

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



TAKIM ADI : COMBAT AERIAL SYSTEMS OF ANATOLIA

TAKIM ID : 456137

YAZARLAR : Nurullah Özkan, Mehmet Emin Güneş, Osman Veysel Özdemir, Yusuf Özdemir, Oktay Kaya, Kadir Karayığit, Yusuf Emre Koçak, Ömer Yıldız

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	2
1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ.....	4
1.1. Sistem Tanımı	4
1.1.1. İnsansız Hava Aracı- Nu.D.22	4
1.1.2. Yer İstasyonu	4
1.1.3. Manual Modlar.....	4
1.1.4. Otonom Modlar.....	5
1.1.3. Yer Anteni.....	5
1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri	5
2. ORGANİZASYON ÖZETİ	7
2.1. Takım Organizasyonu.....	7
2.1.1. Yapısal.....	7
2.1.2. Donanım	7
2.1.3. Yazılım.....	8
2.1.4. Pilotaj	8
2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe	8
3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ (15 PUAN)	11
3.1. Nihai Sistem Mimarisi	11
3.2. Alt Sistemler Özeti.....	14
3.3. Hava Aracı Performans Özeti	15
3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı	17
3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı.....	20
4. OTONOM KİLİTLENME	21
5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME (15 PUAN)	30
6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI	33
7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU	35
7.1. Yapısal Entegrasyon	35
7.2. Mekanik Entegrasyon	36
7.3. Elektronik Entegrasyon.....	38
8. TEST VE SİMÜLASYON	41
8.1. Alt Sistem Testleri	41
8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi	43
8.3. Simülasyon.....	45
9. GÜVENLİK (5 PUAN)	47

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

10. REFERANSLAR	50
-----------------------	----

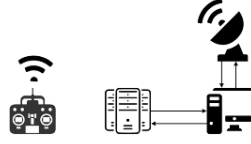
1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ

1.1. Sistem Tanımı

Uçuş sisteminin hava aracı, yer istasyonu, kumanda gibi başlıca bileşenleri bulunmaktadır. Yarışma esnasında bu bileşenlerin iletişiminin sorunsuz sağlanması önemlidir. Bu bölümde Nu.D.22, yer istasyonu yer anteni ve kumanda tanımlanmıştır.



Savaşan İHA yarışmasında istenilen otonom kalkış, otonom uçuş, otonom iniş, kilitlenme, kamikaze görevi, görüntü aktarımı incelenerek bu görevleri yerine getirebilecek temel sistem tasarlanmıştır.



Şekil 1 Sistem özeti.

Savaşan İHA görevlerini yerine getirebilecek alt sistemler; görevleri gerçekleştirecek olan hava aracı, acil durumlarda müdahale edilebilerek aracın pilot tarafından kontrol edilebilmesi için bir kumanda, sunucudan alınan verilerin İHA'ya ve İHA'dan alınan verilerin sunucuya aktarılmasını sağlayacak olan yer istasyonu ile İHA ile yer istasyonunun iletişimini sağlayacak olan yer anteninden oluşmaktadır.

1.1.1. İnsansız Hava Aracı- Nu.D.22

Savaşan İHA Yarışma Şartnamesinde verildiği üzere bu kategori için toplam kalkış ağırlığı en fazla 10 kg olan sabit kanat bir İnsansız Hava Aracı (İHA), elektrikli motor ve Li-Po batarya ile tahrik edilen bir itki sistemine sahip olmalıdır. Bununla birlikte otonom ve elle kontrol edilebilir bir sisteme, haberleşme kesintisi durumlarına karşı güvenlik sistemlerine (fail-safe modu) ve yarışma görev gereklilikleri dolayısıyla İHA'nın ön kısmına yerleştirilmiş sabit bir kameraya sahip olması gerekmektedir. Savaşan İHA Yarışması için tasarlanan İHA'mız Nu.D.22, şartnamede belirtilen görevleri yerine getirebilecek şekilde stabil, manevra kabiliyeti yüksek, yeterli uçuş süresine sahip, otonom olarak kalkış, uçuş ve iniş yapabilecek kabiliyete sahiptir. Ayrıca İHA üzerindeki sistem mimarimiz de uçuş kontrolcüsü, uçuş bilgisayar, haberleşme sistemi (telemetri ve Wi-Fi modülü), gerekli sensörler dahil olmak üzere yarışma şartnamesinde sunulan, it dalaşı (dogfight) ve kamikaze olarak tarif edilen görevleri yerine getirmeye olanak sağlayacak bir yapıya sahiptir.

1.1.2.Yer İstasyonu

Görevleri hava aracı Nu.D.22 yerine getirecek olsa da yarışma esnasında veri akışının düzgün ve eksiksiz sağlanması hem yarışma açısından hem de uçuş güvenliği açısından önemlidir. Bu sebeple sunucu ile veri akışının sağlanması, bu verilerin incelenebilmesi ve gerekli durumlarda da müdahale edilebilmesi için bir yer istasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Hava aracı ile iletişimi bir anten ve bir telemetri aracılığıyla gerçekleştirir.

Yer istasyonu yarışma boyunca konum, hız, hedeflenen konum, irtifa, aracın yönelim açıları, kilitlenme bilgisi gibi verilerin kaydedilmesini ve iletilmesiyle birlikte daha önceden belirlenmiş modlar arasında geçişi sağlayacak olan istasyondur. Bu modlar 2 ana başlık altında incelenebilir.

1.1.3. Manual Modlar

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Position Mode: En kolay manual uçuş modudur. Çubuklar ortalındığında araç tüm kuvvetleri dengeleyerek düz bir rotada uçar. Destekli bir uçuş modudur.

Altitude Mode: Position mode ile benzer destekli manual uçuş modudur. Aracın irtifasını belirli bir seviyeye çıkarmak ve irtifayı sabit tutmak için kullanılır. Çubuklar ortalındığında araç hareketleri dengelenir, belirli bir irtifa korunur ancak rota korunamaz.

Stabilized Mode: Çubuklar ortalındığında roll ve pitch hareketlerini dengeler ancak araç rotasını ve irtifasını koruyamaz.

Manual Mode: Tüm kontrol pilottadır.

1.1.4. Otonom Modlar

Mission mode: Önceden tanımlanmış bir görev listesini yapmasını sağlar. Eğer tam otonom uçuş yapılacaksa takeoff noktası, görev noktaları ve iniş noktası önceden belirlenmelidir. Uçuş sırasında yeni görev dosyası yüklenebilir. (Yüklenen dosyanın ilk görevinden uçuşa devam eder.)

Return Mode: Araç belirlenen veya düz bir rotadan önceden belirlenen noktaya döner. Ayarlandıysa iniş yapar yoksa belirlenen konum üzerinde loiter hareketi yapar.

Hold Mode: Bulunduğu noktada belli bir irtifada daire çizmeye başlar. (Görevi durdurmak için kullanılabilir ya da görev durdurulduğunda geçer.)

Offboard Mode: Görev bilgisayarı üzerinden gönderilen Mavlink tabanlı komutları dinler. Yarışmanın çoğunluğu bu modda gerçekleştirilecek olup araca minimum müdahale ile yarışmanın tamamlanması planlanmaktadır.

Yer istasyonu aynı zamanda sunucu ile iletişimi sağlayan temel bileşendir. Gerekli verilerin akışını sağlayabilmek ve verileri düzgün bir şekilde görüntüleyebilmek için bir arayüz yazılımının geliştirilmesi sürmektedir.

1.1.3. Yer Anteni

Hava aracı yarışma görevlerini yerine getirirken oluşturduğu verilerin yer istasyonuna aktarılması için yer antenine ihtiyaç duyulmaktadır. Yer anteni görüntü aktarımı da gerçekleştireceği için Wi-Fi haberleşmesinin kullanılması uygun görülmüştür. Detaylı açıklama Yer İstasyonu ve Haberleşme başlığı altında verilmiştir.

1.1.4. Kumanda

Hava aracı her ne kadar yeterli özelliklere sahip olup otonom uçuş gerçekleştirebiliyor olsa da oluşabilecek acil durumlar için pilot müdahalesi gerekebilmektedir. Pilotun uçağa erişim sağlayabilmesi için bir kumanda ve hava aracı içerisine yerleştirilen bir vericiye ihtiyaç duyulmaktadır. Pilot, kumanda ile araçtaki tüm kontrol yüzeylerine erişim sağlayabilmektedir.

1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri

Savaşan İHA ve Kamikaze İHA yarışmaları görev isterlerinin yerine getirilebilmesi için toplam kalkış ağırlığı 10 kg'dan düşük, manevra kabiliyeti yüksek, elektrikli motor ve batarya ile tahrik

Açıklamalı [KK1]: Loiter yapmak falan ne demek bilmediğim için aldığım gibi ekliyorum

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

edilen bir sabit kanat İHA gerekmektedir. Yeni tasarım Nu.D.22 6 kg toplam kalkış ağırlığına ve 26 dakika uçuş süresine sahiptir. Üzerinde 2 adet T-Motor AS2820 1250 KV fırçasız motor, biri TATTU 4S 22000 mAh diğeri Jetfire 3S 4200 mAh olmak üzere iki Li-Po batarya ve karbon fiber pervaneler bulunmaktadır. Kanat açıklığı 2.3 m, veter uzunluğu 0.225 m, gövde uzunluğu 1.8 m, alttan kanat, geleneksel kuyruk tipine sahip olarak tasarlanmıştır. Seyir hızı 15 m/s, stall hızı 12 m/s olarak hesaplanmıştır. Test uçuşlarında kalkış mesafesi 13 m, iniş mesafesi yaklaşık olarak 35 m olarak gözlenmiştir. İtki/Ağırlık oranı 90 N/m², Ağırlık/Kanat alanı oranı 89.55 N/m² olarak belirlenmiştir. Takım stratejisi olarak görüntüleri İHA üzerinde alıp, işleyip, otonom uçuş algoritmasının da İHA üzerinde bulunan bir görev bilgisayarı çalışmasına karar verildiği için İHA üzerinde bir uçuş kontrol kartı, bir de görev bilgisayarı bulunacaktır. Uçuş kontrolcüsü seçimi için piyasadaki uçuş kontrolcülerini incelenmiş olup, stabil sensör verileri ve yeterli işlemci gücüne sahip olması, açık kaynak olarak kodlarına ve dökümanlarına erişilebilmesi dolayısıyla Pixhawk Cube Orange seçilmiştir. Görev bilgisayarı seçimi için yine piyasadaki ürünler incelenmiş olup, hafiflik, gerekli görüntü işleme donanımına (GPU) sahip olması, seçilen uçuş kontrolcüsü ile uyumlu çalışabilmesi dolayısıyla NVIDIA Jetson Nano kullanılmasına karar verilmiştir. NVIDIA Jetson Nano kullanılarak hazır görüntü işleme modelleri ile yapılan testlerde yaklaşık 50 FPS ile nesne tanıma yapılmıştır. Görev bilgisayarı ile yer istasyonu arasında iletişim kurulması için Ubiquiti model haberleşme sistemi kullanılmasına karar verilmiştir. Kilitlenme ve takip algoritmasının çalışması için gereken mesafe bilgisini elde etmek için NVIDIA tarafından özel geliştirilen bir FPV kamera kullanılacaktır. Yarışma alanının 500x350 m² genişliğinde olduğu düşünüldüğünde tasarlanan 15 m/s seyir hızına sahip olarak tasarlanan Nu.D.22 rakiplerini takip edebilecek, yarışma alanından çıkmadan manevrasını yapabilecek, alta alınan kanat sayesinde Kamikaze İHA görevini tamamlayacak ve rakiplerinden kaçabilecek bir hareket yeteneğine sahip bir İHA üretilmiştir. Araca ait genel performans özellikleri tablosu ilk tasarlanan(v1) ve yeni tasarım(v2) için aşağıda verilmiştir.

Tablo 1: Nu.D.22 v1-v2 özelliklerinin karşılaştırması.

Özellikler	Nu.D.22 (v1)	Nu.D.22 (v2)
Kanat Açıklığı [mm]	1900	2180
Kanat Ortalama Veter [m]	225	307
Gövde Uzunluğu [m]	1600	1800
MTOW [gr]	5800	6500
Kanat Profili	EPPLER 423	Clark Y
Kanat Alanı [m ²]	0.45	0.67
Stall Hızı [m/s]	10	12
Seyir Hızı [m/s]	13	15
W/S [N/m ²]	140	90
T/W	0.75	0.8
Kanat AR	8	7
Uçuş Süresi [dk]	20	26.4
Servis Tavanı [m]	150	150
Kalkış Mesafesi [m]	10	15
İniş Mesafesi [m]	40	50

Açıklamalı [MEG2]: Doğru mu?

2. ORGANİZASYON ÖZETİ

2.1. Takım Organizasyonu

Combat Aerial Systems of Anatolia-CASA (Anadolu Muharip Hava Sistemleri) takımı içerisinde yaptığımız görev dağılımı 4 ana başlıkta verilmiştir. Bu ana başlıklar Yapısal, Donanım, Yazılım ve Pilotaj olarak belirlenmiştir. Görevlerin içeriği aşağıda verilmiştir. Görev dağılımı ifade eden şema Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 2: Takım Görev Dağılımı

2.1.1. Yapısal

Aerodinamik Tasarım: Yarışma gereklilikleri araştırılarak görevler için gerekli sistem özelliklerini karşılayan aerodinamik tasarım geliştirilmesi.

Mekanik Tasarım ve Üretim: Tasarlanan İHA’nın, kontrol yüzeyleri, iniş takımı gibi parçaların mekanik tasarımı; İHA’ya ait parçaların üretimi ve gerçekleştirilen testler sonucunda hasar alan kısımların onarılması.

Parça Seçimi ve Montaj: İHA ve tasarlanan sistem mimarisi için belirlenen parçaların araştırılması, seçilmesi, sipariş edilmesi ve montajının yapılması.

2.1.2. Donanım

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Uçuş Kontrol Kartı/Pixhawk: Uçuş kontrolcünün ve uyumlu bileşenlerinin kullanılması, otonom uçuş denemelerinin yapılması.

Görev Bilgisayarı: Görev bilgisayarının kullanılması, görüntü işleme, nesne tanıma, otonom takip algoritmalarının denemelerinin yapılması.

Haberleşme Modülleri: İletişim, telemetri ve görüntü aktarım modüllerinin kullanılması. Uçuş kontrol kartı, yer istasyonu ve görev bilgisayarı arasında veri aktarım denemelerinin yapılması.

2.1.3. Yazılım

Otonom Uçuş Algoritması ve ROS: İHA'nın, şartnamedeki otonom kalkış, uçuş, iniş ve takip için gereken algoritmaların oluşturulması, hedef takibinin klasik kontrol algoritmalarıyla tasarlanması ve hazırlanan kodların bir arada uyumlu bir şekilde çalışması için Robot Operating System'in (ROS) kullanılması. Gazebo üzerinden uçuş simülasyonu oluşturularak tüm uçuş sistemlerinin denenmesi.

Görüntü İşleme Algoritması: Nesne tanıma modelini İHA görüntülerinden oluşan veri seti kullanılarak eğitilmesi, modelin daha hızlı çalışabilmesi için nesne tanıma modelinin ve görev bilgisayarının optimize edilmesi.

Yapay Zekâ Algoritması: Takviyeli Öğrenme (Reinforcement Learning-RL) modelinin araştırılması ve yeni bir model geliştirerek modele rakip İHA ve Nu.D.22'nin uçuş bilgilerinin girdi olarak verilerek modelin çıktı olarak yol planlaması yapması.

2.1.4. Pilotaj

Pilotaj: Nu.D.22'nin elle kontrolünün sağlanması, uçuş testlerinin yapılması ve yarışma esnasında gerekli olduğu takdirde otonom uçuştan çıkarılarak elle kontrol edilmesi.

2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe

2.2.1 Zaman Akış Çizelgesi

Zaman akış çizelgesi aşağıdaki Tablo 2'de verilmiştir. Bir önceki çizelge ile ilgili değişiklik yapılan noktalar aşağıda belirtilmiştir

Görüntü işleme algoritmasının yeniden oluşturulması: 2021 Mart ayında oluşturulan görüntü işleme algoritmasının istenilen seviyede olmaması sebebiyle Nisan-Mayıs ayları arasında yeni bir model eğitilip hazır hale getirilmiştir.

Kamikaze görev testlerinin eklenmesi: Kamikaze görevinin ayrıntılarının belli olması ile algoritma belirlenmesi ve testlerin simülasyon ve gerçek hayatta yapılması.

Takip algoritması oluşturulması ve seçiminde yapılan değişiklikler: Oluşturulacak takip algoritmasının sürekli test edilip optimizasyon çalışmaları yapılması gerektiği için süre uzatılmış, algoritmanın oluşturulması ve test başlığı birleştirilmiştir. Buna bağlı olarak seçim tarihi ertelenmiştir.

Açıklamalı [KK3]: Zaman akış çizelgesi hazır

Açıklamalı [MEG4R3]: Ötr kadar yazıyor onu düzeltelim

Açıklamalı [MEG5R3]:

Açıklamalı [KK6R3]: düzelttim

“CASA”

9 | Sayfa

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

2.2.2 Bütçe

Bütçe tabloları alınan ekipmanlar ve alınacak ekipmanlar olarak iki parça şekilde aşağıda verilmiştir.

