

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



TAKIM ADI: ALGAN UAV Team

TAKIM ID: 315723

YAZARLAR: ALGAN UAV Team

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ	4
1.1. Sistem Tanımı.....	4
1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri	5
2. ORGANİZASYON ÖZETİ	5
2.1. Takım Organizasyonu.....	5
2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe.....	6
3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ.....	7
3.1. Nihai Sistem Mimarisi.....	7
3.1.1. Nihai Sistem Mimarisi Ön Tasarım Raporu Farkları	8
3.2. Alt Sistemler Özeti	8
3.3. İHA Performans Özeti	11
3.3.1. İHA Uçuş Süresi Test ve Analizleri:.....	11
3.3.2. Akış Analizi.....	12
3.3.3. Kanat Profil Seçimi	13
3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı	14
3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı	15
4. OTONOM KİLİTLENME.....	16
4.1. Otonom Kilitlenme	16
4.1.1. Otonom Kalkış ve Yönelme.....	16
4.1.2. Otonom Hedef Tespiti.....	17
4.1.3. Otonom Takip	18
4.1.4. Otonom Kilitlenme.....	18
4.1.5. Otonom İniş.....	18
4.2. Kamikaze Görevi.....	19
4.2.1. Hedefe Yönelim	19
4.2.2. Hedefe Dalış	20
4.2.3. Pas Geçme	20
4.2.4. Kilitlenme.....	20
4.2.5. Yapısal Dayanım Detayları	20
5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME	21
5.1. İHA İçi Haberleşme:.....	22
5.2. Yer Kontrol İstasyonu-İHA Haberleşmesi:	22

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

5.3. Yer Kontrol İstasyonu – Sunucu Arası Haberleşme:	23
6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI	23
6.1. Mission Planner	24
6.2. ALGAN İHA Takımı Arayüzü:	24
7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU	26
7.1. Yapısal Entegrasyon	26
7.1.1 Kanat	26
7.1.2. Kuyruk	27
7.1.3. Gövde	28
7.1.4. İniş takımları	28
7.2. Mekanik Entegrasyon	29
7.3. Elektronik Entegrasyon	31
7.3.1. Kablolama	31
7.3.2. Güç Dağılımı	33
8. TEST VE SİMÜLASYON	33
8.1. Alt Sistem Testleri	33
8.1.1. Otonom Uçuş- Yönelim- Takip Testi	33
8.1.2. İtki Testi:	35
8.1.3. Yapısal Test	36
8.1.4. Stall Açısı ve Tutunma Hızı Testi	39
8.1.5. Kablosuz Haberleşme menzil testi:	40
8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi	41
8.2.1. Otonom Kalkış	42
8.2.2. Otonom İniş	42
8.2.3. Autotune Testi	42
8.2.4. ALGAN İHA Takımı Uçuş Kontrol Listesi	43
9. GÜVENLİK	45
10. REFERANSLAR	47

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ

1.1. Sistem Tanımı

Teknofest 2022 Savaşan İHA (İnsansız Hava Aracı) kategorisinin görev tanımı 2 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada İHA'nın kalkış, uçuş, rakip İHA hedef tespiti, kilitlenme ve iniş görevlerini otonom olarak gerçekleştirmesi ve gerekli verilerin uygun formatta yer kontrol istasyonuna ardından yarışma sunucusuna iletilmesi şeklinde tanımlanırken ikinci aşamada ise İHA'nın kalkış, uçuş, hedef QR'a yönelim, dalış, tespit-kilitlenme ve iniş görevlerini otonom bir şekilde gerçekleştirmesi ve ilk aşamada olduğu gibi gerekli verilerin uygun formatta yer kontrol istasyonuna ve ana sunucuya iletilmesi şeklinde tanımlanmıştır.

ALGAN İHA Takımı tarafından tasarlanan sistem ilk aşamada istenilen şekilde otonom kalkış, iniş ve uçuş görevlerini İHA üzerinde bulunan uçuş kontrol kartı sayesinde gerçekleştirecektir. Yönelim esnasında kilitlenme kamerasının görüş alanına giren rakip İHA, yer kontrol istasyonu ile nesne tanıma algoritması kullanılarak tespit edilecektir. Kamera vasıtasıyla tespit edilen rakip İHA'nın x ve y eksenindeki konumu İHA üzerinde bulunan uçuş kontrol bilgisayarına ileterek takip algoritması ile takip edilerek rakip İHA hedef vuruş alanında tutulacak ve kilitlenme işlemi gerçekleştirilecektir. Görevin ikinci aşamasında ise otonom kalkış-iniş ve uçuş görevlerini birinci aşamada olduğu gibi İHA üzerinde bulunan uçuş kontrol kartı sayesinde gerçekleştirecektir. İHA ana sunucudan gelen QR kod konum verileri doğrultusunda yer kontrol istasyonunda bulunan QR görev algoritması ile yönelim, dalış ve pas geçme işlemlerini otonom olarak gerçekleştirilecektir. QR görevi esnasında kilitlenme kamerası görüş alanına giren QR koda İHA üzerinde bulunan kilitlenme algoritması ile kilitlenerek QR kod üzerinde bulunan şifre önce yer istasyonuna gönderilecektir. Yer kontrol istasyonuna gelen veriler, istasyon üzerinde bulunan haberleşme yazılımı sayesinde istenilen formatta ana sunucuya aktarılması sağlanacaktır.

Tablo 1- Alt sistem bileşenleri tanımları ve görevleri

Yer Kontrol İstasyonu	Müsabaka sırasında İHA'nın parametrelerinin ve alınan anlık görüntünün görüntülenebileceği ve kontrol edileceği birim.
Hava Aracı	Otonom görevlerini içerisinde bulunan uçuş kontrol kartı ve uçuş kontrol bilgisayarını ile gerçekleştirecek birim.
Kamera Sistemleri	İHA'nın otonom görevleri yerine getirebilmesi için kilitlenme kamerasından oluşan ve yapay zekâ sistemleri için gerekli görüntü verilerini sağlayan sistem.
Haberleşme Sistemleri	İHA, yer istasyonu ile ana sunucu arasındaki veri ve görüntü aktarımını, Wİ-Fİ, haberleşme antenleri ve yer istasyonları aracılığı ile sağlayan sistem.
Kumanda ve Alıcı	İHA'nın pilot tarafından kontrol edilebilmesini sağlayan birim.
İtke Sistemleri	İHA'nın otonom görevleri yerine getirebilmesi için gereken itkiyi sağlayan batarya, güç modülü, ESC, motor ve pervane bileşenlerinden oluşan sistem.
Hava Aracı Kontrol Sistemleri	İHA'nın uçuş kontrol kartı, alıcı, servo motorları ve GPS bağlantılarından oluşan otonom ve manuel komutları gerçekleştirmesini sağlayan sistem.
Yapay Zekâ Sistemleri	İHA'nın, otonom hedef tespit ve kilitlenme görevlerini sağlıklı bir şekilde yerine getirebilmesi için gerekli algoritmaların çalıştırıldığı sistem.

1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri

Nihai performans özellikleri, 8.1 Alt Sistem Testleri başlığı altında yapılan testler ve analizler sonucunda elde edilmiştir. Elde edilen özellikler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2- Sistem nihai performans özellikleri

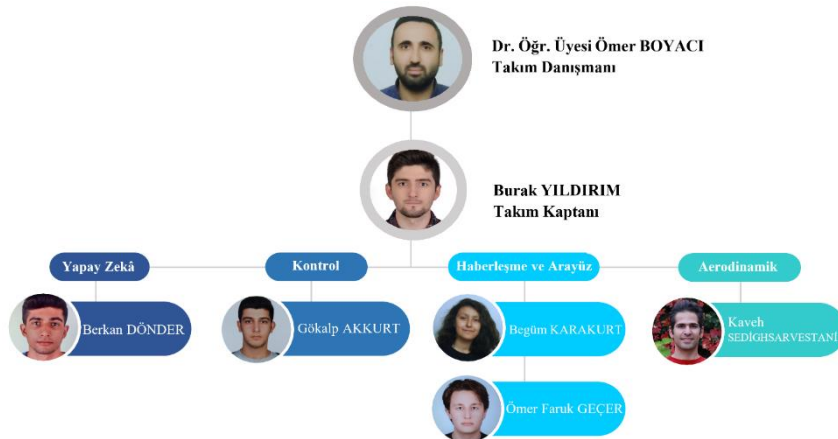
ÖZELLİK	DEĞERİ	ÖZELLİK	DEĞERİ
Uçuş Süresi	57.6 dk.	Batarya Kapasitesi	12000 mAh
Seyir Hızı	16 m/s	Kamera Çözünürlüğü	12.3 MP
Maksimum Kalkış Ağırlığı	6.5 kg	Görüntü İşleme Hızı	55 FPS
Kanat Açıklığı	1.8 m	Tırmanma Hızı	4 m/s
Maksimum İrtifa	1000 m	Motor Özellikleri	480 kV 1956 W
Menzil	1.5 km	ESC Özellikleri	2S-6S 80A
Kanat Yüzey Alanı	0.25 m ²	Pervane Ölçüleri	15*8
Tutunma Hızı	13 m/s	İtke Kuvveti	69.85 N
Rüzgâr Toleransı	25 m/s	Çalışma Sıcaklığı	-6 / 40°C

2. ORGANİZASYON ÖZETİ

2.1. Takım Organizasyonu

Savaşan İHA yarışmasında istenilen görevleri en iyi şekilde yerine getirmek için görev dağılımı Şekil 1 takım organizasyonu üzerinde gösterildiği gibi 2 kişi yönetim, 1 kişi yapay zekâ, 1 kişi kontrol, 2 kişi haberleşme ve arayüz, 1 kişi aerodinamik olmak üzere 5 ana birimden oluşmaktadır. Bunlar;

- **Takım Danışmanı:** Takım içi motivasyonu ve ekiplerin denetimini sağlar.
- **Takım Kaptanı:** İletişim ve takım içerisindeki ekiplerin koordinasyonunu sağlar.
- **Yapay Zekâ:** Görüntü işleme ve yapay zekâ algoritmalarını geliştirir.
- **Kontrol:** İHA’nın otonom/manuel kontrolünü ve yönelimini sağlayacak sistemleri geliştirir.
- **Haberleşme ve Arayüz:** İHA, yer istasyonu ve ana sunucu arasındaki haberleşmeyi sağlar, arayüz tasarımını geliştirir.
- **Aerodinamik:** İHA’nın aerodinamik geliştirmelerinde ve kullanılacak tasarımın seçilmesinde görev alır.

