Pilot sayfaları adlı iki sayfadan oluşmaktadır. Bağlantı sayfası Şekil 6.2.1'de görülen üç bölümü içermektedir. Bu bölümler sırasıyla 1, 2 ve 3 olarak etiketlenmiş olup, Telemetri, Bağlantı ve Durum, Bağlantı Portları olarak isimlendirilmiştir.

The screenshot displays the 'Bağlantı' (Connection) page of the İKK-YKİ application. It is divided into three main sections, each highlighted with a red box and a number:

- 1) Telemetri (Telemetry):** Located on the left, it features a table with columns for 'Tarih' (Date) and 'Veri' (Data). Above the table are buttons for 'KAYDET' (Record) and 'KAYITLARI TEMİZLE' (Clear Records).
- 2) Bağlantı (Connection):** The central section, titled 'Bağlantı', shows the status of various components: 'İHA Kamera Bağlantısı: Bağlı', 'İHA Telemetri Bağlantısı: Bağlı', 'İHA UDP Server Bağlantısı: Bağlı', 'Sunucu Bağlantı Durumu(Telemetri): Bağlı', and 'Sunucu Bağlantı Durumu(Video): Bağlı'. Below this, a 'Durum' (Status) section provides competition information: 'Durum: Rakip İHA konumuna gidiyor', 'En Son kilitlenen İHA takım no: 15478', 'Kalan Yarışma Süresi: 13dk 07sn', and 'Toplam Kilitlenen İHA Sayısı: 7'.
- 3) Durum (Status):** The rightmost section, titled 'Yarışma Sunucusu Bağlantı Bilgileri(Video)', contains fields for video connection and buttons for 'CANLI VIDEO AKTARIMINI BAŞLAT' and 'CANLI VIDEO AKTARIMINI DURDUR'. Below it, 'Yarışma Sunucusu Bağlantı Bilgileri(Telemetri)' section has a 'CLIENT OLUŞTUR' button and 'GİRİŞ YAP' (Login), 'TELEMETRİ BAĞLAT' (Connect Telemetry), 'TELEMETRİ DURDUR' (Disconnect Telemetry), and 'ÇIKIŞ' (Exit) buttons. At the bottom, 'AYB-UKB Bağlantı Bilgileri' section shows IP and port fields (127.0.0.1 and 13000) and buttons for 'BAĞLAN' (Connect) and 'BAĞLANTIYI KES' (Disconnect).

At the bottom of the page, there is a navigation bar with buttons for 'Geri' (Back), 'Bağlantı' (Connection), 'Pilot', and 'İleri' (Next).

Şekil 6.2 1 Bağlantı Sayfası

Bağlantı sayfasının ana görevi yarışma, İHA ve sunucularla ilgili temel durum bilgilerinin kullanıcıya aktarılması ve sunucu bağlantılarının yapılmasıdır. Şekil 6.2.1'de gösterilen üç bölümün görevleri Tablo 6.2.2'de özetlenmiştir.

Tablo 6.2 2 Bağlantı Sayfası Görevleri

Bölüm / İsim	Görev
1)Telemetri	Sunucu ve YKİ'den gelen telemetri verileri kullanıcıya aktarılır. Gerçekleştirilen işlemlerin verileri burada gösterilir. Üzerinde bulunan "Kaydet" butonu ile veriler kaydedilebilirken, "Kayıtları Temizle" butonuyla da bu bölümde bulunan bütün veriler silinebilir.
2)Bağlantı ve Durum	Bağlantı: İHA'nın kamera, telemetri ve UDP sunucusuyla ve de YKİ'nin yarışma sunucusuyla olan bağlantı durumlarını gösterir. Durum: Yarışma ile ilgili temel durum bilgilerinin kullanıcıya aktarılmasını sağlar. İHA anlık durumunun yanında, en son kilitlenen rakip İHA'nın numarası, yarışmada kalan süre ve toplam başarılı kilitlenme sayısı burada gösterilir.

3)Bağlantı Portları	<p>Yarışma Sunucusu Video Bağlantı Bilgileri: İHA'dan alınan görüntünün yarışma sunucusuna aktarılması için gerekli olan bağlantı portlarının ayarlanabilmesini sağlar.</p> <p>Yarışma Sunucusu Telemetri Bağlantı Bilgileri: İHA'dan gelen telemetri verilerinin yarışma sunucusuna aktarılması için gerekli olan bağlantı portlarının ayarlanabilmesini sağlar.</p> <p>AYB-UKB bağlantı bilgileri: YKİ ile uçuş bilgisayarının bağlantısı için gerekli olan portların ayarlanabilmesini sağlar.</p>
----------------------------	--

Pilot sayfası Şekil 6.2.3'de görülmekle beraber sırasıyla; Harita, QR, Hızlı Komut, Uçuş Bilgileri ve Kamera olarak isimlendirilen 5 bölümden oluşmaktadır.



Şekil 6.2 3 Pilot Sayfası

Pilot sayfasının ana görevi kullanıcının en çok ihtiyaç duyduğu verilere (harita, uçuş bilgileri vb.) en kolay şekilde erişimi sağlamaktır. Şekil 6.2.3'de gösterilen beş bölümün görevleri Tablo 6.2.4'te özetlenmiştir.

Tablo 6.2 4 Pilot Sayfası Görevleri

Bölüm / İsim	Görev
1)Harita	İHA'nın konumu uydu haritası üzerinde gerçek zamanlı olarak gözlenebilir. Aynı zamanda sol üst köşede bulunan 3 boyutlu model sayesinde İHA'nın baktığı yön ve açı görselleştirilerek kullanıcıya aktarılır.
2)QR	İHA'nın okuduğu en son QR kod gösterilir. Bu sayede İHA'nın okunmak istenen QR kodu başarılı veya başarısız tespiti kullanıcıya aktarılır.
3)Hızlı Komut	Kullanıcının İHA'ya anlık müdahaleler yapabilmesi için en çok kullanılan komutlar bir araya toplanmıştır. Bu sayede acil durumlarda kullanıcının hızlı şekilde İHA'ya müdahale etmesine olanak tanınır.

4)Uçuş Bilgileri	Takım numarası, konum, irtifa, yön, hız, batarya durumu, hedefin merkezi, hedefin genişliği ve yüksekliği gibi veriler kullanıcıya sayısal bir biçimde sunulmuştur. Bu sayede kullanıcının uçuş sırasında istediği veriye kolayca erişimi hedeflenmiştir.
5)Kamera	İHA'dan alınan anlık kamera görüntüsünün kullanıcıya aktarılması sağlanır. Bu sayede İHA'nın kullanıcı tarafından kontrolü kolaylaştırılır. Kilitlenme kamerasında yer alan yeşil dörtgen "Kilitlenme Dörtgeni" olarak adlandırılır. Amacı kullanıcıya rakip İHA'ya yapılan kilitlenmeyi göstermektir. Mavi dörtgen ise "Hedef Vuruş Alanı" olarak adlandırılmaktadır. Bu dörtgen kilitlenmenin başarılı olarak kabul edilmesi için rakip İHA'nın içinde tutulması gereken alandır.

