

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

TAKIM ADI: ABRA SİHA

**YAZARLAR: ABDULKADİR SOLAKOĞLU, YUNUS EMRE
KUTLU, FURKAN DOĞAN, HALİS TÜRK, İSMAİL ERGÜN,
MOHAMAD AMİN EL RACHİDİ**



SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

İÇİNDEKİLER

1.	TEMEL SİSTEM ÖZETİ (5 PUAN)	3
1.1.	Sistem Tanımı	3
1.2.	Sistem Nihai Performans Özellikleri	4
2.	ORGANİZASYON ÖZETİ (5 PUAN).....	4
2.1.	Takım Organizasyonu	4
2.2.	Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe	5
3.	DETAYLI TASARIM ÖZETİ (15 PUAN).....	6
3.1.	Nihai Sistem Mimarisi.....	6
3.2.	Alt Sistemler Özeti	8
3.3.	Hava Aracı Performans Özeti.....	12
3.4.	Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı	16
3.5.	Hava Aracı Ağırlık Dağılımı.....	18
4.	OTONOM GÖREVLER (15 PUAN)	20
4.1.	Otonom Kilitlenme	20
4.2.	Kamikaze Görevi	24
5.	YER İSTASYONU VE HABERLEŞME	25
5.1	Savaşan İnsansız Hava Aracı ve Yer İstasyonu Haberleşmesi	26
5.1.1.	İHA' dan Yer İstasyonuna Görüntü Aktarımı	26
5.2	Pilot ve İHA Haberleşmesi	29
5.3	Görev Kontrol Arayüzü İle İHA Haberleşmesi.....	29
6.	KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI (10 PUAN).....	30
7.	HAVA ARACI ENTEGRASYONU (10 PUAN)	34
7.1.	Yapısal Entegrasyon.....	34
7.2.	Mekanik Entegrasyon	35
7.3.	Elektronik Entegrasyon.....	37
8.	TEST VE SİMÜLASYON (15 PUAN).....	41
8.1.	Alt Sistem Testleri.....	41
8.2.	Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi	45
9.	GÜVENLİK (5 PUAN).....	49
10.	REFERANSLAR	50

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ (5 PUAN)

1.1. Sistem Tanımı

Hava aracımız yarışmanın görev isterlerine göre tasarlanmış, özgün yazılım ile dogfight özelliği ve kamikaze dalış kabiliyeti kazandırılmış sabit kanat insansız hava aracıdır. Yarışma görevlerinden “Savaşan İHA” görevini gerçekleştirebilmesi için hedef tespiti, otonom yaklaşma ve otonom kovalama yazılımları özgün bir şekilde hazırlanmıştır. Hava aracımıza, hakem sunucusundan gelen GPS verileri aktarıldıktan sonra en yakın hedefe doğru yönelmekte ve önünde bulunan kamerasını kullanarak görsel tespit gerçekleştirmektedir. Görsel tespit ile birlikte fiziki bir takibe başlayan hava aracımız “Savaşan İHA” görevini tamamlamaktadır. Görsel-Fiziki kilitlenme bilgilerini ve anlık görüntü yayını saniyede bir defa hakem sunucusuna yer istasyonu sayesinde aktarmaktadır.

“Kamikaze İHA” görevi için ise özgün yazılım kullanılarak yer istasyonundan gelen koordinatlarla ve “Kamikaze İHA” görevi komutu ile birlikte görev değişikliği yaparak, yer istasyonundan gelen koordinatlara dalış yapmaktadır. Yerde bulunan QR kodları taradıktan sonra kod çıktısını ilk önce yer istasyonuna ardından hakem sunucusuna yollamaktadır.

İHA’nın kontrolü için Mission Planner yer istasyonu yazılımı ve kendi tasarladığımız kontrol arayüzü kullanılmaktadır. Otonom uçuş, otonom kalkış ve otonom iniş gibi komutlar Mission Planner ile yönetilirken, görev komutları için kontrol arayüzü kullanılmaktadır. Pilot müdahalesi için ise RF kumanda ve FPV sistem bulunmaktadır.

Hava aracımız kilitlenme kamerasındaki görüntüyü kendi kurduğumuz yer istasyonuna aynı yerel ağa bağlı olan görev bilgisayarını kullanarak Wi-Fi üzerinden aktarmaktadır. Yer istasyonu tarafından görüntü işlendikten sonra çıkan manevra komutları Wi-Fi üzerinden hava aracına aktarılırak fiziksel takip yapılmaktadır.

Yer istasyonunun hava aracı ile kesintisiz haberleşebilmesi için uzun menzilli telemetri kullanılmıştır. Wi-Fi ağının bağlantı sorunu yaşamaması için ise Gigabit Router ve Access Point kullanılmıştır.

Savaşan insansız hava aracı sistemi 2 metre kanat açıklığına sahip, alttan kanatlı, iniş takımlı, arkadan motorlu, ters V kuyruk tipine sahip sabit kanatlı bir insansız hava aracıdır. Kalkış ve inişlerde kullanmak amacıyla flap tercih edilmiştir. Gövde malzemesi olarak kontrplak ve balsa ağacı kullanılmıştır. Hava aracının ağırlığı ise 3610 gramdır.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri

İnsansız hava aracının sistem performans özellikleri belirlenirken tasarım, avyonik, malzeme seçimi, hareket kabiliyeti gibi konular dikkate alınmıştır. Hava aracının uygun değer bir şekilde tasarlanması, üretilmesi ve kullanılması için XFLR5, Ecalc, SolidWorks, Catia ve Proteus gibi yazılımlar kullanılmıştır. Üretilen hava aracı uçuş testlerini gerçekleştirdikten sonra tablo 1' de verilen değerler bulunmuştur.

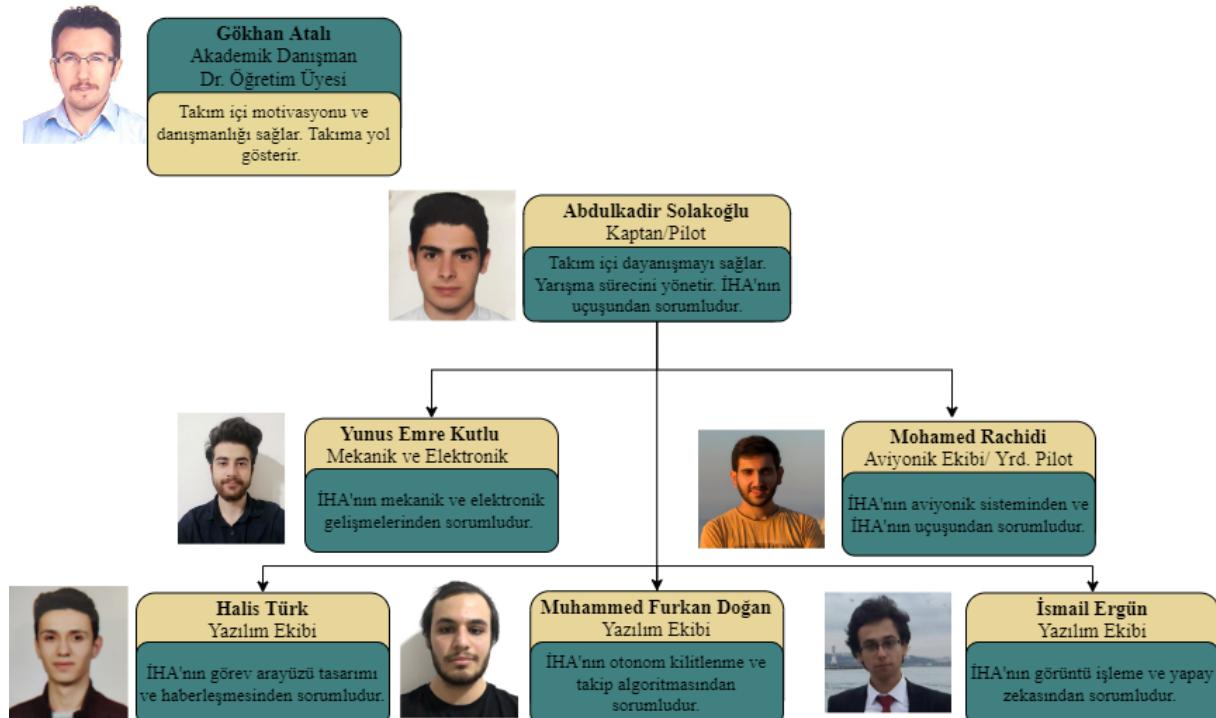
Sistem Performans Özellikleri			
Kalkış Ağırlığı	3610 gr	Kanat Açıklığı	2000 mm
Batarya Kapasitesi	7000 mAh	Motor Özellikleri	520 kv 1750W
Haberleşme Menzili	40 km	Pervane Ölçüsü	12x5 inç
İtki Kuvveti	38 N	Görüntü İşleme Bilgisayarı	RTX 2060
Seyir Hızı	15 m/s	Uçuş Süresi	25 dakika
Stall Hızı	8 m/s	Görev Bilgisayarı	Raspberry Pi 4 8GB
ESC	6S 50A	İtki Ağırlık Oranı	1,10
Wifi Menzil / Hızı	22 Km / 640 Mbps	Görüntü İletimi	Dijital / Analog
Kanat Hüküm Açıısı	2.5 Derece	Kanat Yüzey Alanı	4600 cm ²

Tablo 1 Hava Aracı Özellikleri

2. ORGANİZASYON ÖZETİ (5 PUAN)

2.1. Takım Organizasyonu

ABRA SİHA Takımı organizasyon şeması tablo 2' de verilmiştir.

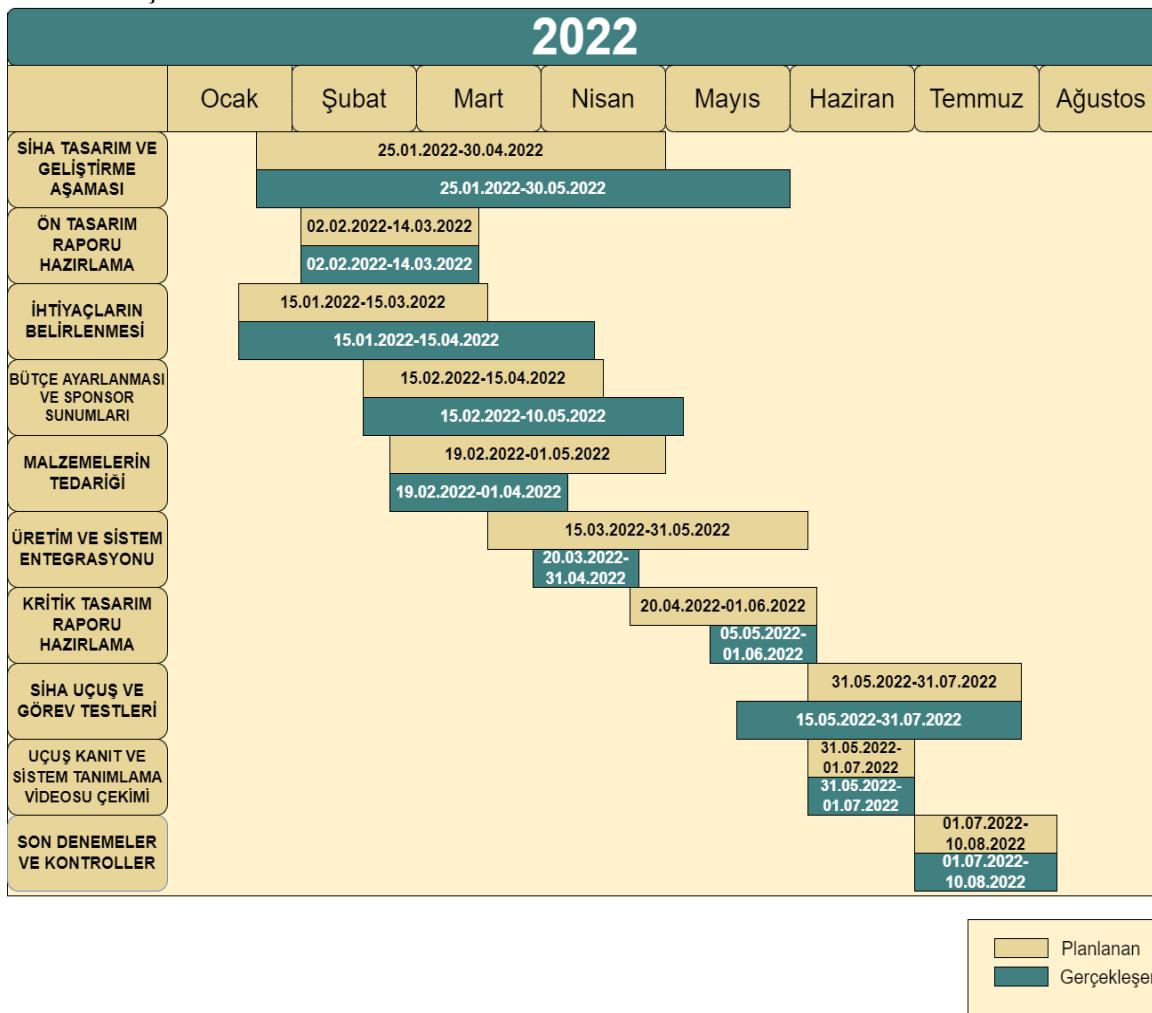


Tablo 2 Organizasyon Şeması

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe

Yarışma hazırlık süresi boyunca planlanan ve şu ana kadar gerçekleşen iş-zaman çizelgesi tablo 3’ de verilmiştir.



Tablo 3 İş Akış Çizelgesi

Ön tasarım raporunda bulunan planlanan bütçe tablosunda öngörülen maliyet 46.000 TL olarak hesaplanmıştır. Hava aracı üretim, test ve geliştirme aşamasına geçildiğinde ise bu bütçenin artarak 67.125 TL olarak değiştiği görülmüştür. Malzeme listesi ve birim fiyatları tablo 4’ de verilmiştir.

NO	Malzeme Adı	Fiyat (TL)	Adet
1	RF Kumanda ve Alıcı	6000 TL	1
2	ES 09 Dijital Servo	370 TL	10
3	DC-DC Düşürücü	20 TL	2
4	DC-DC Yükseltici	20 TL	2
5	POE Kablo	30 TL	2
6	Pixhawk Güç Modülü	600 TL	1

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

7	50A 6S ESC	800 TL	1
8	12x5 Pervane	145 TL	5
9	Karbon Boru 12mm	240 TL	4
10	Karbon Boru 8mm	150 TL	4
11	DC Motor	1300 TL	1
12	5GHz Router	500 TL	1
13	Bullet AC Wi-Fi Modülü	1500 TL	1
14	NanoBeam AC	1600 TL	1
15	RFD900X Telemetri	4600 TL	1
16	6S 7000 mAh Batarya	3700 TL	2
17	Pixhawk Cube Orange + GPS	12000 TL	1
18	Raspberry Pi 4B	3000 TL	1
19	Kilitlenme Kamerası + FPV Kamera	3000 TL	1
20	İniş Takımı	1000 TL	1
21	5.8 GHz Lolipop Anten	500 TL	2
22	Hava Hızı Sensörü	1000 TL	1
23	FPV Verici	700 TL	1
24	Yapı Malzemeleri, Kablo Soket vb.	5000 TL	1
25	Test ve Geliştirme Giderleri	10000 TL	1
	TOPLAM	67.125,00 TL	

Tablo 4 Bütçe Listesi

3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ (15 PUAN)

3.1. Nihai Sistem Mimarisi

İnsansız hava aracı sistemimiz “yer istasyonu” ve “hava aracı” olarak iki kısımdan oluşmaktadır.

1. Yer istasyonu

Yer istasyonu dış mekan Access Point, 5GHz Router, yer istasyonu bilgisayarı, telemetri, FPV sistem ve RF kumandaladan oluşmaktadır.

- Hava aracının kontrol-arayüz bilgisayarı ile görüntü aktarımı ve görev komutları NanoBeam Access Point ile aktarılmaktadır.
- Yer istasyonu bilgisayarının, hakem sunucusunun ve İHA’ının aynı yerel ağa bağlanması için 5GHz XIAOMI router kullanılmıştır.

- Yer istasyonu bilgisayarı olarak NVIDIA GEFORCE RTX 2060 grafik kartına sahip dizüstü bilgisayar kullanılmaktadır. Yer istasyonu bilgisayarı, görüntü işleme algoritmasını çalışıtmak ve arayüz ile hava aracını kontrol etmek için kullanılmaktadır.
- Hava aracının yer istasyonuna uçuş bilgilerini aktarması için uzun menzilli RFD900x telemetri kullanılmaktadır.
- Manuel uçuş sırasında pilot tarafından kullanılması için 5.8 GHz FPV sistem tercih edilmiştir.
- Hava aracının pilot kontrolü için kumanda olarak Taranis X9D+ kullanılmıştır.

2. Hava Aracı

Hava aracı; otopilot, görev bilgisayarı, güç ünitesi, GPS, pitot tüpü, kamera, telemetri, Wi-Fi modülü, radyo alıcı, fırçasız DC motor, servo motor ve Li-Po bataryadan oluşmaktadır.

- Hava aracımızda otopilot olarak sensör kalitesi, boyut, ağırlık, yeterli kanal sayısı, yerleşik sensörleri tarafından avantajlı olduğu için Pixhawk Cube Orange tercih edilmiştir.
- Görev bilgisayarı olarak boyutları ve işlem gücünden dolayı Raspberry Pi 4B 8GB modeli tercih edilmiştir. İHA'nın görüntü aktarımını sağlayacak ve yer istasyonundan gelen komutları Pixhawk'a göndererek, görev isterlerini yerine getirmesini sağlamaktadır.
- Hava aracının içinde birden farklı gerilim değerinde aviyonik sistem bulunduğu için gerekli olan gerilim değerlerini sağlamak amacıyla 1 adet boost dönüştürücü ve 3 adet buck dönüştürücü kullanılmıştır. Otopilot beslemesi için ise Pixhawkın kendine ait olan Pixhawk Power Brick Mini güç modülü tercih edilmiştir.
- İHA'nın konum bilgisi için GPS olarak Here 3 GPS kullanılmıştır.
- Hava hızının ölçümü için Pixhawk pitot tüpü tercih edilmiştir.
- Hava aracımız 2 adet kamera kullanılacaktır. Bunlardan birincisi hedef tespiti için kullanılacak olan Raspberry Pi kameradır. İkinci kamera ise FPV sistem için tercih edilmiştir. Görüntü işleme kamerası olarak Raspberry Pi kameranın yanında 50mm lense sahip olan bir USB kamera da test edilmektedir. Testler sonucunda hangisi kullanılacağına karar verilecektir.
- İHA'nın görüntü aktarımı ve görev komutları aktarımı için Wi-Fi alanı kullanılmaktadır. Hava aracının içinde Wi-Fi menzilini genişletmek amacıyla Bullet AC ve anten olarak ise 5.8 GHz lolipop anten kullanılmıştır.
- Hava aracının RF kontrolü için alıcı olarak Taranis X8R alıcı kullanılmıştır.
- İHA için belirlenen itki oranını karşılamak amacıyla motor olarak SunnySky x3520 fırçasız dc motor 12x5 pervane ile birlikte tercih edilmiştir ve ESC olarak iste bu motora uyumlu olan 50A ZTW Beatles ESC kullanılmıştır.
- Hava aracının kontrol yüzeylerini kontrol etmek için gerekli tork değerleri hesaplandıktan sonra bu değerlere uygun olan E-MAX ES09 MD dijital servolar tercih edilmiştir. Dijital servo kullanılmasının sebebi ise adım hassasiyetidir.
- İHA'nın tüm aviyonik ve güç sistemlerini beslemek amacıyla 7000 MAh 6S Li-Po pil kullanılmıştır.