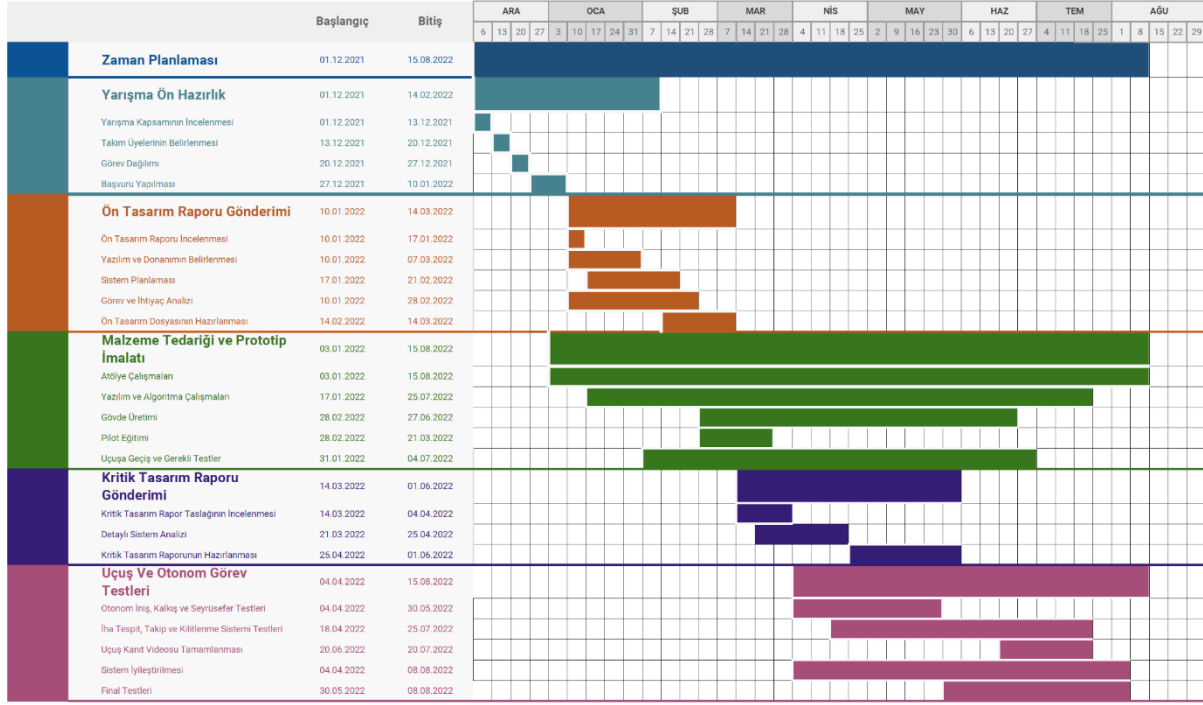


Şekil 1- Takım Organizasyonu

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe

Yarışma takvimi ve İHA test süreçleri göz önünde bulundurularak Şekil 2’de zaman akış çizelgesi oluşturulmuştur.



Şekil 2- Zaman Çizelgesi

Nihai bütçe Tablo 3’te gösterilmektedir. Güncellenen bütçede ön rapora kıyasla birtakım değişiklikler olmuştur. Hitec HS-5245MG Dijital Mini servo yerine Kingmax 5515MD servo kullanılacaktır. Tattu 3s 3300 mAh aviyonik batarya ve Tattu 4S 12000 mAh 50c Li-Po itki batarya yerine Profuse 4.000 mAh 3S aviyonik batarya ve Profuse 12.000 mAh 6S itki batarya kullanılacaktır. Sunnysky x3525 motoru yerine SunnySky X4125 480kV motoru kullanılacaktır. Algan İHA Takımı tarafından tasarlanan güç dağıtım kartı yerine maliyet bakımından daha uygun olduğu için Pololu Güç Dağıtım Kartları kullanılacaktır. Ön raporda belirtilmeyen Buck-Boost dönüştürücü bulunacaktır. Yapılan değişiklikler sonucunda toplam maliyet 37723 TL’den 55220 TL’ye, destek talebi ücreti 24953 TL’den 32570 TL’ye yükselmiştir.

Tablo 3- Nihai Bütçe ve Maliyet

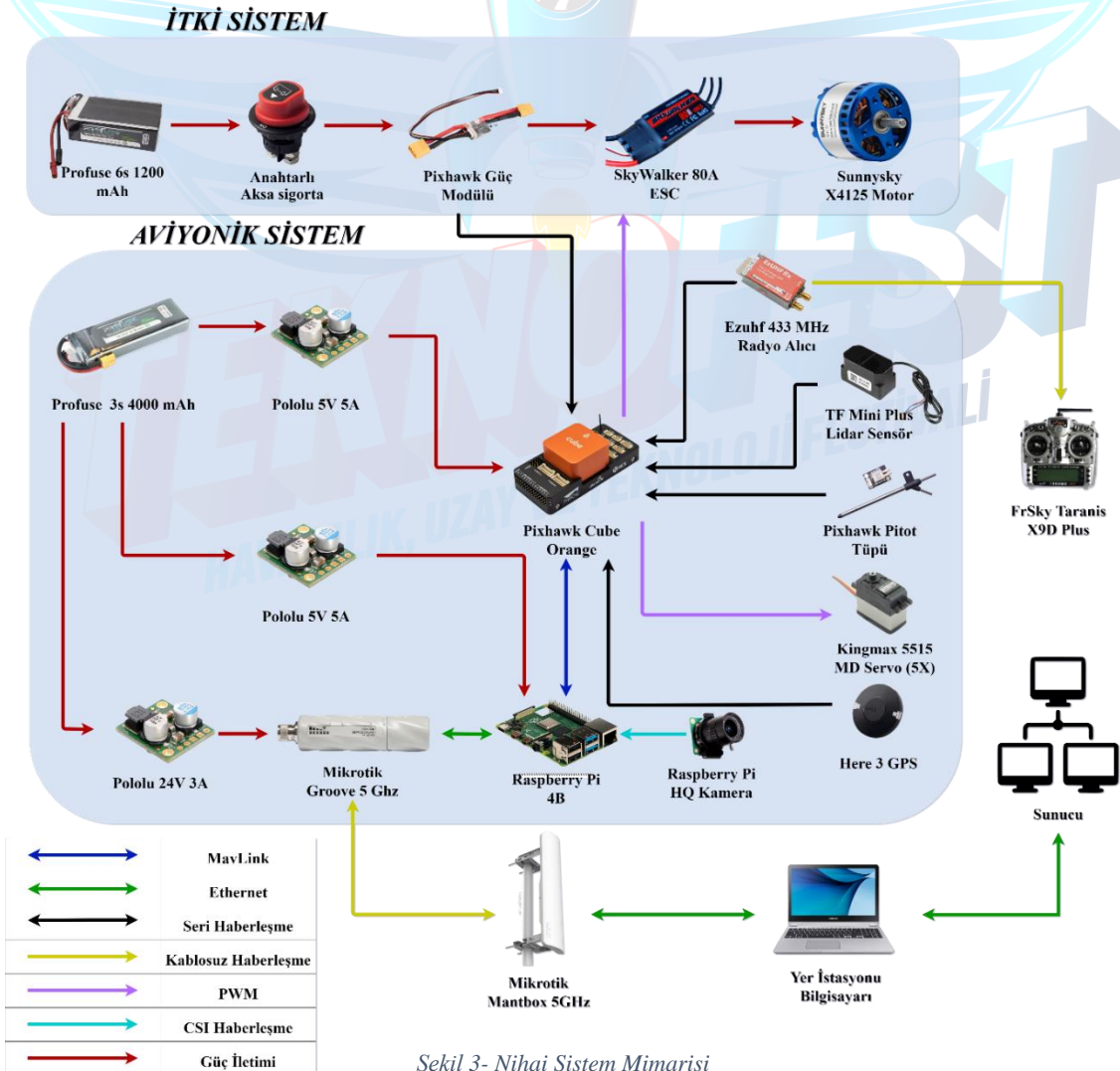
Malzeme Adı	Adet	Destek Talebi	Maliyet (₺)
Gövde	1	YOK	5000
SunnySky X4125 480kV Motor	1	VAR	2500
Hobbywing Skywalker 80A ESC	1	VAR	700
Pixhawk Cube 2.1 Orange	1	VAR	7000
Kingmax 5515MD Servo	6	VAR	1800
Pixhawk Pitot Tüpü	1	YOK	750
Here 3 GPS	1	YOK	3900
Raspberry Pi 4B 8 GB	1	VAR	1630
Mikrotik GrooveA 52	1	YOK	1680
Mikrotik Mantbox	1	YOK	2860

FrSky X9D+ Verici	1	YOK	5650
Ezuhf Alıcı	1	VAR	1250
Raspberry Pi HQ Kamera	2	VAR	2320
Yer istasyonu Bilgisayarı	1	VAR	10000
15x8 Pervane	2	VAR	500
Pixhawk Güç modülü	1	VAR	520
Pololu 5V-5A Voltaj Regülatörü	2	YOK	1250
Pololu 4.5V-20V Voltaj Regülatörü	1	YOK	500
Buck-Boost Dönüştürücü	1	YOK	150
TF Mini Lidar Sensör	1	YOK	860
Profuse 4.000 mAh 3S Batarya	1	VAR	450
Profuse 12.000 mAh 6S Batarya	1	VAR	3900
Destek Talebi Ücreti			32570
Toplam Maliyet			55220

3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ

3.1. Nihai Sistem Mimarisi

İHA'nın elektronik sistemlerini içeren nihai sistem mimarisi diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir.