Tablo 3: Alınan Ekipmanlar

No	Malzeme	Sipariş	Tarih	Tutar
1	Matkap Seti	Alındı	25.09.2021	292
2	Fırçasız Motor(2xSunnysky x2814), Pervane	Alındı	14.12.2021	1400
3	Fırçasız Motor(2xSunnysky x2212), Pervane	Alındı	16.09.2021	600
4	2xJetfire 4S 5200 Mah LiPo Pil, Lehim Seti, Kablo	Alındı	16.09.2021	2500
5	PLA Filament	Alındı	16.09.2021	1000
6	Pixhawk Cube Orange, Here3 GNSS	Alındı	31.08.2021	5310
7	Cam Elyaf, Kalıp Ayırıcı, Fırça, Rulo	Alındı	14.12.2021	3000
8	4xESC (Skywalker 80A)	Alındı	2.02.2022	2500
9	Epoksi Set, Karbonfiber Boru	Alındı	2.02.2022	2400
10	NVIDIA Jetson Nano Developer Kit	Alındı	31.08.2021	3103
11	Kumanda, Telemetri	Alındı	31.08.2021	1177
12	Creality CR-6 Max 3D Yazıcı, 3D Yazıcı Parçaları	Alındı	7.10.2021	7000
13	Sarf Malzeme (Tel, vida, bağlantı elemanları vb.)	Alındı	12.01.2022	1500
14	FrSky Taranis X9D Plus Kumanda	Alındı	15.04.2022	5000
15	14.8V 8000mAh 40C Lipo Batarya 4S JetFire Pil	Alındı	17.05.2022	1800
16	Fırçasız Motor(2xT-Motor x2820 1250KV)	Alındı	11.04.2022	1750
17	Servo Motor(10xMG 996R)	Alındı	09.05.2022	600
18	200 Amper Sigorta	Alındı	16.04.2022	140
19	Pitot Tüpü	Alındı	06.06.2022	1500
20	Sarf Malzemeler(PLA, bant, yapıştırıcı vb.)	Alındı	15.04.2022	1000
TOPLAM			43572 TL	

Açıklamalı [KK7]: bütçeleri güncelledim

Açıklamalı [MEG8R7]: abi kırmızı çizgiler var yazı altında onları düzeltebilir misin

Açıklamalı [MEG9R7]: gördüysen tepki ver

Açıklamalı [MEG10R7]:

Tablo 4: Alınacak Ekipmanlar

No	Malzeme	Sipariş	Adet	Fiyat	Tutar
1	TF Mini Lidar	Alınacak	1	1000	1000
2	Lidar Lite v3	Alınacak	1	3500	3500
3	14.8V 22000mAh 40C Li-Po 4S Batarya - Tattu	Alınacak	1	7000	7000
4	Here+ V2 RTK GNS	Alınacak	1	6000	6000
5	Telemetri RFD868+ TXMOD Bundle	Alınacak	1	10000	10000
6	Ubiquiti Rocket M5 – 5 Ghz 2x2 Mimo AirMAX	Alınacak	1	5500	5500
7	Ubiquiti PBE-M5-400 PowerBeam Access Point	Alınacak	1	7500	7500
8	e-CAM24_CUNX Kamera	Alınacak	1	3000	3000
9	TP-Link TL-POE150S PoE Enjektör	Alınacak	1	500	500
10	Elektronik Parçalar ve Sarf Malzemeler	Alınacak	-	3000	3000
11	NVIDIA EN715 Jetson Xavier NX	Alınabilir	1	15000	15000
TOPLAM				62000 TL	

Yarışmaya hazırlık süreci içerisinde değişen motorların ve kumandaların model değişimi sebebiyle yenileri alınmış; Pitot tüpü, güç dağıtım kartı, regülatörler gibi bazı önemli sensör, güç modülleri ve gerekli elektronik parçalar temin edilmiştir.

Alınacak ürünler listesinde verilen ürünlerin bazılarının siparişleri verilmiştir, bir kısmı ile ilgili ürün ve fiyat araştırması devam etmektedir. Listede verilen ürünlerin bazıları piyasada bulunamazken, bulunabilenler için ise en uygun fiyat araştırması yapılmaktadır.

3.1. Nihai Sistem Mimarisi

Şekil 3: Nihai Sistem Mimarisi

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

3.1.1 Uçuş Kontrol Kartı: İnsansız hava aracının pilot, sensör ve yer istasyonunda aldığı bilgilerle aracın otonom bir şekilde hareket etmesini sağlayan donanımdır. Kullanımının kolay olması, sürekli ve düzenli olarak güncelleme alması, aynı fiyat aralığındaki diğer oto-pilotlara göre daha iyi performans göstermesi sebebiyle Pixhawk Cube Orange kullanılması tercih edilmiştir. Cube Orange içinde bulunan ARM STM32H ana işlemci ve STM32F103 yardımcı işlemci ile yeterli işlemci performansını sağlamaktadır. Ayrıca kartın içindeki IMU, barometre, manyetometre ve ivmeölçer gibi sensörler ile uçuş performansı artırılması sağlanmıştır. Kartın içine yüklenecek yazılımın açık kaynak kodlu PX4 yazılımının olmasına karar verilmiştir. Bu yazılıma ait bilgiler daha sonra verilecektir.



Şekil 4: Uçuş Kontrol Kartı

3.1.2 GPS: İHA'nın dünya üzerindeki konumunun belirlenmesi otonom uçuş için gereklidir. GPS modülü olarak yüksek hassasiyetli here3 modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. Araştırmalar sonucunda tek başlarına GPS modülleri İHA'nın hızına bağlı olarak yaklaşık 2 metreye yakın hatalı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu durumun önlenmesi yani İHA'nın konum doğruluğunu artırmak için RTK base istasyonu kullanılacaktır. Base uyumu bir rover (Here 3 GPS anteni) ile konumlama doğruluğu 2 cm seviyelerine kadar düşürülecektir.



Şekil 5: GPS ve RTK İstasyonu

3.1.3 Haberleşme Ekipmanları: Yer istasyonu ile uçuş kontrolcüsü arasında kablosuz haberleşmeyi sağlayacak olan modül olarak uzun menzile sahip, 868- 869 MHz bandında çalışan RFD 868+ radyo telemetri modülünün kullanılmasına karar verilmiştir. Manual kontrol için Frysky Taranis X9d Kumanda ve Frysky X8R alıcı kullanılacaktır. ÖTR'deki Flysky model kumanda yeterli mesafede haberleşmeyi sağlayamama riski bulundurduğu için bu model ile değişiklik yapılmıştır. Ayrıca görev bilgisayarı ile yer istasyonu arasındaki veri ve görüntü aktarımını Wi-fi üzerinden sağlamak için yer istasyonunda 5GHz bandında çalışan gürültü bağımsızlığı yüksek Ubiquiti UBNT PBE-M5-400 PowerBeam erişim noktası ve İHA'da Ubiquiti Rocket M5 modülü kullanılacaktır. Bu ekipmanlara dair ayrıntılı bilgi "3.5 Haberleşme Sistemi Bileşenleri" başlığı altında verilmiştir



Şekil 6: Telemetri

3.1.4 Kamera: Kilitlenme işleminin gerçekleştirilmesi ve sunucuya gönderilecek görüntünün alınması için temin edilebilmesi durumunda 1080p/120FPS görüntü kaydı yapabilen, yüksek SNR (Signal Noise Ratio) oranı sayesinde olumsuz şartlarda dahi yüksek kalitede görüntü alabilen e-CAM24_CUNX kamera kullanılacaktır. MIPI CSI-2 seri ara yüz özelliği ile yüksek hızlı aktarım sağlayabilmektedir. Görüntü aktarımı ve kaydı için Gstreamer-1.0 kütüphanesi desteği bulunan kamera modülü, Jetson nano-xavier gibi bilgisayarlar üzerinde kullanılması için üretilmiştir. Ayrıca kameraya ait kontrast, parlaklık, keskinlik gibi değerlerin ayarları yapılabilmektedir. Temin edilememesi durumunda temini daha kolay olan ve benzer özelliklerdeki Arducam OV2311 Global Shutter M12 NoIR MONO kamera kullanılacaktır. Kamera modelinin değişimindeki temel sebep ise yeni seçilen kameranın daha yüksek çözünürlükte daha yüksek FPS değerlerini vermesi ve seçtiğimiz görev bilgisayarı için özel olarak üretilmiş olmasıdır.



Şekil 7: Kamera

Açıklamalı [GU11]: Emin bu resim çok net değil.

Açıklamalı [GU12R11]:

Açıklamalı [MEG13R11]: p

Açıklamalı [MEG14R11]:

3.1.5 Görev Bilgisayarı: Yarışma görevlerinin yerine getirilmesi için gerekli olan görüntü işleme algoritmaları, takip algoritmaları ve QR kod okuma işlemini gerçekleştirerek uçuş kontrol kartına gerekli komutları gönderecek bilgisayardır. Bu işlemler için birden fazla sinir ağını paralel çalıştırabilen görüntü işleme ve yapay zekâ uygulamaları için üretilmiş 128-core Maxwell GPU'ya sahip NVIDIA Jetson Nano bilgisayar kullanılacaktır. Üzerindeki HDMI, USB, Micro-USB gibi veri portları, MIPI-CSI kamera konektörleri ve gigabit seviyesinde veri iletimi sağlayan ethernet portu gibi sistemimizin gerektirdiği tüm I/O portlarına sahiptir. Ayrıca küçük ve hafif olması önemli avantajlarındanır.



Şekil 8: Görev Bilgisayarı

3.1.6 Güç Sistemi Motorlar ve Pervane: Tek pil üzerinden yapılan hesaplamalar ve denemelerde pilin gerekli uçuş süresini sağlamadığı görülmüş ve İHA üzerinde TATTU 22000 mAh 4S ve JetFire 3S 4200 mAh Li-Po özelliklerinde iki tip batarya bulunması gerektiğine karar verilmiştir. 4S batarya ile motorlar ve servolar beslenirken, 3S batarya ile sistemin geri kalan komponentleri beslenecektir. Motor olarak T-Motor AS2820 1250 KV modeli ve üzerinde 1045 karbonfiber pervane kullanılacaktır. ÖTR'de belirtilen SunnySky model motorun değiştirilmiş olmasının sebebi piyasada elimizdeki motorun bulunmuyor olması ve yeni seçilen motorun daha ucuz, kaliteli ve ihtiyaçlara yetiyor olmasıdır. ESC olarak Skywalker-80A kullanılacaktır. Bu donanımların beslenmesi seçim sebebi ile ilgili ayrıntılı bilgi elektronik entegrasyon başlığı altında verilmiştir.



Şekil 9: Fırçasız Motor

3.1.7 Güç Dağıtım Kartı: İHA üzerindeki görev bilgisayarı, telemetri ve wi-fi erişim noktasına güç dağıtımı sağlanması için voltaj dalgalanmalarına sebep vermeden çalışacak Matek Systems firmasının xt-60 model güç dağıtım kartı kullanılacaktır.

3.1.8 Servo Motorlar: Aracın elevator, rudder, aileron gibi yüzeylerinin kontrol edilmesi için MG996R servoları kullanılacaktır. Piyasadaki daha ucuz modeller de denenmiş ve yüzeylerin ağırlıklarını bu modelin rahatlıkla kaldırabildiği görülmüştür.



Şekil 10: Servo Motoru

3.1.9 Pitot Tüpü: Aracın hava hızının ölçülebilmesi, stabil ve otonom uçuş gerçekleştirilebilmesi için Holybro PX4 Air Speed Sensor Kit pitot tüpü kullanılacaktır.

3.1.10 Lidar: Kamikaze İHA görevi sırasında İHA yere yaklaşırken çarpma riskini azaltmak için ve otonom iniş gerçekleştirirken iniş güvenliğinin sağlanması için 12 m'ye kadar ölçüm yapabilen TF Mini LiDAR kullanılacaktır. Uygun bütçenin ayarlanması durumunda 40 m'ye kadar mesafe ölçebilen Lidar-Lite v3 modeline geçilecektir.



Şekil 11: Lidar Sensörü

3.1.11 Regülatörler: Güç dağıtımı yapılırken pillerden alınan voltajın çıkışta farklı ekipmanlar için uygun seviyelere çekilebilmesi için LM2596 ayarlanabilir düşürücü ve XL6009 ayarlanabilir yükseltici kullanılacaktır.

Açıklamalı [KK15]: satın alınan pitot tüpü modeli farklı olduğu için değiştirdim.

Açıklamalı [MEG16]: resim

Açıklamalı [MEG17R16]:

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

3.1.12 Sigorta: Güvenliğin sağlanması için motor ile piller arasında bir sigorta olması gerekmektedir. 200A ve 20A sigortalar sistemde istenilen yere eklenmiştir.

3.2. Alt Sistemler Özeti

Bu bölümde; seçilen alt sistemlerin, araç gereksinimleri ve ön tasarım raporunda belirtilen seçim kriterlerine uyumlulukları açıklanacaktır. Eğer aynı görev için araştırılan **birden fazla** seçenek varsa, nihai ürünün neden seçildiği de açıklanmalıdır.

Aracın uçuş kontrolünün sağlanması için Pixhawk Cube Otopilot kartı ve bu kartın içinde PX4 yazılımı kullanılmıştır. PX4 yazılımı Ardupilot gibi açık kaynaklı olarak kullanılan uçuş kontrol yazılımıdır. PX4'un tercih edilmesinin sebebi daha önce üzerine çalışmalar yapılmış olması, yapılan testlerde sabit kanat desteğinin Ardupilot'a göre daha iyi olduğunun görülmesi ve simülasyon üzerindeki tüm çalışmaların bu yazılım üzerinden yapılmış olmasıdır. Otopilotun uçuşunu stabil ve sorunsuz olarak gerçekleştirmesi için içinde IMU sensörü de bulunan yüksek hassasiyetli HERE3 GPS/GNSS modülü ve hava hızının ölçülmesi için pitot tüpü kullanılacaktır. Pixhawk içinde ayrıca IMU manyetometre, ivmeölçer sensörleri bulunmaktadır. Otopilotun seçimi için piyasadaki çeşitli kartlar araştırılmış, daha önceki yıllarda yarışmaya katılan takımlar ile bilgi alışverişi de yapılarak Pixhawk 2.4.8, Holybro gibi modeller arasında sistemimizin isteklerini en uygun şekilde karşılayan kartın Pixhawk Cube olduğu görülmüştür.

Tablo 5: Pixhawk Uçuş Kontrol Kartı Karşılaştırması

	Pixhawk Black Cube	Pixhawk Orange Cube	Pixhawk 4
İvmeölçer Sayısı	3	3	2
Manyetometre Sayısı	3	1	1
Barometre Sayısı	2	2	1
RAM	256 KB	1 MB	512 KB
İşlemci	STM32F427 V	STM32H753	STM32F100
Yardımcı İşlemci	32 bit STM32F103	STM32F103 32bit ARM Cortex-M3 24 MHz 8KB SRAM	STM32F100 32 Bit ARM Cortex M3, 24MHz, 8KB SRAM

(2021, Teknofest, Savaşan İHA, Artek Ülgen)

Yarışmadaki görevlerin gerçekleştirilmesi için nesne tanıma işlemlerinde yüksek performans veren ve küçük boyutlu, düşük güç tüketimine sahip Jetson Nano görev bilgisayarı temin edilmiştir. Piyasada bulunan Raspberry Pi gibi bilgisayarların istenilen performansı sağlamadığı görüldükçe, Jetson NX ve AGX gibi daha gelişmiş modeller ise ihtiyacımızdan fazlasını sağlaması ve yüksek maliyetli olması sebebiyle tercih edilmemiş, uygun fiyatlı ve yüksek performanslı bu bilgisayar seçilmiştir. Bu bilgisayara bağlı bir şekilde görüntünün alınacağı e-CAM24_CUNX kamera modülü ve görüntü iletimini gerçekleştirecek Rocket M5 erişim noktası kullanılacaktır. Haberleşmeyi tamamlamak için yer istasyonunda Ubiquiti PowerBeam anten ve RFD868+ telemetri kullanılması planlanmaktadır. Bu modüllerin seçim

Açıklamalı [MEG18]: Karşılaştırmalar eklenecek rapor referanslı

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

sebepleri ve karşılaştırmalar ilgili ekipmanların açıklamaları yapılırken verilmiştir (Bkz. Kamera için “3.1.4 Kamera” ve Rocket M5, Ubiquiti PowerBeam ve Telemetry için “5.1 Haberleşme Sistemi Bileşenleri”).

Araç üzerindeki iki motorun ve diğer alt sistemlerin güç dağıtımını sağlayabilmek adına TATTU 4S 22000 mAh ve 3S 4200 mAh özelliklerinde iki farklı pil, uygun regülatörler ve Matek xt-60 güç dağıtım kartı kullanılacaktır. Bu piller ile birlikte kullanılacak Hobbywing Skywalker 80A ESC ve T-Motor AS2820 1250 KV motor sistemin istenilen performanslarını sağlayacak özelliktedir. Servo motor olarak pro sg90 model servolar denenmiş ancak kontrol yüzeylerini taşımadığı gözlemlenince çok daha güçlü olan MG996R modeline geçiş yapılmıştır.