- Acil bir durumda hava aracının gücünü kesmek amacıyla bir adet 60A bıçak sigorta ve bir adet açma kapama butonu tercih edilmiştir.
- İHA'nın FPV kamera sistemi için ise 1200mW AKK X2 Ultimate video vericisi kullanılmıştır. Görüntü kanalı üzerindeki tuş sayesinde değiştirilebilmektedir. Haberleşme için ise 5.8 GHz lolipop anten tercih edilmiştir.

3.2. Alt Sistemler Özeti

3.2.1 Otonom Uçuş Sistemi

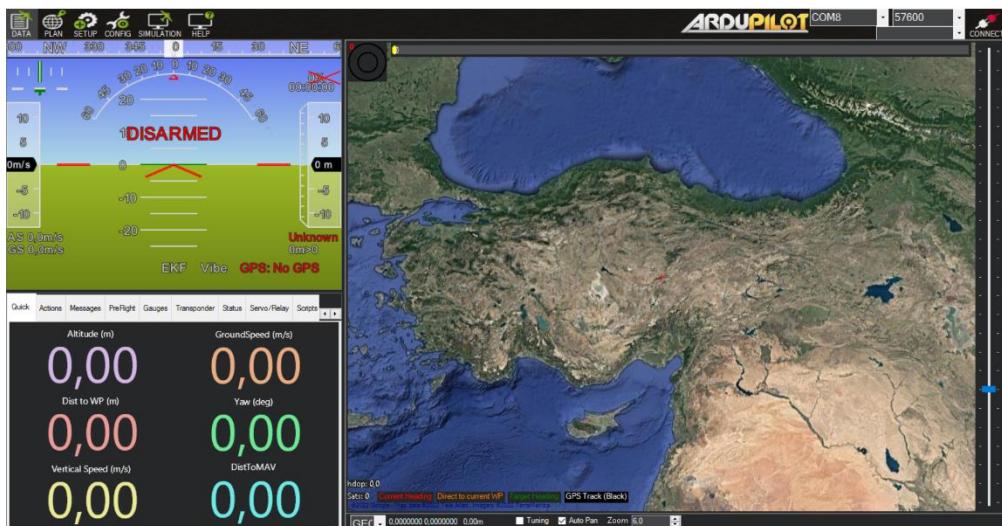
Hava aracının müsabaka turlarında otonom uçuş gerçekleştirmesi için piyasadaki otopilot kartları incelenmiş olup; port sayısı fazlalığı, yeni nesil işlemci kullanımı, boyut ve ağırlığı gibi etkenler göz önüne alınmıştır. Otopilot kartına, yarışma görevlerinden dolayı yapay zeka müdahalesi gerçekleştirileceğinden ve birden fazla sensör verisi okunacağından dolayı işlemci gücü bizim için önemli bir tercih nedeni olmuştur. Hava aracı tasarımda ise hafiflik kriteri öncelik olarak belirlenmiştir ve seçilecek otopilot kartının ağırlık-boyut değerlerine dikkat edilmiştir. Bu kriterler göz önüne alındığında hava aracında otopilot kartı olarak Pixhawk Cube Orange kullanılması uygun görülmüştür. Otonom uçuşa yön bulmak amacıyla GPS olarak ise otonom uçuş kartına uyumlu olarak çalışan Here 3 GPS tercih edilmiştir. Otopilot kartı şekil 3.2.1.1 de mevcuttur.



Şekil 3.2.1.1 Pixhawk Orange Cube

İHA'nın otonom uçuşunu yönetmek, iniş kalkış emri vermek ve uçuş bilgilerini görüntülemek için açık kaynak kodlu yer istasyonu yazılımı olan Mission Planner tercih edilmiştir. Mission Planner tercih edilme sebepleri başlıca; internet ortamında çok fazla kaynağı bulunması, yarışma görevleri için yazılım ile uçuşa müdahale edilebilmesi, kullanıcı arayüzü kolaylığı ve çok fazla parametre ile hava aracına detaylı bir uçuş ayarı yapılması gibi özellikleri diğer yer istasyonu yazılımlarına göre avantajlı görülmüştür. Mission Planner arayüzü şekil 3.2.1.2 de verilmiştir. Ayrıca yarışma görevleri için ise kendi tasarladığımız arayüzde kullanılacaktır. Otopilot yazılımı olarak; açık kaynak kodlu olması ve doküman fazlalığından dolayı ArduPilot kullanılmıştır.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 3.2.1.2 Mission Planner Arayüzü

3.2.2 İtki, Batarya ve Güç Sistemi

Hava aracının motor ve batarya tercihinde öncelikle, motor ve batarya harici, tüm aviyonik sistem, yapısal malzeme ağırlığı hesaplanmıştır. Ardından güvenli ağırlık-itki oranı bulunup piyasadaki fırsatız DC motorlar incelenmiştir. Güvenli bir uçuş sağlamak için gerekli itkiyi tam gazda 12x5 pervane ile 3800gr+ itki üretebilen SunnySky X3520 520KV elektrik motoru tercih edilmiştir. ESC olarak ise bu motora uyumlu 6S destekli ZTW Beatles 50A ESC kullanılmıştır. Kullanılan DC motor şekil 3.2.2.1 de verilmiştir.



Şekil 3.2.2.1 SunnySky X3520

Batarya tercihi için hava aracının seyir hızındaki çekilen akım miktarı, aviyonik sistemin yük altındaki çektiği akım miktarı ve acil durumlarda kullanılması için emniyet kapasitesi bırakılarak gerekli batarya kapasitesi 7000 mAh olarak hesaplanmıştır. 6S motora sahip olan hava aracımızın bataryası 6S 7000 mAh Profuse marka Li-Po pil tercih edilmiştir. Li-Po batarya tercih edilmesinin nedenlerinden biri de Li-ion bataryalara göre daha hafif olmasıdır. Bu batarya tüm enerji harcamaları göz önünde bulundurulduğunda 25 dakika uçuş süresi sağlamaktadır. Tercih edilen bataryamız şekil 3.2.2.2 de mevcuttur.



Şekil 3.2.2.2 6S Li-Po Batarya

Hava aracı içinde birden farklı gerilim değerleri ile çalışan aviyonik elemanlar bulunmaktadır. Bu yüzden hava aracında güç ünitesi olarak tasarladığımız bir bölüm bulunmaktadır. Burada 25.2 Volt batarya gerilimi Wi-Fi modülü için 24 Volta dönüştürülmektedir. Bunun için bir adet yükseltici ve bir adet düşürücü kullanılmaktadır. Raspberry Pi mini bilgisayar için gerekli olan 5V gerilim değeri ise düşürücü ile 5V gerilime sabitlenmekte ve bu şekilde mini bilgisayar beslenmektedir. FPV sistem için ise 12V gerilim çıkışı gerekmektedir. Bunun için ise yine gerilim düşürücü ile 12V gerilim elde edilmektedir.

3.2.3 Haberleşme ve Görev Sistemi

Hava aracının yer istasyonu ile haberleşmesinde telemetri ve Wi-Fi kullanılmıştır. İHA'nın otonom uçuşunu yönetmek için kullanılan telemetri RFD 900X olarak tercih edilmiştir. RFD 900X 40 km haberleşme sağlayabilmektedir. RFD 900X şekil 3.2.3.1 de verilmiştir.



Şekil 3.2.3.1 RFD 900X

Wi-Fi haberleşmesi, İHA'nın görev komutları ve dijital görüntü aktarımı için kullanılmaktadır. Görev komutlarının en hızlı şekilde ve büyük dosyalar halinde gitmesini sağlamak amacıyla Wi-Fi protokolü kullanılmıştır. İşlenecek olan görüntünün düzgün bir şekilde aktarılması için analog görüntü yerine dijital görüntü kullanılması uygun görülmüştür.

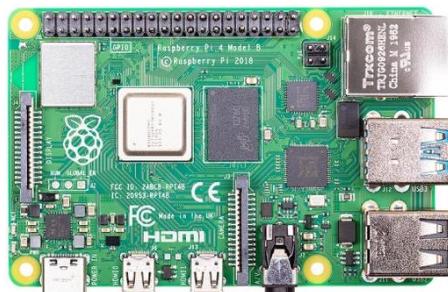
Yer istasyonu ağına bağlı olan NanoBeam AC isimli Access Point ve 5GHz router ile birlikte hava aracında bulunan Bullet AC isimli Wi-Fi modülü arasında takımımızın oluşturduğu şifreli yerel ağ bulunmaktadır. Hava aracından gelen görüntü ile yer istasyonunda oluşturulan anlamlı komutlar bu ağ üzerinden taşınacaktır. Yapılan testlerde 22Km mesafe ve 640 Mbps ağ değerlerine ulaşılmıştır. Hava aracındaki Wi-Fi modülü çok yönlü yayın yapabilmesi için 5.8 GHz lolipop anten kullanılmıştır. Kullanılan haberleşme sistemi şekil 3.2.3.2 de verilmiştir.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 3.2.3.2 Bullet Ac ve NanoBeam Ac

Hava aracının içinde görev bilgisayarı olarak Raspberry Pi 4B 8GB modeli tercih edilmiştir. Raspberry Pi boyut olarak küçük, ağırlık olarak hafif, işlem gücü olarak bizim sistemimiz için yeterli olduğundan tercih edilmiştir. Görev bilgisayarı aynı anda kamera, Wi-Fi modülü ve otopilot kartına bağlıdır. Yer istasyonundan gelen komutları otopilot kartına iletmektedir ve görüntü aktarımı için kullanılmaktadır. Görev bilgisayarı şekil 3.2.3.3 de mevcuttur.



Şekil 3.2.3.3 Raspberry Pi 4B

Hava aracına gerekli durumlarda müdahale etmek amacıyla RF kumanda kullanılmaktadır. RF kumanda olarak Taranis X9D tercih edilmiştir. Alıcı olarak ise kumandaya ait olan FrSky X8R alıcısı kullanılmıştır. X8R SBUS protokolünü desteklediğinden dolayı kablo karmaşıklığı yaşamadan kullanılabilmektedir. Kumanda ve Alıcı modülü şekil 3.2.3.4 de verilmiştir.

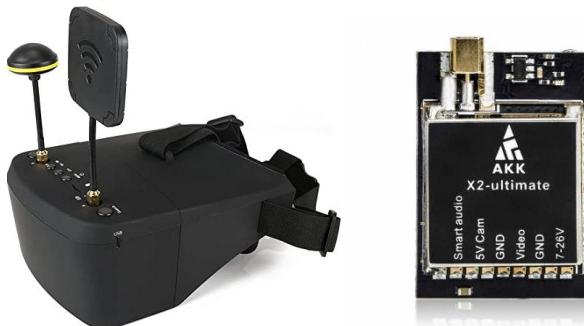


Şekil 3.2.3.4 Taranis X9D ve FrSky X8R

Hava aracının kontrol yüzeylerini güvenli bir şekilde kontrol etmek için mini servo motorlar tercih edilmiştir. Uçuş hassasiyeti açısından dijital servo motorlar kullanılmıştır. Dijital servo motor kullanılmasının sebebi analog servo motorlara göre daha hassas dönüş yapabilmesidir. Servo motor tercih edilirken kanadın hareket yüzeylerine gelen yük hesaplanmış olup bu yükle göre tercih yapılmıştır. Hareket yüzeyleri için E-Max ES09 MD dijital servo motor tercih edilmiştir.

3.2.4 Görüntü Aktarım ve Görüntü İşleme Sistemi

İHA' da uçuşun pilot ile daha rahat gerçekleştirilebilmesi için FPV sistem kullanılmıştır. Pilotun FPV gözlüğüne hava aracından FPV Sistem ile analog görüntü iletilmektedir. FPV görüntü vericisi olarak 40 kanala sahip olan AKK X2 Ultimate 1200Mv ve 5.8 GHz lolipop anten kullanılmıştır. FPV Gözlük olarak ise Eachine 800D tercih edilmiştir. Görüntü vericisi ve FPV gözlük şekil 3.2.4.1 de verilmiştir.



Şekil 3.2.4.1 FPV Gözlük ve AKK X2

Görüntü işleme için kullanılan YOLOv4 algoritmasından yeterli performans alınabilmesi için CUDA ve cuDNN destekli, yüksek performansa sahip ekran kartına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle NVIDIA marka GTX 1650 veya RTX 2060 model ekran kartına sahip dizüstü bilgisayar tercih edilmiştir. Görüntü işleme GTX 1650 ekran kartında test edildiğinde 110-120 FPS, RTX 2060 ekran kartında ise 170-200 FPS aralığında bir performans sağlamaktadır. Kamera olarak ise Raspberry Pi kamerası ve 50mm lense sahip manuel zoom özelliği olan bir USB kamera test edilmektedir. Yapılan testler sonucunda iki kameradan biri kullanılacaktır.

3.3. Hava Aracı Performans Özeti

Yarışma şartnamesine göre bir müsabaka turunun süresi kalkış ve iniş hariç 15 dakika olarak belirtilmiştir. Uygun pil ve motor seçimi yapılrken müsabaka süresine dikkat edilmiştir. Öncelikle hava aracının ağırlığı kullanılarak ve kanat analizindeki veriler ile hesap yapılarak seyir hızı belirlenmiştir. Seyir hızını karşılamak için gerekli itki değeri motorun datasheetindeki karşılık gelen akım-itki değerleri ile karşılaştırılarak motor-pil tercihi yapılmıştır.

Üretilen İHA'nın uçuş testleri gerçekleştirildiğinde ise seyir uçuşunu %40-60 gaz değerinde sağlıklı bir şekilde yaptığı görülmüştür. Hava aracının ortalama gaz değerinde çektiği akım miktarı test düzenegi ile ölçülmüş olup aviyonik sistem ile birlikte çekilen akım değerinin ortalama 11.7A olduğu tespit edilmiştir. Uçuş süresi hesabı aşağıdaki formül ile yapılmıştır.

$$\text{Pil Ömrü} = \frac{\text{Pil Kapasitesi}}{\text{Yük Akımı}} \times 0,70 \text{ (Güvenli Batarya Kullanımı)}$$

$$\frac{7000mAh}{11.7A} \times 0,70 = 0.4188 \text{ saat} = 25.13 \text{ dakika}$$

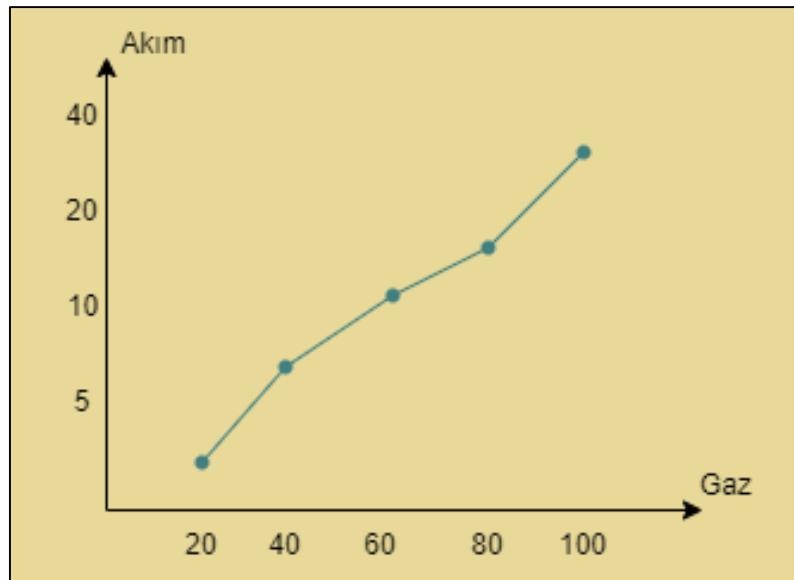
Hesaplanan değer ile birlikte hava aracının ortalama 25 dakika uçuşu görülmektedir. 15 dakikalık bir müsabaka turu için hava aracının uçuş süresi yeterli olmakla beraber emniyet için 10 dakikalık batarya kapasitesi bulunmaktadır.

SunnySky X3520 motorunun datasheet verileri ve analiz edilen aralık tablo 5 de verilmiştir.

Pervane	Volt	Akım	İtki	Watt
12x5	25.2	2.2	500	55
		3.6	750	90
		5.4	1000	135
		7.4	1250	185
		9.5	1500	238
		11.8	1750	295
		14.7	2000	368
		17.6	2300	440
		21	2600	525
		26.4	3000	660
		34.3	3500	858
		38.5	3830	963

Tablo 5 DC Motor Datasheet Verileri

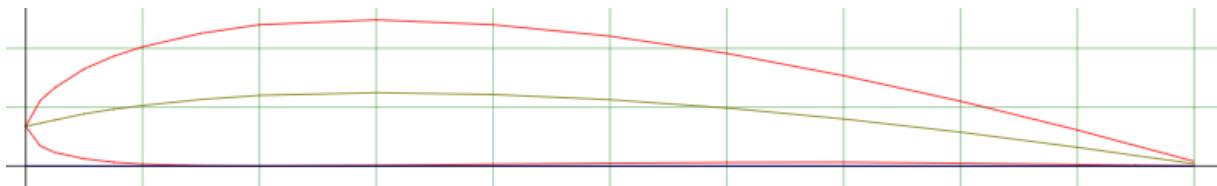
Hava aracının üzerinde itki testi gerçekleştirilirken elde edilen akım değerleri tablo 6 da verilmiştir.