3.1.1. Nihai Sistem Mimarisi Ön Tasarım Raporu Farkları

Ön tasarım raporunda oluşturulan kavramsal sistem mimarisinde belirtilen ve kullanılmak istenen malzemeler göz önünde bulundurularak eksiklikler giderilip nihai sistem mimarisi güncellenmiştir. Ön Tasarım raporunda belirtilen motor, güç dağıtım kartı, batarya ve servo motor değiştirilmiş ve yeni malzemeler 3.2 “Alt Sistemler Özeti” bölümünde belirtilmiştir. Şekil 3’te nihai sistem mimarisine ait diyagram gösterilmiştir.

3.2. Alt Sistemler Özeti

Uçuş Bilgisayarı: Belirlenen görevde İHA’da kullanılacak olan otonom kontrol algoritmasının tam performanslı ve kullanılması planlanan güç dağıtım kartı ile uyumlu çalışması, 125Mbps Ethernet bağlantı hızı ile yer istasyonuna daha hızlı veri ve görüntü aktarılması istendiği için Raspberry Pi 4B tercih edilecektir.

Tablo 4– Raspberry Pi 4B ve Jetson Nano Karşılaştırması

	Raspberry Pi 4B	NVIDIA Jetson Nano
CPU	4 çekirdekli ARM Cortex-A72 1.4GHz	4 çekirdekli ARM A57 1.43 GHz
GPU	Broadcom VideoCore VI 500 MHz	128x Maxwell @ 921 MHz (472 GFLOPS)
Hafıza	8GB LPDDR4 SKU	4 GB 64-bit LPDDR4 25.6 GB/s
Maliyet	3.800₺	5.600₺

Uçuş Kontrol Kartı: İHA’yı otonom/manuel modda sürebilmek için kullanılan bir devre kartıdır. Yazılımsal olarak açık kaynaklı olmasından dolayı ArduPlane tercih edilmiştir. ArduPlane üzerinden yazılımı gerçekleştirebilmek için Pixhawk Cube Orange veya Pixhawk 2.4.8 uçuş kontrol kartlarından birinin seçilmesi öngörülmüştür.

Tablo 5- Pixhawk Cube 2.1 Orange ve Pixhawk 2.4.8 karşılaştırması

	Pixhawk Cube 2.1 Orange	Pixhawk 2.4.8
İşlemci Özellikleri	STM32H43 M7 400MHz CPU	SMT32f407 32bit Cortex-M7 168MHz FPU
RAM Kapasitesi	1 MB RAM	256 KB RAM
ROM Kapasitesi	2 MB	Yok
Servo çıkışları	14 PWM	6 PWM
Ağırlık	345 gr	88 gr
Boyut	11x11x8 cm	11x11x4 cm
Gerilim	4.1V- 5.7V	USB gerilimi 5 V + -0,4 V
Maliyet	7000₺	2800₺

İki kartın özellikleri karşılaştırıldığında Pixhawk Cube 2.1 Orange’ın Pixhawk 2.4.8’e göre çok daha güçlü ve verimli bir uçuş kontrol kartı olması yanı sıra UART, I2C CAN gibi çeşitli bağlantı türlerine sahip olmasından dolayı Pixhawk Cube 2.1 Orange uçuş kontrol kartı tercih edilmiştir.

İtki Sistemi: İtki sistemi tercihi yapılırken kullanılacak olan İHA'nın tahmini ağırlığı, yüksek ivmelenme, hız ve irtifa isterleri değerlerine göre Ön Tasarım Raporunda belirtilen SunnySky x3525 modelinin gerekli itkiyi sağlayamaması nedeniyle 7123g itki ve 1956,05 Watt gücüne sahip SunnySky X4125 480 kV motor ve 15*8 inç pervane kullanılarak bu isterlerin karşılanabileceği yapılan hesaplamalarla ön görülmüştür.

Tablo 6- İtki Sistemi Motor Kıyaslaması

Motor	Pervane (inç)	Gerilim (V)	Çekilen Akım (A)	Güç (Watt)	İtki (gf)
SunnySky X4125-480kV	15*8	22,96	85,19	1956,05	7123
SunnySky X4125-420kV	15*8	22,2	49,8	1105,56	4860

Motoru kontrol edecek olan hız kontrolcü devresi olarak Hobbywing SkyWalker 80A ESC tercih edilecektir. Sürekli ve yüksek tepe akım devresine sahip olmasıyla birlikte motorla uyumlu çalışabilecek bir elektronik hız kontrolcüsüdür.

İtki sistemine gerekli beslemeyi sağlayabilmek için Profuse 6s 12000mAh 40C Li-Po batarya tercih edilmiştir. İHA itki sistemindeki gerekli hesaplamalar 3.3.1 “İHA uçuş süresi test ve analizleri” başlığı altında incelenmiştir.

Servo: İHA'nın kanatçıklarını hareket ettirerek yönelim sağlamak için Ön Tasarım Raporunda belirtilen Hitec HS-5245MG servo motor yerine ağırlığı (60g), dönme hızı (60 derece/0,18s), düşük güç tüketiminde yeterli torku (4,8V'da 13,89kg.cm) üretebilmesi ve düşük maliyet nedeniyle Kingmax 5515MD servo tercih edilmiştir. İki servonun karşılaştırması Tablo 7'de verilmiştir. İHA üzerinde aileronlarda 2 adet, ruddervatorlerde 2 adet ve iniş takımında 1 adet olmak üzere toplam 5 adet servo kullanılacaktır.

Tablo 7- Hitec HS-5245MG ve Kingmax 5515MD Karşılaştırması

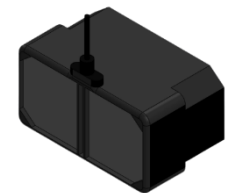
	Hitec HS-5245MG	Kingmax 5515MD
Çalışma Hızı (4.8V)	0.15s / 60 derece	0.18s / 60 derece
Tork (4.8V)	4.4 kg.cm	13.89 kg.cm
Maliyet	778,74₺	477,15₺

GPS: İHA'nın konumlandırılması ve otonom uçuş yapabilmesi için GPS verilerinin daha kesin olması gerekmektedir. Yüksek hassasiyet (0,025m), “Ublox m8p” entegre devresi içinde 8 Hz'lik yenileme süresine sahip olması ve Pixhawk Cube Orange üzerinde bulunan CAN portu ile uyumlu olmasından dolayı Pixhawk HERE 3 GPS/GNNS kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 4- HERE 3 GPS

Lidar: İHA'nın hassas otonom iniş yapabilmesi için gerekli olan yükseklik bilgisi Lidar sayesinde elde edilir. Pixhawk Cube Orange uçuş kontrol kartı ile uyumu, 1-1000Hz arası ayarlanabilir kare hızı, 12 metreye kadar algılama mesafesi gibi özelliklerinden dolayı TF-mini Plus Lidar mesafe sensörü kullanılmaktadır.



Şekil 5- Lidar TF-mini Plus

Aviyonik Batarya: Sistem gereksinimleri göz önünde bulundurularak müsabaka boyunca İHA içerisinde bulunan aviyonik sistemlere gerekli gücü sağlaması için anlık 100A akım değerine sahip Profuse 4000mAh 3S 25C Li-Po bataryası tercih edilmiştir. Li-Po bataryanın tercih edilme sebeplerinden bazıları tekrar şarj edilebilir olması ve yüksek amper çıkışı verebilmesi gibi özelliklerinden kaynaklıdır.

Kilitlenme Kamerası: Otonom kilitlenmenin kaliteli olabilmesi için kameranın nesne tespiti, görüntü kalitesi iyi olmalı ve uçuş bilgisayarı ile tam performanslı çalışması gerekmektedir. Bu gereksinimler doğrultusunda yüksek kalitede görüntü sağlaması (12.3MP), yüksek boyutlu veri işleme kapasitesi, akıcı FPS değerleri (1080p30, 720p60, VGA90), CSI konektöründen bağlanması ve hafif olmasından dolayı Raspberry Pi HQ kamera tercih edilecektir.

Raspberry Pi HQ kamera ile uyumlu çalışması ve geniş açığa sahip olmasından dolayı Raspberry Pi 6 mm geniş açılı lens kullanılacaktır.

Sigorta: Devredeki elemanların üzerinden geçen akımın belirlenen değeri aşmaması için güvenlik sebebiyle yerleştirilen elemandır. Uçuş sırasında büyük hasarlı kırım durumunda araç içerisinde kablo veya elektronik cihazlar üzerinde kısa devre durumunda oluşabilecek yangınları önleyebilmek için dışarıdan anahtarı bulunan anahtarlı Akxa mini devre kesici tercih edilecektir.