7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU

7.1. Yapısal Entegrasyon

İHA gövdesi olarak seçilen X-UAV Talon'un yapısal olarak birleştirilmesi için gerekli adımlar, çekilen fotoğraflarla aşağıda görselleştirilmiştir. Öncelikle Şekil 7.1.1'de gösterildiği gibi, uçak içerisinde iskelet görevini gören ahşap kontrplaklar hızlı yapıştırıcı ile birleştirilmiştir. Kullanılan yapıştırıcı EPO malzeme ile tepkimeye gireceğinden bu parçalar gövde ile birleştirilmeden önce ayrı bir ortamda yapıştırılmıştır.



Şekil 7.1 1 Ahşap Parçaların Yapıştırılması

Ahşap parçaların gövdeye yapıştırılması süreci Şekil 7.1.2'de gösterilmiştir. Birleştirilen ahşap parçaların uçak içerisindeki yerlerine sabitlenmesi amacıyla uçak gövde materyali olan EPO ile tepkimeye girmeyen UHU POR isimli yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırıcı oda sıcaklığında kolaylıkla kullanılabilir hazır bir karışımdır. Yapıştırıcının kuruması esnasında parçaların hareketini kısıtlamak amaçlı kısıkaçlar kullanılmıştır. Ahşap parçalar bu aşamada uçak gövdesinin bir tarafına sabitlenmiş olup, daha sonrasında gövdenin diğer tarafı üzerlerine bastırılarak yapıştırılacaktır.



Şekil 7.1 2 Ahşap Parçaların Gövdeye Yapıştırılması

Yan gövdeye sabitlenen ahşap parçaların yapıştırıcılarının kuruması esnasında uçağın kanatları içerisinde bulunan ve Şekil 7.1.3'te görülen kanat direklerinin birleştirilmesine geçilmiştir. Bu aşamada parçaların birleştirilmesinde yine UHU POR kullanılmıştır.



Şekil 7.1 3 Kanat Direklerinin Yapıştırılması

Kanat direklerinin yapıştırılması sonrasında daha önceden ahşap parçaların sabitlendiği gövde parçası ile üzerinde bir şey bulunmayan gövde parçasının birleştirilmesine başlanmıştır. Gövdenin yapıştırılması süreci Şekil 7.1.4'te gösterilmiştir. UHU POR yapıştırıcısı uygulanarak iki gövde parçası birbirine bastırma yöntemi ile birleştirilmiştir. Yapıştırıcının kuruması ve gövdenin boşluksuz yapışması amacıyla gövde birleştirildikten hemen sonra kağıt bant aracılığı ile sabitlenmiştir. Kağıt bant aracılığı ile gövde güvenceye alındıktan sonra gövdenin arka kısmında yer alan kısma V şeklinde olan kuyruk parçaları yapıştırılmıştır.



Şekil 7.1 4 Gövdenin Yapıştırılması

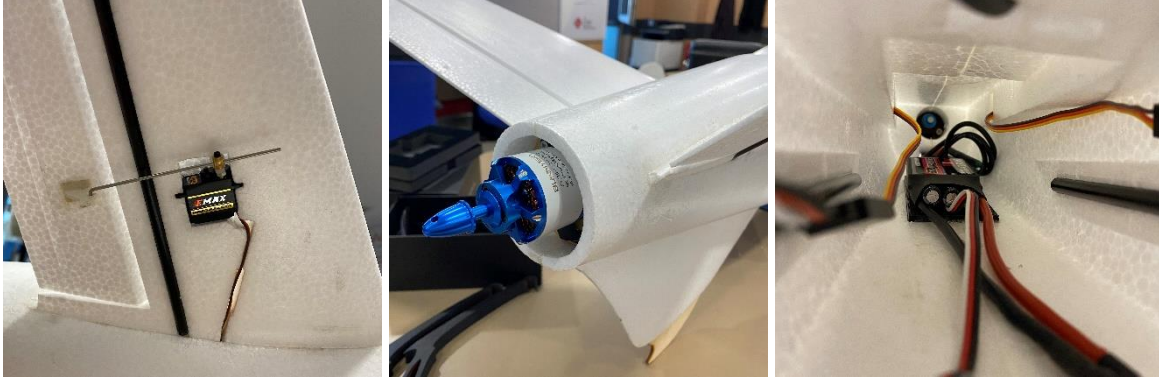
Yukarıda sıralı olarak verilen işlemler sonucunda İHA'nın ana gövdesi tamamlanmıştır. Uçuş alanına ulaşım esnasında İHA 3 parça olacak şekilde ayrılarak gövdenin hasar görmesinin önüne geçilecektir. İHA'nın ayrılan parçaları uçuş için uçuş alanında alyan anahtar yardımı ile birleştirilebilmektedir. Tamamlanan İHA gövdesi Şekil 7.1.5'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 5 Tüm Gövde

7.2. Mekanik Entegrasyon

İHA'nın mekanik entegrasyonu, içerisinde bulunan elektronik bileşenlerin bakım kolaylığı, ısı ve sistem verimliliği ön planda tutularak planlanmıştır. Servo, Motor ve ESC entegrasyonu Şekil 7.2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 7.2 1 Servo, Motor ve ESC Entegrasyonu

İHA'ya itki kuvveti sağlayacak olan motor, gövdenin arkasında bulunan gövde içerisindeki ahşap iskelete vidalanarak sabitlenmiştir. Motor itme kuvveti yaratarak İHA'nın uçuşunu sağlayacağından kullanılan sabitleme yönteminin yeterli olacağı belirlenmiştir.

İHA üzerinde bulunan kontrol kanatçıklarının hareketini sağlayacak olan servo motorlar kanatların içerisinde açılmış olan yuvalara sabitlenmiş olup, servoların kablo bağlantısı ise kanat içerisinde bulunan kablo kanallarından sağlanmıştır. Kabloların uçuşta kablo kanallarından çıkmasını önlemek amaçlı olarak kablolar kağıt bant yardımı ile kanallara sabitlenmiştir. Servo hareketleri, UHU POR strafor yapıştırıcısı ile kanatçık üzerine sabitlenmiş kontrol boynuzları ve çelik tel aracılığı ile kontrol kanatçıklarına iletilmektedir.

ESC, uçuş sırasında ısınma, kablolama kolaylığı ve elektromanyetik girişimin minimum olması kriterleri göz önünde bulundurularak motorun önünde konumlandırılmıştır. Arıza durumunda ESC'nin değiştirilmesi gerektiğinde, İHA gövdesinin zarar görmemesi için ESC ile İHA gövdesi arasında PLA plastikten yapılmış bir ara plaka kullanılmıştır. Bu plaka İHA gövdesine UHU POR ile yapıştırılmış olup, ESC bu plaka üzerine sıcak silikon yardımıyla sabitlenmiştir. Sigorta, pil ve görev bilgisayarı entegrasyonu Şekil 7.2.2'de gösterilmiştir. Sigorta, acil durumlarda rahat erişilebilmek amacıyla İHA'nın ön üst bölgesine konumlandırılmıştır.