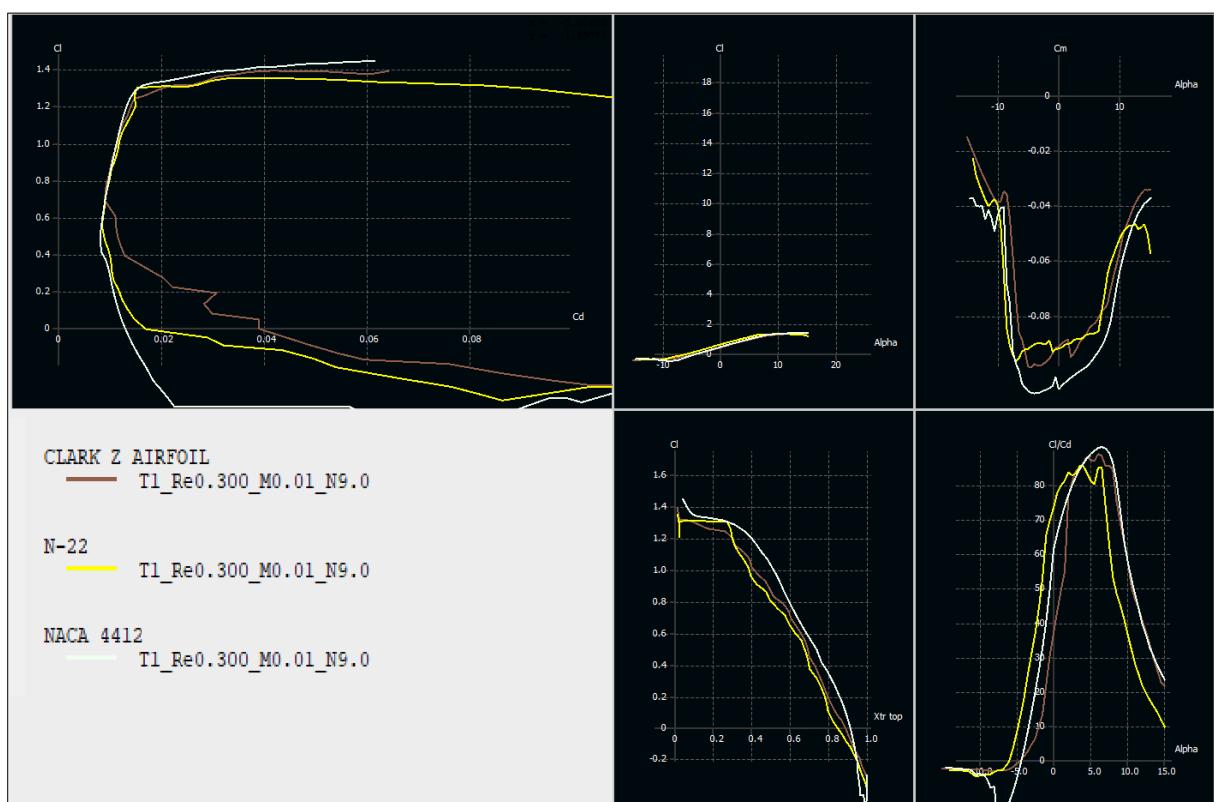
Tablo 6 Test Değerleri

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Üretilen hava aracı için birden fazla kanat profili incelenmiş olup yapılan analizler sonucunda N22 kanat profiline karar verilmiştir. Kanat tasarıımı yapılırken ise planör tipi uçak modelleri incelenmiştir. Kanat yapısı olarak kaldırma kuvveti fazlalığından dolayı uzun-ince kanat tipi seçilmiştir ve seyir uçuşunda stabilité sağlanması için ise 3° dehidral açısı kullanılmıştır. Kullanılan kanat profili şekil 3.3.1 de verilmiştir.

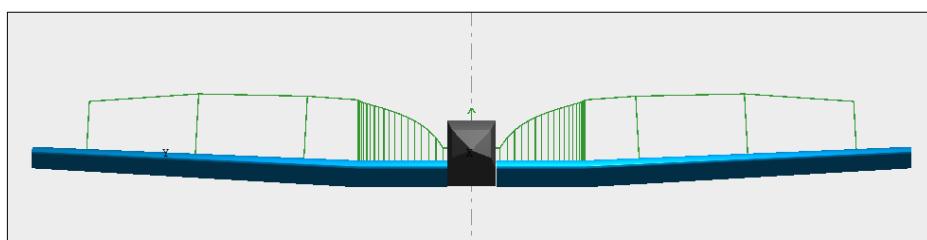


Şekil 3.3.1 N22 Kanat Profili



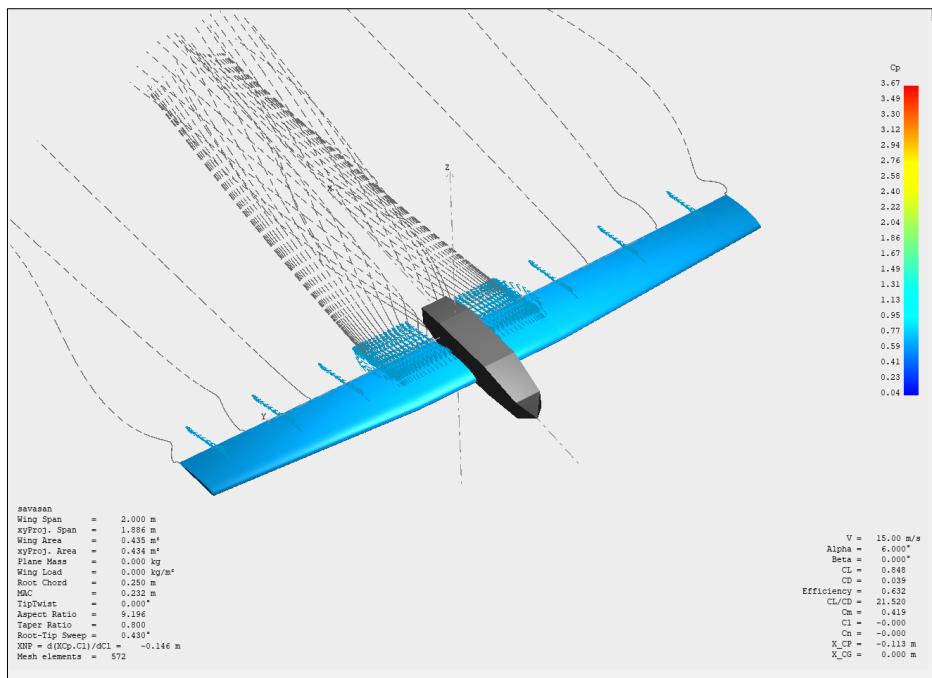
Şekil 3.3.2 Clark Y – N22 – NACA 4412 Analizleri

Hava aracının kanat tasarımı gerçekleştirilirken İHA'nın ağırlığı göz önüne alınarak ve öngörülen hava aracı hızı ile hesap yapılarak kanat lift analizi ve kanat akış analizi yapılmıştır. Şekil 3.3.3 de kanattaki lift dağılımı ve şekil 3.3.4 de kanat akış analizi verilmiştir.



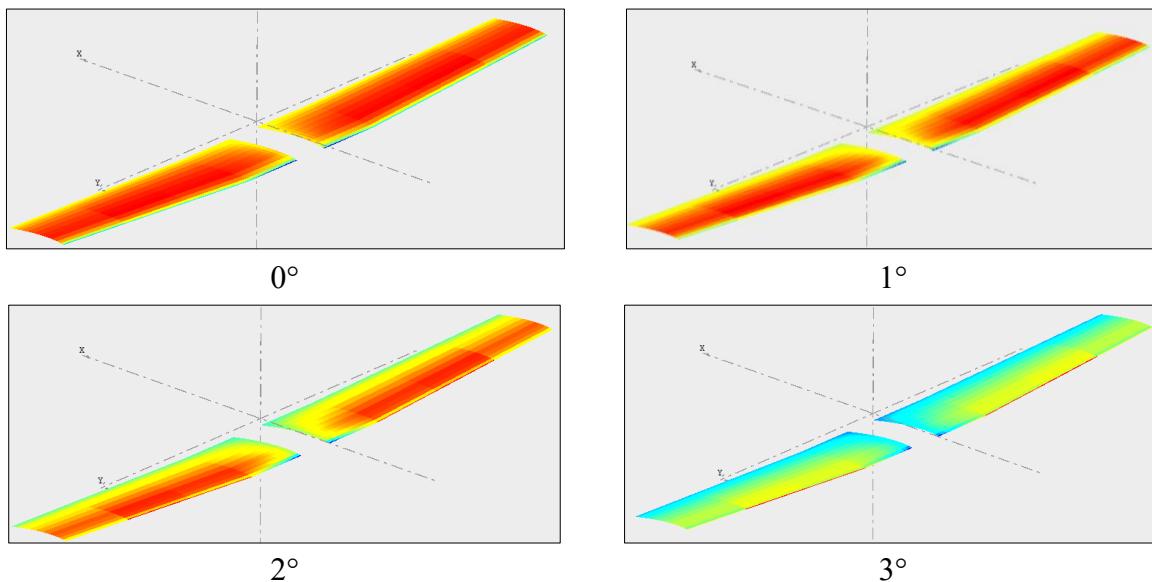
Şekil 3.3.3 Kanat Lift Dağılımı

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 3.3.4 Kanat Akış Analizi

Kanat tasarımlı yapılırken gerekli lift değerleri karşılanması için kanatlara hücum açısı verilmesi kararlaştırılmıştır. Farklı açılardaki değerler analiz edilerek uygun değer 2.5° olarak belirlenmiştir. Farklı hücum açılarda kanat üzerindeki basınç dağılımları incelenmiştir. Farklı değerlerdeki hücum açılarının kanat basınç analizi tablo 7 de verilmiştir.



Tablo 7 Hücum Açılarına Göre Kanat Basınç Analizi

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

İHA'nın gerekli lift, sürtünme ve stall hızı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

Lift hesabı (L);

$$L = \frac{Cl * \sigma * S * v^2}{2}$$

$$L = \frac{0,631 * 1,225 * 0,435m^2 * (15m/s)^2}{2} = 37,82N$$

Sürtünme hesabı (D);

$$D = \frac{\sigma * v^2 * Cd * S}{2}$$

$$D = \frac{1,225 * \left(\frac{15m}{s}\right)^2 * 0,022 * 0,435m^2}{2} = 1,31N$$

Stall Hızı (Vs) (hücum açısı dahil değildir);

$$Vs = \sqrt{\frac{2 * w * g}{\sigma * s * Cl}}$$

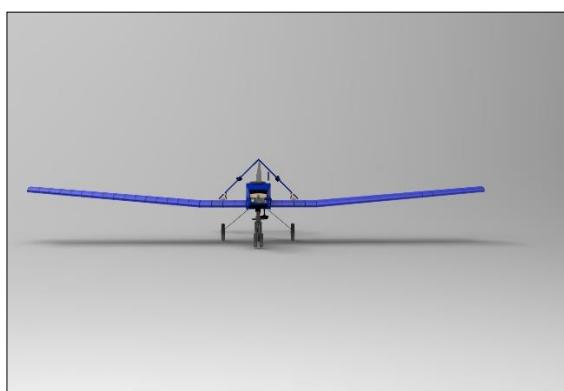
$$Vs = \sqrt{\frac{2 * 3,6 * 9,81}{1,225 * 0,435m^2 * 0,631}} = 14,62m/s$$

Taşıma Katsayısı (Cl)	0,631	Sürüklenme Katsayısı (Cd)	0,022
Hava Yoğunluğu (σ)	1,225kg/m ³	Kanat Alanı (S)	0,435m ²
Hava Hızı (V)	15m/s	Ağırlık (w)	3610gr = 3,6kg

Tablo 8 Analizde Kullanılan Değerler

3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı

Savaşan İnsansız Hava Aracımızın üretiminde malzeme olarak kontrplak ve balsa ağacı kullanılmıştır. Hava aracımız alttan kanatlı, ters V kuyruğa sahip ve arkadan motorlu olarak tasarlanmıştır. Hava aracımızın 3 boyutlu CAD tasarımları tablo 8 de verilmiştir.

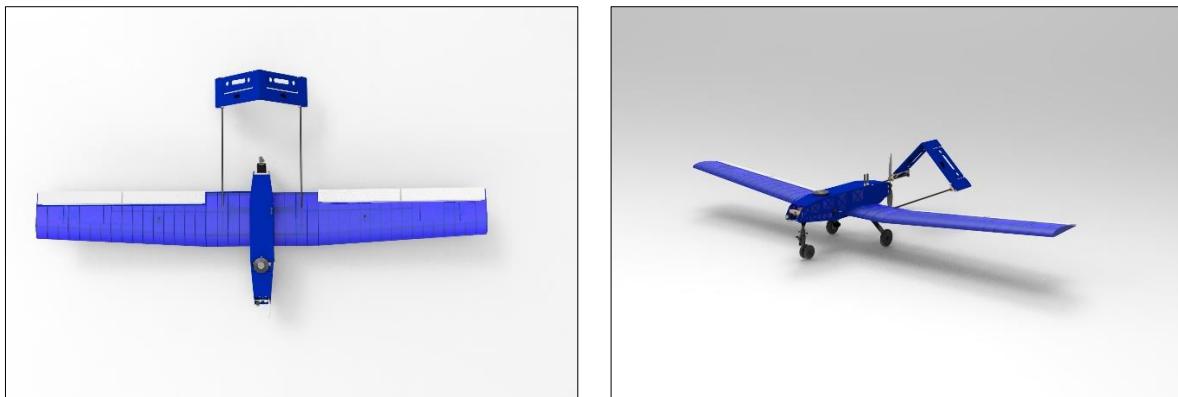


Önden Görünüş



Yandan Görünüş

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

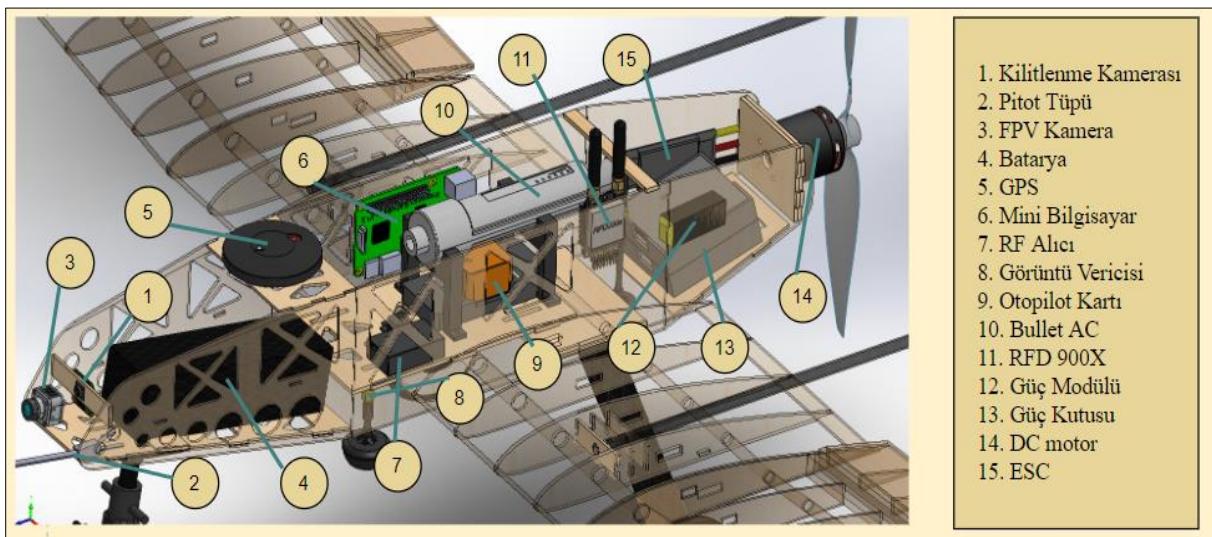


Üstten Görünüş

Perspektif Görünüş

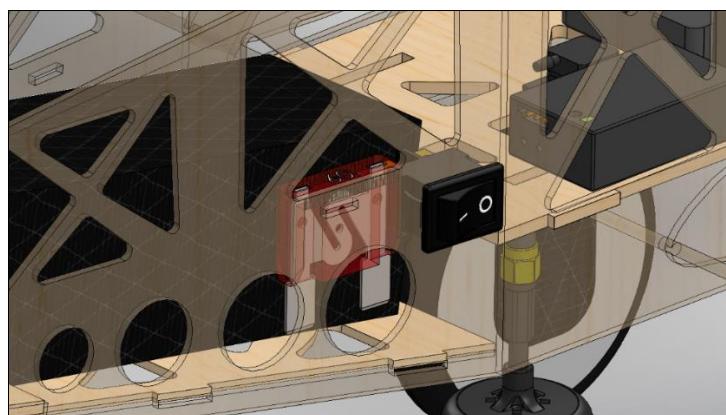
Tablo 8 Hava Aracı Görünüşleri

Tasarlanan hava aracımızın aviyonik sistem yerleşimi ağırlık merkezi dikkate alınarak yapılmıştır. Aviyonik sistem yerleşimi şekil 3.4.1 de mevcuttur.



Şekil 3.4.1 Hava Aracı Aviyonik Yerleşimi

İHA'nın sigorta ve buton konumu şekil 3.4.2 de verilmiştir.



Şekil 3.4.2 Sigorta ve Buton Yerleşimi

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Tasarımlar ve analizler sonucunda üretilen Savaşan İnsansız Hava Aracımızın görselleri tablo 9 da mevcuttur.



Önden Görünüş



Yandan Görünüş



Perspektif Görünüş

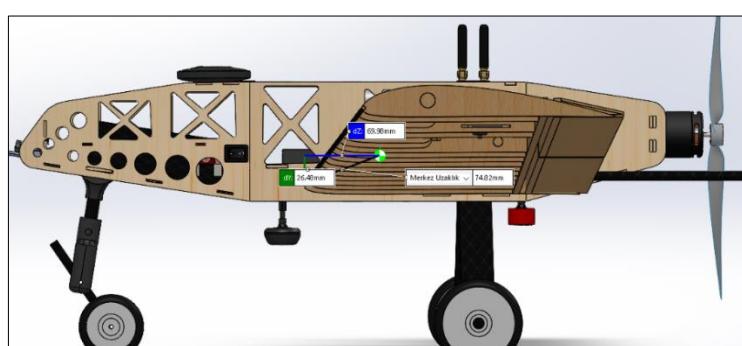


Perspektif Görünüş

Tablo 9 Hava Aracı Görünümleri

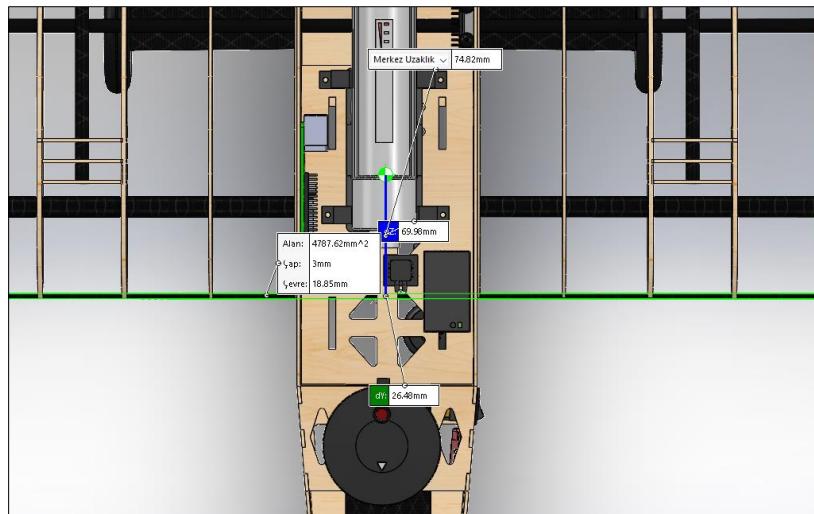
3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı

Tasarlanan hava aracı sağlıklı bir uçuş gerçekleştirebilmesi için ağırlık merkezine göre tüm aviyonik sistem konumları düzenlenmiştir. İHA'nın ağırlık merkezi kanat proflinin hücküm ucundan firar kenarına göre 68mm-79mm arası olarak hesaplanmıştır. Üretilen hava aracının ağırlık merkezi hücküm kenarından 69,89 mm geridedir. Kanat Ucuna göre ağırlık merkezi şekil 3.5.1 ve ağırlık merkezi ise 3.5.2 de verilmiştir.