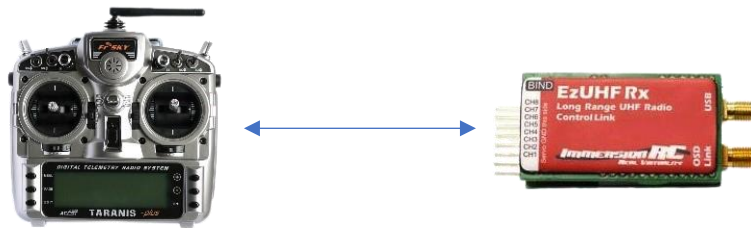
Şekil 6- Sigorta

Access Point (Hava): İHA ile yer istasyonu arasındaki görüntü ve veri aktarımını sağlaması amacıyla Groove-52A modülü kullanılmıştır. Bu modülün tercih edilme sebeplerinden bazıları ise UDP/TCP haberleşmeyi desteklemesi, uzun menzilli (1500m) veri alışverişi imkanı sağlaması, 5.8 GHz bandında çalışması ve maksimum 150 Mbit/s veri transfer hızına sahip olmasıdır.

Access Point (Yer): İHA ile yer istasyonu arasında verimli veri ile görüntü aktarımı için aynı polarizasyona, yüksek anten kazancına (19dBi), 120 derecelik anten genişliğine, 5.8 GHz bandına sahip olan ve Access Point (Hava) ile uyumlu çalışmasından dolayı Mikrotik markalı Mantbox RB921GS modeli tercih edilecektir.

Yer İstasyonu Bilgisayarı: Yer istasyonu ve İHA arasındaki veri aktarımını sağlayacak ve İHA'dan gelen görüntüleri işleyecek algoritmaların minimum gereksinimlerini karşılayacak GTX 1650 ekran kartına, Intel i7 işlemciye ve 16GB RAM'e sahip bilgisayar tercih edilecektir.

Kumanda ve Alıcı: Piyasadaki diğer modeller incelenerek yazılım desteği, haberleşme mesafesi, kanal sayısı, kullanım kolaylığı, Pixhawk Cube Orange ile PPM protokolünü desteklemesi nedeniyle FrSky Taranis X9D Plus kumanda ve EZUHF 433MHz alıcı kullanılacaktır. EZUHF 433MHz alıcı yüksek kazançlı anteni olmasından ve 20 km menzile sahip olmasından dolayı tercih edilmiştir.



Şekil 7- Kumanda ve Alıcı

Güç Modülü: Güç Modülü: Uçuş kontrol kartına aviyonik bayaryadan stabil bir şekilde güç sağlamak ve gerilim-akım değerlerini ölçmek için Pixhawk Cube Orange ile uyumlu bir şekilde çalışan Power Brick Mini güç modülü tercih edildi.

Güç dağıtım sistemi: ÖTR’de belirtilen güç dağıtım kartının maliyet sebebi ile değiştirilerek Pololu 5V-5A ve Pololu 25V-3A olmak üzere sistemde iki tip regülatör kullanılması tercih edilmiştir. Düşürücü regülatörü Pololu 5V-5A, 38 V'a kadar bir giriş voltajını alır ve bunu verimli bir şekilde 5V'a düşürmektedir. Yükseltici regülatörü Pololu 25V-3A ise giriş voltajından daha yüksek voltajlar üretmektedir. Regülatörler kullanılarak 12V giriş voltaj değerini 5V, 12V ve 24V çıkış voltaj değerlerine dönüşmesini sağlayarak sistemin güç iletimini sağlanmaktadır [1].

Pitot Tüpü: Uçağın hava hızının hassas bir biçimde hesaplanması için hava akışının stabil bir şekilde sensörlere iletilmesi gerekmektedir. Hassas ölçüm yapan ve Pixhawk Cube Orange üzerinde bulunan I2C protokolünü destekleyen APM Pixhawk Pitot Tüpü tercih edildi.

3.3. İHA Performans Özeti

Savaşan İHA yarışması kapsamında bir müsabaka turunun tamamında İHA’nın havada kalabilecek itki sistemine sahip olduğunu kanıtlamak amacı ile testler ve analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler ve testler İHA’nın uçuş süresi, akış analizi ve kanat profili analizlerinden oluşmaktadır.

3.3.1. İHA Uçuş Süresi Test ve Analizleri:

Bu başlıkta İHA üzerinde bulunan donanımların ve itki sisteminin analizleri ve testleri gerçekleştirilerek bir müsabaka turundaki uçuş süresi kullanılmakta olan malzeme kriterleri ve hesaplama sonucunda kararlaştırılmıştır. Uçuş testleri sırasında Pixhawk güç modülü üzerinden alınan batarya gerilim ve akım değerleri SD-Kart üzerine kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler yer istasyonu yazılımı üzerinde incelenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Uçuş sırasında alınan veriler sonucunda çekilen amper ve gerilim düşümleri incelenmiştir. Uçuşlar tüm görev ekipmanı ile rüzgârsız hava şartlarında 150 metre irtifa ve ortalama 25°C sıcaklıkta görevi tamamlayabilmiştir.

İtki batarya:

İHA içerisindeki itki batarya Profuse 6S 12000mAh 40C Li-Po itki batarya ile gerçekleştirilmiştir. Uçuş boyunca ortalama akım 24 A olarak gözlenmiştir.

$$\text{Teorik Uçuş Süresi: } \frac{12 \text{ Ah} \times 60 \text{ dk/h}}{24 \text{ A}} = 30 \text{ dk.}$$

Teorik Uçuş Süresi %80: 24 dk. olarak hesaplanır.

Aviyonik Batarya:

$$\text{Teorik Uçuş Süresi: } \frac{4 \text{ Ah} \times 60 \text{ dk/h}}{6.98 \text{ A}} = 34.38 \text{ dk.}$$

Teorik Uçuş Süresi %80: 27.5 dk. olarak hesaplanır.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

İHA içerisindeki aviyonik sistemleri besleyen Profuse 4000mAh 3S Li-Po batarya kullanılmıştır. Uçuş boyunca ortalama akım 6.98 A olarak gözlenmiştir. Kullanılacak olan aviyonik sistemin tükettiği toplam güç 36.53 W harcamaktadır.

Tablo 8 - Avionik Sistem Güç Tüketimi

	Akım (A)	Gerilim (V)	Güç (W)
Pixhawk	2.5A	5	12.5
Güç Modülü	0.100	16.8	1.680
Groove A52	0.315	19	6
Raspberry Pi	3	5	15
Ezuhf 433MHz	0.035	5	0.175
Kingmax 5515 MD Servo	0.600	6	0.6
Lidar	0.115	5	0.575

İHA’da Li-Po pillerden oluşan batarya tipi kullanılmıştır. Li-Po pil bataryası kullanılırken pillere zarar vermemek için tamamen tüketilmemesi gerekir. Pil sağlık durumunu korumak için %20’sine kadar kullanılmıştır. Bu sebepten teorik olarak hesaplanan uçuş süresinin %20’si bataryanın içinde bulunacak şekilde hesaplama yapılmıştır [2].

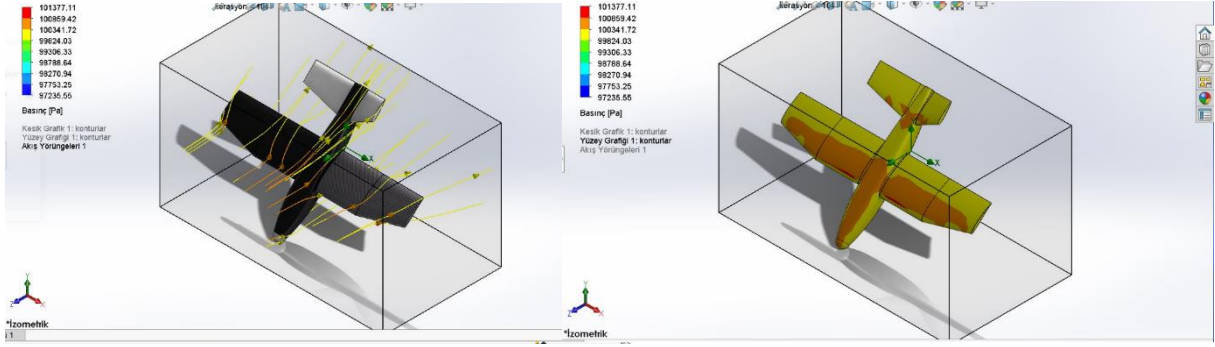
Tablo 9 – Uçuş Süresi Test Sonuçları

Batarya Kapasitesi	Faydalı yük	Ağırlık(g)	Manuel	Otonom
6S 10000 mAh	Boş	5000	34 Dakika	38 Dakika
6S 12000 mAh	Boş	5200	40 Dakika	43 Dakika
6S 10000 mAh	Haberleşme sistemleri, yapay zekâ bilgisayarı, kamera sistemleri, lidar, pitot tüpü	6300	28 Dakika	30 Dakika
6S 12000 mAh	Haberleşme sistemleri, yapay zekâ bilgisayarı, kamera sistemleri, lidar, pitot tüpü	6500	32 Dakika	35 Dakika