Şekil 7.2 2 Sigorta, Pil ve Görev Bilgisayarı Entegrasyonu

Pil, İHA'nın burun kısmına yerleştirilmiş olup, hareketinin kısıtlanması ve ağırlık merkezinin ihtiyaca göre değiştirilebilmesi amacıyla bulunduğu bölgeye Velcro bant ile sabitlenmiştir.

Görev bilgisayarının konumlandırılmasında görüntü verisinin elde edileceği kamera ile hareket komutlarının iletileceği uçuş bilgisayarına yakınlığı göz önünde bulundurulmuş olup, bu amaçla pilin arkasında konumlandırılmıştır. Konumlandırılması esnasında görev bilgisayarının diğer kablo ve elektronik ekipmanlara fiziki temasının önlenmesi amacıyla bir koruyucu kap tasarlanmıştır. Tasarlanan koruyucu kap 3 boyutlu yazıcı aracılığı ile imal edilmiş olup, bu kap yardımı ile görev bilgisayarı İHA içerisindeki konumuna sabitlenmiştir.

GPS, kablosuz erişim noktası, uçuş bilgisayarı ve radyo alıcı entegrasyonu Şekil 7.2.3'te gösterilmiştir. Telemetri cihazı, ısınması göz önüne alınarak antenleri havaya bakacak şekilde hara aracının üst kısmına sabitlenmiştir. Cihazın üzerinde bulunan soğutucu blok uçağın üzerinde oluşan hava akımının yardımıyla ısınma sorununu ortadan kaldırmış olup, aynı zamanda bu konum antenler için gerekli olan fiziksel engelsiz iletişim hattı sağlamıştır.



Şekil 7.2 3 GPS, Kablosuz Erişim Noktası, Uçuş Bilgisayarı ve Radyo Alıcı Entegrasyonu

Uçuş bilgisayarı, sahip olduğu sensörlerin uçuş sırasında sağlıklı okuma yapabilmesi amacıyla hava aracının ağırlık merkezine yakın bir konuma yerleştirilmiştir. Söz konusu konumlandırma amacıyla ESC'de olduğu gibi bir ara plaka kullanılmış olup, bu plakada ESC'nin aksine iki ayrı plaka vida yardımı ile sabitlenmiştir. Alt plaka İHA gövdesi içerisine UHU POR ile yapıştırılmış olup, vida ile sabitlenen ikinci plaka uçuş kartına çift taraflı bant aracılığı ile sabitlenmiştir.

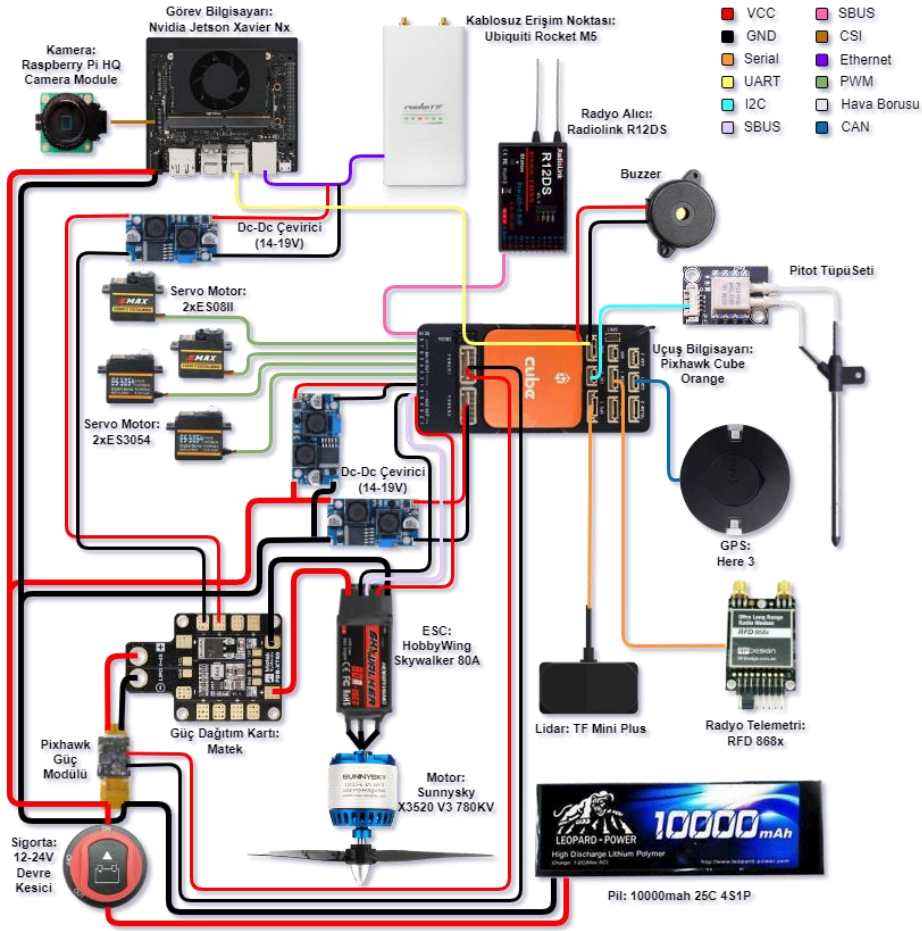
GPS alıcısı sinyal verimliliği göz önünde bulundurularak uçağın üst kısmında gökyüzü ile arasında engel bulunmayacak şekilde konumlandırılmıştır.

Kablosuz erişim noktası büyüklüğü ve ağırlığı sebebiyle İHA gövdesinin arka kısmında uçuş bilgisayarı ile ESC arasında konumlandırılarak bu bölgede kullanılmayan alanın değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Radyo alıcı antenleri uçak gövdesinden dışarı çıkacak biçimde uçak içerisindeki ahşap iskelete sıcak silikon aracılığı ile sabitlenmiştir.

7.3. Elektronik Entegrasyon

İHA’da kullanılan alt sistemlerin elektronik entegrasyon ve kablaj tasarımı Şekil 7.3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 7.3 1 Alt Sistemler Elektronik Entegrasyon ve Kablaj Tasarımı

İHA kablaj tasarımı aşamasında güç kabloları bağlandığı alt sistemlere yeterli gücü sağlayabilecek kalınlıkta seçilmiştir. Bu bağlamda ESC-pil arası bağlantı 10 AWG kablo ile sağlanmıştır.

İHA içerisi elektronik cihazların kablaj tasarımında kritik öneme sahip alt sistemlerde yedekli güç sistemleri kullanılmıştır. Bahsi geçen kritik öneme sahip alt sistemler servo motorlar, uçuş bilgisayarı ve radyo alıcıdır. Yedekli güç sistemlerinin amacı ESC veya motor arızası durumunda İHA’nın acil iniş yapabilmesini sağlamaktır.