Şekil 3.5.1 Hava Aracı Kanat Ucuna Göre Ağırlık Merkezi Noktası

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 3.5.2 Hava Aracı Ağırlık Merkezi Noktası

Hava aracının ağırlık dağılımı tablo 10 da verilmiştir. Ağırlık dağılımı yapılırken referans noktası olarak ağırlık merkezi alınmıştır.

NO	Parça adı	Ağırlık (gr)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	Motor	207	0	0	-255,74
2	Pervane	24	0	0	-306,62
3	ESC	44	37,44	2,67	-168,9
4	Güç ünitesi	71	0	15,92	-146,78
5	Pixhawk Güç Modülü	14	33,18	14,39	-137,63
6	RFD900x Telemetri	14,5	39,39	34,27	-70,15
7	Bullet AC	116	1,83	22,38	-3,66
8	Pixhawk	73	44656	0,8	5,46
9	Raspberry Pi 4B	59	49,16	29,56	28,93
10	Li-Po Batarya	895	0	0	121,77
11	Kilitlenme Kamerası	340	0	0	309,03
12	Pilot Kamerası	8	30,44	12,62	316,68
13	Pitot Tüpü	25	23,19	3,67	333,67
14	Sağ Flap Servo	14,8	-456,06	6,44	-34,75
15	Sol Flap Servo	14,8	456,06	6,44	-34,75
16	Sağ Aileron Servo	14,8	-832,35	21,41	-58,84

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

17	Sol Aileron Servo	14,8	832,35	21,41	-58.84
18	Sağ Vtail Servo	14,8	-97,59	91,66	619,76
19	Sol Vtail Servo	14,8	97,59	91,66	619,76
20	GPS	48,8	0	67,64	117
21	Kumanda alıcısı	16,6	44,36	1,54	44,27
22	Görüntü Vericisi	6,8	23	13,11	64,38

Tablo 10 Aviyonik Sistem Ağırlık Tablosu

4. OTONOM GÖREVLER (15 PUAN)

4.1. Otonom Kilitlenme

“Savaşan İHA” görevinde rakip uçaklara kilitlenmek ve kilitlenme sırasında rakip İHA’ larla çarpışmaların engellenmesi amaçlanmaktadır. Kilitlenmek için en az 4 saniye boyunca görüntü merkezinde tespit edilmesi ve tespit edilen İHA’ nın görüntüdeki boyutlarından en az birinin, genişlik veya yükseklik, %5’ini kapsamalıdır. Tespit edilen İHA’ nın uzun mesafeler nedeniyle ekranda fazla küçük görünmemesi için dar görüş açılı, uzun mesafe lensli kamera kullanılmıştır. Ani dönüşlerde ve yüksek hızlarda, tespit edilen İHA’ nın hareketinin fark edilebilmesi için yüksek hızlı (yüksek FPS’li) kamera kullanılacaktır.

4.1.1 Görüntü İşleme

Tespit algoritması, gelişmiş teknoloji görüntü işleme algoritmalarına yakın veya bu algoritmalarдан daha yüksek performans alacak algoritmaları sıfırdan tasarlamak pratik ve gerçekçi olmadığı düşünülerek, yüksek performanslı hazır bir nesne tespit algoritması seçilmeye karar verilmiştir. YOLO algoritmasının diğer nesne tespit algoritmalarına kıyasla daha isabetli ve hızlı olması nedeniyle YOLO algoritmalarının sürümlerine odaklanılmıştır.

Table 1: Comparison result of different models(R-CNN, Fast-RCNN Faster-RCNN, YOLO)

Model	Latency	mAP	FPS	Real Time
R-CNN	High	~60	<1	NO
Fast R- CNN	Medium	~70	<1	NO
Faster R- CNN	Medium	~70	7	NO
YOLO	Low	~60	46	YES

Şekil 4.1.1.1 Nesne Tespit Algoritmaları Kıyaslaması

YOLO ve YOLOv2 oldukça eski olduklarından ve performansları yeni sürümlere kıyasla düşük olduğundan bu iki algoritma test edilmemiştir. YOLOv3 ve YOLOv4 üzerinde araştırma

yapılarak; YOLOv3’ün YOLOv4’e kıyasla daha yavaş, hatalı olduğundan ve model boyutları daha büyük olduğundan YOLOv4 tercih edilmiştir. YOLO sürümleri ve diğer nesne tespit algoritmaları tablo 11 de kıyaslanmıştır.

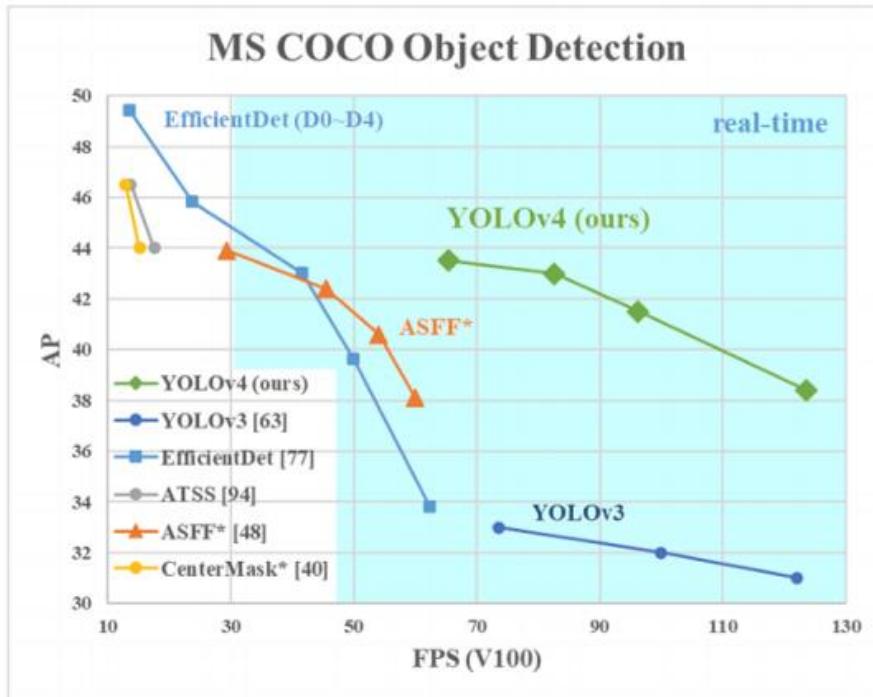
Table 1

Comparison of YOLO with related works.

Reference	Dataset Used	Algorithms	Findings
Li et al., 2021 [26]	Remote sensing images collected from GF-1 and GF-2 satellites. Training: 826 images. Testing: 275 images. Resolution: $300 \times 300, 416 \times 416, 500 \times 500, 800 \times 800, 1000 \times 1000$	Faster R-CNN YOLO v3 SSD	YOLOv3 has higher mAP and FPS than SSD and Faster R-CNN algorithms.
Benjdira et al., 2019 [12]	UAV dataset Training: 218 Images Test: 52 Images Resolution: 600×600 to 1024×1024	Faster R-CNN YOLOv3	YOLOv3 has higher F1 score and FPS than Faster R-CNN.
Zhao et al., 2019 [27]	Google Earth and DOTA dataset Training: 224 Images Test: 56 Images Resolution: 600×600 to 1500×1500	SSD Faster R-CNN YOLOv3	YOLOv3 has higher mAP and FPS than Faster R-CNN and SSD.
Kim et al., 2020 [29]	Korea expressway dataset Training: 2620 Test: 568 Resolution: NA	YOLOv4 SSD Faster R-CNN	YOLOv4 has higher accuracy SSD has higher detection speed
Dorrer et al., [28]	Custom Refrigerator images Training: 800 Images Test: 70 Images Resolution: NA	Mask RCNN YOLOv3	The detection of YOLOv3 was 3 times higher but the accuracy of Mask RCNN was higher.
Rahman et al., [13]	Custom Electrical dataset Training: 5939 Test: 1400 Resolution: NA	YOLOv4 YOLOv5l	YOLOv4 has higher mAP compared to YOLOv5l algorithms
Long et al., [30]	MS COCO dataset Training: 118,000 Test: 5000	YOLOv3 YOLOv4	YOLOv4 has higher mAP compared to YOLOv3

[Open in a separate window](#)

Tablo 11 Yolo Sürümleri ve Diğer Nesne Takip Algoritmaları Arasında Kiyaslama



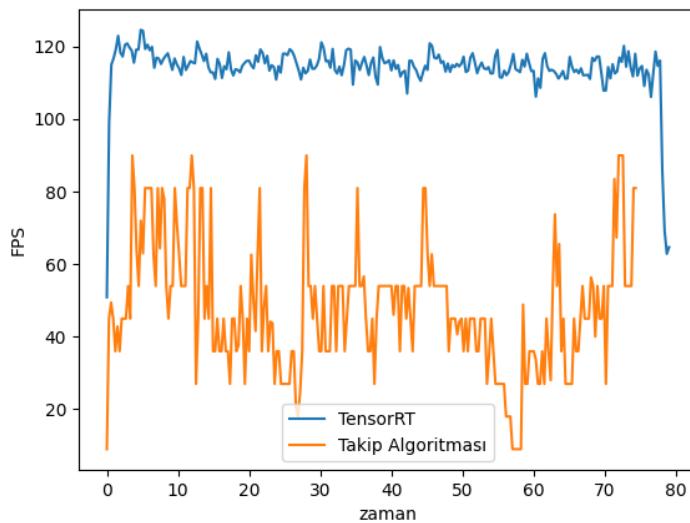
Şekil 4.1.1.2 Nesne Tespit Algoritmaları İabetlilik ve FPS Grafiği

Kullanacağımız tespit algoritmasını, YOLOv4’ü, İHA tespit edebilmesi için özel bir veri seti ile eğitilmesi gerekmektedir. Google görseller, eski Teknofest yarışma kayıtları, RC uçak uçuş videoları gibi kaynaklar kullanılmıştır. İlk ~1000 görüntü elle etiketlenip, tespit algoritması eğitilmiştir. Kilitlenme için bu kadar veri yeterli olmaya da diğer verileri bu modele besleyip çıkışları kaydederek çoğu görüntü için yeterince iyi etiketlemenin otomatik olarak yapılmasını sağlamıştır. Bu sayede görüntü etiketleme de süre kısaltılmıştır.

Tespit algoritmasının eğitilmesi için piyasadaki en iyi ekran kartlarına ücretsiz/ucuz erişim sağlama nedeniyle Google Collab, fiziksel ekran kartına tercih edilmiştir. Eğitim sırasında kayıp oranları ve bu kayıp oranlarına sahip her 10 modelden biri kaydedilmiştir. Bunun sebebi aşırı eğitim gerçekleşirse model aşırı eğitilmeden önceki modeli seçebilmektir.

Eğitim sonrası en iyi isabetliliği sahip model seçilmiş olsa da performans (çıkarmı/inference hızı) yetersiz bulunmuştur. Performanstanlığı açığı kapatmak için öncelikle nesne takip algoritmaları, nesne tespit algoritmalarına destek olacak şekilde kullanılmıştır. Ortalama performansı yükselmiş olmalarına rağmen takip algoritmaları yeterince stabil olmadığı görülmüştür ve görüntü karesi işleme frekansı (FPS) hala istenilen miktarda olmamakla beraber fazla değişken bulunmuştur.

Takip algoritmalarının yetersizliğinden dolayı, doğrudan tespit algoritmasının performansını artırma yöntemleri araştırılmıştır. En ümit verici optimizasyonun modeli TensorRT modeline çevirmek olduğu kararlaştırılmıştır. TensorRT kullanılarak 110-120 FPS elde edilmiştir. Bu değerler takip algoritmalarına (30-80 FPS) kıyasla çok daha iyi olduğundan ve ortalama FPS değerinin seçilen kamerasının FPS değerinden yeterince yüksek olduğu düşünüldüğünden performans üzerine daha fazla çalışmamıştır.



Şekil 4.1.1.3 Takip Algoritması ve TensorRT Zaman-Performans Grafiği

4.1.2 Otonom İt Dalaşı İçin Yapay Zekâ

İHA'nın diğer İHA'lara kilitlenmesi için öünden geçen uçakları farketmesinden daha fazlasını yapmalıdır. Bu nedenle bu görevi yapacak bir yapay zekâya ihtiyaç duymaktadır. Yapay zekâ için kural tabanlı ve matematiksel modellemeye dayalı bir algoritma tasarlanmıştır. Otonom it dalaşı yapay zekâsı; rakiplerin gerçek zamanlı konumlarını ve yapmakta oldukları manevraları tahmin etmek, kilitlenme için en uygun rakibi bulmak ve kilitlenme için doğru komutları oluşturmak olarak üç farklı bölümde işlenmiştir.

4.1.2.1 Rakip Konum Tahmini

Diğer İHA'ların hareketlerinin tahmini için sunucudan gelen rakip telemetri verileri kullanılacaktır. Bu telemetri verileri üzerine interpolasyon ve ekstrapolasyon yapılarak tahmini hız, ivme değerleri ve rakip İHA'nın dikilme, yönelme ve yatis açıları gibi veriler verilen süre için bulunacaktır. İnterpolasyon ve ekstrapolasyon için SciPy kütüphanesi kullanılacaktır. SciPy; lineer, spline, polinom interpolasyon gibi interpolasyon fonksiyonlarına sahiptir. Bu fonksiyonlar elde olan veriyi kullanarak veriyi temsil eden polinomlar oluşturur. İnterpolasyona ek olarak sayısal integrasyon ve türev işlemleri sırasıyla integrate ve derivative fonksiyonları kullanılarak hesaplanabilir. Bu fonksiyonlar kullanılarak rakip İHA'ların konumları, her eksen için öteleme, açısal hız ve ivmeleri hesaplanabilir. Rakip İHA'nın konumu rakip İHA dairesel hareket yapmadığı sürece konum üzerine interpolasyon yapılarak hesaplanacaktır. Rakip İHA öteleme hareketinin yanında dairesel hareket de yapıyorsa konumun interpolasyonun 1. ve 2. dereceden türevleri alınarak her eksen için hız ve ivmeleri hesaplanır ve bu değerler kullanılarak normal ivme ve yapılan dairesel hareketin yarıçapı hesaplanır. Bu değerler kullanılarak İHA'nın hareketi daha ayrıntılı bir şekilde simülle edilebilir. İnterpole edilerek tahmin edilen İHA konumları, görüntü işlemeden gelen bounding box boyutları ve kameranın görüş açısı kullanılarak, tespit edilen her İHA'ya tahmini genişlik ve yükseklik atanacak ve bu boyutlar kullanılarak İHA'lar arasındaki mesafe, interpolasyon her zaman doğru olmasa bile, hesaplanabilecektir.

4.1.2.2 En Uygun Rakibin Seçilmesi

İHA'ının havada kalacağı süre kısıtlı olduğundan kilitlenmesi en kolay rakip İHA'ının seçilmesi, yarışmayı kazanma ihtimalini artıracığı düşünülmüştür. Bu nedenle bu görevi yapacak bir algoritmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Kilitlenmenin daha kolay gerçekleşmesi için en yavaş hareket eden, en sakin ve tahmin edilebilir manevraları yapan, telemetri verisini olabildiğince sık gönderen rakip hedef olarak seçilecektir. Bu hedefin belirlenebilmesi için basit bir puanlama formülü kullanıcaktır ve en düşük puanlı rakip seçilecektir.

$$Puan = (2 - T) * (1 - E) * (V_{ort}^2 + V_{max} + a_T^2)$$

T	E	V_{ort}	V_{max}	A_T
Telemetri İletme Frekansı	İnterpolasyon ile bulunan değerin mutlak hatalarının ortalaması	Ortalama Hız	Maksimum Hız	En Yüksek Teğetsel İvme

Tablo 12 Formüldeki Harf Açıklamaları

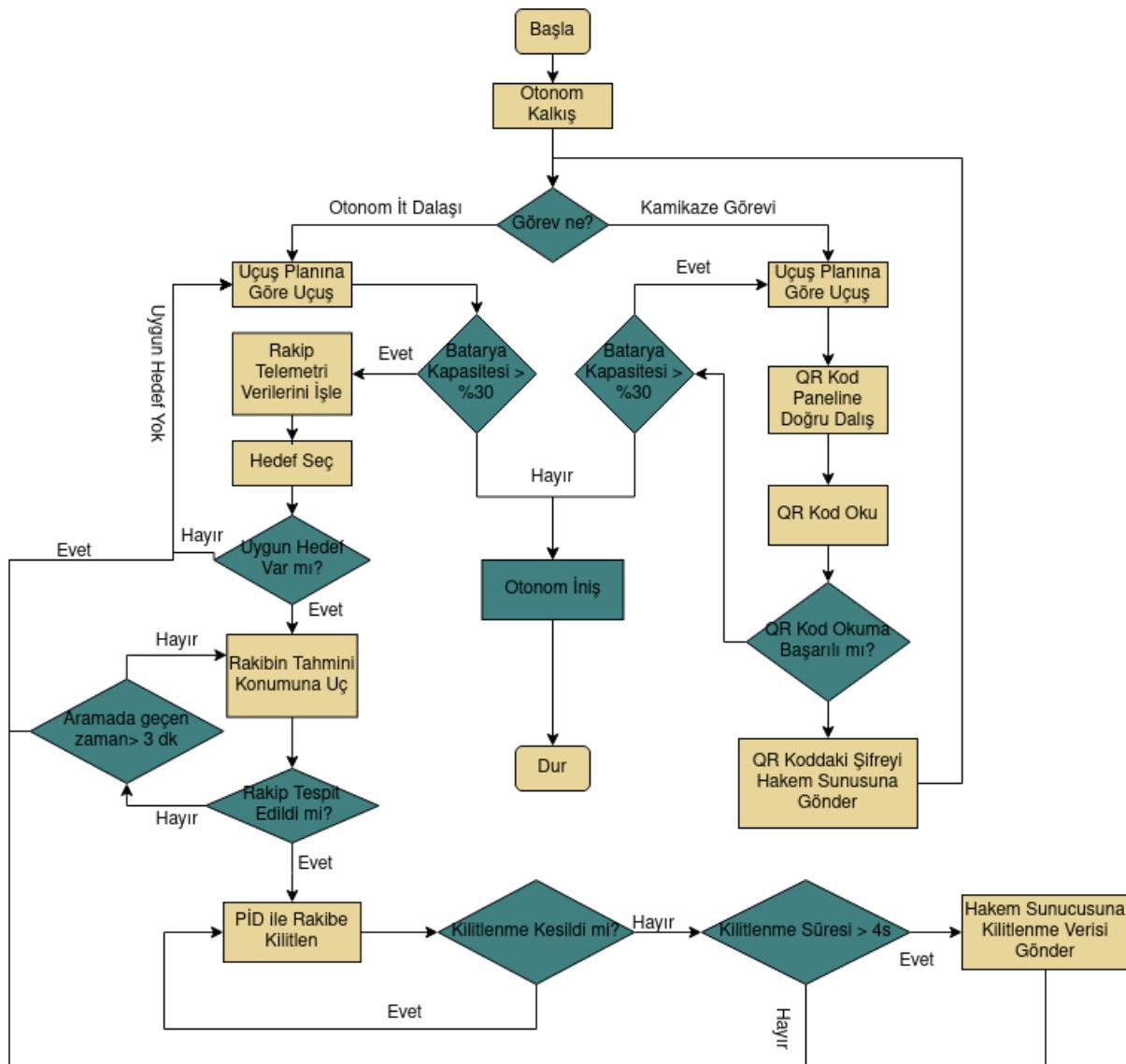
4.1.2.3 Kilitlenme Komutlarının Oluşturulması

Rakip İHA, kameranın görüş alanının dışında ise rakip İHA'ının 1 saniye sonra bulunacağı konum hesaplanacak ve İHA bu konuma doğru otonom uçacaktır. Bu işlem rakip İHA kameranın görüş alanına girene kadar tekrarlanacaktır. Eğer rakip İHA 3 dakika içerisinde kameranın görüş alanına giremezse hedeften vazgeçilip bir sonraki hedefe kilitlenmeye çalışılacaktır. Rakip İHA, kameranın görüş alanına girdiğinde görüntü üzerine bir hata vektörü çizilecektir. Bu hata vektörü kameranın görüş açısı kullanılarak dikelme ve yönelme açıları için iki farklı açı hatası oluşturulacaktır. Bu açı hatasının, tekrar SciPy kütüphanesi kullanarak, integrali ve türevi alınıp PID algoritmasında kullanılacaktır. PID katsayıları Webots, FlightGear, CoppeliaSim gibi simülasyon ortamlarında otonom it dalaşı senaryosu gerçekleştirilerek otomatik olarak hesaplanacaktır.