3.3.2. Akış Analizi

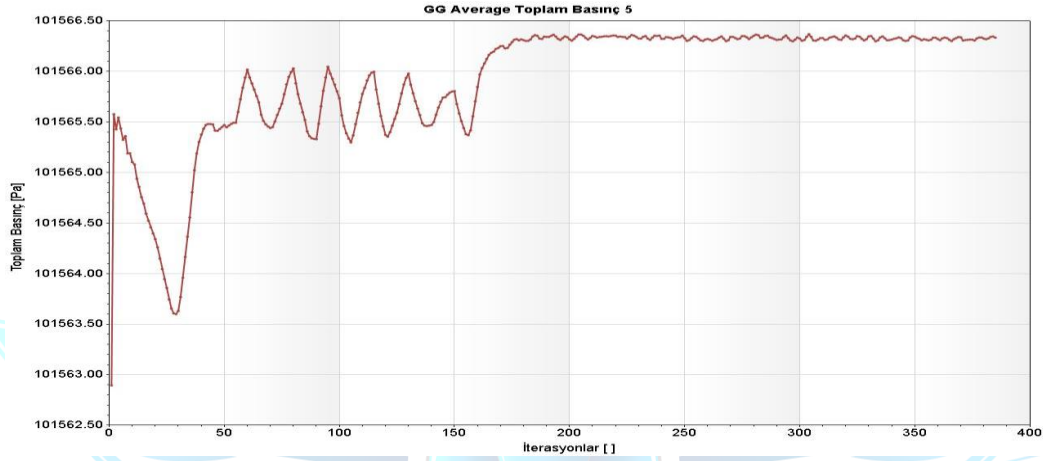
Bu analiz için Solidworks 2021 programının Flow Simulation eklentisi kullanılmıştır. Amaç, İHA’nın havada maruz kalacağı rüzgârın araç üzerindeki dayanımını ölçmektir. Analizde akışkan hava olarak seçilmiştir ve havanın İHA’ya 25 m/s hız ile çarptığı bir durum oluşturulmuştur. Şekil 8(a) ve 8(b)’de görülmektedir.

Analiz sonucunda 25 m/s rüzgâr hızında İHA üzerinde oluşan maksimum basınç 102 kpa, ortalama basınç ise 101 kpa olarak hesaplanmıştır. İHA üretiminde kullandığımız malzeme olan karbon fiberin çekme dayanımı 1260000 kpa değerindedir. Analiz sonucunda elde ettiğimiz maksimum basınç değeri malzememizin çekme dayanımı ile karşılaştırdığında İHA’nın gerekli dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Şekil 9’da ortalama toplam basınç grafiği gözlemlenmektedir.



Şekil 8– (a) 25 m/s Hızda Akış Yörüngesi

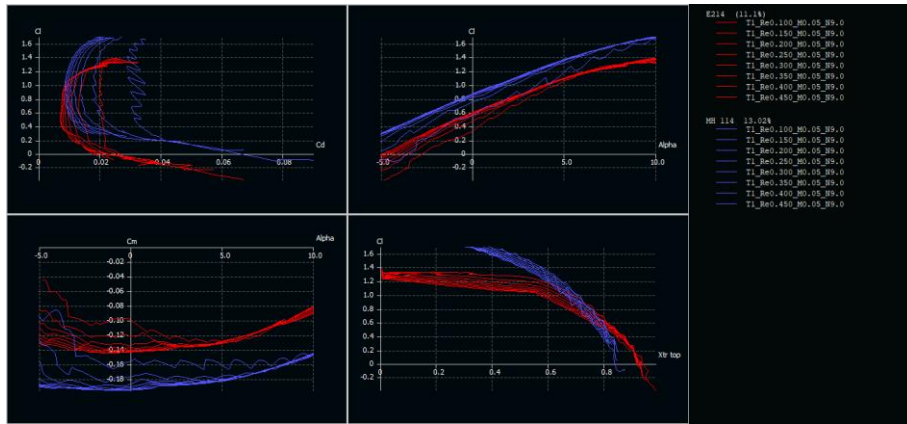
Şekil 8– (b) 25 m/s Hızda Yüzey Grafiği



Şekil 9- Ortalama Toplam Basıncı Grafiği

3.3.3. Kanat Profil Seçimi

“XFLR5” programından alınan çıktılarına göre kanat ve kuyruk için en uygun kanat profilleri belirlenmiştir. Yarışma şartnamesine ve yapılacak göreve uygun olarak tasarlanan İHA’da, gerekli kaldırma kuvvetlerini sağlayabilecek kanat profillerini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan NACA 0012, NACA 4412, NACA 4415, S 3021, SA 7038, E214, MH 114 kanat profilleri belirlenmiştir. Şekil 10’da gösterilen “XFLR5” programı üzerinden belirtilen kanat profillerinin analizleri yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucu MH114 ve E214 kanat profilleri istenilen kaldırma ve sürükleme katsayılarına en yakın kanat profilleri olarak belirlenmiştir. MH114 kanat profilinin momentumu istenilen değerlerden yüksektir. Bu yüzden E214 kanat profili seçilmiştir [3].



Şekil 3– Kanat Profillerinin Analizi

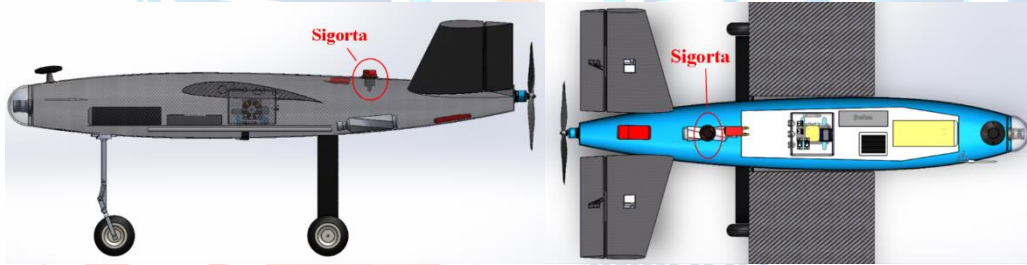
3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı

İHA'nın 3 boyutlu tasarımı Solidworks programı kullanılarak yapılmıştır. Solidworks programından tasarımı tamamlanan İHA'nın render görüntüleri Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11- İHA'nın 3 Boyutlu Görselleri

Bu tasarım üzerine alt sistemlerin araç içi yerleşimleri yapılmıştır. İHA'nın tasarımı, boyutları, alt sistemlerinin yerleştirilmesi ve sigortanın konumu Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12- İHA'nın Alt Sistem Montajı

Tablo 10- İHA'nın teknik özellikleri

Genel Özellikler		Performans		Ana Kanat		Ruddervator	
Uzunluk	1,250 (m)	Max Hız	22 (m/s)	Kanat Profili (Airfoil)	E214	Kanat Profili (Airfoil)	Naca 0012
Kanat Açıklığı	1.8 (m)	Seyir Hızı	16 (m/s)	Açıklık	1,8 (m)	Açıklık	0,64 (m)
Boş Ağırlık	5 (kg)	Tutunma Hızı	9 (m/s)	Alan	0,25 (m ²)	Alan	0,13 (m ²)
MTOW	7.5 (kg)	Minimum Dönüş Çapı	20 (m)	Kök Veter Uzunluğu	0,35 (m)	Kök Veter Uzunluğu	0,26 (m)
Uçuş İrtifası	150 (m)	Motor Gücü	1956 (W)	Uç Veter Uzunluğu	0,25 (m)	Uç Veter Uzunluğu	0,18 (m)

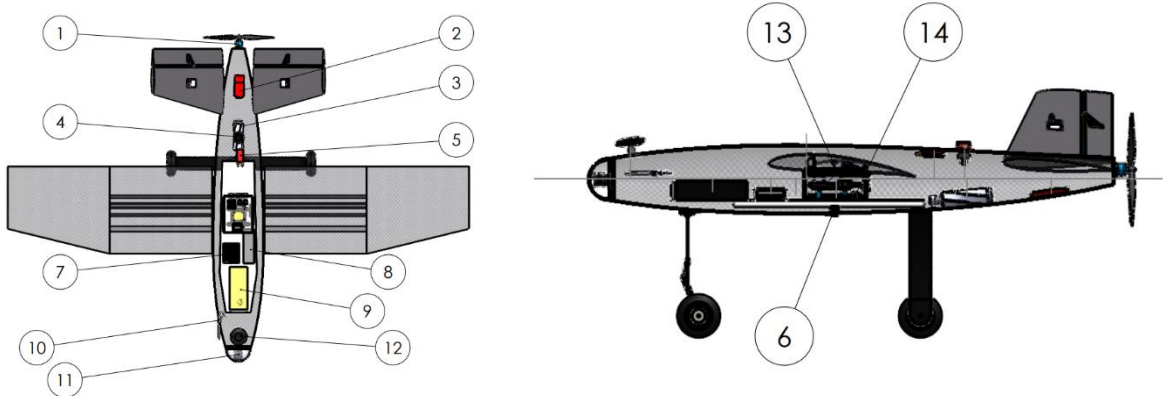
3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı

Ağırlık merkezinin konumu İHA'dan İHA'ya değişebilmekte ve uçuş karakteristiğini etkileyebilmektedir. Yarışma şartları kapsamında stabil bir uçuşun yanı sıra uçuş güvenliğini tehlikeye atmadan yüksek manevra kabiliyetine sahip olması tasarlanan İHA için vazgeçilmezdir. Konumlandırma esnasında alt sistemlerin ağırlıkları dikkate alarak konumlandırılmıştır ve ağırlık merkezi, Solidworks programı üzerinde yapılan analizlerinin sonucuna göre, kanat ucundan 92 mm geride olacak şekilde ayarlanmıştır. Uçuşların güvenlik bakımından taşıdığı önemden dolayı ağırlık merkezi her uçuştan önce kontrol edilmelidir. Şekil 13'te ağırlık merkezi 3D tasarım üzerinde gösterilmiştir. Referans noktası kanat ucu ve gövdenin ortası olarak belirlenmiştir.