Yarışma isterleri ve güvenlik doğrultusunda pilin pozitif kutbuna seri bağlanmış bir adet 12-24V devre kesici sigorta kullanılmıştır. Bu sigorta ihtiyaç halinde İHA içerisindeki tüm alt sistemlere giden gücü kesebilmektedir.

Kabloların birbirine lehimleme yöntemi ile birleştirilmesinde makaron, kabloların baskı devre pedlerine lehimleme yöntemi ile birleştirilmesinde ise sıcak silikon izolatör olarak kullanılmış olup, bu yöntemlerle İHA içerisinde kısa devrelere karşı önlem alınmıştır. Pil-Sigorta arası bağlantı takılıp çıkarılabilmesi amacıyla XT-60 tipi konnektör aracılığı ile sağlanmıştır.

İHA içerisinde yer alan güç kablolarının yarattığı elektromanyetik enterferansın asgari düzeyde tutulması amacıyla kablolar yerleştirilirken kendi eksenlerinde çevrilerek burğu şekli verilmiştir. Oluşabilecek elektromanyetik enterferansın daha da azaltılması amacı ile güç kabloları metal kablo çorabı ile sarılmıştır.

Kablosuz erişim noktası ile görev bilgisayarı arasındaki bağlantı CAT 6 tip Ethernet kablosu ile sağlanmıştır. CAT 6 1000 Mbps'ye kadar veri akışına izin verdiğinden, görev bilgisayarı ile kablosuz erişim noktası arasındaki iletişimin azami hızda gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Sistemde kullanılan güç kaynağı 10000 mAh 4S lityum polimer (Li-Po) tipi pildir. 16,8 ile 12,8 volt arası gerilim sağlayabilen bu pil, İHA içerisindeki tüm elektronik alt sistemlerin ihtiyacı olan gücü sağlamaktadır.

İHA içerisinde bulunan GPS, lidar ve pitot tüpü ihtiyacı olan gücü doğrudan uçuş bilgisayarı üzerinden sağlamaktadır.

Telemetri, kablosuz erişim noktası ve servo yedek güç sistemi, ihtiyacı olan gücü pil hattına bağlı olan 3 ayrı DC-DC çevirici aracılığı ile elde etmektedir.

8. TEST VE SİMÜLASYON

8.1. Alt Sistem Testleri

Bu bölümde yapılan testler ile simülasyonlara yer verilmiştir. Elde edilen veriler ilk aşamada yeterli olup bu veriler kullanılarak geliştirmelere devam edilecektir.

8.1.1. İtki Doğrulama Testi

İtki testinin yapılış amacı, İHA motorunun azami itki gücünün belirlenmesi ve İHA'nın seyir esnasında sabit bir irtifa ve hızda havada kalabilmek için ihtiyacı olan 171,356 gram'a karşı gelen itki gücünde çektiği akımın ölçülmesidir. Bu testin yapılması amacıyla Şekil 8.1.1.1'de görülen düzenek oluşturulmuştur. Test düzeneği, birbirlerine L şeklinde sabitlenmiş, eşit uzunlukta iki tahta parçası ile birleştirilmiştir. Düzenek, klasik mekanikte yer alan tork yasası kurallarına



8.1.1.1 İtki Testi Düzeneği

[14] dayanmaktadır. Bahsi geçen düzende akım ölçümü, pens ampermetre aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Test sonucunda 13x6.5 pervane ile azami güçte yaklaşık 3850 gram itki sağladığı belirlenmiştir. Bununla beraber İHA'nın sabit irtifa ve hızda uçabilmesi için gerekli

olan 171,356 gramlık itki, ani manevralar göz önüne alınarak emniyet amaçlı 2300 gram olarak hesaplanmış ve bu itkinin sağlanması için motorun ortalama 29,3 amper akım çektiği ölçülmüştür.

8.1.2. Haberleşme Menzil Testi

Haberleşme menzil testinin yapılaş amacı, İHA ile Yer Kontrol İstasyonu arasındaki iletişimin oluşturulan kablosuz noktadan noktaya ağ (point to point network) ile kesintisiz bir şekilde sağlandığını teyit etmek ve haberleşme bileşenlerinin yarışma isterlerini karşılayıp karşılamadığını test etmektir. Bu testte haberleşme cihazları ve antenler ile farklı konfigürasyonlar denenip azami haberleşme menzilleri ölçülmüştür. Bahsi geçen test sonuçları Tablo 8.1.2.1’de verilmiştir.

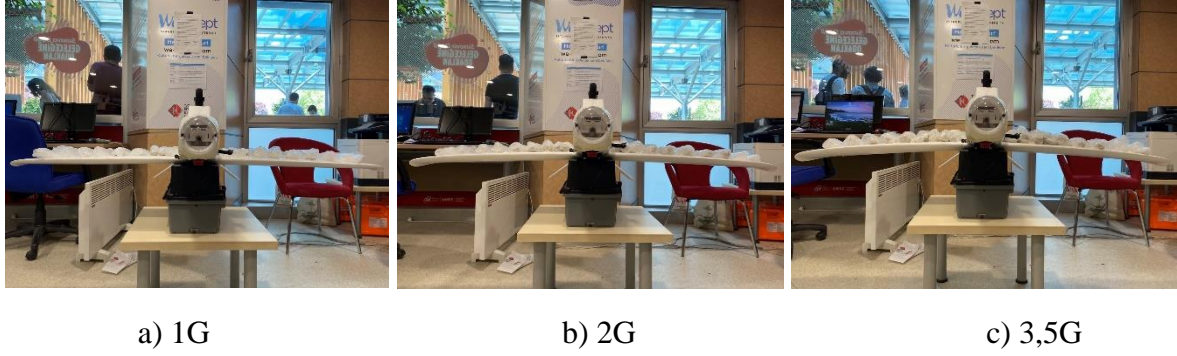
Tablo 8.1.2 1 Farklı Donanım Bileşenleriyle Gerçekleştirilen Haberleşme Menzil Testleri

Anten (İHA)	Tipi	Haberleşme Cihazı (İHA)	Anten Tipi (YKİ)	Haberleşme Cihazı (YKİ)	Azami Haberleşme Menzili
Pagoda Anten		Ubiquiti Rocket M5	Patch Anten	Ubiquiti Nanostation	200 m
Yonca Yapraklı Anten		Ubiquiti Rocket M5	Patch Anten	Ubiquiti Nanostation	450 m
Yonca Yapraklı Anten		Ubiquiti Rocket M5	Yonca Yapraklı Anten	Ubiquiti Rocket M5	600 m
Pagoda Anten		Ubiquiti Rocket M5	Pagoda Anten	Ubiquiti Rocket M5	680 m
Yonca Yapraklı Anten		Ubiquiti Rocket M5	Pagoda Anten	Ubiquiti Rocket M5	780 m

Tablo 8.1.2.1’den görülebileceği üzere Yonca Yapraklı Anten – Ubiquiti Rocket M5 ve Pagoda Anten – Ubiquiti Rocket M5 konfigürasyonu, 780 m azami haberleşme menzili ile en başarılı sonucu vermiştir. Yarışmada ihtiyaç duyulan azami haberleşme menzili yaklaşık 630 m’dir. Belirlenen sistem yarışma isterlerini karşılamaktadır.