4.2. Kamikaze Görevi

Kamikaze görevinde konumları verilen, üzerinde QR kod bulunan levhalara doğru dalış yapıp QR kodun okunup hakem sunucusuna gönderilmesi beklenmektedir. QR kodu okumak için hazır bulunan Pyzbar kütüphanesi tercih edilmiştir. Başarılı okuma ihtimalini artırmak için QR kodun köşeleri görüntü işleme ile tespit edilmiş, QR kodu içeren kare bu köşelere göre hizalanarak daha okunabilir hale getirilmiştir. QR koda doğru dalış yapıp koda kısa bir süreliğine kilitlenmek için otonom it dalaşında kullanılan kilitlenme mekanizması kullanılacaktır. Kilitlenme mekanizmasının çalışması için, tespit edilen İHA'nın ekrandaki konumu yerine QR kodun ekrandaki konumu verilecektir. Bunun dışında QR koda sahip olan levha, sabit duran bir İHA'ymış gibi davranış olacaktır. Bu şekilde kilitlenme için tek bir algoritma tasarlanması yeterli olacaktır. Hava aracının yarışma boyunca takip edeceği görev algoritması tablo 13 de verilmiştir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



Tablo 13 Hava Aracı Görev Algoritması Akış Diyagramı

5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME

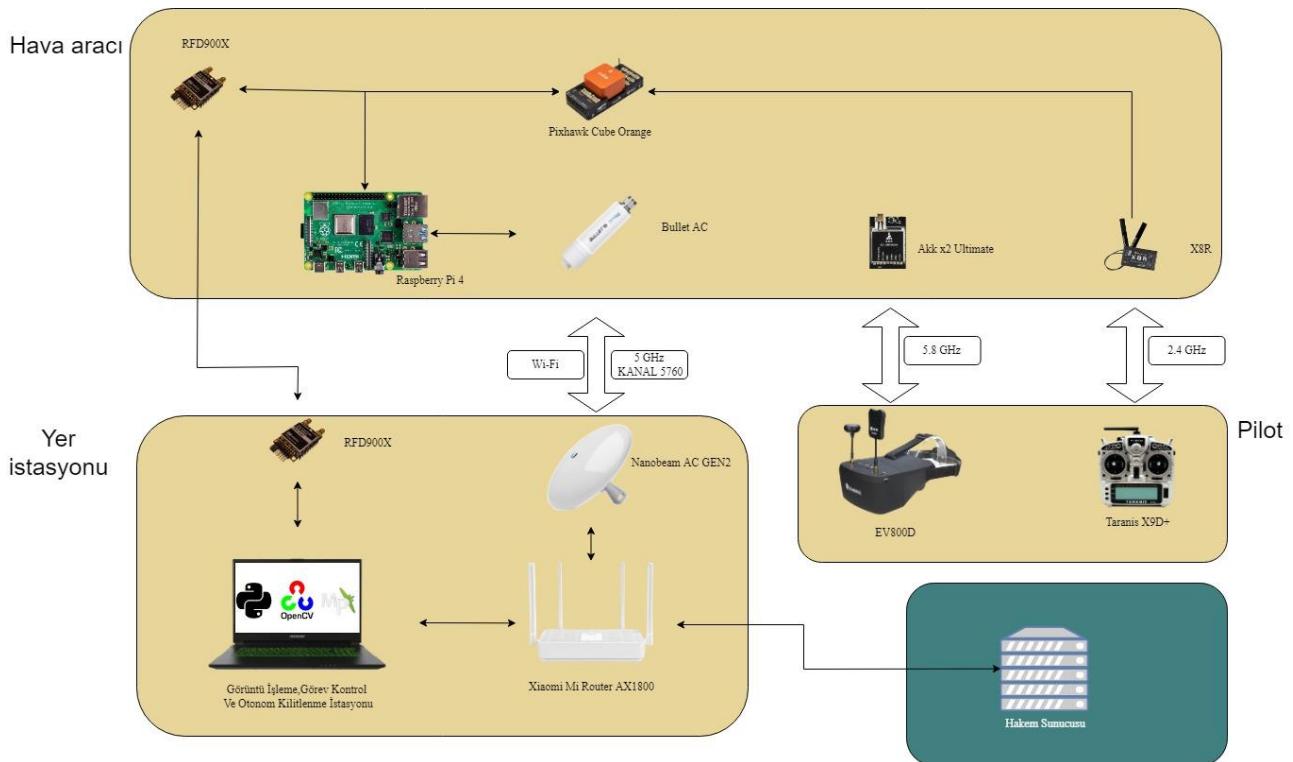
Haberleşme için kullandığımız sistemi üç ana başlıkta incelemekteyiz.

Bunlar:

- İHA ile Yer İstasyonu Haberleşmesi
- Pilot ile İHA haberleşmesi
- Görev kontrol arayüzü ile İHA haberleşmesi

Yarışma 'da kullanılacak haberleşme sistemi şekil 5.1'de gösterilmiştir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 5.1 Haberleşme Sistem Mimarisi

5.1 Savaşan İnsansız Hava Aracı ve Yer İstasyonu Haberleşmesi

İHA ile yer istasyonu arasında iki yönlü bir bağlantı bulunmaktadır.

5.1.1.İHA’ dan Yer İstasyonuna Görüntü Aktarımı

İHA’ dan yer kontrol istasyonuna görüntü aktarımı için http bazlı MJPEG formatında görüntü aktaran bir protokol kullanılmıştır.

Bu protokolün avantajları şu şekildedir:

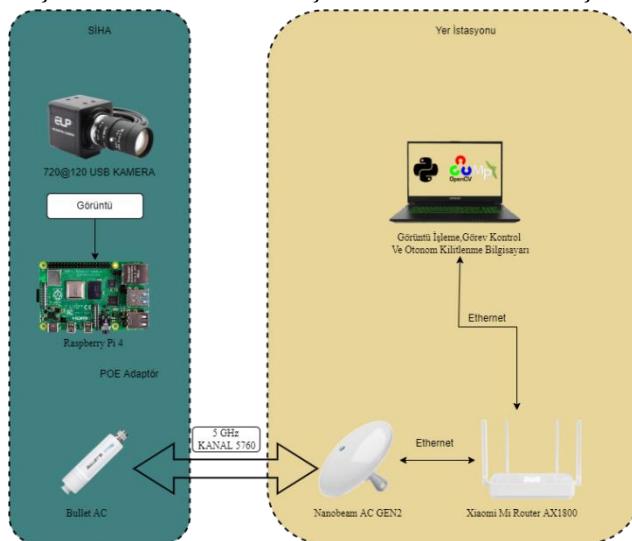
- Bir sunucu sistemi ile birden çok istemciye görüntü aktarılabilmesi
- Olası bir bağlantı kopması durumunda kolayca bağlantının yeniden sağlanabilmesi
- MJPEG formatındaki görüntünün işlenmesinde geçen sürenin diğer görüntü formatlarına kıyasla daha hızlı olması.

İHA’ dan Yer İstasyonuna görüntü aktarımı şu şekildedir:

1. Uçağın önündeki USB konnektörü aracılığıyla mini bir bilgisayar olan Raspberry Pi 4B’e bağlıdır. Uçak içi mini bilgisayar bu görüntüyü kodlar ve bağlı olduğu yerel ağa http protokolü ile yayınlar.
2. POE enjektörünün RJ45 konnektörü barındıran dört hatlı data ucu Raspberry Pi 4B’nin Ethernet portuna bağlıdır. Bu kablonun diğer data ucu yine bir RJ45 konnektörü ile Ubiquiti marka Bullet AC kablosuz ağ adaptörüne bağlıdır.

3. Bullet AC aynı zamanda Yer İstasyonunda bulunan ve Xiaomi marka yönlendiriciye bağlı olan Ubiquiti marka NanoBeam AC ile 5.8 GHz frekansı üzerinden iletişim halindedir. Bu iki aracın amacı Raspberry Pi 4B’yi kablosuz olarak ağa dahil etmektir.
4. Yerel ağa dahil olan Raspberry Pi 4 USB portuna bağlı kamera’dan gelen görüntüyü kodlayarak Ubiquiti marka Bullet AC’ye aktarır. Bullet AC’bu görüntüyü WPA2 protokolü ile şifreler ve 5.8 GHz frekansında Ubiquiti marka NanoBeam AC’ye aktarır.
5. Nanobeam AC Bullet AC’den gelen paketlerin şifresini çözer ve bunları Xiaomi marka yönlendiriciye aktarır. Yönlendirici bu görüntü paketlerine adresine yani görüntüyü işleyecek olan görüntü işleme bilgisayarına aktarır.

Görüntü aktarım haberleşme sistem mimarisi şekil 5.1.1 de verilmiştir.



Şekil 5.1.1 Görüntü Aktarım Haberleşmesi Sistemi

5.1.2 Yer İstasyonundan İHA' ya Yönelme Paketlerinin Aktarımı:

Yer istasyonun İHA' ya otomatik kilitlenme paketlerinin(yönelme ve hız) ularştırılması için Socket protokolü tercih edilmiştir.

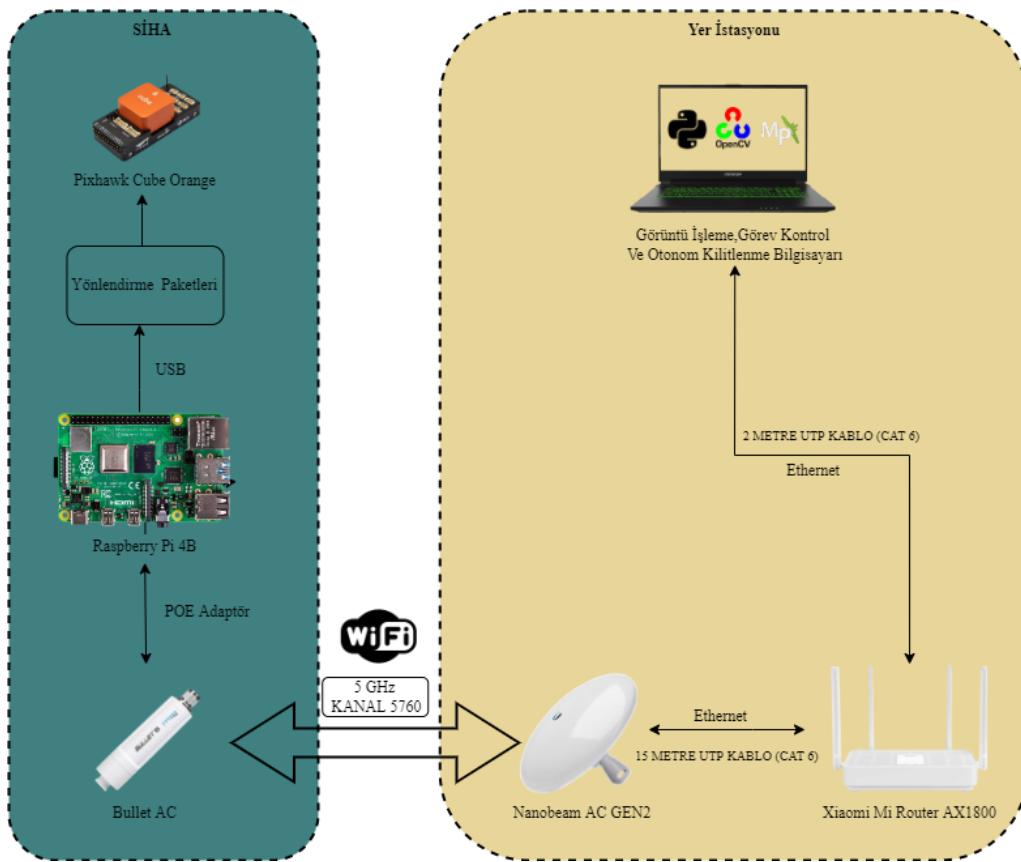
Bu protokolün de avantajları

- İki yönlü veri alışverişine uygun olması
- Diğer protokollere kıyasla verinin iletiminin daha hızlı olması
- Art arda gönderilen veri paketlerinin işlenmesinin daha kolay olması şeklinde sıralanabilir.

Yer İstasyonundan İHA' ya yönlendirme ve hız paketlerinin aktarımı ise şu şekildedir:

1. Yer istasyonunda bulunan görüntü işleme bilgisayarı gelen görüntülerini işler ve İHA'nın yönlemesi için bu komutları adresleyerek paketleyip yönlendiriciye aktarır. Yönlendirici görüntü işleme bilgisayarından gelen adreslenmiş paketleri Bullet AC ve NanoBeam AC üzerinden Raspberry Pi 4B’ye aktarır.

2. Raspberry Pi 4B kendisine ulaşan bu paketleri çözümleyerek, MAVLINK protokolü ile USB portuna bağlı olan Pixhawk uçuş kontrolcü kartına gönderir. Bu şekilde otonom takip ve kilitlenme sağlanmış olur.



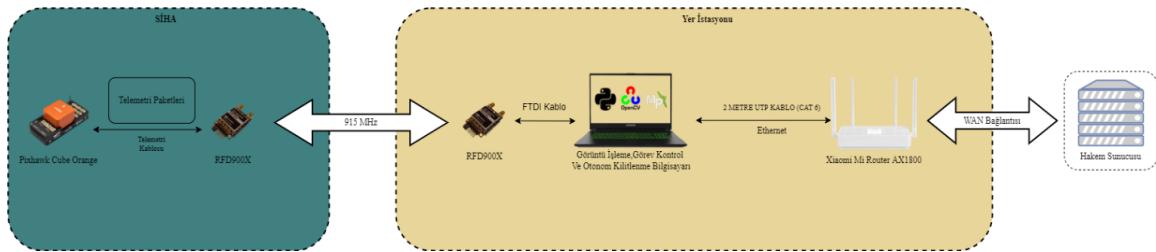
Şekil 5.1.2 Otonom Kilitlenme Haberleşmesi

Yer İstasyonu'na işlenecek görüntünün aktarımı Şekil 5.1.1 de, otonom kilitlenme paketlerinin Yer İstasyonu'ndan İHA' yi yönlendirecek veri paketlerinin aktarımı ise Şekil 5.1.2 de gösterilmiştir.

5.1.3 İHA' dan Yer istasyonuna ve Hakem Sunucusuna Telemetri Aktarımı:

1. Pixhawk uçuş kontrolcü kartı, RFD900X alıcı verici modülleri ile yer istasyonu bilgisayarında çalışan Mission Planner adlı yazılımla seri port üzerinden 915 MHz frekansı ile haberleşmektedir.
2. Pixhawk uçuş kontrolcü kartı ve Mission Planner yazılımı seri port üzerinden haberleştiğinden sonra Pixhawk, telemetri paketlerini Mission Planner yazılımına aktarır.
3. Yer istasyonunda çalışan ana sunucu yazılımı, Mission Planner üzerinde çalışan websocket sunucusuna 56781 portu üzerinden doğrudan bağlıdır.
4. Mission Planner, websocket sunucusu üzerinden tüm telemetri paketlerini ana sunucu yazılımına aktarır. Ana sunucu yazılımı bu telemetri paketlerini gerekli şartlar sağlandıkten sonra yönlendirici üzerinden hem hakem sunucusuna hem de uçuş kontrol arayüzüne göndermektedir.

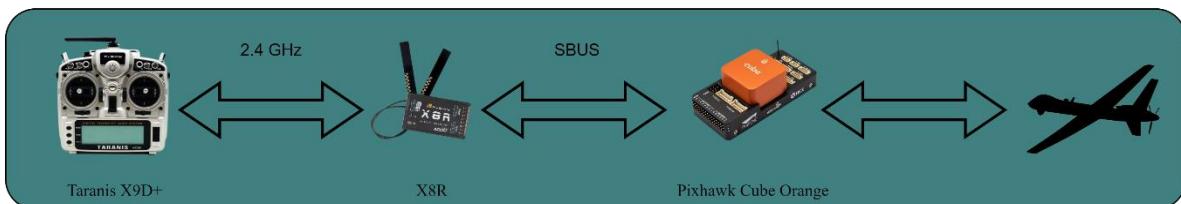
SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 5.1.3.1 Hakem Sunucusuna Telemetri Aktarımı

5.2 Pilot ve İHA Haberleşmesi

Olası bir sorunda(Haberleşme kopukluğu, yazılım hatası vb.) İHA' ya müdahale etmesi için bir güvenlik pilotu gerekmektedir. Pilotun İHA' yı bu gibi durumlarda yönlendirebilmesi için RC kumanda olarak Taranis X9D+ tercih edilmiştir. Bu kumanda Pixhawk Cube'in SBUS portuna bağlı olan X8R modülü ile 2.4 GHz bandında iletişim halindedir. İstenirse kanal değişimi yapılabilir. Bu hiyerarşi şekil 5.2.1 de gösterilmiştir.



Şekil 5.2.1 Pilot-Hava Aracı Haberleşmesi

5.3 Görev Kontrol Arayüzü İle İHA Haberleşmesi

Mission Planner yazılımı dışında, İHA' nın şu anki kamera görüntüsünü, irtifasını, yönelmesini, pil durumunu, uçuş modunu vb. bilgileri görüntülemek, rakip İHA' lara yönelmesini sağlamak ve uçuş modunu değiştirmek gibi şeyler için bir görev kontrol arayüzü tasarlanmıştır.