3.3. Hava Aracı Performans Özeti

Yarışma şartnamesinde tanımlandığı üzere, bir müsabaka turu 15 dakikadır. Nu.D.22’nin toplam kalkış ağırlığı 6 kg’dır. İHA’mız için, itki sistemi olarak T-Motor AS2820 1250KV motor, 1045 pervane ve 22000 mAh 4S Li-Po pil kombinasyonu tercih edilmiştir.

Tablo 6: T-Motor AS2820 1250KV test verileri.

Type	Propeller	Throttle	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	RPM	Torque (N*m)	Thrust (g)	Efficiency (g/W)	Operating Temperature (°C)
AS2820 Long Shaft KV1250	APC 10*5.5	40%	15.57	20.01	311.48	8847	0.216	1299	4.17	77 (Ambient Temperature:)
		45%	15.48	23.67	366.42	9335	0.244	1460	3.98	
		50%	15.40	26.92	414.56	9717	0.268	1593	3.84	
		55%	15.32	30.63	469.18	10051	0.299	1753	3.74	
		60%	15.24	33.90	516.67	10395	0.320	1874	3.63	
		65%	15.16	37.51	568.73	10743	0.345	2013	3.54	
		70%	15.06	42.09	633.95	11156	0.377	2181	3.44	
		75%	14.93	47.60	710.79	11571	0.412	2366	3.33	
		80%	14.79	54.38	804.12	11985	0.452	2560	3.18	
		90%	14.44	69.58	1004.88	12731	0.532	2914	2.90	
		100%	14.28	76.51	1092.41	13033	0.557	3014	2.76	
	APC 11*8	40%	11.67	15.97	186.35	6314	0.179	898	4.82	72 (Ambient Temperature:)
		45%	11.61	18.66	216.52	6709	0.201	1007	4.65	
		50%	11.53	21.78	251.20	7039	0.221	1134	4.52	
		55%	11.47	24.60	282.26	7339	0.239	1232	4.36	
		60%	11.39	28.22	321.31	7651	0.262	1339	4.17	
		65%	11.31	31.73	358.88	7957	0.285	1452	4.05	
		70%	11.22	35.64	400.00	8257	0.310	1568	3.92	
		75%	11.12	40.40	449.25	8565	0.341	1703	3.79	
		80%	11.00	45.86	504.33	8938	0.371	1832	3.63	
		90%	10.71	58.59	627.53	9516	0.439	2077	3.31	
		100%	10.59	63.87	676.24	9731	0.460	2167	3.20	

Tablo 6’da verildiği gibi üretici firmanın teknik verileri incelendiğinde bu kombinasyon ile her bir motorun maksimum güçte 3 kg olmak üzere 2 motorun toplamda 6 kg itki ürettiği görülmüştür [1]. Ayrıca yapılan yer testlerinde de toplam olarak yaklaşık 5 kg itki değeri, test

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

için kullanılan bir dinamometre (el kantarı) ile ölçülmüştür. Test yapılırken teknik verilerde görülen APC 10*5.5 pervane yerine 1045 pervane kullanılması ve İHA'nın iniş takımı üzerinde olması dolayısıyla etki eden statik sürtünme de hesaba katıldığında üretici firmanın verdiği test verilerine yaklaşık bir değer elde edildiği görülmüştür.

Tablo 7'de verilen, İHA tasarımı yapılırken kullanılan Excel tablosu ile yapılan hesaplamalarda, kanat alanı, kanat yüklemesi, veter uzunluğu gibi değerler elde edilirken aynı zamanda uçuş esnasındaki hava hızına bağlı olarak maruz kalınacak sürüklenme kuvveti de elde edilmiştir. Müsabaka esnasında 15 m/s civarında bir hızla hareket edilmesi planlandığı için bu durumda maruz kalınacak sürüklenme kuvvetinin yapılan hesaba göre yaklaşık olarak 6 N olduğu görülmüştür.

Tablo 7: İHA tasarımı hesaplama tablosu.

Mass (kg)	W (N)	W/S (N/m2)	V _∞ (m/s)	λ taper	Croot (m)	Ctip (m)	b (m)	S (m2)	ρ (kg/m3)	CL	AR	e	π	Cd0	Cdi	Cd	D (N)	P (N*m/s)
6	58,86	90	10	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	1,64	7,00	0,70	3,142	0,030	0,174	0,204	7,335	73,351
6	58,86	90	11	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	1,35	7,00	0,70	3,142	0,030	0,119	0,149	6,476	71,236
6	58,86	90	12	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	1,14	7,00	0,70	3,142	0,030	0,084	0,114	5,898	70,780
6	58,86	90	13	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	0,97	7,00	0,70	3,142	0,030	0,061	0,091	5,525	71,831
6	58,86	90	14	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	0,83	7,00	0,70	3,142	0,030	0,045	0,075	5,307	74,296
6	58,86	90	15	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	0,73	7,00	0,70	3,142	0,030	0,034	0,064	5,208	78,126
6	58,86	90	16	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	0,64	7,00	0,70	3,142	0,030	0,027	0,057	5,206	83,300
6	58,86	90	17	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	0,57	7,00	0,70	3,142	0,030	0,021	0,051	5,283	89,816
6	58,86	90	18	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	0,51	7,00	0,70	3,142	0,030	0,017	0,047	5,427	97,689
6	58,86	90	19	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	0,45	7,00	0,70	3,142	0,030	0,013	0,043	5,629	106,942
6	58,86	90	20	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	0,41	7,00	0,70	3,142	0,030	0,011	0,041	5,880	117,608
6	58,86	90	21	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	0,37	7,00	0,70	3,142	0,030	0,009	0,039	6,177	129,726
6	58,86	90	22	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	0,34	7,00	0,70	3,142	0,030	0,007	0,037	6,515	143,339
6	58,86	90	23	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	0,31	7,00	0,70	3,142	0,030	0,006	0,036	6,891	158,494
6	58,86	90	24	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	0,28	7,00	0,70	3,142	0,030	0,005	0,035	7,302	175,242
6	58,86	90	25	0,55	0,394	0,217	2,140	0,654	1,100	0,26	7,00	0,70	3,142	0,030	0,004	0,034	7,745	193,633

İHA'mızın bu sürüklenme kuvvetini yenerek seyir hızında hareket edebilmesi için motorların yaklaşık olarak %40'lık bir güçle çalışması yeterli olacaktır. Buna göre her bir motorun anlık olarak 25'er amper çekmesi sonucu toplamda anlık olarak 50 amperlik bir akım çekileceği ve sonuç olarak da aşağıda yapılan hesap ile İHA'mızın 26,4 dk'lık bir uçuş süresine sahip olacağı öngörülmüştür. Dolayısıyla müsabaka için yeterli bir uçuş süresi olduğuna karar verilmiştir.

$$\frac{\text{Toplam Depolama Kapasitesi}}{\text{Anlık Çekilen Akım}(\sim)} = \frac{22000mAh}{5000mA} = 0.44h(\text{saat}) = 26.4dk$$

Bu hesaplamaların ardından yapılan uçuş testlerinde %40-50 arası bir itki değerinin uçuş için yeterli olduğu görülmüştür. Uçuş testi esnasında çekilen videodan alınan fotoğraflar Şekil 12 ve Şekil 13'te verilmiştir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 12 Uçuş videosundan ekran kaydı 1.



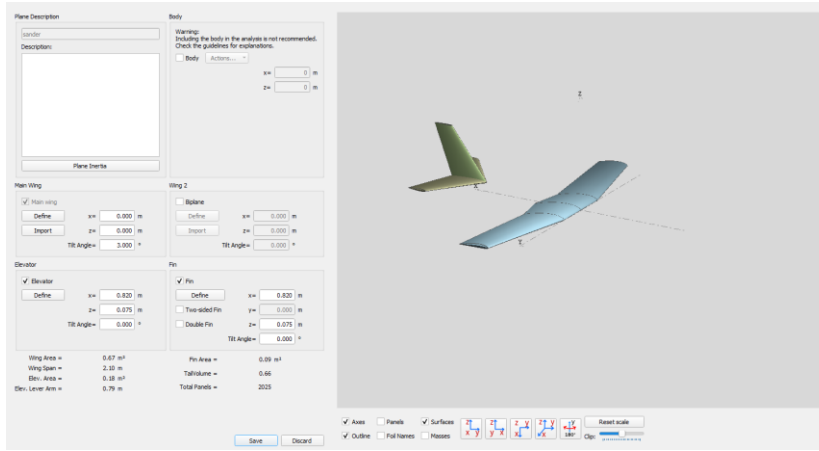
Şekil 13 Uçuş videosundan ekran kaydı 2.

3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı

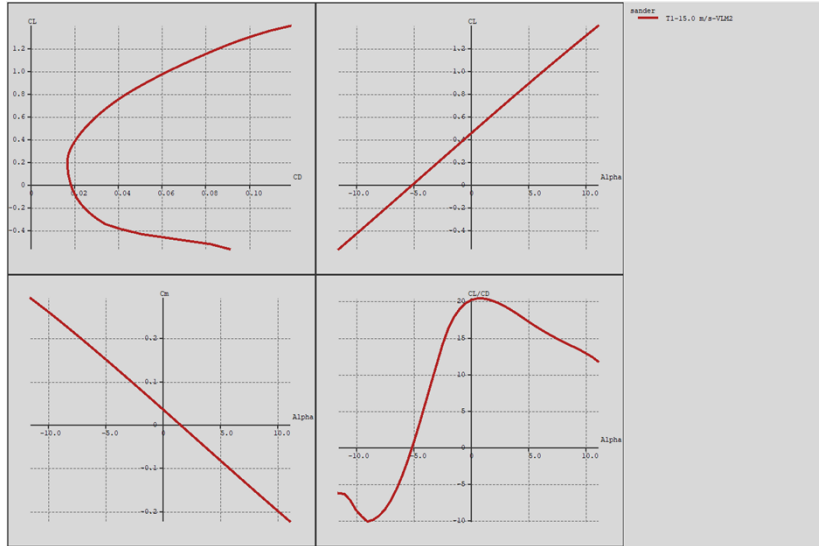
Yarışma gereklilikleri açısından tasarlanan İHA'nın manevra kabiliyetinin yüksek olması gerektiği bilinmektedir. ÖTR raporunda görselleri verilen ilk tasarımın ardından manevra kabiliyetinin artırılması amacıyla bazı tasarım değişikliklerine gidilmiştir. Kanat yüklenmesinin (W/S) azaltılması, akrobatik uçaklarda kullanılması uygun bir kanat profili olan Clark Y ve alttan kanat konfigürasyonunun kullanılmasına karar verilmiştir. Tasarım değişikliği sonucu kanat alanı, kanat açıklığı, elevator ve rudder alanları vb. değişmiştir. Dolayısıyla tasarım ile ilgili detaylar tekrar verilecektir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

ÖTR’de verildiği gibi ilk ağırlık tahmini yapıldıktan sonra kanat yüklenmesi (W/S) değeri 90 N/m² olarak belirlendikten sonra kanat alanı hesaplanmıştır. Ardından Aspect ratio (AR), taper ratio vb. değerler belirlenerek kanat açıklığı ve veter uzunluğu Tablo 7’de verilen excel tablosu yardımıyla hesaplanmıştır. Ardından taşıma kuvveti ve sürüklenme kuvveti formülleri kullanılarak belirli bir aralıktaki hız değerleri için gerekli olacak cL değeri ve bu durumda oluşacak sürüklenme kuvveti hesabı yapılmıştır. Aspect ratio, taper ratio, kanat konfigürasyonu, kuyruk mesafesi, kuyruk tipi, elevator, rudder parametreleri ve alan hesapları için Aircraft Design: A Conceptual Approach kitabındaki tarihsel verilerden oluşturulmuş tasarım yönelimleri incelenmiştir [2].



Şekil 14: XFLR5 programı kullanılarak oluşturulan uçak modeli.



Şekil 15: XFLR5 analiz sonuçları.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

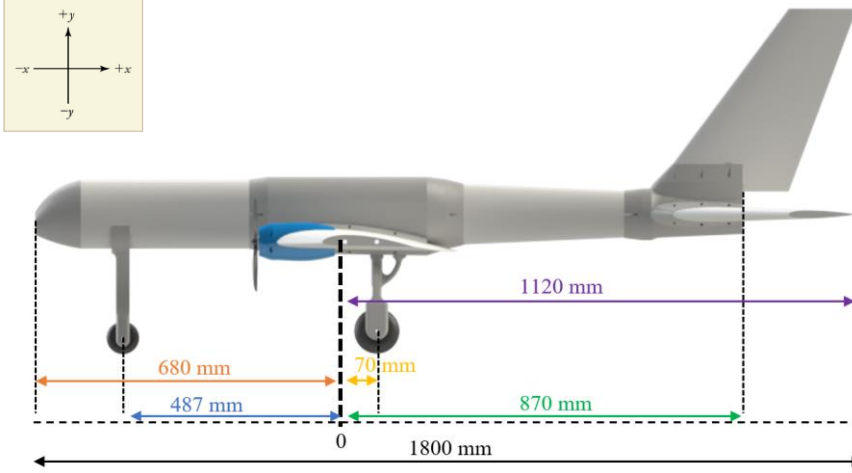
Tasarımın bu aşamasında 3B çizime geçilmeden önce, düşük hızlardaki hava araçlarının tasarımı için kullanımı uygun olan XFLR5 programında, Şekil 14’te verildiği gibi bir uçak modeli oluşturularak analizi yapılmış ve c_L , c_D değerleri incelenmiştir [3]. Bu aşamada yanal stabilitenin sağlanabilmesi için ağırlık merkezinin olması gereken nokta cm/α grafiği incelenerek birkaç denemeden sonra kesinleştirilmiştir. Stabil bir uçuş karakteristiğinin sağlanabilmesi için cm/α grafiğinin resimde verildiği gibi olması gerektiği ilgili kaynaklar incelenerek değerlendirilmiştir [4]. Böylece Şekil 15’te verildiği gibi trim 2-3 derece arasında olacak şekilde belirlenmiştir. Bu trim değerine kanadın 3 derecelik açısı eklendiği takdirde, toplam 6 derecelik bir hücum açısı ile seyir esnasında yaklaşık olarak $c_L=1$ değerinde olacağı tablodan görülmüştür. Böylelikle aşağıda verilen hesaba göre stall hızının 12 m/s, seyir hızının 15 m/s olacağı da öngörülmüştür. Ayrıca 6 kg’a göre tasarım yapılmasına rağmen ağırlığın artması ihtimali göz önüne alınarak ağırlığın artması durumunda stall hızının ve seyir hızının artacağı öngörülerek, yapısal dayanımın yeterli olacak şekilde olması planlanmıştır.

İHA’nın üretimi ile ilgili olarak da daha hafif bir gövde sağlanabilmesi için kanat, elevator, rudder ve bazı gövde parçalarının EPS köpük ile üretilmesi, geri kalan karmaşık tasarımlı parçaların da 3D yazıcı ile basılarak üretilmesine karar verilmiştir. İHA’nın boyutları ile ilgili bilgiler aşağıdaki Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8: İHA’nın Boyutları ve Hesaplanan Hızları

GENEL ÖZELLİKLER		PERFORMANS		KANAT VE KUYRUK	
Gövde Uzunluğu	1.8 [m]	Stall Hızı	12 [m/s]	Kanat	Clark Y
Kanat Açıklığı	2.18 [m]	Seyir Hızı	15 [m/s]	Elevator Rudder	NACA 0012
MTOW	6 [kg]	Max. Hız	30 [m/s]	Kanat Alanı	0.67 [m ²]
Servis Tavanı	150 [m]	W/S	90 [N/m ²]	Elevator Alanı	0.18 [m ²]
Kalkış Mesafesi	15 [m]	Uçuş Süresi	26 [dk]	Rudder Alanı	0.09 [m ²]
İniş Mesafesi	50 [m]			Kanat AR	7
				Kanat Taper	0.55

3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı



Şekil 16: İHA'nın ölçüleri.

İHA'nın ölçüleri Şekil 16'da verilmiştir. XFLR5 programında görüldüğü gibi hücum kenarından (kanat ucu) 150 mm ilerisi ağırlık merkezinin olması gereken nokta olarak belirlenmiştir. Ağırlık merkezinin bu noktada olması uçuş esnasında İHA'nın istenen performansını sağlayacaktır. Dolayısıyla verilen ölçüler için bu nokta referans noktası olarak belirlenmiştir ve Şekil 16'da 0 noktası olarak gösterilmiştir. Tablo 9'de verilen konumlar bu referans noktasına göre verilmiştir.

Tablo 9: 0 noktasına göre verilen konum ve ağırlık ölçüleri.