8.1.3. Kanat Yüklenme Testi

Kanat yüklenme testinde İHA’nın manevra yaparken maruz kalacağı merkezci kuvvetlere dayanımının doğrulanması amaçlanmıştır. Test senaryoları esnasında düz 1G, 2G ve 3,5G merkezci dönüş kuvveti yaratan bir dönüş göz önüne alınmış olup, bu senaryolarda İHA ana taşıyıcı kanadının alacağı şekil ve eğilme miktarları gözlemlenmiştir. Testi gerçekleştirmek için Şekil 8.1.3.1’de görüldüğü gibi İHA ters çevrilip kanatları altında destek bulunmayacak şekilde bir zemine yerleştirilmiş ve kanadın üzerinde bükülme ölçümünün yapılabilmesi için belirlenen referans noktalarının yer ile arasındaki mesafe kanadın yüksüz durumunda ölçülmüştür.



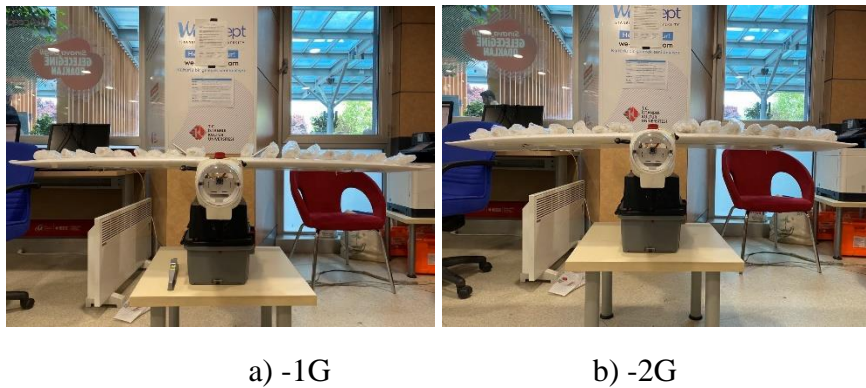
Şekil 8.1.3 1 Pozitif G Kuvvet Testi

İlk olarak İHA'nın düz uçuşu esnasında kanat üzerine uygulanacak kuvvet olan 1G, İHA ağırlığı kadar yani 3100 gram kuvvet, kum torbaları aracılığı ile kanat üzerine dağıtılmıştır. İkinci aşama olarak İHA'nın dönüş manevrası esnasında kanat üzerine uygulanacak kuvvet olan 2G, İHA ağırlığının iki katı kadar yani 6200 gram kuvvet, kum torbaları aracılığı ile kanat üzerinde dağıtılmıştır. Üçüncü aşama olarak ise 3,5G, İHA ağırlığının üç buçuk katı kadar yani 10850 gram kuvvet, kum torbaları aracılığı ile kanat üzerine dağıtılmıştır. Yük dağıtımı yapılırken kanadın gövdeye yakın olan kaldırma noktasına daha fazla, kanadın uç bölümlerine ise daha az olacak şekilde kum torbalarının ağırlığı düzenlenmiştir. Yapılan testler sonucu elde edilen veriler Tablo 8.1.3.2'de verilmiştir.

Tablo 8.1.3 2 Kanat Yüklenme Testi Pozitif G Kanat Eğilme Miktarları

Referans Nokta Numarası	Referans Noktasının Gövdeden Uzaklığı (cm)	Kanat	Eğilme Miktarı (cm)			
			1G (3100 g)	2G (6200 g)	3,5G (10850 g)	Kabul Edilebilir Azami Eğilme Miktarı
1	53	Sol	0,5	1,2	2	<3,6
2	29	Sol	0,3	0,4	1,5	<2,4
3	12	Sol	0,2	0,3	0,3	<1,2
4	12	Sağ	0,2	0,3	0,3	<1,2
5	29	Sağ	0,3	0,4	1,5	<2,4
6	53	Sağ	0,5	1,2	2	<3,6

Ayrıca Şekil 8.1.3.3'te görüldüğü gibi İHA düz ve kanatları altında destek bulunmayacak şekilde bir zemine yerleştirilip, İHA'nın Kamikaze İHA görevi sırasında gerçekleştireceği pike manevrasında maruz kalacağı negatif G kuvvetleri için kanat yüklenme testi yapılmıştır.



Şekil 8.1.3 3 Negatif G Kuvvet Testi

Negatif G kuvvetlerinin gözlemi için yapılan -1G ve -2G testlerinin sonuçları Tablo 8.1.3.4’te verilmiştir.

Tablo 8.1.3 4 Kanat Yüklenme Testi Negatif G Kanat Eğilme Miktarları

Referans Nokta Numarası	Referans Noktasının Gövdeden Uzaklığı (cm)	Kanat	Eğilme Miktarı (cm)			
			-1G (3100 g)	-2G (6200 g)	Kabul Azami Miktarı	Edilebilir Eğilme
1	53	Sol	1,8	2	<3,6	
2	29	Sol	1	1,3	<2,4	
3	12	Sol	0,4	0,5	<1,2	
4	12	Sağ	0,4	0,5	<1,2	
5	29	Sağ	1	1,3	<2,4	
6	53	Sağ	1,8	2	<3,6	

Elde edilen veriler incelendiğinde kanatta gerçekleşen eğilmenin kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı gözlemlenmiş olup, kanat üzerinde oluşan deformasyonlar uygulanan kuvvet kaldırıldığında yok olmuştur.

Kanat yüklenme testi ve uçuş testi verileri İHA’nın -2G ile +3,5G aralığında merkezci kuvvet gerektiren manevraları güvenle gerçekleştirebileceğini göstermektedir.

8.1.4. Otonom Kilitlenme Testi

Otonom kilitlenme ve takip testi için yarışma ortamının, İHA’nın ve kontrolcü yazılımının bir arada test edilebileceği bir platforma ihtiyaç duyulmuştur. Bahsi geçen ihtiyaç doğrultusunda ROS (Robot Operating System) ile Gazebo platformunun kullanımına karar verilmiştir. Bu platformun seçim nedenleri:

- Açık kaynak kodlu erişime sahip olması
- Ardupilot SITL ile bağlantı kurabilmesi
- Kameralardan kaynaklanabilecek performans kaybını en aza indirgeyerek kamera görüntüsünün ROS tarafından alınabilir olması

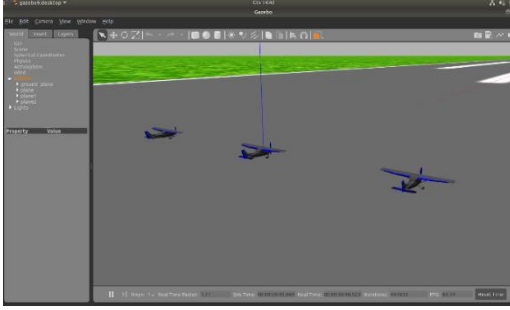
olarak sıralanabilir.