5.3.1 Görev Kontrol Arayüzüne Telemetri Aktarımı

Görev kontrol arayüzü, yer kontrol istasyonu ana sunucu yazılım üzerinde çalışan API' ye istek göndererek telemetri paketlerini ister. Ana sunucu yazılımı bu isteği işler ve Mission Planner yazılımının websocket sunucusundan aldığı telemetri paketlerini 200 OK durum kodu ve rakip İHA konum bilgileri ile birlikte görev kontrol arayüzüne gönderir. Eğer 200 OK durum kodu alınmamış ise görev kontrol arayüzü bu isteği tekrarlar ve kullanıcıya isteğin başarısız olduğuna dair uyarı verir.

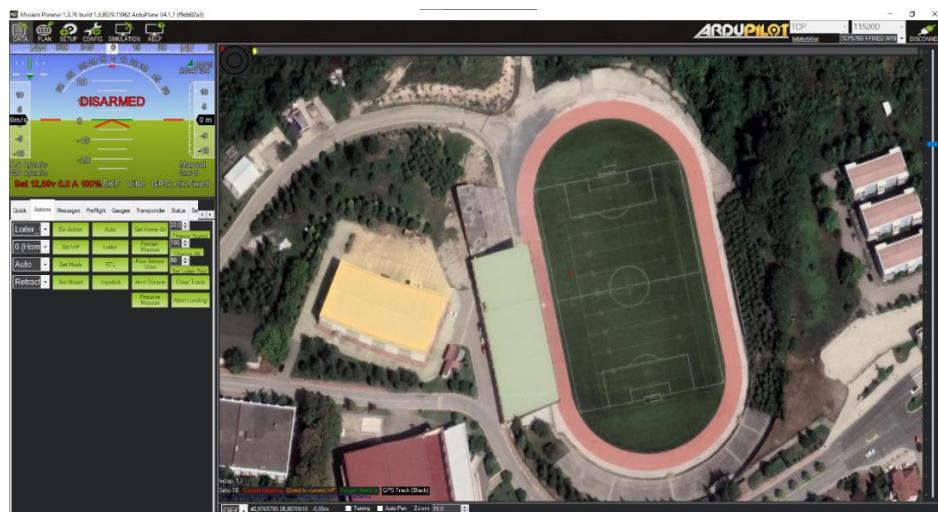
5.3.2 Görev Kontrol Arayüzünden İHA' ya Komut Aktarımı

Ana sunucu yazılımında olduğu gibi İHA üzerinde de bir API çalışmaktadır. Görev kontrol arayüzü üzerinden bir komut (aktarılan konuma git, İHA'nın uçuş modunu değiştir vb.) verildiği zaman görev kontrol yazılımı İHA üzerinde çalışan API' ye bir istek gönderir. Komut başarılı ise 200 OK durum kodu alınır. Eğer başarılı durum kodu gelmedi ise komut tekrarlanır ve kullanıcıya uyarı verilir.

6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

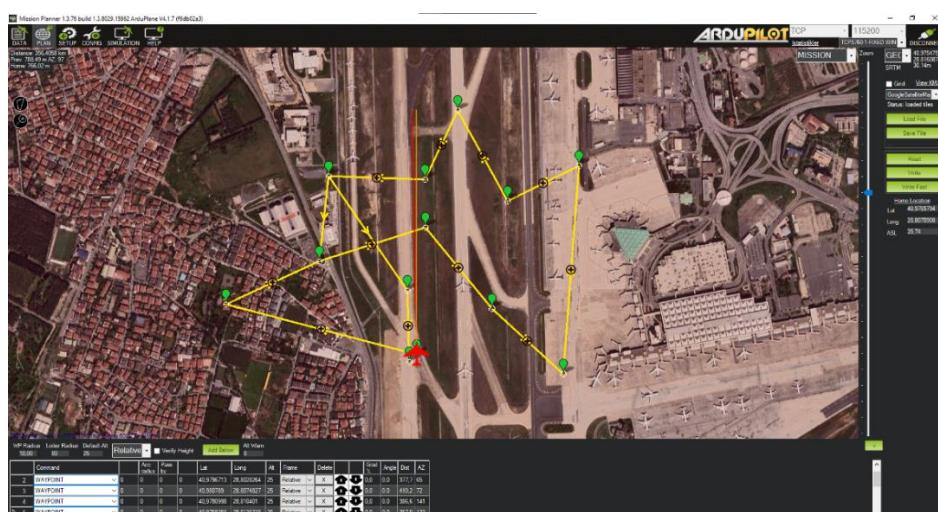
Yer istasyonunda kullanılmak üzere, gerekli isterleri karşılaması, açık kaynak olması ve dokümanlarına ulaşımı kolay olmasından dolayı Mission Planner yer kontrol istasyonu tercih edilmiştir. Mission Planer dışında takımımız bünyesinde geliştirilen Savaşan İHA yarışmasının görev isterlerine uygun Python yazılım dilinde, Tkinter ve OpenCV kütüphaneleri kullanılarak geliştirilen arayüz bulunmaktadır. Aynı zamanda hava aracından gelen dijital canlı görüntüyü üstüne kilitlenme dörtgeni gibi bilgilerin yer aldığı bir HUD bulunmaktadır.

Şekil 6.1 de görüldüğü gibi Mission Plannerin verilerinin izlenebildiği veri ekranı bulunmaktadır. Aynı zamanda “Actions” kısmından hava aracına önceden tanımlanmış komutları çalıştırılabilmektedir. Bunlardan bazıları; mod değişimi, waypoint seçimi, arm-disarm gibi komutlar içermektedir. Bu komutlar hava aracının otonom uçuşu için yeterlidir. Savaşan İHA yarışmasına özel geliştirilmiş komutlar (Otonom Takip, Manual Takip, Kamikaze Görevi) takımımız bünyesinde geliştirilen arayüzden çağrılabilmektedir.



Şekil 6.1 Mission Planner “Data” Sekmesi

Şekil 6.2 de görüldüğü gibi Mission Planner arayüzüünün “Planner” sekmesi bulunmaktadır bu kısımda hava aracının otonom uçuş, rotası oluşturulmaktadır.

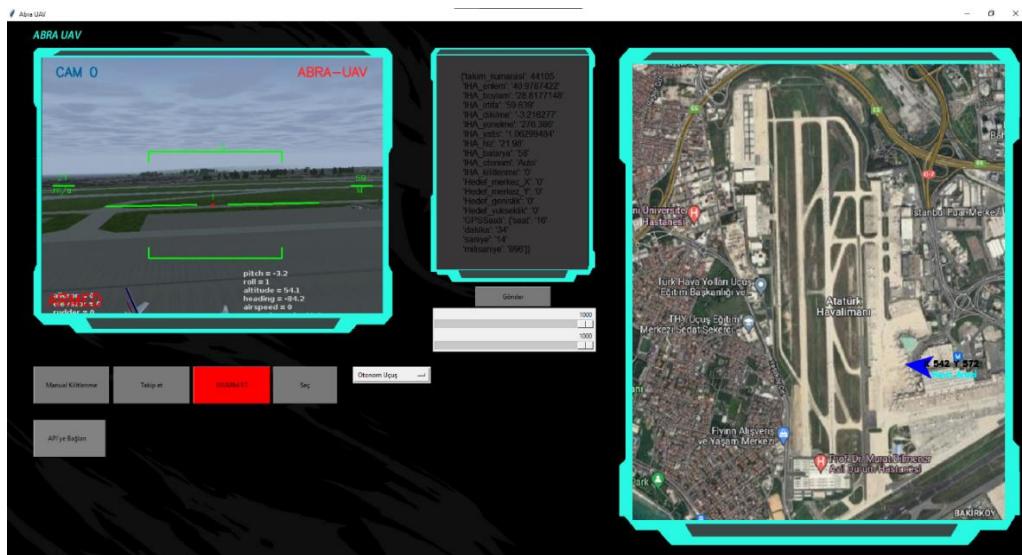


Şekil 6.2 Mission Planner “Planner” Sekmesi”

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

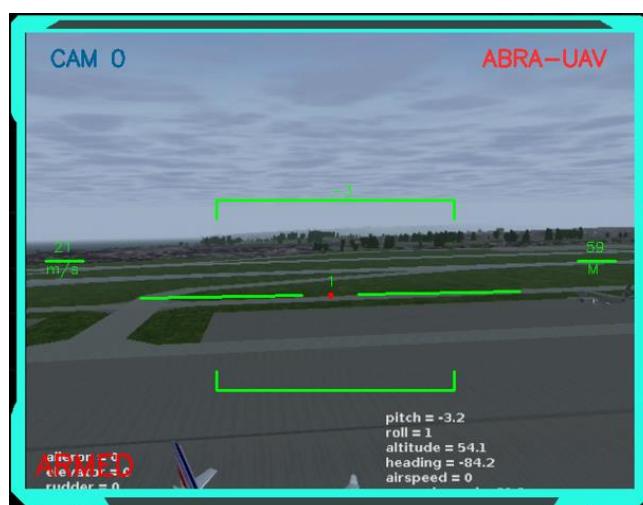
Takımımız bünyesinde geliştirilen kendi arayüzümüz Python yazılım dili, Tkinter ve OpenCV kütüphaneleri kullanılmıştır. Hava aracına veri göndermek, hava aracının verilerini anlık görmek, hava aracından yapılan canlı analog görüntüyü izlemek ve rakip İHA'ların konumlarını haritada görmek gibi özelliklere sahiptir. Aynı zamanda hakem sunucusunda oturum açma, arayüzden “APİye bağlan” butonuna tıklanarak hakem apisinde oturum açılabilmektedir. Hava aracı 2 adet kameraya (1. kamera otonom kilitlenme için dijital görüntü 2. kamera pilot gözlüğüne aktarılan analog görüntü) sahiptir. Analog görüntünün olduğu canlı görüntü hem pilot gözlüğüne hem de arayüze aktarılacaktır. Kilitlenme ekranı için ayrı bir pencere bulunmaktadır. Kilitlenme ekranı penceresi şekil 6.9 da gösterilmiştir

Takımımız tarafından geliştirilen arayüz şekil 6.3 de bulunmaktadır. Arayüzün kısımlarının detaylı açıklaması aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.3 Takım Tarafından Geliştirilen Arayüz

Hava aracının yaptığı analog canlı görüntü yayını hem arayüze hem pilot gözlüğüne anlık olarak aktarılmaktadır. Üzerine Opencv kütüphanesi kullanılarak HUD eklenmiştir. Bu analog görüntüde kilitlenme yapılmamaktadır sadece pilotaj için kullanılmaktadır.



Şekil 6.4 Analog Canlı Görüntü Ekranı

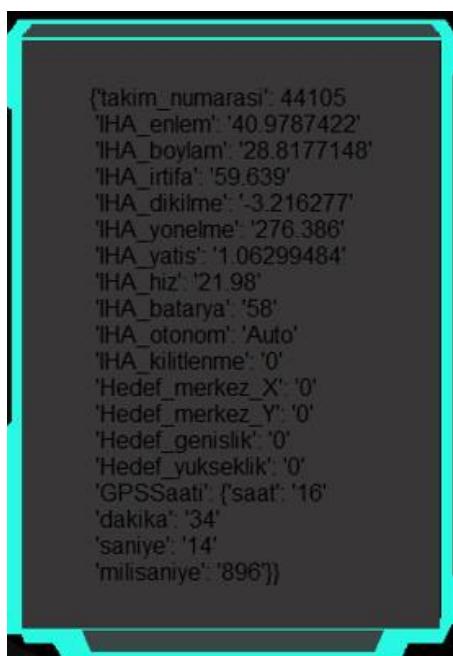
SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Tasarlanan arayüzde iki adet kaydırıcı ile otonom manevra hassasiyeti ayarlanabilmektedir. İstenilen hassasiyet ayarlandıktan sonra gönder butonu ile parametreleri hava aracına yerel ağ bağlantısı sayesinde gönderilebilmektedir. Manevra hassasiyet çubukları şekil 6.5 de mevcuttur.



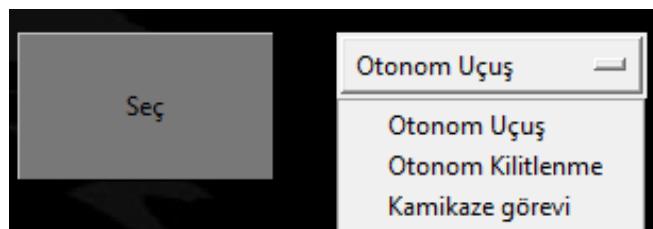
Şekil 6.5 Otonom Kilitlenme Hassasiyeti

Hava aracından gelen telemetri verileri anlık olarak json formatında arayüzde takip edilebilmektedir aynı zamanda bu veriler anlık olarak api-json mantığında hakem sunucusuna aktarılmaktadır. Hava aracı veri ekranı şekil 6.6 de verilmiştir.



Şekil 6.6 Hava Aracından Gelen Anlık Telemetri Verileri

İHA'nın görev seçimlerini yapmak amacıyla hazırlanan komutlar yer istasyonundan seçilerek yerel ağ üzerinden hava aracında iletilmektedir. Komutların seçim ekranı şekil 6.7 de ve açıklamaları tablo 14 de verilmiştir



Şekil 6.7 Komut Seçim Menüsü

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Komut	Açıklama
Otonom Uçuş	Hava Aracını otonom uçuş rotasına gönderir
Otonom Kilitlenme	Hava aracının Otonom kilitlenme algoritmasını çağırır
Kamikaze Görevi	Hava aracının Kamikaze dalış algoritmasını çağırır

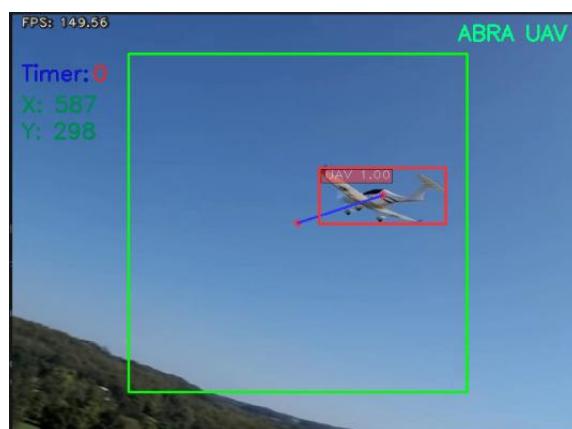
Tablo 14 Komut Açıklamaları

Rakip İHA'ların konumları Python'da yazılan fonksiyonlar ile arayüzde görselleştirilmektedir. Bu sayede rakip İHA'ların konumu arayüzde bulunan haritadan izlenebilmektedir. Kullanılan fonksiyonlar Python yazılım dilinde OpenCV kütüphanesi ile yapılmıştır. Arayüzün harita bölümü şekil 6.8 de verilmiştir.



Şekil 6.8 Rakip İHA'ların Harita Konumları

Hava Aracından Wi-Fi ağına gelen MJPEG formatında 640x480 piksel olan canlı yayın akışı yer istasyonunda gerçek zamanlı olarak işlenmektedir. Aynı zamanda işlenen bu görüntü yer kontrol istasyonundan canlı olarak izlenebilmektedir. HUD kısmı Savaşan İHA yarışmasının kurallarına göre hazırlanmıştır. Bu kurallar vuruş alanı(Va) için yatayda kenarlardan %25 içeri doğru, dikeyde kenarlardan %10 içeri doğrudur ve kilitlenme dörtgeni rakip İHA'nın görüntüsü ekran görüntüsünün yatay ve dikey eksenlerinden en az birinde, en az %5'ini kapsmalıdır örnek vuruş alanı şekil 6.9 da verilmiştir.



Şekil 6.9 Görüntü İşleme Ekranı Vuruş Alanı

7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU

7.1. Yapısal Entegrasyon

Üretilen İnsansız Hava Aracının taşıma kolaylığından dolayı 3 parça olarak tasarlanmıştır. Sağ ve sol kanatlar, ön ve arka iniş takımları, ana gövde olarak 3 parçadır.

Sağ ve sol kanatlar gövde de bulunan orta kanadın içindeki karbon borulara alüminyum joiner ile takılmaktadır. 10mm ve 6mm çapında alüminyumdan üretilen joiner çubuklarının içine sağlamlaştırmak amacıyla epoksi-cam elyaf karışımı sıkılmıştır. Gövdeye sıkı geçme ile takılan kanatlar ayrıca şeffaf bant ile tamamen sabitlenmektedir. Bağlantı tipi şekil 7.1.1 de verilmiştir.



Şekil 7.1.1 Kanat Joiner Bağlantısı

Ön ve arka iniş takımları hava aracının gövdesine ikişer adet 4mm civata-somun bağlantısı ile tutturulmaktadır. Iniş takımlarının vida bağlantısının yapılaceği kısımlar sağlamlaştırmak amacıyla 6mm kontrplak ve cam elyaf kaplama ile kaplanmıştır. Bu şekilde sert inişlerde zarar görmemesi sağlanmıştır. Iniş takımı bağlantı noktaları şekil 7.1.2 ve 7.1.3 de verilmiştir.



Şekil 7.1.2 Arka Iniş Takımı Bağlantı Noktası **Şekil 7.1.3 Ön Iniş Takımı Bağlantı Noktası**



İHA'nın kanatları ve iniş takımının hava aracının üzerindeki hazır hali şekil 7.1.4 de verilmiştir



Şekil 7.1.4 Hava Aracı

Hava aracının kuyruğu gövdeye orta kanat ile birlikte sabit bir şekilde tasarlanmıştır. Herhangi bir sökme-takma işlemi uygulanamamaktadır. Kuyruk bağlantısı şekil 7.1.5 de mevcuttur.



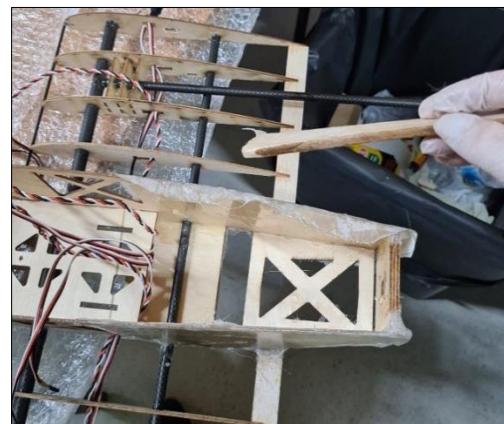
Şekil 7.1.5 Kuyruk-Gövde Bağlantısı

7.2. Mekanik Entegrasyon

Hava aracının elektrik motoru gövdeye M3 vida-somun bağlantısı ile 2 adet 3mm kontrplak plakaya tutturulmuştur. Kontrplak plaka ise gövdeye tırnak açılarak tutkal yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Epoksi yerine tutkal yapıştırıcı, tahta-tahta yapıştırmasında daha etkili olduğu için tercih edilmiştir. Motorun itki sırasında kontrplak tahtayı kırmaması amacıyla hem motor yuvasına hem de motora yakın gövde bölümüne cam elyaf ile kaplama yapılarak sağlamlık artırılmıştır. Motor bağlantısı şekil 7.2.1 de ve motorun gövdeyi kırmaması için yapılan cam elyaf işlemi şekil 7.2.2 de verilmiştir.