PARÇA	AĞIRLIK (gr)	X (mm)
Gövde (İniş takımları, tekerler, motor kasaları dahil)	2700	200
Motorlar (T-Motor AS2820, pervane, bağlantı elemanları dahil)	400	-170
4S 22000 mAh Li-Po Pil	1700	-350
3S 4200 mAh Li-Po Pil	315	-300
Elevator, Rudder servoları (3 adet MG996R)	180	940
Aileron servoları (2 adet MG996R)	120	110
ESC'ler (2 adet Hobbywing Skywalker 80A)	180	-100
NVIDIA Jetson Nano	200	150

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Pixhawk Cube, Here3 GPS, Telemetry, Kumanda Alıcısı	150	150
Rocket M5	350	0
TOPLAM	6295	

Ayrıca bu noktaya göre – / + olarak verilen uzaklık değerleri ile ilgili parçanın ağırlığının çarpılması sonucu etki eden moment değeri bulunmuştur. Her bir parçanın moment değeri hesaplandıktan sonra toplandığı zaman 0'a çok yakın bir değer olduğu görülerek, ağırlık merkezinin istenen noktada olduğuna karar verilmiştir. Bununla birlikte XFLR5 programı üzerinde yapılan analizlerde ağırlık merkezinin +/- 10 mm fark etmesi halinde uygun uçuş karakteristiğinin sağlanabildiği görülmüştür. Ayrıca montaj sonrası yapılan yer testlerinde de ağırlık merkezinin istenen noktada olduğu görülmüştür.

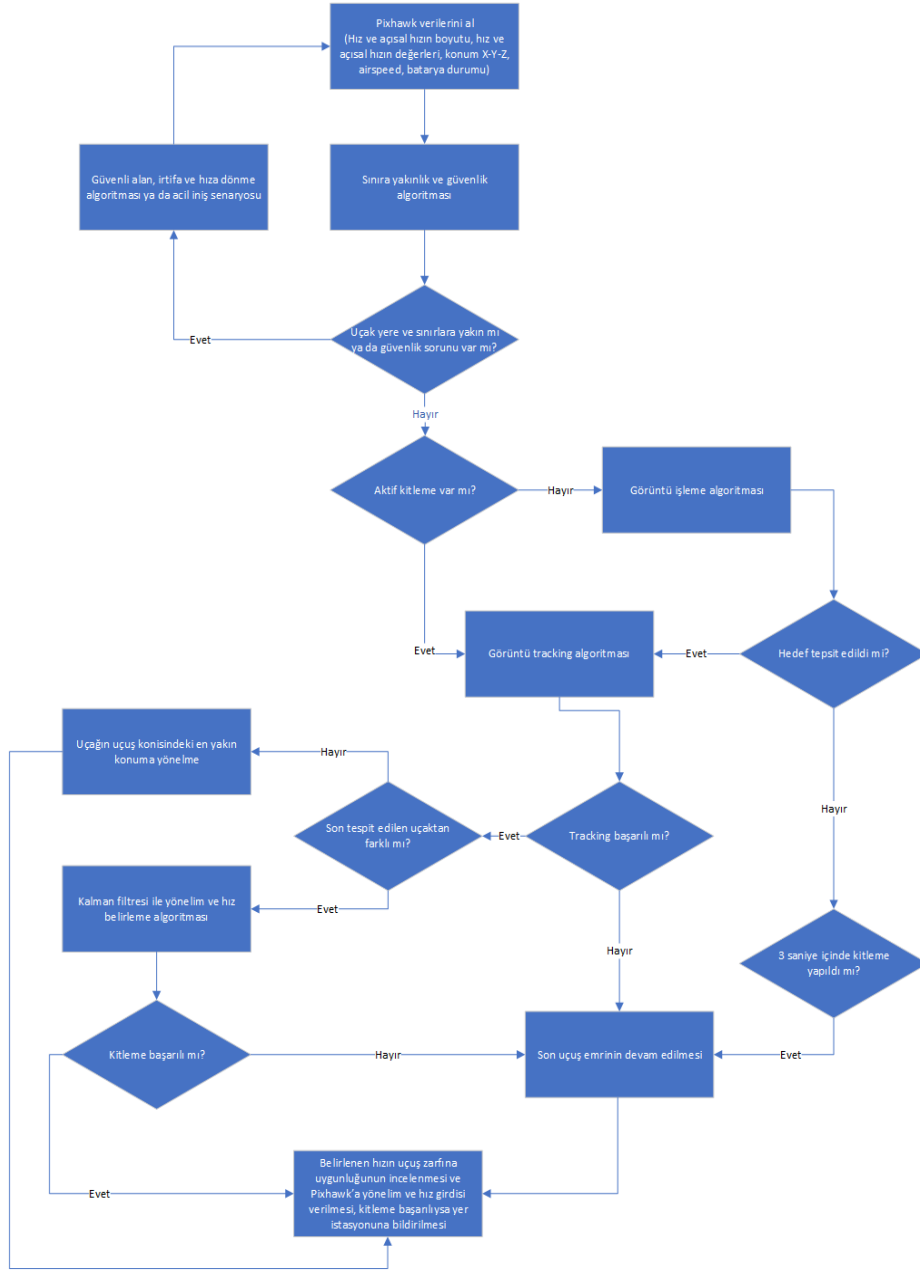
4. OTONOM KİLİTLENME

Otonom uçuş için İHA'nın kontrol alanlarını yöneten servoları ve motorun hızını ayarlayan ESC'yi yönlendirmek gerekmektedir. Servoların ve ESC'nin kontrolünü ticari olan ve PID kontrol ile yöneten, kendisini önceki yarışmalarda da kanıtlayan Pixhawk uçuş kontrol kartı seçildi. Pixhawk üstündeki sensörler ve harici GPS ve pitot tüpü sensörleriyle otonom uçuş için gerekli olan uçağın konumunu, yerden yüksekliği, doğrusal hızı, açısal hızı, ivmelenmesi, roll, pitch, yaw açılarını yeterli doğrulukta bulabilmektedir. Bunlarla beraber yer istasyonu ile telemetry üzerinden haberleşebilir, otonom iniş ve kalkış emri yer istasyonundan verilebilmektedir. PID katsayıları ve sensörleri kalibre edildikten sonra uçak stabil bir kalkış ve iniş yapabilmektedir. Sonrasında yeni uçuş emri verilene kadar loiter yapmaktadır.

4.1. Otonom Kilitlenme Görevi:

Hedef İHA'nın kilitlenme görevi ve bunun için gerekli olan uygulamalar için Pixhawk'ı yöneten bir yapay zekâ kartı kullanılacaktır. Yapay zekâ kartında bulunan döngüsel algoritma akış şeması Şekil 17'de gösterilmiştir. Öncelikle her bir döngünün 5 FPS'ten hızlı olması beklenmektedir, yani uçağımız hedef arama, bulma, takip etme gibi işlemleri kısa sürede tamamlayacak ve 0.2s içinde uçuş kontrol kartına yeni girdiler verecektir, bu sürenin daha uzun tutulması halinde uçağın hedefi kilitleme görevinin başarısız olma ihtimalinin yüksek olduğu düşünülmektedir. İlk olarak NVIDIA Jetson Nano üstünde ilk uçuş testleri gerçekleştirilecektir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 17: Yapay zekâ kartında bulunan döngüsel algoritma

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

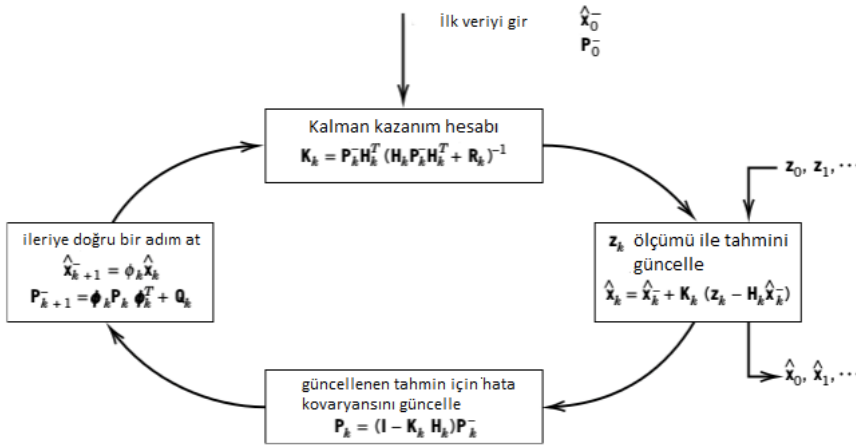
Algoritma akış şemasında gösterilen döngünün başlangıcında döngü devamında gerekecek (Uçağın konumu, doğrusal ve açısal hızı ve ivmelenmeleri, batarya durumu, pitot hızı gibi) tüm veriler Pixhawk'tan Mavlink protokolü ile çekilecektir. Sonrasında telemetriden gelen hedef uçakların konum verileri alınacaktır. Devamında bu veriler ile sınıra yakınlık ve güvenlik algoritması çalıştırılacaktır. Bu algoritmada, uçağın anlık verileri ile yarışma şartnamesinde geçen sınır koordinatlarını geçip geçmediği önceden bakılacak, irtifada sınırlara yaklaşıldığında ve batarya seviyesinde azalma olduğunda yer istasyonuna uyarı gönderecektir. Sorun olduğunda ise uçağı önceden belirlenen loiter konumuna ve hızına ulaştıracak ya da Pixhawk'a iniş emri verecektir ve bu işlemler tamamlandığında algoritma döngünün başına tekrardan gelecektir.

Sınıra yakınlık ve güvenlik algoritmasında sorun olmadığında ise uçağın önceki döngüsünden kalma takip ettiği bir hedef yani aktif kilitlenme varsa algoritma döngüdeki birkaç adım sonrasında geçecektir. Aktif kilitlenme olmadığı durumda ise kameradan görüntü alınacak ve görüntü işleme algoritmasına aktarılacaktır.

Görüntü işleme algoritmasında hedef tespiti yapılamazsa ve 3 sn içinde daha önce tespit gerçekleşmişse Pixhawk'a verilen son emir tekrarlanır. 3 sn içinde tespit gerçekleşmemişse rakip İHA'ların telemetri verilerine bakılarak İHA'nın uçuş zarfından oluşturulan uçuş konisinde olan en yakın hedefin yöneldiği noktaya doğru uçuş emri Pixhawk'a gönderilir.

Görüntü işleme algoritmasında tespit yapıldığında hedef İHA'nın görüntüsü, konumu ve boyutu Görüntü Tracking algoritmasına aktarılır. Görüntü Tracking algoritmasında tespiti gerçekleşen uçağın ID'si atanır ve yarışmadan gelen telemetri verisi ile eşleştirme yapılır. Böylece aynı İHA'ya bir daha kilitlenme sağlanmaz. Sonrasında daha masraflı olan görüntü işleme yapılmadan sadece Deep Sort algoritması gibi image tracking ile hedef İHA'nın boyutu ve konumu her döngüde tekrardan belirlenir. Eğer hedef İHA'nın görüntüsü sonraki döngüde de tanımlanabilirse hedefin konumu ve boyutu Kalman Filtresine aktarılır. Görüntüde devamlılık sağlanamazsa son uçuş emri tekrarlanır.

Kalman filtresinin pseudo kod'u Şekil 18'dedir [5].



4.1.1. Yapay Zekâ Modeli Takip Algoritması

Diagram illustrating the Pixhawk reinforcement learning architecture:

- States:** X_0 (initial state), X_1 (next state).
- Environments:** $E_1, E_2, E_3, E_{3-1}, E_{3-2}, E_{3-3}$.
- Values:** V_1, V_2, V_3 .
- Agent:** A .
- Actions:** $a_1, a_2, a_3, a_{3.1}, a_{3.2}, a_{3.3}$.
- Reward:** r .

Flow description:

- Input: "Pixhawk'tan gelen veriler, hedef uçağın görüntüdeki yeri ve boyutu" (Data from Pixhawk, target aircraft's location and size in the image) feeds into X_0 .
- X_0 branches into E_1, E_2, E_3 via actions a_1, a_2, a_3 respectively.
- E_3 branches into $E_{3-1}, E_{3-2}, E_{3-3}$ via actions $a_{3.1}, a_{3.2}, a_{3.3}$ respectively.
- $E_{3-1}, E_{3-2}, E_{3-3}$ feed into V_1, V_2, V_3 respectively.
- V_1, V_2, V_3 feed into the Agent A via red arrows.
- The Agent A sends an action back to X_1 .
- X_0 also receives a reward r .

Legend:

- a : action
- r : reward
- V : Value ağı (Value network)
- E : Environment ağı (Environment network)
- A : Agent ağı (Agent network)
- X_0 : Uçağın başlangıç konumu (Aircraft's initial position)
- X_1 : Uçağın sonraki adımdaki konumu (Aircraft's position in the next step)

Environment, Agent ve Value ağlarının her biri MLP ile Pytorch yapay zeka kütüphanesinde iki katlı nöron ağları ile oluşturulacaktır, alternatif olarak açık kaynak kodu olan Tianshou RL kütüphanesi kullanılabilir. Environment ağında uçağın son 5s'deki ve potansiyel yönelim action'larına göre uçağın sonraki konumu tahmin edilecektir. Bu modeli eğitmek için uçak oluşturulacak ve Pixhawk'taki log datasındaki verilerle eğitilecektir. Value ağında ise önce potansiyel action'lar tespit edilecek ve bu emirler Monte Carlo ağaç taraması ile gelecek tahmini yapılarak değerleri bulunacaktır [6]. Bu aşamada her bir gelecek konum için environment ağı kullanılacaktır. Value ağı ile kilitlenme sırasında uçağın hangi durumlarda başarılı olacağı hangi durumlarda kilitlenme başarısız olacağı tahmin edilecektir. Agent algoritmasında ise Value ağından çıkan sonuçlar ile optimum kararı kendi policy değerine göre seçecektir. Value ağı ve agent ağı ise Gazebo'da ilk uçağın birbirlerini kilitlemeye çalışması simülasyonu ile eğitilecektir. Modelin girdileri ve çıktıları ayrı olacaktır. Eğitim yaklaşık 10 bin oyunda tamamlanacaktır. Simülasyonda kullanılacak ödül fonksiyonu aşağıdadır:

$$r = (10 - (10x - 5)^2) \cdot (10 - (10y - 5)^2) \cdot t \cdot (100 - (100b - 10)^2)^{0.33}$$

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

r: ödül, x: tespit kutusunun x eksenindeki merkezinin normalize edilmiş konumu,

y: tespit kutusunun y eksenindeki merkezinin normalize edilmiş konumu,

b: tespit kutusunun normalize edilmiş alanı,

t: Kilitlenme süresi

Bu yöntemin dezavantajları ise uçağın dinamiğinin simülasyonda gerçeğe çok yakın gösterilme zorunluluğu, her bir modelin eğitilmesi için uzun süreler ve yüksek bilgisayar gücü gerektirmesi söylenebilir. Bu problemi aşmak adına İTÜ UHEM Yüksek Başarımli Hesaplama Merkezinin sağladığı imkanlar kullanılacaktır. Bu sistem ile elimizdeki bilgisayarlar ile eğitilmesi çok uzun sürecek olan yapay zekâ modellerinin çok sayıda işlemci kullanılarak kısa sürede eğitilmesinin sağlanması planlanmaktadır. İTÜ UHEM lisans öğrencileri için 10000 çekirdek saat işlemci gücü ve 10 GB disk alanını ücretsiz olarak sağlamaktadır

Döngünün sonunda ise Pixhawk'a gönderilecek yönelim ve hız verisinin uçağın uçuş zarfına uygunluğu tespit edilecek ve Mavlink protokolü ile iletilmesini sağlayacaktır. Ayrıca yer istasyonuna hedefe kilitlenme ile ilgili son durumu bildirecek ve yarışma ağına uçağın telemetri bilgilerini gönderecektir.

4.1.2. Görüntü İşleme Algoritması

Jetson Nano'ya ilk olarak NVIDIA JetPack SDK kurularak jetson-inference açık kaynak yazılım CMAKE araçları ile derlenerek Jetson-inference içinde bulunan C++/CUDA ile yazılmış detectnet görüntüyü yakalama ve takip algoritmaları eklenerek özelleştirildi. AARCH64 mimarisi için özel derlenmiş kodun yüksek performanslı çalışması ile daha hızlı bir kontrol süreci elde edilmesi beklenmektedir.

Görüntü işleme algoritması için NVIDIA TensorRT kullanılmıştır. Yüksek performanslı derin öğrenme modeli için bir SDK olan NVIDIA TensorRT, tahmin uygulamaları için düşük gecikme süresi ve yüksek verim sağlayan bir derin öğrenme tahmin iyileştiricisi içermektedir [7].

TensorRT, PyTorch ve TensorFlow ile entegre bir şekilde çalışabilmektedir, böylece 1 satır kodla 6 kat daha hızlı çıkarım elde edebilmektedir. PyTorch, GPU'ları ve CPU'ları kullanarak derin öğrenme için optimizasyonu sağlayan bir kütüphanedir. ONNX (Open Neural Network Exchange) yani açık sinir ağı takası olarak bilinir. Microsoft, Aws ve Facebook ortaklığıyla, deep learning modellerini temsil etmek, farklı araçlar/frameworkler arasında geçiş yapmak ya da kombinasyonlar oluşturmak için geliştirilmiş açık kaynak model formatıdır.