Şekil 13- İHA Ağırlık Merkezi

Hava aracının ağırlık dağılımı hesabı yapılırken alt sistemlerin ağırlıkları yaklaşık olarak orta noktalarından hesaplanmıştır. Kablolama ve servolar ağırlık dengesi hesabına katılmamıştır. Pil, her uçuş öncesinde yerine monte edilebildiğinden, tasarımdaki yapılan modülerlik sayesinde her seferde ağırlık merkezi üzerinde hassas değişiklikler yapma imkânı bulunmaktadır. Şekil 14'te alt sistemlerin konumları, Tablo 11'de ise koordinatları belirtilmiştir.



Şekil 14- İHA Montajı Yan ve Üst Görünüş

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Tablo 11- Alt sistemlerinin Ağırlıkları Ve Konumları

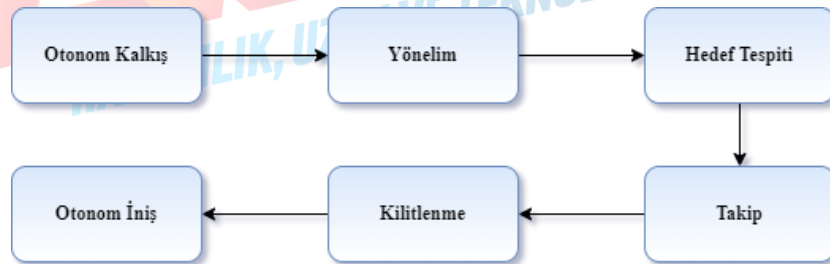
NO	Alt Sistem	Ağırlık (gr)	x koordinatı (mm)	y koordinatı (mm)	Z koordinatı (mm)
1	Motor	310 g	0	0	-756.44
2	ESC	63 g	0	-34.87	-573.71
3	Access Point	168 g	0	-47.52	-376.87
4	Sigorta	40 g	0	68.76	-364.68
5	Kumanda Alıcısı	23 g	0	65.72	-297.96
6	Lidar	11 g	0	-78.60	-68.13
7	Güç Dağıtım Kartı	100 g	-30.56	-35.94	84.06
8	Aviyonik Bataryası	291 g	43.01	-35.81	58.09
9	Ana Batarya	1086 g	0	-30.17	232.13
10	Pitot Tüpü	8 g	-79.70	13.17	364.40
11	Kamera	92 g	0	0	484.40
12	GPS	47 g	0	76.90	417.40
13	Uçuş Kontrol Kartı	75 g	0	-15.04	-83.01
14	Uçuş Bilgisayarı	80 g	0	-44.81	-67.59

4. OTONOM KİLİTLENME

4.1. Otonom Kilitlenme

İHA'nın bir müsabaka içinde yapması gereken otonom kalkış, yönelme, hedef tespiti, takip, kilitlenme ve iniş olmak üzere 6 ana görevi vardır. Bu görevleri gerçekleştirmek üzere seçilen ve ALGAN İHA Takımı tarafından geliştirilen algoritmalar kullanılacaktır.

Algoritmalar şunlardır:



Şekil 15- Otonom Görev Akış Şeması

4.1.1. Otonom Kalkış ve Yönelme

Yarışma alanında İHA, pistten otonom kalkış yapacaktır. Otonom kalkış parametreleri aracın fiziksel özelliklerine göre belirlenip üzerinde bulunan uçuş kontrol kartı tarafından kalkışa başlayacaktır. İHA başarılı bir şekilde kalkış yaptıktan sonra arayüz üzerinde belirtilen rotada Şekil 16'da gösterildiği gibi uçacaktır. Daha sonra uçuş bilgisayarı üzerinde bulunan yönelim algoritması sayesinde İHA Şekil 16'da gösterildiği gibi kendisine en yakın rakip İHA'ya doğru

manevra yapacaktır. Yönelim algoritması, GPS verileri üzerinden Vincenty formülü ile iki noktada enlem/boylam arasındaki jeodezik mesafesini hesaplayarak İHA'ya en yakın rakip İHA'yı belirleyecektir [4]. Yönelim sağlanacak en yakın rakip İHA belirlendikten sonra o İHA'nın t süre sonraki konumu, olası gecikmeleri minimize etmek için, Kalman Filter metodu ile tahmin edilecektir [5]. Daha sonra tahmin edilen konuma anlık yönelim sağlanacaktır. Yönelim algoritması matematiksel formülü ve şematik gösterimi şöyledir:

$$\sin \sigma = \sqrt{[(\cos U2 \sin \Lambda)^2 + (\cos U1 \sin U2 - \sin U1 \cos U2 \cos \Lambda)^2]}$$

$$\cos \sigma = \sin U1 \sin U2 + \cos U1 \cos U2 \cos \Lambda$$

$$\sigma = \tan^{-1} \frac{\sin \sigma}{\cos \sigma}$$

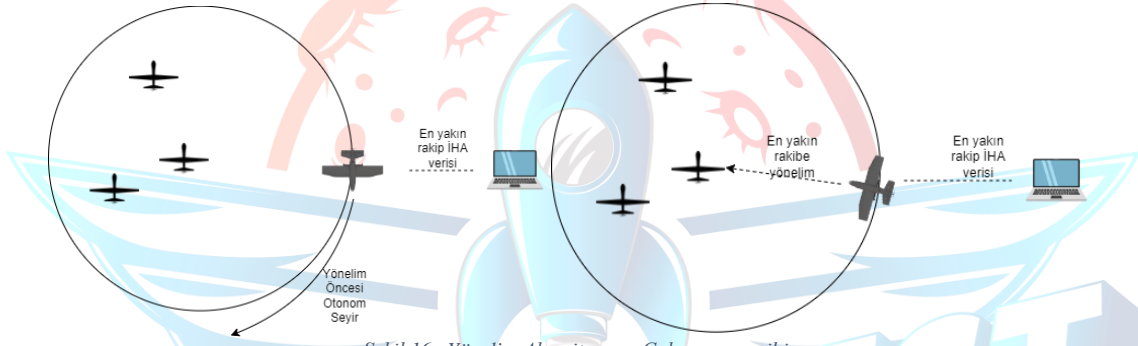
$$\sin \alpha = \frac{\cos U1 \cos U2 \sin \Lambda}{\sin \sigma}$$

$$\cos 2\alpha = 1 - \sin 2\alpha$$

$$\cos(2\sigma m) = \cos \sigma - \frac{2 \sin U1 \sin U2}{\cos \alpha \cos \sigma}$$

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

$$\Lambda = L + (1 - C) f \sin \alpha \{ \sigma + C \sin \sigma [\cos(2\sigma m) + C \cos \sigma (-1 + 2 \cos 2(2\sigma m))] \}$$



Şekil 16- Yönelim Algoritmasının Çalışma prensibi

4.1.2. Otonom Hedef Tespiti

Otonom hedef tespiti, kamera görüntüsü üzerinden rakip İHA'nın belirlenip kilitlenme dörtgeni içerisine alınması şeklindedir. İHA otonom kalkış ve yönelme işlemini başarıyla gerçekleştirdikten sonra otonom uçuşa devam edecektir ve yapay zekâ bilgisayarı üzerinde çalışan hedef tespit algoritması kilitlenme kamerasından gelen görüntüden hedef İHA'ları tespit edecek ve kilitlenme dörtgeni içerisine alacaktır. İHA'nın bu görevi başarıyla yerine getirmesi için geçmiş senelerde elde edilen tecrübelerden yola çıkarak YOLOv5 (You Look Only Once) algoritması kullanılmasına karar verilmiştir. YOLOv5 algoritması CNN (Convolutional Neural Network) temelli hızlı çalışan bir modeldir ve YOLO modellerinin son sürümlerinden biridir. YOLOv5 modeli ALGAN İHA Takımı tarafından hazırlanan 10.000'den fazla İHA görüntüsü içeren bir veri seti ile eğitilmiştir [6]. Eğitim sonucunda hata oranı 0.1 seviyesinden daha düşük



Şekil 17- Eğitilen Modelim Test Görüntüleri

çıkarmıştır ve model kullanıma hazır hale gelmiştir. Eğitilen modelin test görüntüleri Şekil 17’de verilmiştir.

Eğitilen YOLOv5 modeli yer istasyonu bilgisayarında test edilmiş ve FPS değerleri 30-45 arasında değişmektedir. Bu FPS değeri tüm otonom kilitlenme görevi yerine getirmek için yeterli görülmüş ve modelin hedef tespiti için kullanılması kesinleşmiştir.

4.1.3. Otonom Takip

Hedef tespit algoritması ile tespit edilip kilitlenme dörtgeni içerisine alınan rakip İHA’yı otonom olarak takip etmek için ALGAN İHA Takımı tarafından geliştirilen makine öğrenmesi temelli takip algoritması uçuş bilgisayarı üzerinde çalışacaktır. Takip algoritmasının çalışma prensibi, kilitlenme kamerasından gelen görüntü piksellerinin eğitilmiş makine öğrenmesi modeline girdi olarak verilip İHA’nın rakip İHA’yı kamera görüntüsünde orta noktada tutması için gereken servo sinyallerinin tahmin edilerek hangi manevrayı yapması gerektiğini çıktı olarak kontrolcüye aktarması şeklindedir [7]. ALGAN İHA Takımı tarafından tasarlanan kontrolcü bu çıktıları referans alıp aşağıda verilen denklemde İHA’nın X eksenindeki merkez uzaklık X , hata e_x , Y eksenindeki uzaklık Y ve hata e_y olarak belirlenecektir. Bu denklem kullanılarak oranlar belirlenecektir. Denklemdeki oranlarla hesaplanan çıktılar servolara kaçır derece roll ve pitch ekseninde hareket edeceğini iletecektir.

$$\begin{bmatrix} \theta \\ \varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Axex \\ Ayey \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Bxe\ddot{x} \\ Bye\ddot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Cxe\ddot{\ddot{x}} \\ Cxe\ddot{\ddot{y}} \end{bmatrix}$$

4.1.4. Otonom Kilitlenme

Otonom kilitlenme işlemi, ALGAN İHA Takımı tarafından tasarlanan takip algoritmasının çalışıp hedef İHA’yı kamera görüntüsünde kilitlenme alanı içerisinde 4 saniye tutması sonucunda gereken kilitlenme bilgisinin, kilitlenme zamanının ve kilitlenen takım ID’sinin paket halinde Wİ-Fİ modülü ile JSON formatında yer istasyonuna gönderilmesi şeklindedir. Başarılı bir otonom kilitlenme işleminden sonra İHA tekrar yönelim işlemine geçecektir. İHA kilitlenen takımı tekrar takip ederse takip edilen takım ID’si önceki kilitlenme verilerindeki takım ID’leriyle kıyaslanıp aynı ID de olan takımlar için takip işlemi kesilecektir ve İHA belli bir süre pasif otonom uçuş gerçekleştirip tekrar yönelim işlemine geçecektir.