Yarışma alanının en gerçekçi şekilde canlandırılabilmesi için simülasyon ortamının Ardupilot yazılımını destekliyor olması, it dalaşı (dog fight) durumunu gerçekleyebilmesi için çoklu araç eklenebilmesi ve takip algoritması saniyede 35 kare veri gönderimi sağlayacağı için en az 35 FPS (Frame per Second) hızında görüntü yenilemesini sağlaması gerekmektedir. ROS ile Gazebo platformu bahsi geçen istekleri tamamıyla karşılayabilmektedir.

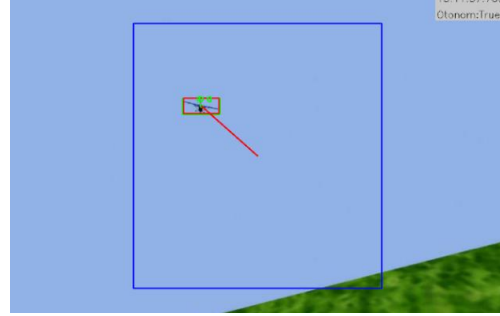
Ardupilot SITL ile Gazebo ortamı Ardupilot dokümantasyonunda belirtilen haberleşme eklentisi ile haberleştirilmektedir. Testler için İHA modelleri ile nesne takibi – kaçış yazılımı geliştirilerek takip algoritmasının testleri yapılmıştır. Simülasyon ortamında kullanım için oluşturulan İHA modelleri Şekil 8.1.4.1’de gösterilmiştir.

Testlerin yapılış amacı, tasalanan kontrolcü algoritmanın İHA üzerinde kararlı çalışıp çalışmadığını gözlemlemek ve test sonuçlarına göre parametreleri belirleyip sistemi daha

optimize hale getirmektir. Rakip İHA görüntüye girdiğinde hedef tespiti yapılarak kilitlenme dörtgeni içine alınır. Görüntü merkezi ile Rakip İHA'yı çevreleyen dörtgen merkezi arası mesafeyi gösteren çizgi çizilir. Şekil 8.1.4.2 simülasyon esnasında gerçekleşen rakip İHA takibini göstermektedir.

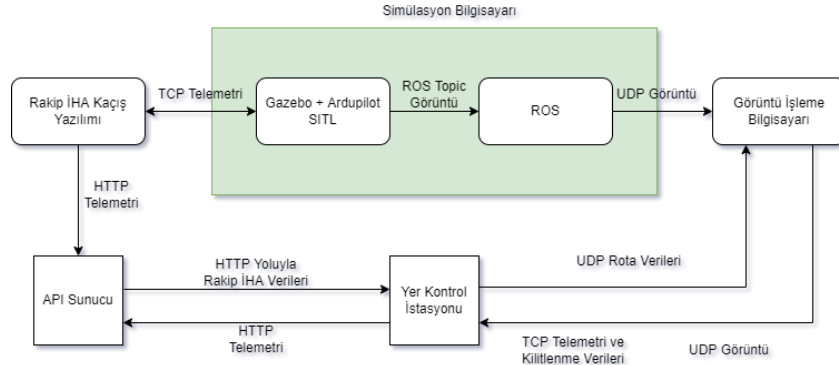


Şekil 8.1.4 1 Simülasyon Ortamı İHA Modelleri



Şekil 8.1.4 2 Rakip İHA Takip Ortamı

Otonom takip testleri iki ya da üç İHA modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test ortamındaki akışı gösteren diyagram Şekil 8.1.4.3'te verilmiş ve aşağıda açıklanmıştır.

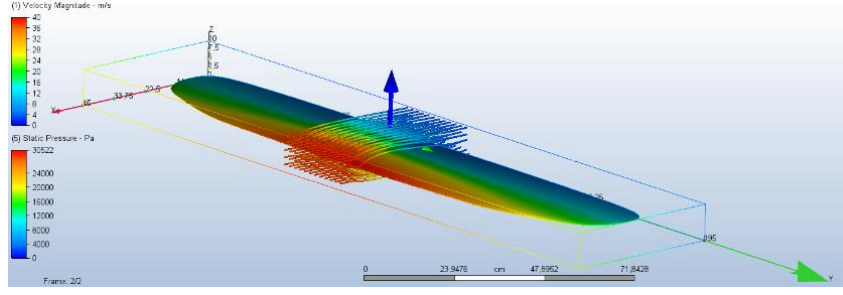


Şekil 8.1.4 3 Test Ortamı Akış Diyagramı

Test sırasında kullanılan bilgisayarlar yerel ağ ile birbirlerine bağlanırlar. Simülasyon bilgisayarı, yarışma alanını canlandırmak için kullanılmaktadır. İHA modelleri, araçların otopilot yazılımları simülasyon bilgisayarıda çalıştırılır. Simülasyondan elde edilen görüntü, ROS aracılığı ile görüntü işleme bilgisayarına aktarılır. Rakip İHA kaçış yazılımı belirli bir alanda rastgele noktalar seçerek bir rota çizer ve rakip İHA o rota üzerinde ilerler. Aynı zamanda API sunucusuna her saniye telemetri verisi gönderir. YKİ, görüntü işleme bilgisayarından aldığı telemetri verisini API sunucusuna gönderir ve oradan rakip İHA'ların koordinatlarını alır. Bu koordinat bilgilerine göre bir rota çizer ve görüntü işleme bilgisayarına gönderir. Böylece rakip İHA takibi ve tespiti yapılır.

8.1.5. Yapısal Test

Yapısal kanat testi simülasyonu Autodesk CFD programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu testin amacı EPO köpük malzemesinden oluşan İHA kanadının üzerinde oluşacak kuvvetleri gözlemlemektir. Simülasyon sırasında yapılan analizde İHA'nın kanadı rüzgar tüneline sokulmuştur. Analiz sonuçları Şekil 8.1.5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 8.1.5 1 Rüzgar Tüneli Yöntemi ile Yapısal Test Sonuçları

Şekil 8.1.5.1’de görülen analiz sonuçlarına göre İHA kanadı 40 m/s rüzgar hızına maruz kaldığında kanat üzerinde oluşan maksimum statik basınç değeri 30522 Pa’dır. Bu basınç nedeniyle kanat üzerinde ciddi deformasyonların oluşmadığı gözlemlenmektedir.

8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi

Bu bölümde uçuş testi ve uçuş kontrol listesi iki ayrı başlık altında incelenecektir.

8.2.1. Uçuş Testi

İHA ile şu ana kadar toplam 7 adet uçuş testi gerçekleştirilmiştir. Bu uçuşlarda İHA’nın performans ölçümü için (uçuş süresi, PID ayarlamaları, tutunma hızı vb.) 3 farklı uçuş modu kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla manuel, FBWA ve otonom modlardır. Bahsi geçen uçuşlar ile ilgili ayrıntılı bilgiler Tablo 8.2.1.1’de özetlenmiştir.