Jetson-inference, NVIDIA firmasının jetson nano, TX1 and TX2 gibi geliştirme kartları için temel yapay zeka işlemlerini yapacak araçlar sunduğu açık kaynak bir projedir. Bu projenin temeli NVIDIA CUDA programlama üzerinedir.

Burada UFF, ONNX. ENGINE model dosyalarında bulunan eğitimli modeller ile;

- IMAGENET
- DETECNET
- SEGNET
- POSENET

Gibi işlemler yapılabilir. Biz projemizde object detection işlemi için DETECTNET aracını kendimize göre özelleştirdik. Kamerada görülen hava aracının görüntü alanına göre koordinatının ve genişliğinin tespiti yapılmaktadır.

CUDA (Compute Unified Device Architecture), GPU (Graphics Processing Unit) için NVIDIA'nın sunduğu C programlama dili üzerinde eklenti olarak kullanıma sunulan bir mimari ve teknolojidir.

PathScale, C ile yazılmış algoritmaların GPU üzerinde çalışmasını sağlayan geliştirme araçları kümesidir. CUDA, NVIDIA tarafından geliştirilmiştir ve çalışması için NVIDIA GPU ve son sürüm sürücülere ihtiyaç vardır. CUDA G8X üzeri, GeForce, Quadro ve Tesla'yı içeren her GPU üzerinde çalışır. NVIDIA, ekran kartı mimarilerinin ileriye doğru kod uyumluluğu sayesinde, GeForce 8 için geliştirilen programların herhangi bir düzeltme yapılmadan gelecek nesil ekran kartlarında hızlanmalardan otomatik olarak faydalanacak şekilde kullanılabileceğini belirtiyor. CUDA kütüphanesi, geliştiricilerin CUDA özellikli GPU'lar üzerindeki hafızalara ve Stream Processorları kontrol edebilmesini sağlar.

Jetson-inference, PyTorch kullanımıyla ilgili araçlar sunar. Bu araçlar ve train_ssd.py aracını kullanarak 14391 hava aracı fotoğrafı bulunan fotoğraflarla Pytorch modeli 100 dönem eğitilmiştir. Sonrasında bu modeli TensorRT engine formatına dönüştürmek için önce ONNX formatına dönüştürdük. Bu işlemi yaparken yine jetson-inference bize sunduğu onnx export aracını kullandık. Daha sonra kendimize göre özelleştirdiğimiz DetectNet aracı ile modelin eğitimi yapıldı. Son eğitilen model ile yapılan testlerde aşağıdaki görüntüler Şekil 20 ve 21'de elde edilmiştir.



Şekil 20: Eğitilen model ile yapılan testlerden elde edilen görüntü 1

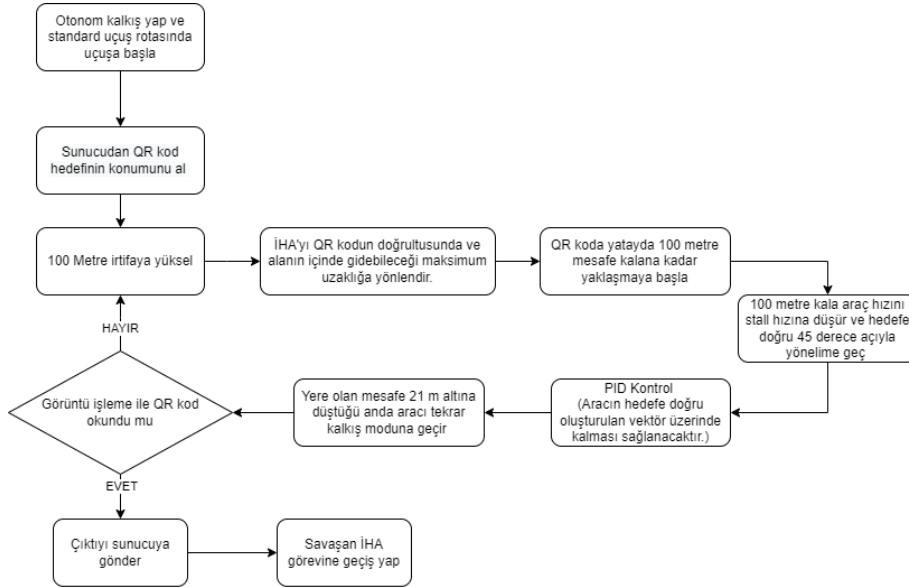
SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 21: Eğitilen model ile yapılan testlerden elde edilen görüntü 1

Ön tasarımda belirtilen YOLOv5s nesne tanıma modeli ve Python kullanılarak eğitilen modelden 5 FPS alınırken, C++ ve TensorRT kullanılarak yeni eğitilen modelde 40 FPS tanıma hızına kadar çıktıldığı görülmüştür.

4.2. Kamikaze Görevi:

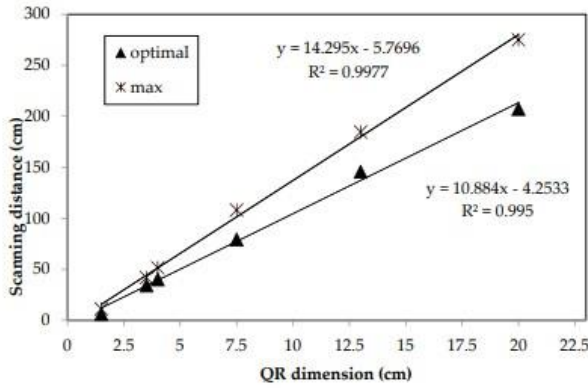


Şekil 22: Kamikaze görevi algoritma akış şeması

Kamikaze İHA Görevinin İHA'nın kaza kırma uğraması riski sebebiyle son iki uçuş sırasında denenmesine karar verilmiştir. Ancak yapılan testlerde algoritmanın güvenilirliği kanıtlanırsa diğer bölümlerde de denenecektir. Yere yerleştirilen QR kod 2x2 boyutlarında olup kenarlarında 45 derecelik plakalar bulunmaktadır. Göreve ilişkin algoritma akış şeması Şekil 22'de verilmiştir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

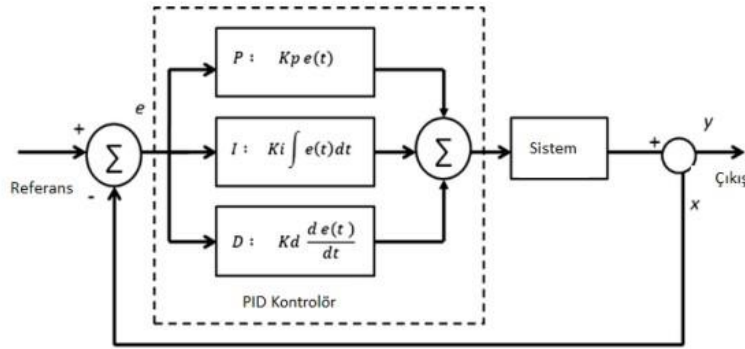
Araç sunucudan gelen QR kodun konum bilgisini aldıktan sonra düzgün bir dalış gerçekleştirebilmek adına hedefin doğrultusunda alanda gidebileceği en uzak noktaya ilerleyecek ve 100 metre irtifaya yükselecektir. Daha sonra 100 metre mesafe kalana kadar hedefe yaklaşacak ve 100 metre kaldığında dalış işlemini gerçekleştirmek için pitch açısını 45 derece olarak ayarlayarak hedefe yaklaştırmaya başlayacaktır. 100 metreden itibaren dalış yapılacak rota düz bir vektör şeklinde belirlenmiştir ve aracın bu vektör üzerinde ilerleyebilmesi için PID kontrol kullanılacaktır. Pixhawk Küp'e gönderilen komut ile elevator açısı değiştirilerek aracın pitch açısını kontrol edecektir. İstenen sonuç vektörünün elde edebilmek için gerekli rudder açısının belirlenmesi PID kontrol ile yapılacaktır. "Exploring Smart Glasses for Augmented Reality" adlı makalede yapılan QR kod tanıma ile ilgili yapılan ölçümlerde aşağıdaki sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir [8].



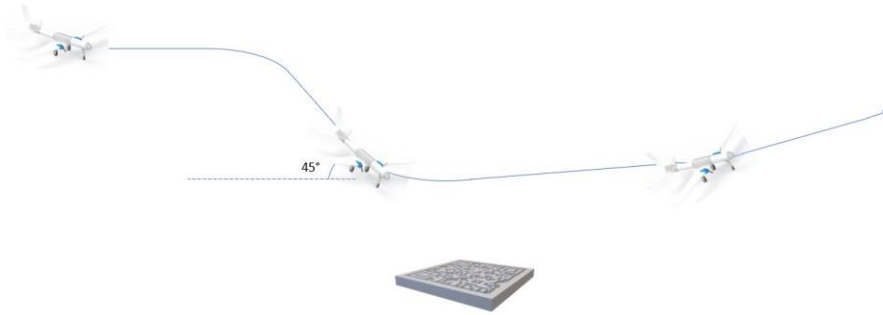
Şekil 23: "Exploring Smart Glasses for Augmented Reality" adlı makalede yapılan QR kod tanıma ile ilgili yapılan ölçümlerde elde edilen sonuçlar.

Grafikte görüldüğü üzere QR kod kenar boyutuyla tarama mesafesi orantılı olarak artmaktadır. Bu oran ile yaklaşık 20-25 metreden tanıma yapılması beklenmektedir. Tanıma mesafesi ortam şartları ve kamera çözünürlüğüne göre değişebileceği için bu mesafenin optimumunu bulmak için testler yapılacaktır. Okuma işleminin gerçekleştirilmesi için araç 20 metre mesafeye kadar iniş yapacak, iniş gerçekleştikten sonra okuma işleminin yapılıp yapılmadığına bakılmaksızın tekrar yönelimini yukarı değiştirerek yükselecektir. Eğer görev başarılıysa Savaşan İHA görevine geçiş yapacak, eğer değilse başa dönerek tekrar deneyecektir. GPS üzerinden alınan irtifa verisi doğruluğu böyle hassas bir görev için yeterli olmama ihtimali bulunmaktadır. Bu sebeple aracın altına yerleştirilecek bir lidar sensörü ile irtifa değerinin tam ve hızlı bir şekilde ölçülerek çarpmadan kaçınılacak ve kontrol algoritmasının doğru bir şekilde çalışması sağlanacaktır. Ayrıca kameranın yarışma öncesinde zoom oranının değiştirilmesine izin verilmektedir. Yapılacak testlerde iyi performans vermesi durumunda görevin deneneceği müsabakalarda kamera zoom oranı "x2" olarak ayarlanarak görevin daha hızlı bir şekilde

tamamlanması da planlanmaktadır. PID kontrolörün şeması Şekil 25 ve yaklaşma algoritması görseli Şekil 24’de verilmiştir.

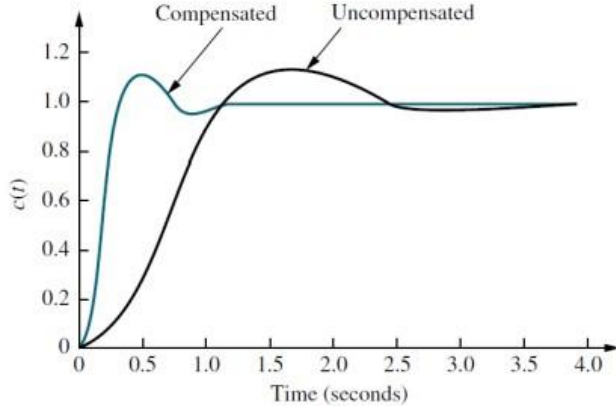


Şekil 24: PID kontrol algoritması



Şekil 25: Kamikaze İHA Görevi Yaklaşma Algoritması

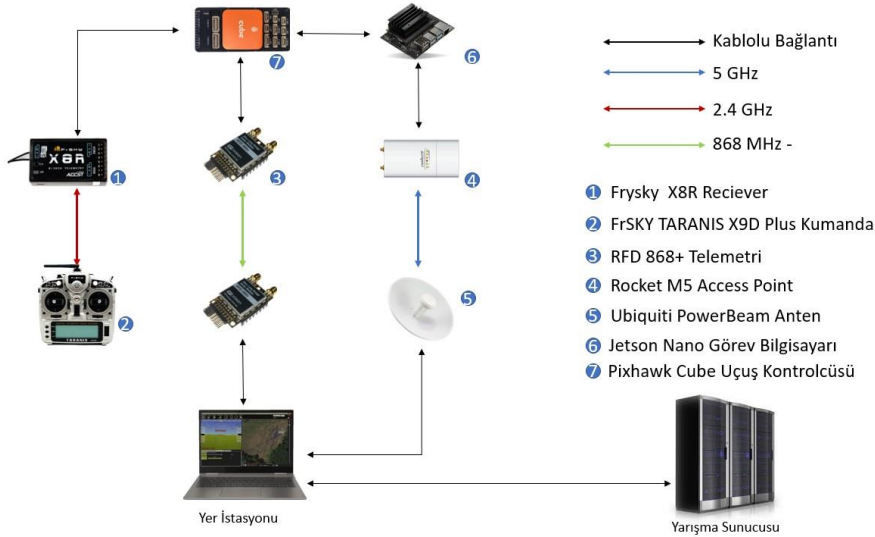
P kontrolöre eklenen integral kompenzatorü ile sistemin sürekli hal hatası minimuma indirgenirken türev kompenzatorü ile geçici hal davranışı iyileştirilebilmektedir. Bu sayede ayarlanan parametreler ile sistemin en hızlı ve doğru şekilde istenilen vektör üzerine konumlanması sağlanacaktır. PID kontrolün sisteme etkisi aşağıdaki örnek grafik Şekil 26’da verilmiştir.



Şekil 26: Kompanse edilmiş ve edilmemiş sistemlerin cevabının karşılaştırması

5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME (15 PUAN)

Nu.D.22'nin tüm kalkış uçuş ve inişi otonom bir şekilde sorunsuz olarak yapması, görevleri istenilen doğrultuda yerine getirmesi ve puan alabilmesi için araç-yer istasyonu arasındaki iletişim ve yer istasyonu-sunucu arasındaki iletişimin sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Sistemler arası haberleşmenin şeması aşağıdaki Şekil 27'de ki gibidir.



Şekil 27: Sistemler arası haberleşmenin şeması

5.1. Haberleşme Sistemi Bileşenleri

5.1.1. Telemetri Alıcı ve Verici: Uçuş esnasında yer istasyonundan uçuş kontrolcüsüne istenen komutların gönderilmesi ve uçuş bilgilerinin alınması gerekmektedir. Başlangıçta 3DR telemetri modülü temin edilmiş ancak uzun mesafelerde kopmalar olduğu görülmüştür. Sonrasında piyasadaki çeşitli telemetri modülleri araştırılmış en uygunun UART protokolü kullanan **RFD868x** olduğuna karar verilmiştir. Yarışma sırasında aynı andı çalışan çok sayıda takım olacağı düşünüldüğünde karışmanın engellenmesi için haberleşmenin şifrelenmiş olması gerekmektedir. Ayrıca iletişimin kopmaması için de telemetrinin çalışabildiği uzaklık çok önemlidir. AES (Advanced Encryption Standard) standartlarında şifreleme ile karışmayı engelleyen, 40 km'ye kadar menzil sağlayan küçük boyutlu ve hafif, 32-250 kbps aralığında veri iletimi yapabilen RFD868x modülü sistemin ihtiyaçlarını fazlasıyla karşılayacaktır. Telemetri **868 MHz** bandında çalışmaktadır. Modül yer istasyonu ve uçuş kontrolcüsü ile uyumlu çalışmakla birlikte iletişimi Mavlink Protokolü ile sağlayacaktır.



Şekil 28: Telemetri Modülü

5.1.2. RC Kumanda ve Alıcı: RC kumanda mod atamaları ve manuel modda uçuş ve testleri veya acil bir durum olduğunda uçuşun pilot tarafından devralınması gerektiği durumlarda kullanılacaktır. Uçuş kumandamız (vericimiz) FrSKY TARANIS X9D Plus modelidir. Alıcı olarak da uçuş kontrolcümüz Pixhawk Cube'a S-BUS bağlantısı ile bağlanmış FrSKY X8R alıcı kullanılmaktadır. Alıcımız ile vericimiz, 2.4 GHz bandında birbirlerinde haberleşmektedir. Uçuş kontrolcümüz RC kumandamızdan aldığı komutları uygun şekilde dönüştürerek kontrol yüzeylerini hareket ettirmektedir.