4.1.5. Otonom İniş

İHA, 15 dakikalık otonom uçuş görevini bitirdikten sonra Pixhawk Cube 2.1 uçuş kontrol kartı sayesinde iniş alanına yaklaşarak iniş sekansını başlatmaktadır. Otonom iniş sekansı esnasında lidar sensöründen gelen yüksek hassasiyetteki irtifa bilgisi ve pitot tüpü üzerinden sağlanan hız bilgisi sayesinde İHA kontrollü bir şekilde inişini tamamlayacaktır. Lidar sensöründen alınan veriler doğrultusunda İHA’nın yerden yüksekliği hesaplanmaktadır. Pitot tüpü kullanılarak İHA’nın havaya göre yatay hızı hesaplanmaktadır. Hesaplanan dikey mesafe ve yatay hız sayesinde İHA, otonom inişini güvenli bir şekilde gerçekleştirmektedir. Otonom iniş sırasında sensörlerden gelen verilere göre 4 durum ve bu durumlara İHA’nın verdiği kararlar ile otonom iniş gerçekleştirilmektedir. Gerçekleşmesi beklenen 4 durum Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12– İHA'nın iniş durumları

Durum	İHA Karar
1 İHA düşük hız	İHA burun aşağıya ve/veya hızını yükselt
2 İHA yüksek hız	İHA burun yukarı ve/veya hızı azalt
3 İHA düşük irtifa	İHA burun yukarı veya hızı artır
4 İHA yüksek irtifa	İHA burun aşağı veya hızı düşür

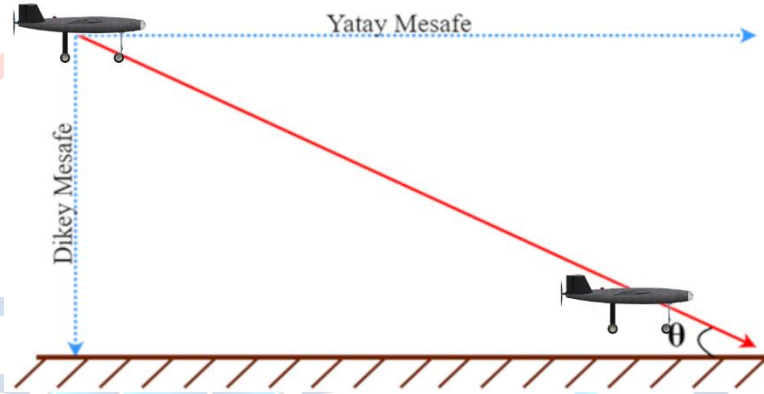
Belirlenen 4 durum Pixhawk Cube 2.1 uçuş kontrol kartı tarafından lidar sensörü ve pitot tüpü vasıtasıyla kontrol altında tutulmaktadır. Yapılan testler üzerinden İHA'nın süzülme açısı hesaplanmıştır. Süzülme açısı İHA'nın güvenli bir şekilde iniş yapabilmesi için yer yüzü ile yaptığı açıdır.

Dikey Mesafe = h

Yatay Mesafe = d

Süzülme Açısı = θ

$$\tan(\theta) = \frac{h}{d}$$



Şekil 18- Süzülme açısının hesaplanma gösterimi

Yapılan testler sonrasında 150 m yatayda ve 30 m dikey irtifada iniş gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. İHA 11.30° süzülme açısıyla güvenli bir şekilde otonom inişini gerçekleştirmektedir. Otonom inişin matematiksel gösterimi Şekil 18'de verilmiştir.

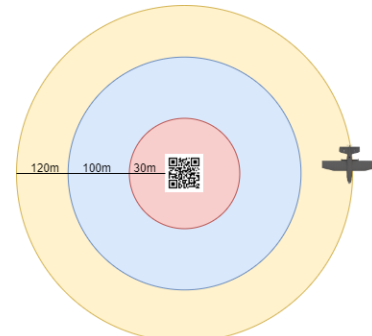
4.2. Kamikaze Görevi

Kamikaze görevi, hedefe yönelim sekansı, hedefe dalış, pas geçme ve başarılı kilitlenme sonrası elde edilen bilginin ana sunucuya gönderilmesi şeklinde toplamda 4 alt görevden oluşmaktadır.

Savaşan İHA şartnamesinde bahsedildiği üzere kamikaze görevi için her müsabakada 1 adet hedef olacak ve bulunduğu konum sabit olacaktır. Yer hedefinin konumu ana sunucudan alındıktan sonra TCP haberleşme ile uçuş bilgisayarına gönderilecektir. İHA bu aşamadan sonra kamikaze modunda olacak ve kamikaze modu için geliştirilen algoritmalar devreye girerek Savaşan İHA için çalışan yönelim, tespit ve takip algoritmaları bu süre boyunca devre dışı kalacaktır.

4.2.1. Hedefe Yönelim

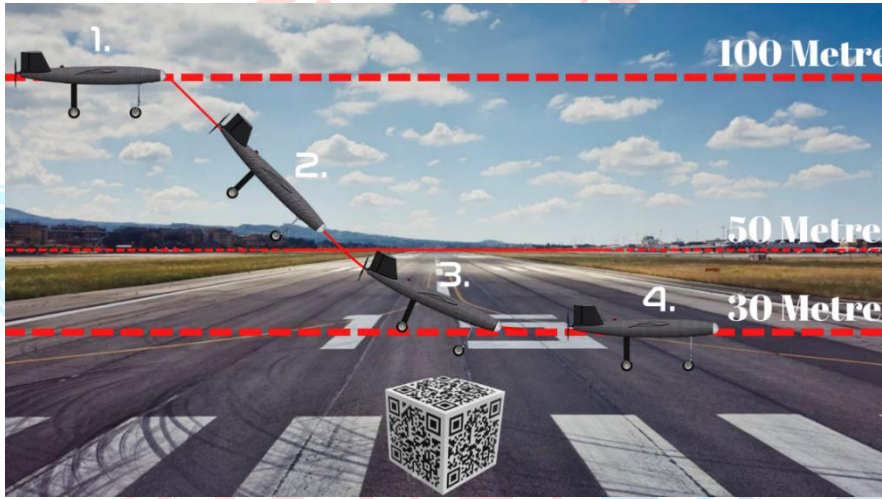
Şekil 19'da gösterilen kamikaze modundaki İHA, yer hedefi konum bilgilerini aldıktan sonra ilk olarak yer hedefi yönelim algoritmasını devreye sokacaktır. Bu algoritma sırasında İHA 100 metre yükseklikten yer hedefi çevresinde 120 metre yarı çapında bir daire çizerek dönmeye başlar. İHA hedef çevresinde 2 tur daire çizdikten sonra dalış için artık hazırdır.



Şekil 19- Dalış Öncesi Yönelim

4.2.2. Hedefe Dalış

Yer hedefi çevresinde 100 metre yükseklikte ve 120 metre yarıçap ile dönen İHA dalış komutu aldığı anda hedef konuma doğru manevra yaparak düz bir şekilde bir süre ilerleyecektir. Hedef ile arasındaki yatay mesafe 100 metreye düştüğünde İHA aşağı yönde 45 derecelik bir burun açısıyla dalışa geçer. İHA'nın yüksekliği ve hedefe olan yatay uzaklığı 100 metrede eşitlendiği anda yapay zekâ kartı üzerinde bulunan dalış algoritması 45 derecelik burun açısını yakalamak için gereken servo sinyal değerlerini anlık olarak hesaplayıp kontrol kartına iletecek ve kontrol kartının bu sinyaller ile motorları sürmesini sağlayacaktır. Oluşturulan algoritma Şekil 20'de gösterilmiştir. Bu agresif dalışın amacı yer hedefi etrafındaki 45 derecelik panellerden kurtularak kameranın yer hedefini net görmesini sağlamaktır. İHA 50 metre irtifaya düştükten sonra açısını düzeltmeye başlar ve kilitlenmenin başarılı veya başarısız olduğuna bakmaksızın irtifa düşürmesini yavaşlatır. İHA dalış sırasında QR kodu okuyamadan belirlenen 30 metrelik irtifa seviyesinin altına düşerse otomatik pas geçme işlemi yapılır.



Şekil 20– Hedefe Dalış İşlemi Görüntüsü

4.2.3. Pas Geçme

İHA, dalış sırasında QR kodu başarıyla okuyamadan belirlenen yükseklik seviyesinin altına inerse dalış bitirilip burun açısı yukarı kaldırılarak tekrar irtifa alır. Bu işleme pas geçme denir. Daha sonra İHA tekrar 100 metre yükseklikte ve 120 metre yarıçapta hedef etrafında dönmeye başlar ve ikinci dalış için hazırlanır.