Tablo 8.2.1 1 Gerçekleştirilen Uçuş Testleri Verileri

Uçuş Tarihi	Kullanılan Uçuş Modları	Uçuş Süresi
12.02.2022	Manuel - FBWA	16 dk
19.02.2022	Manuel	17 dk
12.04.2022	Manuel - FBWA - Otonom	21 dk
22.04.2022	Manuel - FBWA - Otonom	22 dk
06.05.2022	Otonom	18 dk
13.05.2022	FBWA - Otonom	19 dk
17.05.2022	FBWA - Otonom	25 dk

Yapılan denemeler ile İHA’nın uçuşa elverişliliği kanıtlanmış olup uçuş sırasında YKİ’den elde edilen veriler ile İHA yazılımındaki bazı parametreler için ince ayar yapılmıştır. İHA’nın otonom uçuş testlerinden önce gerçekleştirilen manuel uçuşlarda sorunsuz uçuş yaptığı pilot tarafından onaylanmıştır. Tekrarlı yapılan manuel uçuş testlerinin ardından İHA’nın FBWA ve otonom uçuş modlarında testleri yapılmıştır. Bu aşamada yaşanan bazı sıkıntılar (parametre ayarları, PID değerleri, daha kararlı uçuşlar için ağırlık dağılımında ince ayar yapılması vb.) tekrarlı uçuşlar ile büyük oranda giderilmiştir.

Tablo 8.2.1.1’de belirtilen uçuşlardan elde edilen verilerin ortalama değerleri Tablo 8.2.1.3’de verilmiş olup Şekil 8.2.1.2 ise 13.05.2022 tarihli uçuş testine ait görseldir.



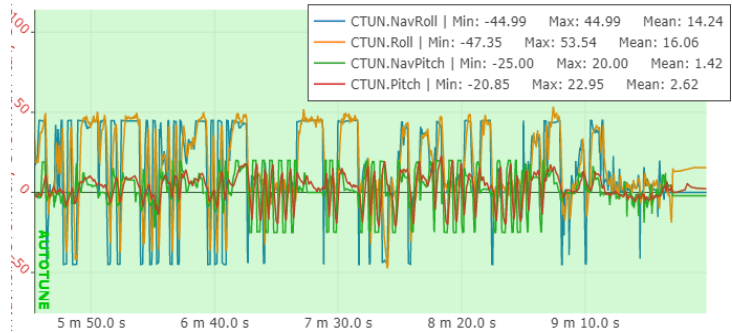
Şekil 8.2.1 2 13.05.2022 Tarihli Uçuş Testi Görseli

Tablo 8.2.1 3 Gerçekleştirilen Uçuş Testleri İçin Ortalama Parametre Değerleri

Test Edilen Parametreler	Elde Edilen Değerler
Azami Kalkış Ağırlığı	4000 g
Tutunma Hızı	12 m/s
Uçuş Hızı	15 m/s (seyir) – 30 m/s (azami)
Uçuş Süresi	20 dk
Azami Haberleşme Menzili	4 km
Azami Hareket Açıları	60° (dikilme) - 90° (yatış)

Autotune Testi

İHA'nın otonom ve yarı-otonom modlarda uçuş komutlarına daha iyi tepki verebilmesi amacıyla dikilme ve yatış açılarında kullanılan parametrelerde ince ayarlamalar yapılması gerekmektedir. Bu ince ayarlamalar uçuş bilgisayarında kullanılan Ardupilot yazılımının içerisindeki autotune modu ile uçuş esnasında yapılan manevralar aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir. Testin amacı autotune modu ile uçuş esnasında dikilme ve yatış eksenlerinde ani ve yavaş manevralar icra edilerek İHA için en uygun olan P, I ve D parametrelerini elde etmektir. Şekil 8.2.1.4'te gösterilen autotune hedeflenen ve gerçekleşen manevra açısı grafiğinde, hedeflenen değerler pilotun İHA'nın yapmasını istediği açısal hareketi temsil ederken, gerçekleşen ise İHA'nın pilotun emrini gerçekleştirirken yaptığı gerçek açısal hareketi temsil etmektedir. Mavi ve yeşil renkli grafikler sırası ile hedeflenen yatış ve hedeflenen dikilme iken, turuncu ve kırmızı grafikler sırasıyla gerçekleşen yatış ve gerçekleşen dikilme açıları olmuştur. Şekilden de görülebileceği üzere hedeflenen yatış ve dikilme ile gerçekleşen yatış ve dikilme arasındaki fark uçuş ilerledikçe azalmaktadır, bu durum autotune esnasında belirlenen P, I ve D parametrelerinin en uygun olan değerlere yaklaştığını göstermektedir. P, I ve D parametreleri en uygun değerlere yaklaştıkça bu hata daha da azalmakta olup İHA'nın uçuş komutlarına daha iyi tepki vermesi sağlanmaktadır.



Şekil 8.2.1 4 Autotune Hedeflenen ve Gerçekleşen Manevra Açısı Grafiği

8.2.2. Uçuş Kontrol Listesi

Uçuş öncesi kontrollerin emniyetli bir şekilde yapılabilmesi adına içerisinde 30 madde bulunduran ve Tablo 8.2.2.1’de verilen bir uçuş kontrol listesi oluşturulmuştur. Bu sayede yüksek oranda kaza, kırım ve yaralanmaların önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