Şekil 29: RC Kumanda

5.1.3. Wi-Fi Haberleşme Sistemi: Yarışma süresince sunucuya anlık video aktarımının yapılması ve aynı zamanda yer istasyonunda görüntülenmesi için bir yer istasyonu ile Nu.d.22 arasında iletişimi sağlayacak bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır. Piyasada bulunan çeşitli wi-fi alıcı ve vericileri incelenmiş yarışma alanının büyüklüğü ve gerekli mesafe göz önüne alınarak Ubiquiti firmasının sistemlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Araç üzerinde alıcı olarak Rocket M5 alıcı ve yer istasyonunda Ubiquiti PowerBeam PBE-M5-400 alıcı anten kullanılacaktır. 5150-5875 MHz aralığında çalışma alanı sağlayan sistem aynı frekans bantları kullanımında oluşan girişim problemlerinin çözümü için gerekli genişliği sağlamaktadır. Ayrıca bu sistem MIMO (Multiple Input Multiple Output) [9] teknolojisi sayesinde alıcı ve verici üzerinde bulunan birden fazla anten ile hatanın minimize edilmesini ve veri aktarım hızının optimize edilmesini sağlar. Rocket M5 modülü yer istasyonu ile haberleşmeyi UDP protokolü ile sağlayacaktır. TCP (Transmission Control Protocol) yerine UDP (User Datagram Protocol) seçilmesinin sebebi TCP ile aktarımda verinin gönderilip gönderilmediği kontrol edilir ve eksik gönderim durumunda veri tekrar gönderilir. Bu kontrol işlemi haberleşmeyi yavaşlatır. UDP ile iletim ise daha hızlı ve basit olmaktadır.



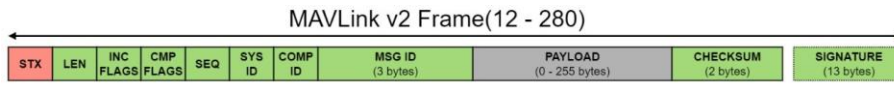
Şekil 10: Alıcı Anten

FPV kamera üzerinden uçuş bilgisayarına aktarılan görüntü nesne tanıma ve otonom takip algoritmalarından geçirilip üzerinde gerekli işlemler uygulandıktan sonra (kilitlenme dörtgenlerinin çözülmesi) yer istasyonuna iletimi yapılacaktır. Aynı sistem üzerinden Pixhawk

üzerinden çekilen uçuş verilerinin de iletilerek bu sayede telemetri bağlantısında bir problem olması durumunda haberleşmenin aksamasının önlenmesi planlanmaktadır.

5.2. MAVlink Protokolü

MAVlink 2009 yılında Lorenz Meier tarafından küçük boyuttaki insansız hava araçlarının iletişimi için geliştirilmiş bir mesaj protokolüdür. Telemetri ile yer istasyonu (QGroundControl) arasındaki haberleşmeyi bu protokol ile gerçekleştirmektedir. Ayrıca Pixhawk üzerinden görev bilgisayara gönderilen verilerin kullanılması da MAVlink temelli Mavros paketleri ile yapılacaktır [10]. Örnek bir MAVlink haberleşme paketi Şekil 31’de açıklamalarıyla verilmiştir.



Şekil 31: MAVlink haberleşme paketi

- Her bir paketin uzunluğu 12-280 byte arasında değişmektedir.
- İlk 9-byte içerisinde, paket başlangıç işareti, sistem ID’si, komponent ID’si, faydalı yük uzunluğu, uyumluluk flagleri, gibi veriler saklanmaktadır.
- Sonraki n adet byte içerisinde mesaj versini içeren faydalı yük bulunmaktadır.
- Son 15 byte içerisinde ise kimlik doğrulama yapılmaktadır.

5.3. Sunucu ile Haberleşme

Yer istasyonu- sunucu haberleşmesi verilerin doğru ve kesintisiz aktarılması yarışma süresince en kritik noktalardan biridir. Savaşan ve Kamikaze İHA görevlerindeki kilitlenme verisinin ve QR kod çıktısının sunucuya gönderilmesi gerekmektedir. Sunucu ile haberleşmede

```

/home/mollaemin/PX4-Autopilot/launch/multi_uav_mavros_siti_sdff.launch http://localhost:11311
HTTP

('IHA_enlem', ' ', ' ', 47.3977416)
('IHA_yatis', ' ', ' ', 0)
('takim_numarasi', ' ', ' ', 1)
('Hedef_genislik', ' ', ' ', 0)
('Hedef_merkez_X', ' ', ' ', 0)
('IHA_boylam', ' ', ' ', 8.5456265)
('IHA_kilitlenme', ' ', ' ', 0)
('IHA_yonelme', ' ', ' ', data: 90.79)
('Arac_Saati', ' ', ' ', {'saat': 19, 'milisaniye': 549, 'saniye': 24, 'dakika': 1})
('IHA_otonom', ' ', ' ', 1)
('Hedef_yukseklilik', ' ', ' ', 0)
('IHA_hiz', ' ', ' ', 14)
('Hedef_merkez_Y', ' ', ' ', 0)
('IHA_dikilme', ' ', ' ', 5)
('IHA_batarya', ' ', ' ', 90)
('IHA_irtifa', ' ', ' ', 535.0928700913917)

('IHA_enlem', ' ', ' ', 47.3977415)
('IHA_yatis', ' ', ' ', 0)
('takim_numarasi', ' ', ' ', 1)
('Hedef_genislik', ' ', ' ', 0)
('Hedef_merkez_X', ' ', ' ', 0)
('IHA_boylam', ' ', ' ', 8.5456265)
('IHA_kilitlenme', ' ', ' ', 0)
('IHA_yonelme', ' ', ' ', data: 90.79)
('Arac_Saati', ' ', ' ', {'saat': 19, 'milisaniye': 235, 'saniye': 25, 'dakika': 1})
('IHA_otonom', ' ', ' ', 1)
('Hedef_yukseklilik', ' ', ' ', 0)
('IHA_hiz', ' ', ' ', 14)
('Hedef_merkez_Y', ' ', ' ', 0)

```

Şekil 32: Oluşturulmuş sunucunun haberleşme testi

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

(Hyper Text Transfer Protocol) protokolü kullanılacaktır ve API mantığında JSON formatında olacaktır. JSON programlama dilleri arasında iletişimi kolaylaştıran metin tabanlı bir veri formatıdır. Sunucuya gönderilecek veri paketi aşağıdaki gibidir. Aşağıdaki görsel API yazılımı ve test için oluşturulmuş sunucunun haberleşme testinden olmakla birlikte yazılımın, yer istasyonuna entegre edilmesi ve oradan sunucu ile iletişimin kurulması planlanmaktadır. (Görseldekine ek olarak kilitlenme verisi de gönderilecektir.)

6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

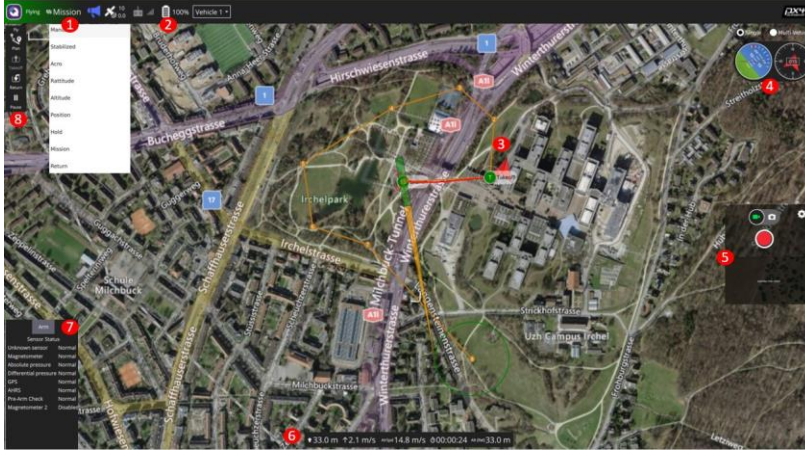
Yer kontrol istasyonu, uçuş kontrolcüsünün programlamasını, parametrelerinin ayarlanmasını, radyo kontrolcüsünün ve kontrol kartı üzerindeki ve ona bağlı bulunan sensörlerin kalibre edilmesini sağlayan programdır. Genellikle bilgisayar kurulu olmaktadır. Ayrıca İHA'dan gelen hız, yükseklik, pozisyon, batarya, kamera vb. telemetri bilgilerinin online görüntülenmesini sağlar. Yarışmada telemetri bilgilerini almak önemli ve uçuşun takibi ve güvenliği için gereklidir.

Yarışma sırasında kullanılabilecek yer istasyonu yazılımı için seçenekler MissionPlanner, QGroundControl ve özgün tasarım bir yazılımın kullanılması olarak belirlenmişti.

QGroundControl yazılımı uçuş yazılımı PX4 ile daha uyumlu çalışması, takım üyelerinin arayüz üzerinde tecrübesi olması, istenilen gerekliliklerin çoğunluğunun sağlanması açısından kullanılacaktır. Bununla birlikte İHA üzerinden gelen anlık kamera verilerinin görüntülenmesi ve sunucu ile iletişim kuracak API entegre edilmiş özgün bir arayüz tasarımının geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir.

6.1. QGroundControl Yer İstasyonu

QGroundControl arayüzünün açıklamaları aşağıda verilmiştir. (Açıklama için verilen Şekil 33 simülasyonda yapılan uçuş sırasında alınmıştır.)



Şekil 33: QGroundControl Yer İstasyonu ekranı

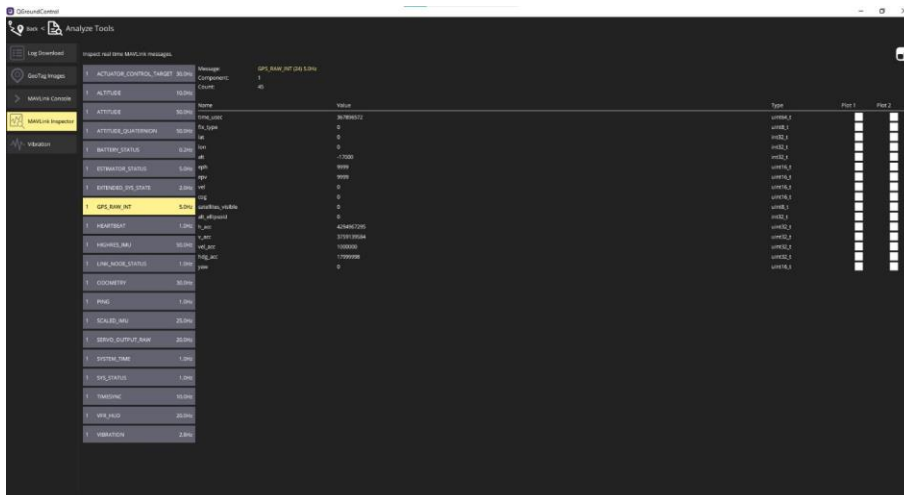
1-) Mod değişim seçenekleri ve mevcut uçuş modu.

“CASA”

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

- 2-) Batarya durumu, bağlantı bilgileri, çoklu modda birden fazla aracın seçim ekranı
- 3-) Harita, uçuş planı ve aracın konumun görüntülenmesi
- 4-) Aracın yer referansına göre yönelimini ve baş açısının görüntülenmesi
- 5-) Aktarılan görüntünün gösterildiği bölüm (Bu bölümün kullanılması planlanmamaktadır. Görüntünün özgün yazılımda yayınlanması planlanmaktadır.)
- 6-) Aracın irtifa, hava hızı, uçuş süresi, yer hızı, GPS konumu gibi verilerinin görüntülediği bölüm
- 7-) Sensör durumlarının görüntülenmesi ve motorun arm edilmesi
- 8-) Gerekli durumda uçuş planı hazırlanıp yüklemesinin yapılabileceği bölüm.

QGC yazılımının altta verilen kısmında ise sensör kalibrasyonları, parametre ve uçuş modlarının ayarlanması, motor testi ve güvenlik(fail-safe) ayarlarının yapılması, otopilota uygun yazılımın yüklenmesi, araç ve uçuş verileri ile ilgili tüm ayrıntıların görüntülenmesi işlemlerinin yapılmasına imkân tanımaktadır. Bu işlemler Şekil 34’de ki gibidir.

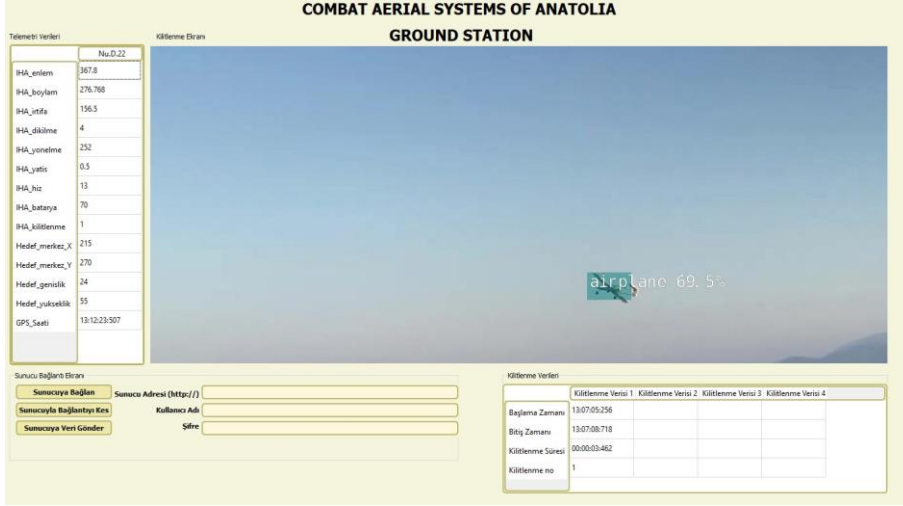


Şekil 34: Paremetre değıştirme ekranı.

6.2. Özgün Tasarım Yer İstasyonu Yazılımı

Özgün tasarım yer istasyonu yazılımının olabildiğince basit ve kullanıcı dostu bir arayüze sahip olması istenmektedir. Sunucu ile gerçekleştirilecek bağlantının ve telemetri veri paketinin gönderilmesi işleminin bu arayüzden yapılması planlanmaktadır. Sol altta sunucu ile bağlantının kurulmasını sağlayacak ekran, sol tarafta sunucuya gönderilecek telemetri verilerinin görüntüsü ve sağ alt kısımda da kilitlenme verilerine dair ayrıntılar yer alacaktır. Yazılımın çalışabilirliği ve optimizasyonu üzerine testler devam etmektedir. Özgün tasarımımızın bir örneği aşağıda Şekil 35’te verilmiştir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

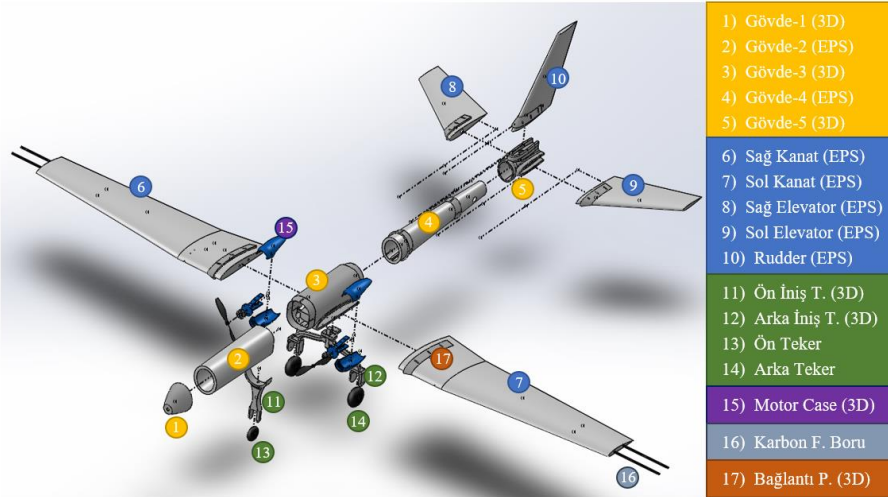


Şekil 35: Özgün yer istasyonu tasarımı.

7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU

7.1. Yapısal Entegrasyon

İHA tasarım ve üretim olarak özgündür. Gövde parçalarının üretim yöntemi belirlenirken, gerekli yükü taşıması, parçalarına kolayca ayrılabilir ve geri birleştirilebilir olması yani taşıma kolaylığı, İHA üzerinde bulunacak elektronik parçalar için yeterli bir iç hacme sahip olması göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 36: İHA'nızın yapısal şeması

Gövde parçaları, temel olarak 2 farklı üretim yöntemi ile üretilmiştir. Birinci yöntem karmaşık gövde parçaları için kullanılmış olup 3D yazıcı ile üretilmiştir. İkinci yöntem ise EPS köpüğün

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

üzerine mdf profilleri karşılıklı yerleştirerek üzerinden güç kaynağı yardımıyla ısıtılmış rezistans teli geçirilmesi yöntemiyle üretilmiştir.