Şekil 7.2.1 Gövde Motor Bağlantısı



Şekil 7.2.2 Gövde Cam Elyaf İşlemi

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Yer istasyonu iletişimini için kullanılacak olan 5.8GHz anten Bullet AC ile Rp-Sma bağlantısı ile yapılmıştır. Anten ise gövdenin altına anten uzatıcı kablo ile uzatılarak çıkarılmıştır. Şekil 7.2.3 de verilmiştir. Bullet AC ise 3B yazıcıdan basılan platform ile gövdeye civata-somun bağlantısı ile takılmıştır. Konum olarak otopilot kartının üstüne bir platform ile yerleştirilmiştir. Şekil 7.2.4 de mevcuttur.

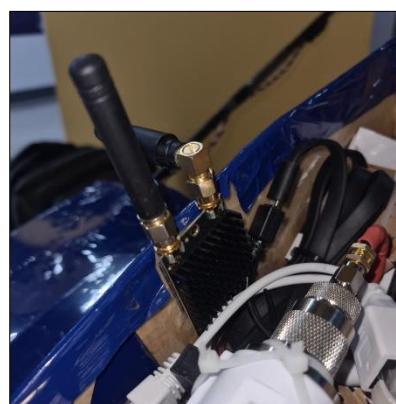


Şekil 7.2.3 Wi-Fi Anteni



Şekil 7.2.4 Bullet AC Yerleşimi

Hava aracının yer istasyonu ile RF iletişimini için kullanılan RFD 900X gövdeye 3M çift taraflı silikon bant ile yapıştırılmıştır. Şekil 7.2.5 de verilmiştir.



Şekil 7.2.5 RFD 900X Gövde Bağlantısı

İHA'nın yarışma görevlerini gerçekleştirmesi için hava aracının içinde olan mini bilgisayar gövdeye 3M çift taraflı silikon bant ile yapıştırılmıştır. Şekil 7.2.6 da verilmiştir.



Şekil 7.2.6 Rp4 Gövde Bağlantısı

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Otonom uçuş kartımız gövdeye 4 adet civata-somun bağlantısı ile tutturulmuştur. Şekil 7.2.7 de verilmiştir.

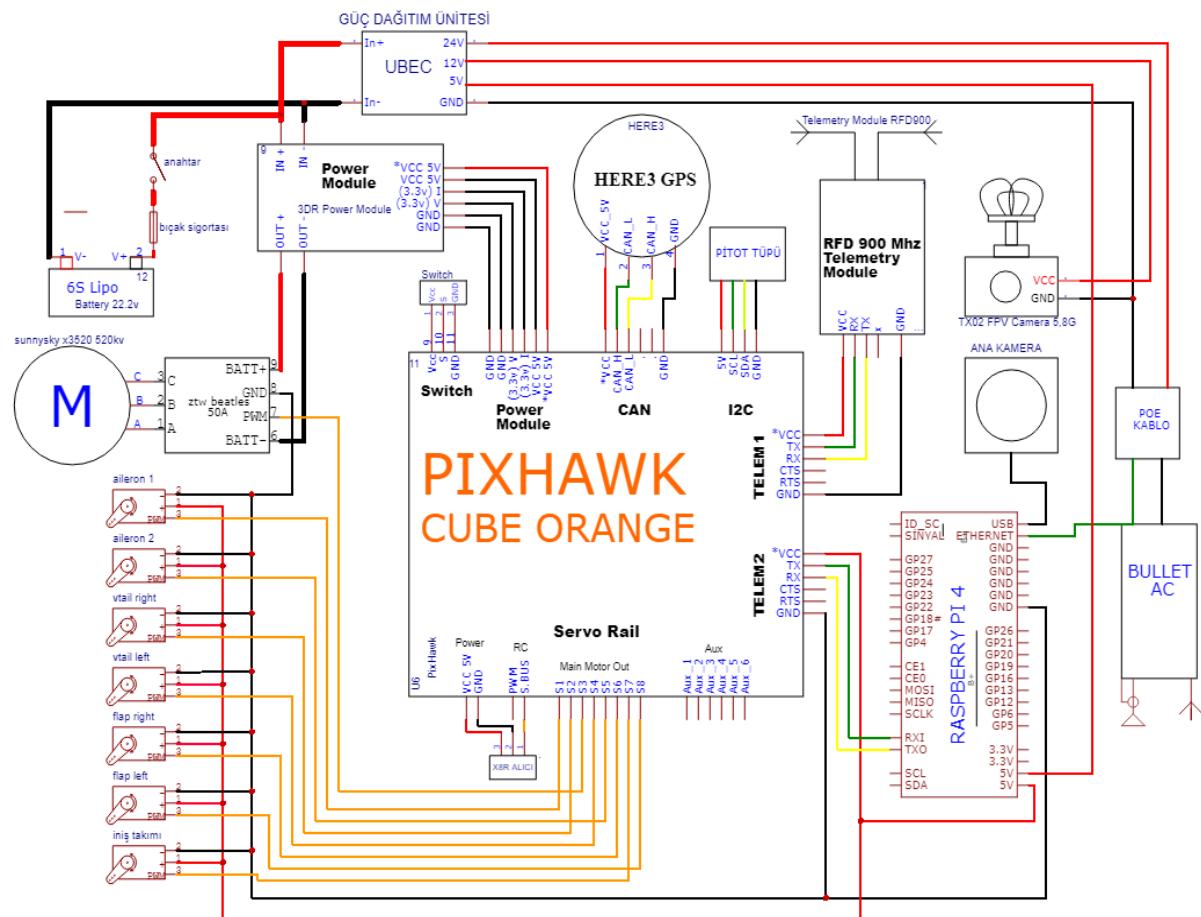


Şekil 7.2.7 Otonom Uçuş Kartı Konumu

Otonom uçuş kartına bağlı olan servo motorlar, GPS, telemetri, mini bilgisayar, hız sensörü, kumanda alıcısı, güç modülü elektronik ekipmanları gövdeye plastik kelepçe, 3M silikon bant ve civata-somun bağlantısı ile tutturulmuştur. Aviyonik sistemlerin hepsi gövdeye sabit bir şekilde bulunmaktadır ve hareket söz konusu değildir.

7.3. Elektronik Entegrasyon

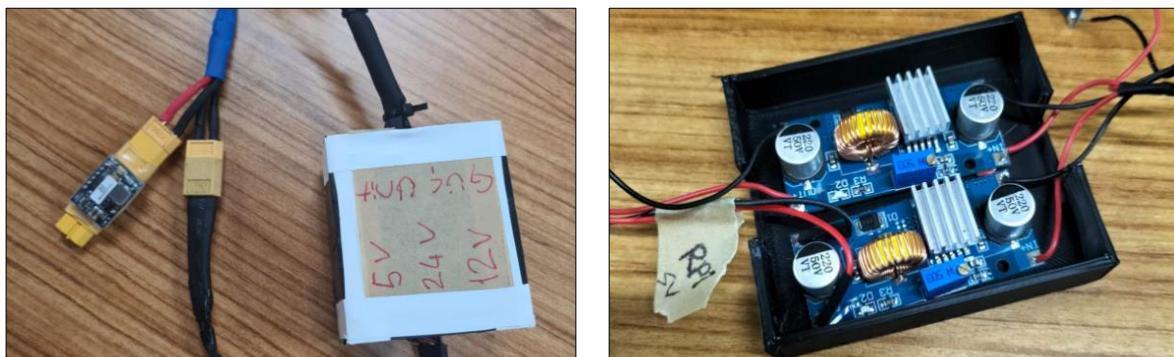
Elektronik entegrasyon 4 başlık altında incelenmiştir. Hava aracının elektronik şeması EasyCAD programında çizilmiştir. Hava aracının elektronik şeması şekil 7.3.1 de verilmiştir.



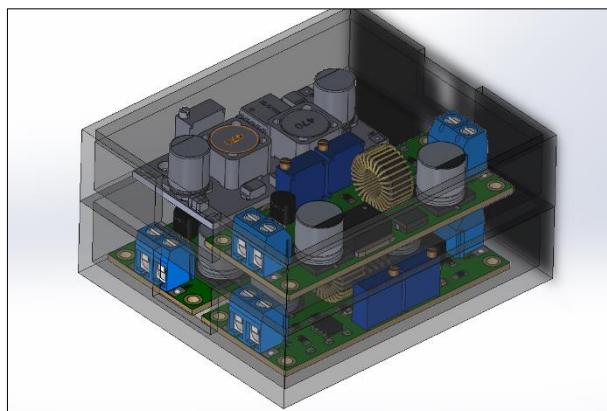
Şekil 7.3. İHA Devre Şeması

7.3.1 Güç Ünitesi

Hava aracı güç ünitesi; 3 adet buck converter, 1 adet buck boosterden oluşmaktadır. Buck boosterların 1 tanesi Raspberry Pi 4B için 5v gerilime, 1 tanesi FPV anten için 12v gerilime sabitlenmiştir. Bullet AC' nin beslenmesi için 1 adet buck convertara 1 adet buck booster seri bağlanılarak sabit 24v gerilim elde edilmiştir. Bunu sebebi kullandığımız Li-Po bataryanın uçuş sırasında 25.2v gerilimden 21v gerilime kadar düşmesidir Bullet AC' nin çalışması için sabit 24v gerilim ile beslenmesi gerekmektedir. Sabit 24v gelirim elde etmek için önce buck converter ile 20v gerilime düşürülp buck booster ile 24v gerilimde sabitlenmiştir. Tasarlanan güç ünitesi detayları şekil 7.3.1.1 ve 7.3.1.2 de verilmiştir.



Şekil 7.3.1.1 Güç Ünitesi



Şekil 7.3.1.2 Güç Ünitesi CAD Tasarımı

7.3.2 Pixhawk Pin Bağlantıları

Pixhawk Orange üzerinde bulunan I2C, TELEM1, CAN, USB, GPS1, 1-8 MAINOUT, RC IN portları kullanılmaktadır. Bu portlara bağlanan aksamlar tablo 15 de verilmiştir.

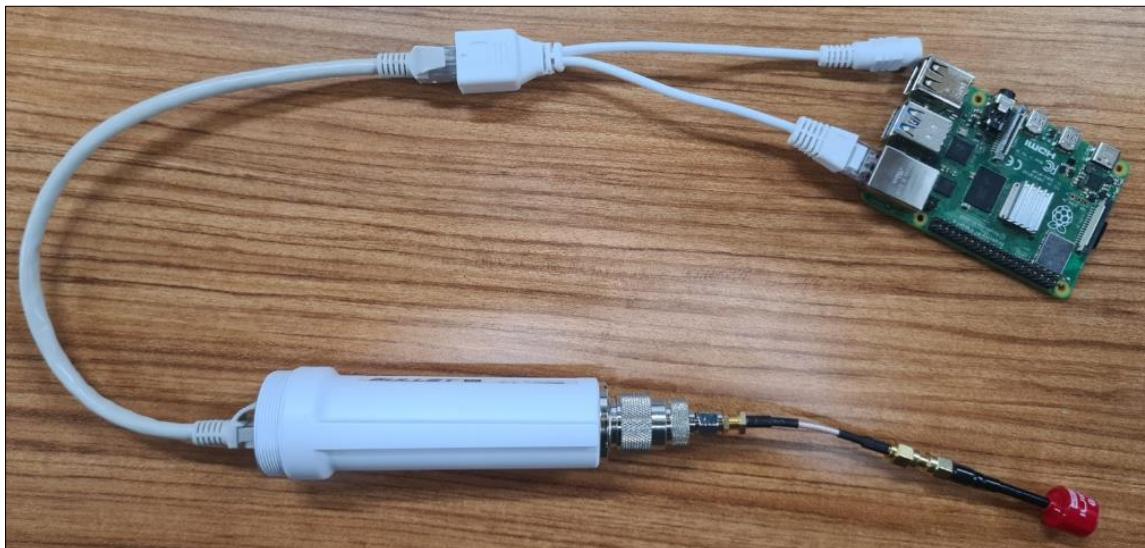
NO	PORTR	ELEKTRONİK ELEMAN
1	I2C	Pitot Tüpü
2	TELEM1	RFD900x Telemetri
3	CAN	HERE 3 GPS
4	USB	Raspberry Pi 4B

5	MAIN OUT 1	Aileron 1
6	MAIN OUT 2	V Tail Sağ
7	MAIN OUT 3	ESC Sinyal Portu
8	MAIN OUT 4	V Tail Sol
9	MAIN OUT 5	Aileron 2
10	MAIN OUT 6	Flap Sağ
11	MAIN OUT 7	İniş Takımı Servosu
12	MAIN OUT 8	Flap Sol
13	RC IN	X8R Alıcı

Tablo 15 Pixhawk Bağlantı Tablosu

7.3.3 Bullet AC ve Raspberry Pi Bağlantısı

Bullet AC ile Raspberry Pi 4B birbirine “POE” kablo ile bağlanmaktadır. Bu adaptör Ethernet kablosundan gelen veri ile elektriksel gücün aynı anda taşınmasını sağlayan bir sistemdir. POE kablosunun besleme ucuna güç ünitesinden gelen 24v bağlanmaktadır. Üzerinde sadece veri taşıyan pinlerin bulunduğu Ethernet kablosu RP4 ün Ethernet portuna takılmaktadır. POE kablonun veri ve 24v bulunan kablosu Bullet AC nin Ethernet girişine bağlanmıştır. Bu bağlantının detayları şekil 7.3.3.1 de mevcuttur.



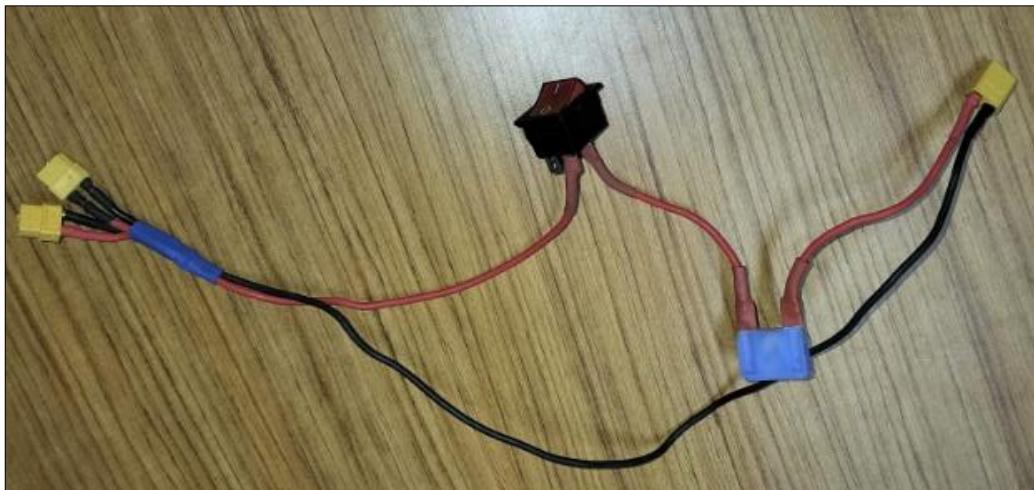
Şekil 7.3.3.1 Mini Bilgisayar – Bullet AC Bağlantısı

7.3.4 Motor, Batarya, ESC, Güç Bağlantısı

Pilden gelen “+” ve “-“ uçlar xt60 soket ile hava aracının içinde bulunan uzatma kablosuna bağlanmaktadır. Bu kablonun “+” ucuna bir adet açma kapama düğmesi, 1 adet 60 amper bıçak sigorta bağlanmıştır. Uzatma kablosunun ucuna xt60 ile Pixhawk güç modülü bağlanmıştır. Pixhawk güç modülü ve ESC xt60 ile bağlanmaktadır. Uzatma kablosundan güç ünitesine yine

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

xt60 soket kullanılarak güç ünitesinin pil ile olan bağlantısı yapılmıştır. Sigorta ve buton bağlantısı şekil 7.3.4.1 de verilmiştir.



Şekil 7.3.4.1 Sigorta Buton Bağlantı Şekli

İHA'nın motor kontrolü için kullanılan ESC, güç modülüne xt60 soket ile bağlanmıştır. Şekil 7.3.4.2 de bağlantısı verilmiştir.



Şekil 7.3.4.2 ESC-Güç Modülü Bağlantısı

Farklı gerilimlerdeki aviyonik sistemleri beslemek amacıyla oluşturulan güç ünitesi xt60 soket ile bataryadan güç hattına bağlanmıştır. Şekil 7.3.4.3 de bağlantı şékli verilmiştir.



Şekil 7.3.4.3 Güç Ünitesi Bağlantı Noktası

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

İHA'nın motor kontrolü için kullanılan ESC "banana" soketler ile birlikte motora bağlanmıştır. Bağlantı şekli şekil 7.3.4.4 de verilmiştir.



Şekil 7.3.4.4 Motor-ESC Bağlantısı

8. TEST VE SİMÜLASYON

8.1. Alt Sistem Testleri

Hava aracının geliştirilmesi sırasında yapılan testler aşağıdaki başlıklarda verilmiştir.

8.1.1 Kanat Esneme ve Yük Testi

Hava aracının imalatı tamamlandıktan sonra full yüklü halde kanatlarının en dış iki ucundan asılmıştır ve kanatların esnemesi gözlemlenmiştir. Kanatların en dışından asılması maksimum yükü temsil etmektedir. Yapılan gözlemler sonucunda kanat esnemesinin sağlıklı seviyede olduğuna karar verilmiştir. Şekil 8.1.1.1 de test düzeneği verilmiştir.



Şekil 8.1.1.1 Test düzeneği

8.1.2 Batarya ve ESC Sıcaklık Testi

Hava aracı kontrollü bir şekilde tam güçte yaklaşık 2 dakika çalıştırılmıştır bunun sonucunda Pilde ve ESC de oluşan sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ölçümler şekil 8.1.2.1 verilmiştir.



Şekil 8.1.2.1 Batarya-ESC Sıcaklık Testi

8.1.3 Motor Akım Testi

Kullanılan motor tam gazda batoryaya bağlanan amper metre sayesinde ne kadar akım çektiği gözlemlenmiştir. Test sırasında çekilen akım değeri şekil 8.1.3.1 de verilmiştir.



Şekil 8.1.3.1 Akım Testi

8.1.4 Piste Taksi Testi

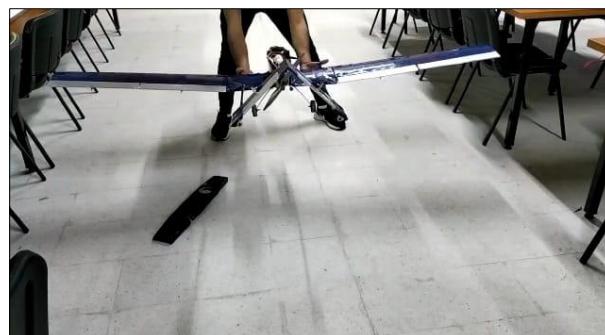
Hava aracı ilk uçuşundan önce iniş takımında bir sorun veya orantısızlık var mı diye kontrol edilmesi için taksi testine çıkarılmıştır yapılan testler ve gözlemler sonucu iniş takımının kalibrasyonu yapılmıştır. Taksi testi görseli şekil 8.1.4.1 de verilmiştir.