Tablo 8.2.2 1 Uçuş Kontrol Listesi

Sıra No	Madde	Açıklama	Sıra No	Madde	Açıklama
1	Gövde mekanik kontrolü	Gövde yapısal bütünlüğünün kontrolü	2	Aviyonik cihazların kontrolü	Aviyonik cihazların yapısal bütünlük kontrolü
3	Sensör kontrolü	GPS, pitot tüpü ve lidar sensörlerinin yapısal kontrolü	4	Aviyonik cihazların gövdeye yerleştirilmesi	Cihazların İHA içerisine yerleştirilmesi
5	Motor ve ESC’nin gövdeye montajı	Motor ve ESC’nin elektronik ve mekanik bağlantılarının sağlanması	6	Kanatların gövdeye montajı	Kanatların bağlantısı ve bağlantı noktalarının kontrolü
7	Servoların uçuş bilgisayarına elektronik bağlantısı	Servoların elektronik bağlantılarının kontrolü	8	Telemetri ve kablosuz erişim noktalarının elektronik bağlantısı	Cihazların elektronik ve haberleşme kablo bağlantılarının kontrolü
9	Pil gerilim kontrolü	Pillerin gerilimlerinin kontrol edilip tam şarjlı olduğunun onaylanması	10	Pilin İHA içerisine yerleştirilmesi	Pilin İHA içerisinde belirlenen alana yerleştirilmesi
11	Uçuş ve görev bilgisayarlarının elektronik bağlantılarının sağlanması	Uçuş ve görev bilgisayarlarının güç ve haberleşme bağlantılarının kontrolü	12	İHA içerisindeki sistemlerin güç bağlantısının sağlanması	İHA içerisinde elektronik sistemlere güç bağlantısının sağlanması
13	Ağırlık merkezi kontrolü	İHA üzerinde hesaplanan ağırlık merkezinin doğruluk kontrolü	14	İHA kalkış ağırlığı kontrolü	İHA’nın ağırlığının kg cinsinden ölçümü
15	İHA, YKİ arası iletişim kontrolü	Telemetri cihazları ve kablosuz erişim noktalarının bağlantı kontrolü	16	Uçuş bilgisayarı ve görev bilgisayarı bağlantı kontrolü	Uçuş ve görev bilgisayarlarının karşılıklı haberleşme kontrolü
17	Servo güç iletimi kontrolü	Servoların hareket kontrolü	18	Pitot tüpü kontrolü	Pitot tüpünün veri doğruluğunun kontrolü
19	Pusula kontrolü	Pusula veri doğruluğunun kontrolü	20	Lidar kontrolü	Lidar veri doğruluğunun kontrolü
21	Görülen GPS uydu sayısı kontrolü	Bağlantı kurulan GPS uydu sayısının kontrolü	22	RC Kumanda iletişim kontrolü	Pilotun uçuş bilgisayarı ile olan iletişim kontrolü

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

23	Servo hareket kontrolü	İHA kontrol yüzeylerinin hareket kontrolü	24	Uçuş modları kontrolü	Uçuş bilgisayarındaki uçuş modlarının tepki kontrolleri
25	Uçuş bilgisayarı hata kontrolü	Uçuş bilgisayarının sensör kalibrasyonlarının kontrolü	26	Kamera ve telemetri verilerinin gecikme kontrolü	Yki ve İHA arası iletişim gecikme kontrolü
27	Yarışma sunucusu bağlantısı kontrolü	Yarışma sunucusunun bağlantı ve gecikme kontrolü	28	Pervanenin uçağa montajı	Pervanın motor bağlantısının sağlanması ve kontrolü
29	Tam güç İHA elektronik kontrolü	Motorların tam güç çalıştırılmasıyla aviyonik sistemlerin kontrolü	30	Rüzgar yönü ve şiddetinin tahsisi ile kalkış prosedürü kontrolü	İHA'nın kalkışa hazırlanması için rüzgar ve kalkış prosedür kontrolü

9. GÜVENLİK

İHA tasarımı, yarışma şartnamesindeki güvenlik isterlerini karşılayacak şekilde yapılmıştır. Buna ek olarak yarışmacıların güvenliğini sağlamak adına ek önlemler alınmıştır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Olası yaralanma ihtimallerine karşı hem çalışma hem de yarışma alanlarında ilk yardım çantası bulundurulacaktır.
- Herhangi bir sebepten çıkabilecek yangın durumlarına karşı hem çalışma hem de yarışma alanlarında yangın söndürücü bulundurulacaktır.
- Li-Po pilin taşınması esnasında oluşabilecek olumsuz durumların önüne geçilmesi için piller “yanmaz Li-Po pil taşıma çantası” içerisinde bulundurulacaktır.
- İHA içerisinde yer alan bileşenler, emniyet teli ile İHA gövdesine ekstra güvenlik amacıyla sabitlenecektir.
- Haberleşme kaybı durumunun yaşanmasının önlenmesi adına birden fazla anten konfigürasyonu denenmiş olup, yarışma alanının olabilecek en uzak mesafesinde iletişimi sağlayabilecek anten tipleri seçilmiştir (bkz. Tablo 8.1.2.1)
- Sinyal kaybı durumlarında İHA'nın kontrolden çıkması riskini önlemek için uçuş kartına “fail-safe” modu eklenmiştir.
- Sigorta, İHA'nın dış yüzeyinde, kolay erişilebilir şekilde monte edilmiştir. Acil durumlarda kapatılması halinde tüm sistemdeki gücü kesecektir.
- Kullanılan kabloların gerekli akımları ilgili gerilimde taşıyabildiği el ile yapılan hesaplarda kanıtlanmış olup, gerekli kalınlıktan 1 AWG daha kalın bir kablo tercih edilmiştir.
- APC pervane tipi, diğer pervanelere göre (tahta, plastik vb.) daha ince bir kesit alanına sahiptir. Bu nedenle aşırı rüzgar altında bile sürtünmeden minimum derecede etkilenmektedir. Bu sayede APC pervane ile İHA uçuşundaki kararlılık artırılmış ve itki sistemi veya hava şartlarından kaynaklı oluşabilecek kazaların önüne geçilmiştir.
- İHA üzerindeki vida, cıvata ve somunların yerleştirilmesi esnasında “vida gevşemezlik yapıştırıcısı” kullanılıp ilgili parçaların titreşimden gevşemesi durumu engellenmiştir.

10. REFERANSLAR

- [1] 3DR, «The Cube Orange,» [Çevrimiçi]. Available: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-the-cube-overview.html?highlight=pixhawk%20cube>.
- [2] Nvidia, «Nvidia Jetson Xavier NX,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.nvidia.com/tr-tr/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-xavier-nx/>.
- [3] R. Pi, «Pi HQ Camera,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.raspberrypi.com/documentation/accessories/camera.html>.
- [4] RFDESIGN, «RFD 868X Manual,» [Çevrimiçi]. Available: <http://files.rfdesign.com.au/Files/documents/RFD900x%20DataSheet.pdf>.
- [5] Cubepilot, «Here3 GPS,» [Çevrimiçi]. Available: <https://docs.cubepilot.org/user-guides/here-3/here-3-manual>.
- [6] PX4, «Airspeed Sensor,» [Çevrimiçi]. Available: <https://docs.px4.io/master/en/sensor/airspeed.html>.
- [7] RadioLink, «AT10II,» [Çevrimiçi]. Available: <https://img.banggood.com/file/products/20161205031250AT10II%20user%20manual-2016.11.25.pdf>.
- [8] Ubiquiti, «Ubiquiti Rocket M5,» [Çevrimiçi]. Available: https://dl.ubnt.com/guides/Rocket_M/RocketM_Series_QSG.pdf.
- [9] SunnySky, «SunnySky X3520 V3 780kv,» [Çevrimiçi]. Available: <https://sunnyskyusa.com/products/sunnysky-x3520>.
- [10] Hobbywing, «Skywalker 80A ESC,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.hobbywing.com/products/enpdf/SkywalkerV2.pdf>.
- [11] NASA, «Four Forces on an Airplane,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/forces.html>.
- [12] S. Sanchez, «Comparison of performance metrics of pretrained models for object detection using the,» %1 içinde *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- [13] Ardupilot, «Mission Planner,» [Çevrimiçi]. Available: <https://ardupilot.org/planner/>.
- [14] Vikipedi, «Tork,» [Çevrimiçi]. Available: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Tork>.