İHA yapısal parçaları Şekil 36’da verilmiştir. 2,4,6,7,8,9,10 numaralı parçalar EPS köpüğün rezistans teli kullanılarak kesilmesiyle üretilmiştir. 2,4 nolu parçalar gövde; 6,7 nolu parçalar kanat; 8,9,10 nolu parçalar elevator, rudder olarak gösterilmiştir. Ayrıca EPS köpükten üretilen bütün parçaların üzerine 2 kat 25 gr/m2 cam fiber ve epoksi karışımı uygulanarak dayanımı artırılmıştır. Kanat ve kuyruk üzerindeki servo yerleri de yine rezistans teli kullanılarak açılmıştır. 1,3,5,11,12,15,17 nolu parçalar ise 3D yazıcı ile üretilmiştir. 1,3,5 nolu parçalar gövde; 11,12 nolu parçalar iniş takımı; 15 nolu parça ise motorların monte edileceği ve motor koruması olarak tasarlanmış parçalardır. 15 nolu parça, motorun bağlantısı için tasarlanmış olup, kanada 2 adet M4 civata-vida ile sabitlenmektedir. 16 nolu parçalar ise 10 mm kalınlığında 1 metre uzunluğundaki 4 adet karbonfiber boruyu göstermektedir. EPS köpükten kesilen kanatların dayanımını artırmak, yükü gövdeye iletme ve arka iniş takımının gövdeye bağlantısını sağlamak üzere kullanılmaktadır. 17 nolu parça ise resimde verilen 8 adet EPS köpükten kesilmiş parçanın üzerine geçirilen bağlantı parçasını temsilen gösterilmiştir. 17 nolu parça EPS köpükten üretilen parçaların üzerine geçirildikten sonra yapıştırılan, gövde ile ilgili parçanın bağlantısını sağlayan bağlantı parçasıdır. 17 nolu parça üzerindeki 3,2 mm genişliğindeki deliklerden geçirilen M3 civatalar ile gövde üzerindeki uygun deliklere yerleştirilmiş somunlara tutturulmaktadır.

İniş takımlarının yeterli dayanıma sahip olmadığı düşünüldüğü için alüminyumdan yapılmasına karar verilmiştir, ancak bu değişiklik rapordan sonra yapılacağı için burada kısaca bahsedilmesine karar verilmiştir.

İHA’nın katı model çizimi ile montajı tamamlanmış halinin karşılaştırması Şekil 37’de verilmiştir.

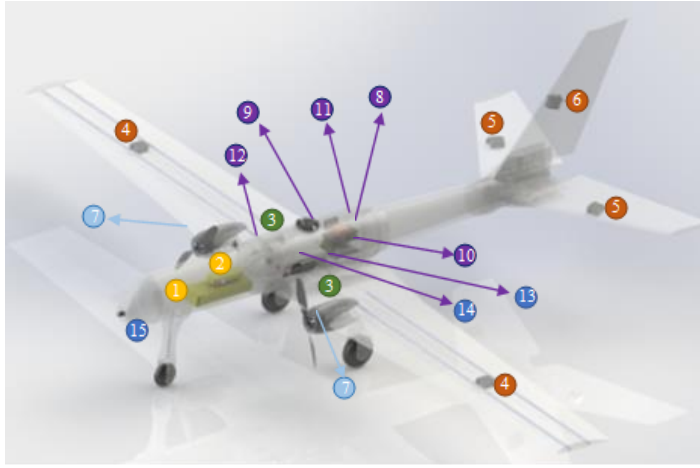


Şekil 37: İHA’nın katı model çizimi ile montajı tamamlanmış hali.

7.2. Mekanik Entegrasyon

İHA’nın mekanik entegrasyonu planlanırken, daha önce karşılaşılan bazı problemler göz önünde bulundurulmuştur. İHA’nın iç alanının dar olması, karmaşık elektronik devreler, güç kabloları ile veri kablolarının yakın olma ihtimali sonucu elektromanyetik etkinin oluşması gibi durumlar mekanik entegrasyonun iyi planlanması gerektiğini göstermiştir. Bahsedilen olumsuz durumların önüne geçmek ve uçuşa hazır hale gelme süresini kısaltmak için uygun bir yerleşim düşünülmüş ve İHA’nın üzerine yerleştirilecek parçalar ile konumları Şekil 38’de verilmiştir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



1) 4S 22000 mAh Li-Po
2) 3S 4200 mAh Li-Po
3) ESC (Hobbywing Skywalker 80A)
4) Aileron Servo (MG996R)
5) Elevator Servo (MG996R)
6) Rudder Servo (MG996R)
7) T-Motor AS2820 1250KV
8) Pixhawk Cube Orange
9) Here3 GPS
10) RFD 868 Telemetry
11) FrSKY X8R Receiver
12) PX4 Pitot Tüpü (4525DO)
13) NVIDIA Jetson Nano
14) Rocket M5
15) Kamera (e-CAM24_CUNX)

Şekil 38: İHA'nın üzerine yerleştirilecek parçalar ile konumları

Ağırlık dengesini sağlayabilmek ve güç kablolarını elektronik parçalardan uzak konumlandırabilmek için Li-Po piller gövdenin ön kısmına yerleştirilmiştir. 4S Li-Po pilden ESC'lere giden güç kablosu üzerine 200 Amperlik bir sigorta yerleştirilerek, bu anahtarlı sigorta gövdenin dışında kolay ulaşılabilir bir noktaya yerleştirilmiştir. Sigortanın yerleşimi Şekil 39'da verilmiştir. ESC'ler yeterli soğutmanın sağlanabilmesi için gövdenin dışına sağlı sollu olarak yerleştirilmiştir. Pixhawk ve GPS ise olabildiğince ağırlık merkezine yakın yerleştirilerek İHA'nın hareketlerini algılayan sensörlerin doğru çalışması hedeflenmiştir. İHA'nın burnuna yerleştirilen kameranın görev bilgisayarı ile bağlantı mesafesinin uzun olmasının etkisi tartışılmış, dijital veri aktarımı dolayısıyla bir problem oluşturmayacağına karar verilmiştir. Yine herhangi bir olumsuz etkisinin olması durumunda bağlantı mesafesinin kısaltılabileceği düşünülmüştür. Bununla birlikte yine güç kablolarının veri kablolarını etkileme ihtimali göz önünde bulundurularak, gerekli görüldüğü takdirde gövde içindeki yerleşimin bunu engelleyecek şekilde değiştirilebileceğine karar verilmiştir.



Şekil 39: 200 Amperlik bir sigortanın İHA'mız üzerindeki yeri

Gövde içerisindeki aviyonik parçalara kolay ulaşımın sağlanabilmesi için Şekil 38'de 2 ve 3 nolu olarak gösterilen gövde parçaları üzerine kapak açılması uygun görülmüştür. Böylelikle yapısal entegrasyon tamamlandıktan sonra mekanik entegrasyonun tamamlanması için yapısal entegrasyonun bozulması önlenmiş olacaktır.

Resimde verilen uçuş kontrol kartı, görev bilgisayarı, telemetri vb. elektroniklerin kolay takılıp çıkarılabilir hale getirilmesi için nihai yerleşim belirlendikten sonra bir kontrol ünitesi tasarlanmasına karar verilmiştir.

7.3. Elektronik Entegrasyon

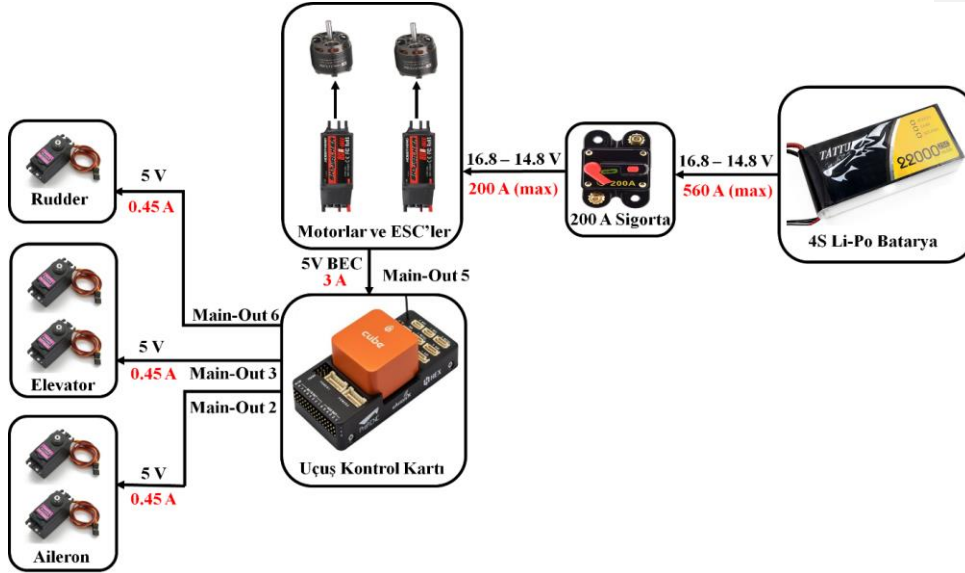
Bu bölümde, hava aracının elektronik entegrasyonun nasıl yapılacağı açıklanmalı ve gerçekleştirilen adımlar görseller ile açıklanmalıdır. (Ör: kablolama, güç dağılımı, vb.)

Elektronik entegrasyon sistemin istenilen şekilde görev isterlerine yerine getirmesi için tasarlanması gereken en önemli kısımlardan biridir. Kablo yerleşimi ve seçimi bu kısmın önemli bir kısmını oluşturur. Kablo yerleşimi sinyal karışmasını veya bozulmasını engelleyecek şekilde ve İHA'mızın diğer komponentlerini engellemeyecek şekilde yapılmıştır. Alt komponentlerin beslenmesi için Li-Po bataryalardan alınan gücün güvenli bir şekilde aktarılması gerekmektedir. Bu noktada kablo seçimi kablolardan geçebilecek maksimum akımı kaldırarak şekilde yapılmıştır. Mümkün olduğunca komponentler arası tek (eksiz) kablo kullanılmaya çalışılmıştır. Ek gerektiren yerlerde makaronlar kullanılmış ve kısa devreye yol açabilecek kısım bırakılmamıştır.

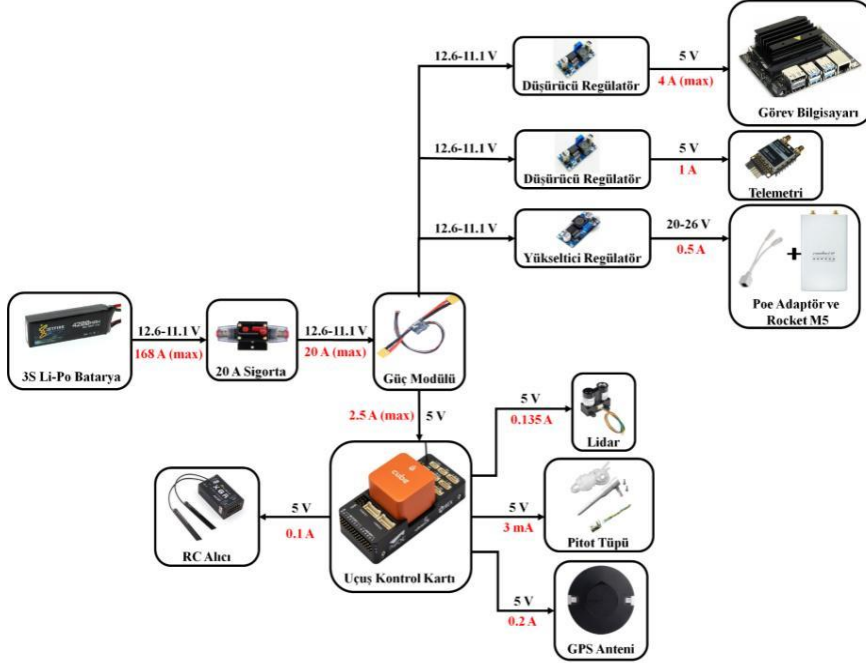
İHA'mızın iki güç kaynağı mevcuttur. Bunlar 22000 mAh 4S batarya ve 3S 4200 mAh Li-Po bataryalardır. Bataryalardan gelen güç hattının bağlantı şemaları Şekil 40 ve 41'de görülmektedir. Bataryamızdan elde edilen güç; uçuş kontrol kartını, görev bilgisayarı (uçuş kontrol bilgisayarı), motorları (ESC'ler) wi-fi modülünü (rocket m5) ve genel olarak sistem için gerekli voltaj dönüşümlerini sağlayacak regülatörleri beslemektedir. 4S batarya ile motorlar ve servolar beslenirken, 3S batarya ile sistemin geri kalan komponentleri beslenecektir. 4S bataryamızdan motorlara (ESC'lere) giden pozitif hatta sistem oluşabilecek

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

yüksek akıma karşı İHA'mızı koruma hemde bir aç kapa butonu olması açısından 200 A sigorta eklenmiştir. Uçuş kontrol kartımız olan Pixhawk ve onun üzerinden beslenen GPS, Lidar Sensör, telemetri modülü, hız sensörü ve RC alıcı 3S bataryaya bağlı güç modülünden beslenmektedir. Bu güç modülünün 3S batarya ile olan pozitif hattına hem açıp kapatma hem de herhangi bir yüksek akıma karşı korunması açısından 20 A sigorta takılacaktır. Uçuş yüzeylerini kontrol eden pixhawk cube üzerine takılmış servolar için Pixhawk üzerinden gelen güç yetersizdir. Yapılan denemelerde aviyonik geriliminin düşük olduğu hatası ile karşılaşmıştır. Daha sonra yapılan araştırmalar neticesinde ESC'lerin BEC özelliğine sahip olanlarının uçuş kontrolcüsünde takılarak servoları sürmek için kullanılabileceği bilgisine ulaşılmıştır. (BEC: Battery Eliminator Circuit). BEC, elektronik devrelerde beslenmesi gereken diğer sitemlerin ekstra bir bataryaya ihtiyaç duymadan ana kaynaktan beslenilmesi için tasarlanmıştır. ESC'lerimiz BEC özelliğine sahiptirler dolayısı ile kontrol yüzeylerini hareket ettiren servoları sürmek için kullanılmakta ve kullanılacaktır. Tasarımını yaptığımız İHA çift motora sahiptir ve bu her bir motor farklı bir ESC'ye bağlanmıştır. ESC'lerin verdiği voltaj değerleri eğer pozitif hatları birleştirilmiş bir şekilde bağlanırsa faz kayması yapabilmektedir. Bu kaymayı önlemek için sadece bir tanesinin BEC devresi kullanılmıştır. Uçuş görev bilgisayarımız olan NVIDIA Jetson Nano 5V gerilime ihtiyaç duymaktadır. Görev bilgisayarının ihtiyaç duyduğu gerilimin sağlanabilmesi için regülatör kullanılarak doğrudan ana batarya veya duruma göre eklenebilecek 3S bataryadan gelen voltajın düşürücü regülatör kullanılarak beslenmesi planlanmaktadır. Düşürücü olarak LM2596 ayarlanabilir düşürücü kullanılacaktır. Yarışma şartlarını sağlamak için görüntünün görev istasyonuna aktarılması gerekmektedir. Bunun için kullanılacak olan Rocket M5 modülü 24V gerilime ihtiyaç duymaktadır. Bu voltaj değerinin saylanabilmesi için 3S bataryadan gelen gerilimin yükseltici regülatör ile yükseltilmesi gerekmektedir. Yükseltici olarak XL6009 ayarlı yükseltici kullanılacaktır.



Şekil 40: 4S batarya ile motorların ve serovoların beslenmesi



Şekil 11: 3S batarya ile uçuş kontrolcüsünün, görev bilgisayarının ve alt sistemlerin beslenmesi.

8. TEST VE SİMÜLASYON

8.1. Alt Sistem Testleri

Aracımızın alt sistem testleri aşağıda verilmiştir.

8.1.2. İtki Testi

İHA'nın itki testleri yer testleri esnasında yapılmıştır, İHA için gerekli olan itkinin İHA üzerinde bulunan iki motor, pervane ve batarya kombinasyonu ile sağlandığı görülmüştür. Test esnasında İHA tam yüklü olarak iniş takımları üzerinde dururken, uygun bir noktadan bağlanan dinamometre ile ölçüm yapılmıştır.

8.1.3. Yapısal Testler

Üretimi yapılan İHA gövdesinin uçuş esnasındaki yüklere dayanabileceğinin test edilmesi için çeşitli yükleme testleri yapılmıştır. Bu yükleme testlerinde İHA'nın uçuş ağırlığının 2 katı olacak şekilde bir yükleme ile olabilecek maksimum durumlar göz önüne alınmıştır.

8.1.4. Kilitlenme Testi

"4.1 Otonom Kilitlenme" başlığı altında ayrıntıları verilmiş olan görüntü işleme modelinin eğitimi tamamlanmış olup hep uçuş videoları üzerinde hem de simülasyon üzerinde testleri

Açıklamalı [MEG19]: Resim varsa koyulabilir

Açıklamalı [MEG20R19]:

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

yapılmıştır. Aracımızın ilk prototipi, elimizde bulunan hazır model X-Uav Talon ve yarışmada kullanılacak olan model beraber uçurularak kilitlenme algoritması testlerinin gerçekleştirilecek ve aynı zamanda yarışma alanının bir benzerinin gerçek hayatta simüle edilecektir. Kilitlenme işleminin en önemli aşaması olan nesne tanıma modeline ve test için kullanılacak elimizde bulunan İHA'lara ait görseller aşağıda verilmiştir.



Şekil 42: Nesne tanıma modeli



Şekil 43: Nu.D.22 (v1) ve Nu.D.22 (v2) İHA'larımız

8.1.5. Uçuş Süresi, Maksimum Hız ve Manevra Kabiliyeti Testleri

Aracın uçuş süresi testleri yapılmış olup..(burası yazılacak

8.1.6. Haberleşme Ekipmanlarının Testleri

Haberleşmenin kesintisiz gerçekleştiğinden emin olmak amacıyla RFD868+ telemetry modülünün ve rocket m5-ubiquiti powerbeam erişim noktalarının haberleşmeleri test edilecektir. Modüller uygun bütçe sağlanarak temin edildikten sonra testleri yapılacaktır.