Şekil 8.1.4.1 Taksi Testi

8.1.5 İniş Takımı Şok Testi

Hava aracı inişi sırasında maruz kalacağı şok kuvvetini taklit etmek için sırasıyla 20-30-40 cm yükseklikten bırakılmıştır bunun sonucunda iniş takımının şok emme kabiliyeti test edilmiştir. Şok testi görseli şekil 8.1.5.1 de mevcuttur.



Şekil 8.1.5.1 İniş Takımı Şok Testi

8.1.6 Haberleşme Testi

Hava aracı ve yer kontrol istasyonu ile 500 metre uzaklıkta haberleşme testleri yapılmıştır. Bu test sonucunda hava aracının yeterli iletişim menziline sahip olduğu kanıtlanmıştır. Haberleşme testi görseli şekil 8.1.6.1 de mevcuttur.



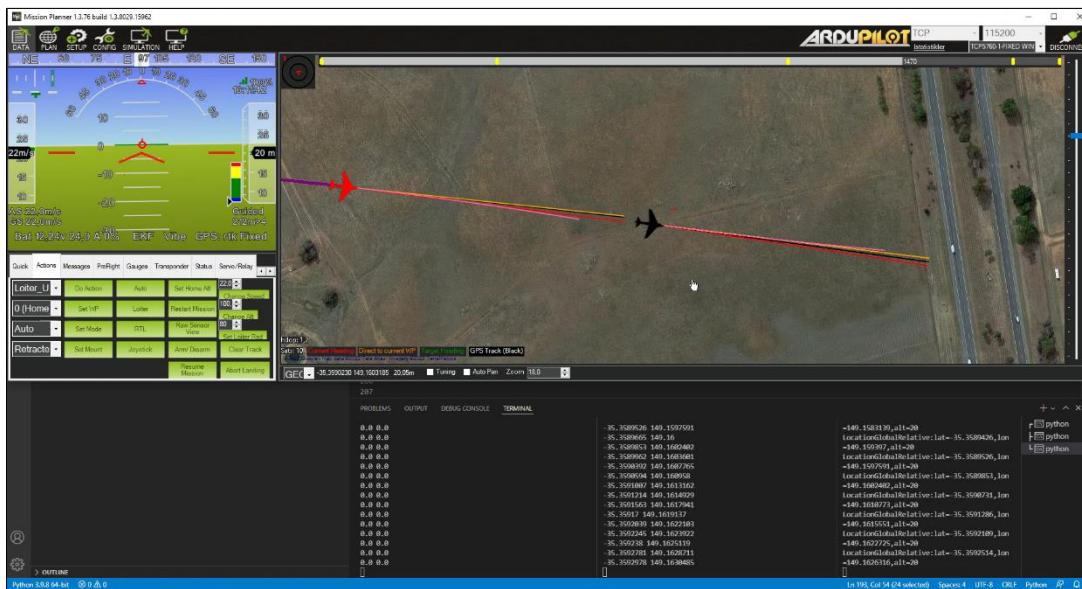
Şekil 8.1.6 Haberleşme Testi

8.1.7 Yazılım Testleri

Algoritma testleri STIL (software in the loop) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. STIL hiç bir ek donanıma ihtiyaç duyulmadan ArduPilot simülasyonu yapmaya imkân sunuyor. Bu sayede geliştirilen algoritmalar erkenden STIL üzerinde test edilmiştir.

8.1.7.1 Otonom Takip Testi

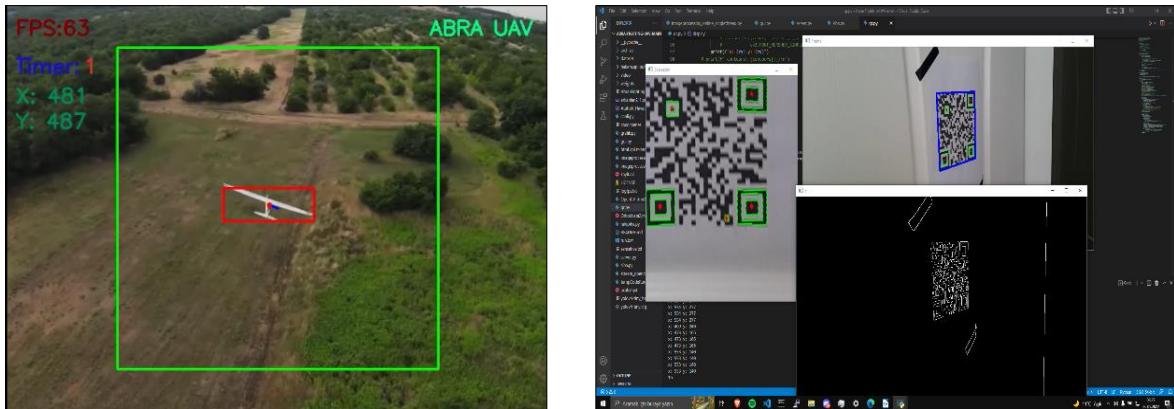
Otonom takip testi sırasında aynı yerel ağ üzerinde birden fazla STIL çalıştırılarak rakip İHA'lar oluşturulup bu rakip İHA'ların kaçması sağlanmıştır. Bu sayede otonom takip testi gerçekleştirilmiştir. Testlerden görüntüler şekil 8.1.7.1.1 de verilmiştir



Şekil 8.1.7.1.1 Otonom Takip Testi

8.1.7.2 Otonom Hedef Tespiti Testi

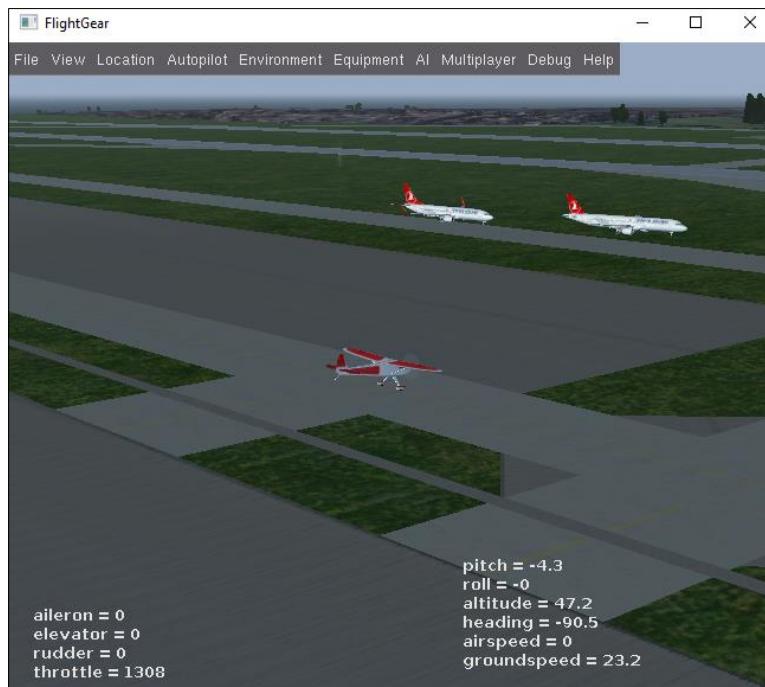
Geliştirilen görüntü işleme algoritmalarının (QR kod okuma ve İHA tespit etme) testi internet de bulunan uçuş görüntülerini, eski Teknofest uçuş görüntülerini, RC uçak uçuş videoları üzerinde test edilmiştir. Hedef tespit testleri şekil 8.1.7.2.1 de verilmiştir.



Şekil 8.1.7.2.1 Hedef Tespit Testleri

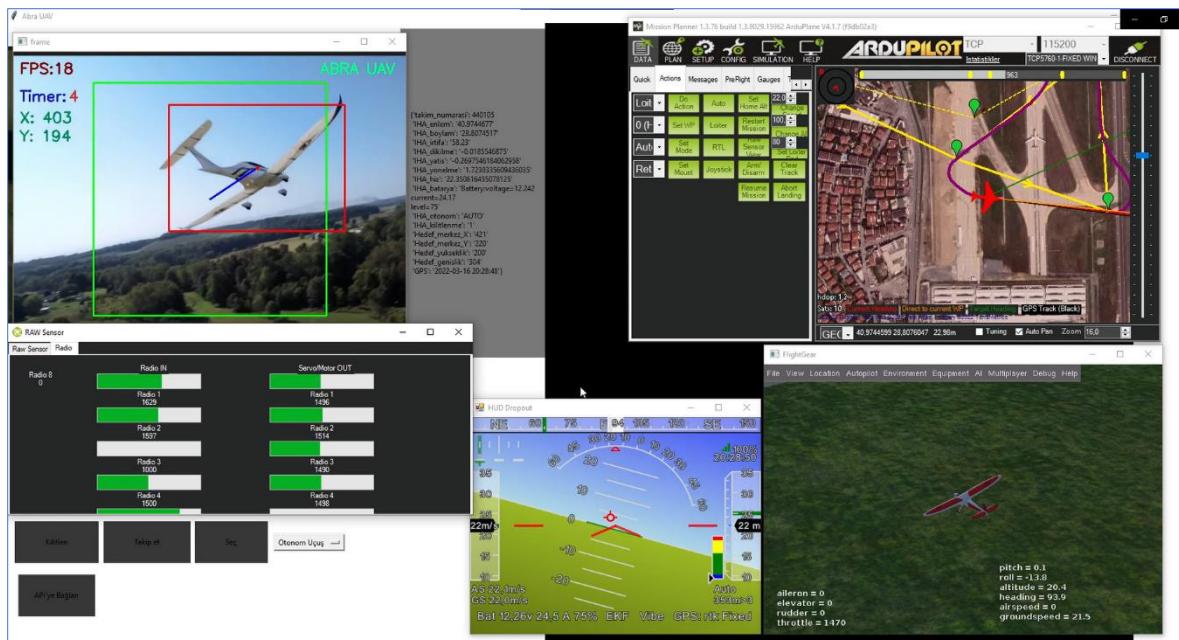
8.1.7.3 Otonom Manevra Testi

Otonom manevra testi sırasında STIL ve açık kaynak uçuş simülatörü Flight Gear kullanılmıştır. Görüntü işleme verileri soncunda hava aracının hareketleri Flight Gear uçuş simülatöründe görselleştirilerek gözlemlenmiştir. Test aşaması şekil 8.1.7.3.1 de verilmiştir. Test sırasında yer kontrol istasyonu ekranı ise şekil 8.1.7.3.2 de verilmiştir.



Şekil 8.1.7.3.1 Flight Gear UAV Development Tool

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 8.1.7.3.2 Simülasyon Ekranı

8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi

İnsansız Hava Aracımız her uçuş öncesi bir “uçuş kontrol listesi” ile kontrol edilmektedir. Liste sonucunda uçuşa hazır olup olmadığı, herhangi sorunlu bir parçanın bulunup bulunmadığı onaylandıktan sonra “uçuş yapılabılır” olarak değerlendirilmektedir. Hava aracının “uçuş kontrol listesi” tablo 16’da verilmiştir.

Kontrol Kısımları	Onaylandı	Onaylanmadı
Yapışsal Kontrol		
Kanat Bağlantıları Kontrolü		
Kontrol Yüzeyleri Kontrolü		
İniş Takımı Ön/Arka Kontrolü		
Kuyruk Bağlantıları Kontrolü		
Gövde Hasarı Kontrolü		
Pervane Kontrolü		
Mekanik Kontrol		
Motor Bağlantı Kontrolü		
Aviyonik Sistem – Gövde Bağlantı Kontrolü		
Aviyonik Sistem Sabitleme Kontrolü		
Hareket Yüzey Servo Motor Kolları Kontrolü		
Aviyonik Sistem Kablolama Kontrolü		
Elektronik – Yazılımsal Kontrol		

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Aviyonik Sistem Kontrolü		
Yer İstasyonu Kontrolü		
Hava Aracı – Yer İstasyonu Bağlantı Kontrolü		
Sensör Kontrolleri		
Görüntü Sistemi Kontrolü		
Uçuş Yapabilir		
Kontrol Yapan		

Tablo 16 Uçuş Kontrol Listesi

İHA'ının üretiminden sonra uçuş aşamalarına gelindiğinde belli başlı uçuş testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlerin asıl amacı üretilen hava aracının bilgisayar ortamında yapılan analizler ile uyumluluğunun tespitidir. Hava aracı uçuş testlerinde; manevra kabiliyeti, pil süresi, gerekli itki ve hız değerleri, "AUTOTUNE" ile PID kontrolü, otonom manevra kabiliyeti, yazılım haberleşme testi gibi testler bir arada ve farklı farklı zamanlarda gerçekleştirilerek sonuçları aşağıdaki tablolara aktarılmıştır.

Uçuş Testi #1		
Uçuş Türü	Manuel	Uçuş Nedeni
Uçuş Süresi	2 Dakika 42 Saniye	İHA'nın ilk uçuşu olarak yapılmıştır. Hava aracının havadaki manevra kabiliyetleri test edilmiştir. Ortalama hız değerleri görülmüştür.
Elde Edilen Başarı	Manevra Kabiliyeti Görüldü	
		

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Uçuş Testi #2		
Uçuş Türü	Manuel	Uçuş Nedeni
Uçuş Süresi	4 Dakika 36 Saniye	Hava aracının manuel modda düz uçuş yapabilmesi için kontrol yüzeylerine trim yapılmıştır.
Elde Edilen Başarı	Kontrol Yüzeylerine Trim Ayarları Yapıldı	
		

Uçuş Testi #3		
Uçuş Türü	Manuel - FBWA	Uçuş Nedeni
Uçuş Süresi	6 Dakika 21 Saniye	Hava Aracının PID değerlerinin ayarlanması için “Autotune” modunda uçuş yapıldı.
Elde Edilen Başarı	Autotune Yapıldı	
		

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Uçuş Testi #4		
Uçuş Türü	Auto	Uçuş Nedeni
Uçuş Süresi	8 Dakika 44 Saniye	Hava aracının “auto” modda uçuş kabiliyeti test edilmiştir.
Elde Edilen Başarı	Otonom Uçuş Yeteneği	
		

Uçuş Testi #5		
Uçuş Türü	Manuel - FFWA	Uçuş Nedeni
Uçuş Süresi	8 Dakika 29 Saniye	
Elde Edilen Başarı	Batarya Yeterliliği	Hava Aracının hesaplanan batarya tüketim değerleri ile gerçek uçuş arasındaki farklar test edildi. 8 dakika 29 saniyelik uçuşun ardından bataryamız 25.2V dan 23.89V gerilim değerine düşerek yarışma süresinin tamamlayacağını kanıtlamıştır.
		

9. GÜVENLİK (5 PUAN)

Hava Aracının test aşamasında oluşabilecek muhtemel riskler ve bu risklere karşı alınan önlemler tablo 17 de verilmiştir.

Oluşabilecek Riskler	Risklere Karşı Alınan Önlemler
Hava Aracı'nın kırım esnasında alev alması.	Her test uçuşu sırasında yanın tüpü bulundurulması.
Herhangi bir takım üyesi yaralanması durumu.	Test alanında ilk yardım çantası bulundurulması.
Hava aracının cıvata-somun bağlantılarındaki problemler.	Uçuş öncesi "uçuş kontrol listesi" ile hava aracı kontrol edilmesi.
Hava aracının yaşayabileceği tamir edileBILECEK Kırımlar olması.	Kaza kırımı durumları için yedek parça ve tamir kiti bulundurulması.
Hava aracının başka insanlara zarar vermesi.	Uçuş alanlarında sivil kişiler bulundurulmamaktadır.
Uçuş sırasında hava aracı-yer istasyonu bağlantısı kopması.	Hava aracının uçuş sırasında bağlantı kopması sırasında RTL modu kullanılmaktadır.
Kalkış ve iniş sırasında kaza kırımı ihtimali.	Hava aracının kalkış ve iniş yapacağı alanların dikkatli bir şekilde incelenip, müsait ortam oluşturulması.
Hava aracının olası durumda elektrik arızası yaşaması.	Hava aracının elektrik kesilmesi ve aviyonik sistemin zarar görmemesi amacıyla 60A bıçak sigorta ve açma-kapama butonu kullanılmıştır.
Hava aracının aviyonik sisteminin fazla ısınma durumu.	Aviyonik sistemin soğutulması amacıyla İHA'nın tasarımı içinde hava akışı olacak şekilde tasarlanmıştır.
Li-Po pillerin verebileceği hasarlar.	Li-Po pillerin patlama yanma durumunun önüne geçilmesi için koruma çantasında ve güneş görmeyen yerlerde taşınması.
Pervanenin verebileceği hasar.	Hava aracı pervanesiz bir şekilde taşınacaktır. Sadece uçuş onaylandığı zaman pervane monte edilecektir.

Tablo 17 Risk Tablosu

10. REFERANSLAR

Hava aracının geliştirilmesinde kullanılan referanslar aşağıda verildiği gibidir.

1. İnternet: Mavlink “Developer Guide”,

<https://mavlink.io/en/>

2. İnternet: FlightGear “FlightGear Manuel”,

https://wiki.flightgear.org/FlightGear_manual

3. İnternet: ArduPilot “ArduPilotPlane”,

<https://ardupilot.org/ardupilot/>

4. İnternet: DroneKit “DroneKit-Python Documentation”,

<https://dronekit-python.readthedocs.io/en/latest/>

5. İnternet: Yolo “Real-Time Object Detection”,

<https://pjreddie.com/darknet/yolo/>

6. İnternet: Tkinter “[tkinter](#)— Python interface to Tcl/Tk”,

<https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>

7. İnternet: Tübitak Bilim Genç “İHA eğitim videoları”,

<https://www.youtube.com/channel/UC7jmlbmLNGbGBWexZorASyA>

8. İnternet: Teknofest Savaşan İHA Yarışması “Geçmiş Yıl Raporları”,

<https://www.teknofest.org/tr/competitions/competition/3>

9. İnternet: Ubiquiti BULLET AC Manuals

<https://www.manualslib.com/products/Ubiquiti-Bullet-Ac-9268830.html>

10. İnternet: Flask “Flask’s documentation”

<https://flask.palletsprojects.com/en/2.1.x/>

11. İnternet: “A Comparative Study of Object Detection Algorithms in A Scene”

<https://www.ijert.org/a-comparative-study-of-object-detection-algorithms-in-a-scene>

12. İnternet “SciPy”

<https://scipy.org/>

13. İnternet “YOLOv3, YOLOv4 and YOLOv5 for Autonomous Landing Spot Detection UAVs”

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8778480/>

14. İnternet “YOLO v4 or YOLO v5 or PP-YOLO”

<https://towardsdatascience.com/yolo-v4-or-yolo-v5-or-pp-yolo-dad8e40f7109>