8.1.8. Kamera Optimizasyon Testleri

Kamera üzerinden alınan görüntünün kalitesi ortam koşullarına ve kameranın parametre ayarlarına göre değişebilmektedir. Her iki görevde de yüksek çözünürlükte görüntü almak büyük önem arz ettiğinden araçta kullanılacak e-CAM24_CUNX model kameranın ayarlanabilir olan parlaklık, kontrast, saturasyon, beyaz dengesi, keskinlik, dijital zoom gibi parametreleri farklı kombinasyonlar ile farklı hava şartlarında denenerek optimum görüntü kalitesi elde edilecektir.

8.1.9. Kamikaze İHA Görevi Testleri

Kamikaze İHA ile ilgili testler görevin yüksek risk içermesi sebebiyle şimdilik simülasyon üzerinden yapılmaktadır. Görev algoritmasının güvenilirliği simülasyon üzerinde kanıtlandığı zaman gerçek araç ile QR kod okuma testi yapılacaktır. Yapılan testler “*Simülasyon*” başlığı altında verilmiştir. Ayrıca QR kodun okunacağı maksimum mesafe ile ilgili testler de yapılacaktır.

8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi

Aracımızın manuel uçuş ve manevra testleri gerçekleştirilmiş olup hava muhalefeti sebebiyle otonom uçuş testleri yapılamamıştır ancak en kısa sürede otonom uçuş testleri de tamamlanacaktır. Manuel uçuş ve iniş sonucu aracın stabil ve sorunsuz olarak uçmakta olduğu görülmüştür. Uçuşa ait görseller aşağıda Şekil 44, 45 ve 46’da verilmiştir. Otonom uçuş, kilitlenme ve Kamikaze İHA testleri simülasyon üzerinde denenmiş olup “8.3 Simülasyon” başlığı altında verilmiştir.



Şekil 45: Test videolarından uçuştan elde edilmiş görüntü 1

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 46: Test videolarından uçuştan elde edilmiş görüntü 2



Şekil 47: Test videolarından uçuştan elde edilmiş görüntü 3

Manual uçuş testi boyunca aracın dayanıklılığı, motorların ve servo motorların gücü manevra kabiliyeti test edilmiş. İstenen yeterlilikleri sağladığı görülmüştür. Ancak ESC'lerin fazla ısınma sorununa sebep olabildikleri gözlenmiştir. Bu problem öncelikle ESC'leri gövde dışına çıkararak soğutma işleminin uygulanması daha sonra da yeterli olmazsa daha iyi bir model ile değiştirilmesi işlemleri uygulanarak çözülecektir.

8.2.1. Uçuş Kontrol Listesi

Uçuş Öncesi Kontroller

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

- ✓ Batarya doluluk oranı kontrolünün yapılması
- ✓ Rüzgâr hızı ve hava durumunun kontrolü
- ✓ Ağırlık merkezi ve kontrol yüzeylerinin kontrolü
- ✓ Araç Kalibrasyonlarının kontrolü
- ✓ Yer istasyonu-araç, telemetri, wi-fi modülleri bağlantı kontrolleri
- ✓ GPS bağlantısı ve sensörlerin bağlantı ve veri aktarımı kontrolü
- ✓ Tüm elektronik ekipmanların güç kontrollerinin yapılması
- ✓ Kanat ve gövde bağlantılarının kontrolü
- ✓ Servo ve motor kontrollerinin yapılması
- ✓ Uygun mod seçiminin yapılması
- ✓ Batarya-esc-pil bağlantılarının kontrol edilmesi
- ✓ Servolar ile kontrol yüzeylerinin hareket kontrolünün yapılması
- ✓ Pervane-motor bağlantısı gerçekleştirilmesi

Uçuş Sonrası Kontroller

- ✓ Motorun kapalı olup olmadığının kontrolü
- ✓ Pervane bağlantısının kesilmesi
- ✓ Pervanenin İHA'dan çıkartılması
- ✓ Batarya bağlantısı kesilmesi
- ✓ Yapısal hasar kontrolü
- ✓ Elektronik aksam hasar kontrolü

8.3. Simülasyon

Simülasyon testlerinin gerçekte yaşanabilecek durumları önceden test etmek, kodlarımızı ona göre geliştirip iyileştirmek ve sistemin optimizasyonu için gerçek ortamda test edilmeden önce yapılması gerekmektedir. Literatürde İHA'lar için farklı farklı simülasyon ortamları mevcuttur [11]. Bu fizik tabanlı simülasyon ortamlarından bizim seçiminiz ROS (Robot Operating System) aracı yazılımı ve PX4 uçuş kontrol yazılımının birlikte kullanımını İHA'lar üzerinde yapabilmesinden dolayı Gazebo olmuştur. Gazebo ayrıca aerodinamik etkileri simüle etmesi, İHA'ya özel barometri, GPS ve Lidar gibi bizim de yarışmada kullandığımız sensörleri barındırması bakımından tercihimiz olmuştur. Donanımın döngüde olduğu (Hardware in the Loop) simülasyonlarda Gazebo ile görselleştirilebilmektedir. Bu şekilde kontrol kartımız sanki gerçekte uçuyormuşçasına test etme olanağımız olmuştur. Kumanda mod atamaları, otonom komutlar gibi işlemlerin denenmesi için gerçek uçuş testlerden önce kontrol kartını ve komponentlerini test etme olanağımız olmuştur.

Gazebo'da yapılacak simülasyonlarda ve gerçek sistemde (Jetson Nano üzerinde) de uçuş kontrol kartına komut göndermek için ROS (middleware) aracı yazılımı ile MAVlink bağlantısını sağlayan MAVROS yazılımı kullanılacaktır. MAVROS'u seçimimizi; robotik dünyasında çok kullanılan, alt istemler arasında bir bağlantı ve data aktarımı sağlayan ve farklı azılım dillerinin iletişim halinde çalışmasını sağlayan ROS'tan faydalanmak istememiz ve MAVlink mesajlaşma protokolünü de kullanarak uçuş kontrol kartını kontrol etmek istememiz etkili olmuştur. Ayrıca MAVROS yer istasyonları için UDP MAVlink köprüsü sağlar [12] bu sayede QGroundControl yer istasyonu ile hem simülasyonda hem de gerçek uçuşta bağlantı sağlanmış olacaktır. Simülasyonda bizim istediğimiz komutlara göre veya görüntü işlemeden

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

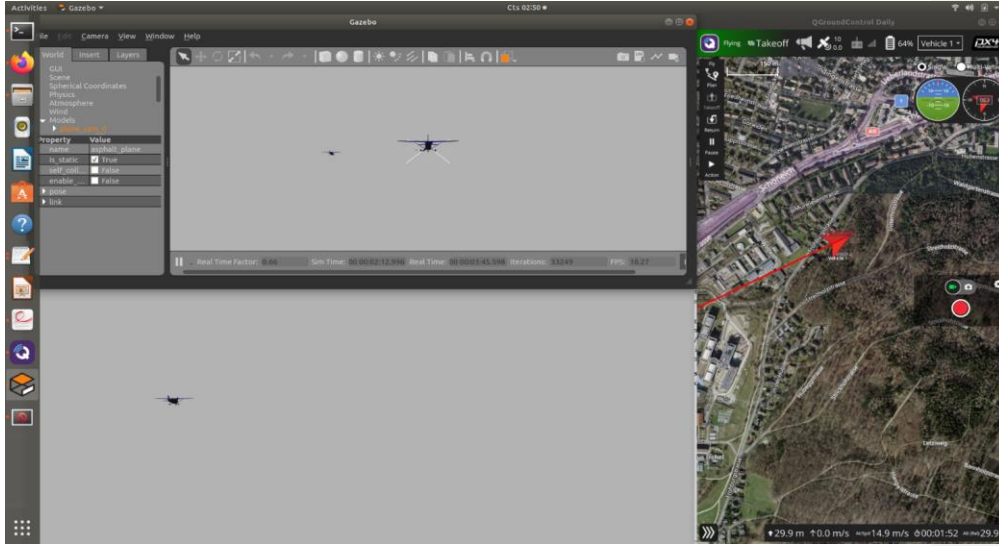
gelen takip komutlarına göre uçuş kontrol kartına komut verip İHA'mızın veya İHA'ların hareket etmesini MAVROS ile sağlayacağız.

Literatürde uçuş kontrol komutları göndermek için oluşturulmuş daha birçok kütüphane mevcuttur. Bunlara Pymavlink, Dronkit, MAVSDK, MAVlink örnek olarak verilebilir [13]. Bu kütüphanelerin bir kısmı simülasyon üzerinde test edilmiş ve üstte verdiğimiz isterleri karşılamadığı için tercih edilmemiştir.

Gazebo simülasyonu ile hem yer istasyonu üzerinden verilen talimatlar hem de görev bilgisayarına yüklenecek yazılım ile otonom kalkış, uçuş, otonom takip, kamikaze görevi ve iniş testleri yapılmıştır ve sistemi geliştirmek için testlerin yapılmasına devam edilmektedir.

8.3.1. Otonom uçuş ve takip denemeleri

Nu.d.22 ile uçuş yapmadan önce riski azaltmak için ilk otonom uçuş, yer istasyonu ile bağlantı, mod değişimi komutlarının denemesi simülasyon üzerinden yapılmış ve aşağıdaki görüntü Şekil 48 elde edilmiştir.

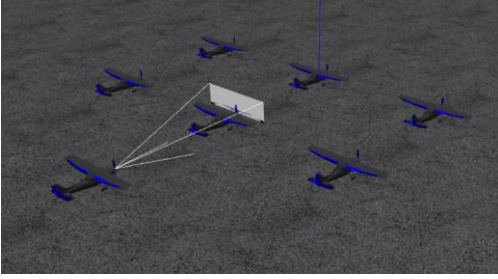


Şekil 48 Otonom uçuş testleri

8.3.2. Savaşan İHA Görevi Testleri

Savaşan İHA görevi için simülasyonda aynı anda çok sayıda uçağın uçuşu gerçekleştirilmiş kilitlenme testi ve takip algoritmaları denenmiştir. Simülasyon testlerine ait otonom uçuş ve araç kamerasından alınan görüntü ile yapılan kilitlenme testi görselleri aşağıda Şekil 49 ve 50'de verilmiştir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



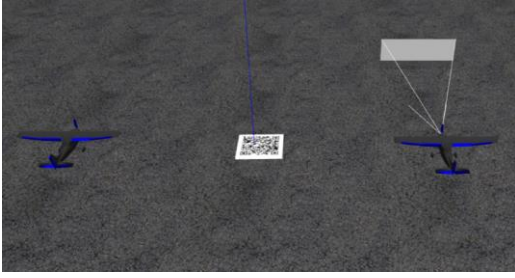
Şekil 49: Yarışma alanının tam manasıyla simüle etmek amacıyla çok sayıda model ile testlerin yapılması



Şekil 50: Kilitlenme testi

8.3.3 Kamikaze İHA Görevi Testleri

Simülasyon üzerine eklenmiş QR kod ile geliştirilen algoritmaların testleri devam etmektedir. Aşağıda test aşamalarından görseller verilmiştir



Şekil 51: QR kod eklenmiş simülasyon



Şekil 52: Kamikaze İHA görevi testi Görüntüsü

9. GÜVENLİK (5 PUAN)

Lityum İyon Polimer bataryalar ağırlık kısıtının olduğu ve aynı zamanda enerji yoğunluğunun fazla ihtiyaç duyulduğu yerlerde (İHA gibi) tercih edilmektedir. Fakat bu bataryalar kimyasal yapısından dolayı düzgünce şarj edilmediği ve dikkatli kullanılmadığı takdirde kolayca alev almakta ve çevresine zarar verebilmektedir. Bu zararları minimuma indirmek için özel olarak üretilmiş yangına karşı korumalı çantalarda muhafaza edilmelidir. Bataryalarımızı koyduğumuz çantalar yanda Şekil 53'te sağda verilmiştir. Laboratuvarında çalışırken yaralanmalar olabilmektedir. Bu yaralanmalara müdahale etmek için laboratuvarında ve aynı zamanda taşınabilir halde acil yardım kitimiz bulunmaktadır. Kitin fotoğrafı Şekil 53'te solda görülmektedir. Laboratuvarında ne kadar dikkatli olsak da yangın çıkma ihtimaline karşı ve aynı zamanda testlerde bataryada veya İHA'mızda oluşabilecek yangınlara müdahale için küçük boyutlarda bir adet yangın tüpümüzde bulunmaktadır. Şekil 53'te de ortada yangın tüpümüz gösterilmiştir.

Bazen üst üste testlerde kablolarda oluşabilecek kısa devrelerden veya beklenmedik bir şekilde sistemin yüksek akım çekmesi alt sitemlerin zarar görmesine neden olabilmektedir. Böyle bir durumun önüne geçmek için bataryadan gelen pozitif hatta bağlı sigorta bulunmaktadır. Bu

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

sigorta sistemde ani bir akım çıkışı tespit ettiğinde devreye girerek sistemin batarya ile bağlantısını kesecektir. Aynı zamanda sistemimizin açma kapatma anahtarı olarak da kullanılmaktadır. Şekil 54'te İHA'mız üzerine yerleştirilmiş sigortamız görülmektedir.



Şekil 53: Acil yardım kiti, Yangın tüpü ve Batarya Torbamız




Şekil 54 İHA'mız üzerindeki Sigortamız

İHA'da acil bir durum olduğunda İHA'nın pilot tarafından hızlı bir şekilde manuel moda geçiş yaptırılıp güvenli bir şekilde iniş yaptırılması gerekebilir. Bu amaçla her duruma hazır RC kumandamız yerde pilotun ulaşabileceği şekilde beklemektedir

Şartnamede belirtilen sinyal kaybı durumunda fail-safe moduna geçilmesi işlemlerinin ayarları yer istasyonu QGroundControl üzerinden yapılacaktır ve örnek bir görüntü Şekil 55'te verilmiştir. Araç manuel modda iken 5 saniye boyunca, otonom modda iken de 10 saniye boyunca veri kaybı yaşanması durumunda fail-safe moduna geçilmesi istenmektedir. Otonom modda iken iletişim kaybında belirtilen noktaya dönüş yapıp iniş gerçekleştirecek (return mode) manuel modda ise uçuş sonlandırma yapılacaktır. QGC üzerindeki terminate ayarı tüm motorları kapatır ve tüm pwm çıkışları fail-safe durumuna getirir. Aracın 10 saniye boyunca alan dışında kalması durumunda da uçuşun sonlandırılması gerekmektedir. Bu işlemin kontrolü ise uçuş yazılımı üzerinden gerçekleştirilecektir ancak gerektiği durumda yer istasyonundan da müdahale edilebilir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



Failsafe Action:

Return at critical level, land at emergency level

Battery Warn Level:

20.00

%

Battery Failsafe Level:

15.00


%

Battery Emergency Level:

5.00

%

Object Detection



Collision Prevention:

Disabled


Obstacle Avoidance:

Disabled

Minimum Distance: (m)

Show obstacle distance overlay

RC Loss Failsafe Trigger



Failsafe Action:


Terminate

RC Loss Timeout:

5.0

s

Data Link Loss Failsafe Trigger



Failsafe Action:


Return mode

Data Link Loss Timeout:

10

s

Geofence Failsafe Trigger



Action on breach:

Hold mode

☐ Max Radius:

0

m

☐ Max Altitude:

0

m

Şekil 55: QGroundControl Üzerinden failsafe mod ekranı.

10. REFERANSLAR

- [1] T-Motor. <https://store.tmotor.com/goods.php?id=940> adresinden alındı.
- [2] Raymer, D. P. (1992). Aircraft Design: A Conceptual Approach.
- [3] XFLR5.. <http://www.xflr5.tech/xflr5.htm> adresinden alındı.
- [4] D. Hull, Fundamentals of Airplane Flight Mechanics, Springer, 2007
- [5] Mavlink. <https://mavlink.io/en/guide/serialization.html>
- [6] Caria,S.T.(2019).Exploring Smart Glasses for Augmented Reality: A Valuable and Integrative Tool in Precision Livestock Farming.
- [7] A.Krumbein,“Understanding the Basics of MIMO Communication Technology”,Southwest Antennas, San Diego, USA, 2016.[Online].
- [8] NVIDIA.(tarih yok). <https://developer.NVIDIA.com/tensorrt> adresinden alındı
- [9] Schulman, J. (2020, September 2). *Proximal policy optimization*. OpenAI. Retrieved March 12, 2022, <https://openai.com/blog/openai-baselines-ppo/> adresinden alındı.
- [10] Kalman Filtreleri. .
https://burakbayramli.github.io/dersblog/tser/tser_083_kf/kalman_filtreleri.html
- [11] J.Collins,C.,V.(2021). A Review of Physics Simulators for Robotic Applications
- [12] Mavros. (tarih yok). <http://wiki.ros.org/mavros>
- [13] Ardupilot.(2020). <https://circuitcellar.com/research-design-hub/intro-to-ardupilot-and-px4-part-1/> adresinden alındı.