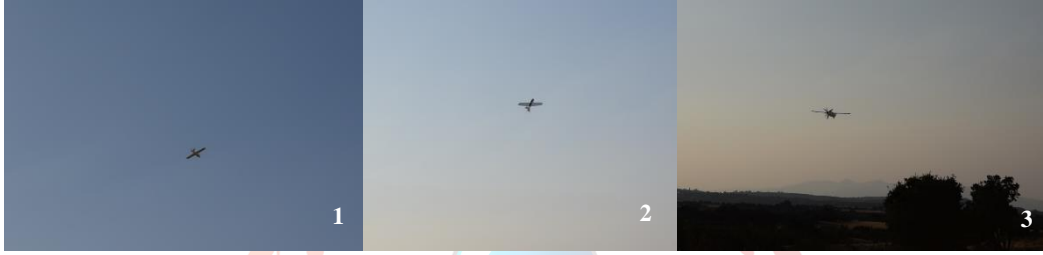
4.2.4. Kilitlenme

Kilitlenme işlemi İHA'nın QR kodu başarıyla okuyup içindeki şifreyi almasına denir. QR kod kilitlenme kamerası üzerinden OpenCV kütüphanesi içerisinde bulunan QRCodeDetector algoritması kullanılarak okunacaktır. Bu algoritma canlı görüntü üzerinde denenmiş ve başarılı bulunmuştur. Kilitlenme kamerası üzerinden okunan QR kod içerisindeki şifre alınıp yer istasyonuna TCP haberleşme ile gönderilecektir. Daha sonra yer istasyonunda çalışan algoritma gelen şifreyi istenilen formatta ana sunucuya gönderecektir.

4.2.5. Yapısal Dayanım Detayları

Kamikaze görevi sırasında İHA, QR hedefine dalış ve pas geçme esnasında gerçekleştireceği esnada yapısal olarak dinamik kuvvete maruz kalacaktır. İHA üzerinde oluşabilecek bu dinamik kuvvet G (yük faktörü) olarak adlandırılmaktadır.

İHA QR hedefe dalış ve pas geçme esnasında 3 adımlı bir prosedür kullanılmaktadır. Birinci prosedür olarak İHA dalış irtifasına ulaşarak dalış sekansına başlar. İkinci prosedürde İHA ufka göre 45 derecelik bir oranla dalışa geçmektedir. Dalış sekansı 100 metreden başlatılarak 50 metreye kadar 45 derecelik açı korunarak devam ettirilecektir. 50 metre irtifadan sonra İHA üçüncü prosedür aşamasına geçmekte olup burun açısını ufka göre sıfır derece olacak şekilde düzeltme işlemi gerçekleştirilecektir. Karar kılınan bu senaryoya göre dalış ve pas geçme manevrası Şekil 21’de görüldüğü üzere gerçekleştirilmiştir. Test senaryosu 3 aşamadan olup belirlenen irtifadan dalış (Adım 1), tırmanış (Adım 2) ve istenilen irtifada sabit uçuş (Adım 3) olmak üzere 3 aşamadan oluşmaktadır [8].

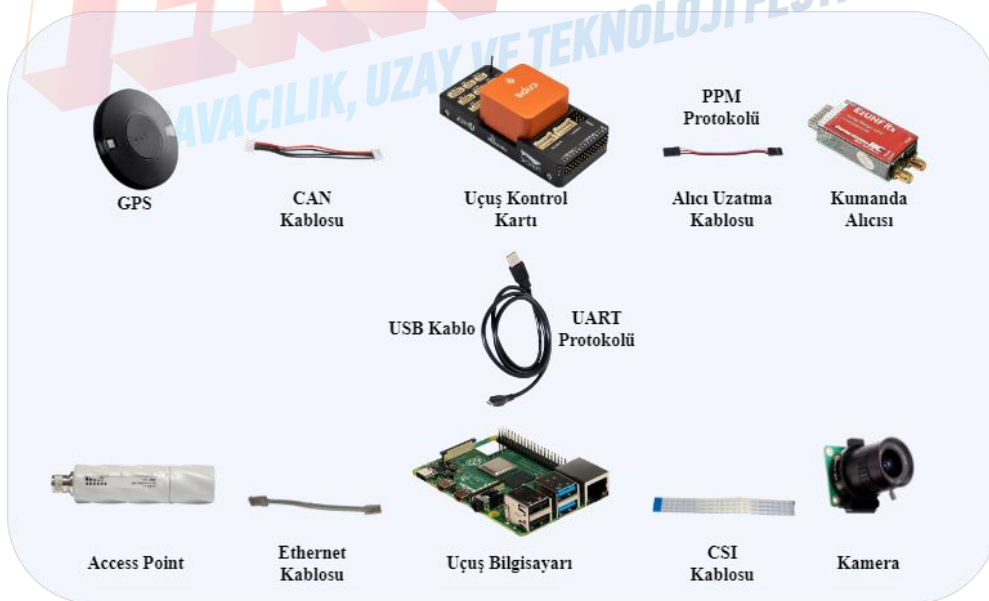


Şekil 21– Kamikaze Görevi Testi

Gerçekleştirilen testler sonucunda İHA üzerinde bulunan uçuş kontrol kartının veri kayıtları incelenmiş olup İHA’nın pozitif yönde 2,5G ve negatif yönde 1,5G kuvvete maruz kaldığı görülmüştür. Dalış esnasında ise uçağımızın hava hızının 25 m/s’ye ulaştığı tespit edilmiştir.

Test uçuşundan elde edilen veriler dahilinde İHA’nın dalış ve pas geçme işlemlerini gerçekleştirebilmesi için +2,5 G ve -1,5 G kuvvette dayanabilmesi gerekmektedir. Kanat yükleme testinde bu sınırların üstünde +3 G ve -3 G kuvvete dayanabildiği görülmüştür. İHA’nın 100 metreden 50 metreye 45 derecelik açıda dalış işlemi sonucunda hızlanma sonucunda maruz kaldığı kuvvetler 3.3.2 “Akış Analizi” kısmında 25 m/s hıza dayanabildiği analizler sonucunda kanıtlanmıştır.

5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME



Şekil 22– Haberleşme Sistem Mimarisi

5.1. İHA İçi Haberleşme:

Raspberry Pi 4B – Pixhawk Cube Orange:

Pixhawk Cube Orange tarafından üretilen telemetri verileri MAVLink protokolüne göre paketlenmektedir [9]. Paketlenen bu veriler UART protokolü ile Raspberry Pi 4B cihazına aktarılacaktır. UART asenkron bir seri haberleşme protokolü olup iki cihaz arasında tam çift yönlü (Full-Duplex) veri alışverişi için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Raspberry Pi 4B – Groove A 52:

Raspberry Pi 4B bir Ethernet kablosu üzerinden Groove A 52 Wi-Fi modülüne bağlanacaktır. Cat 6 kablo ile sağlanacak olan bu bağlantı 10 Gbps hızında veri aktarımı sağlayabilmektedir. Ayrıca yer istasyonuna gönderilecek görüntünün kameradan alınarak aktarılmasını sağlayacaktır.

Raspberry Pi 4B – Raspberry Pi HQ Kamera:

Raspberry Pi HQ Kamera ve wide angle lens sayesinde elde edilen geniş açılı görüntü CSI konektörü aracılığıyla Raspberry Pi 4B cihazına iletilecektir.

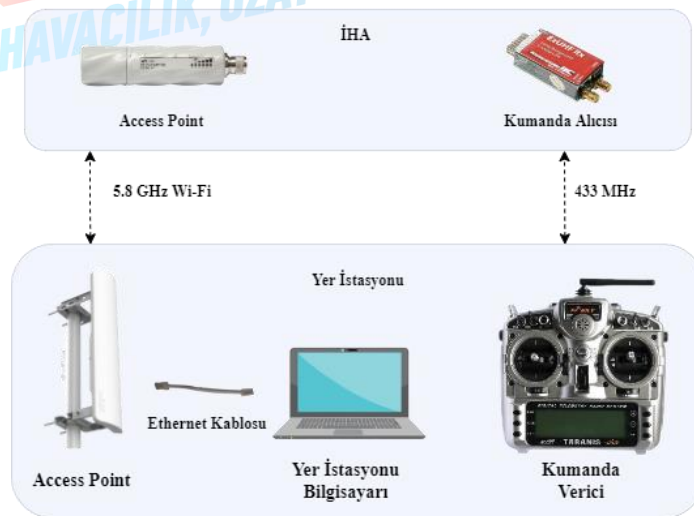
Pixhawk Cube Orange – Here 3 GPS:

Kullandığımız GPS modeli olan Here 3 GPS CAN protokolü ile haberleşmektedir. CAN protokolü gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Pixhawk CUBE üzerinde bulunan CAN portuna HERE 3 GPS takılarak yüksek veri aktarımı, dahili hata algılama ve gürültü bağışıklığı gibi olanaklar sağlanacaktır.

Pixhawk Cube Orange – EZUHF:

Pixhawk CUBE ile EZUHF alıcı arasındaki haberleşme PPM (Pulse Position Modulation-Darbe Konum Modülasyonu) ile sağlanmaktadır. Alıcıda yüksek parazitler karşısında elde edilen sinyalde bozulmalar olmaktadır. Bu bozulmalardan kurtulmak için PPM kullanılmıştır. EZUHF alıcı Pixhawk Cube Üzerinde RCIN girişine bağlanmaktadır.

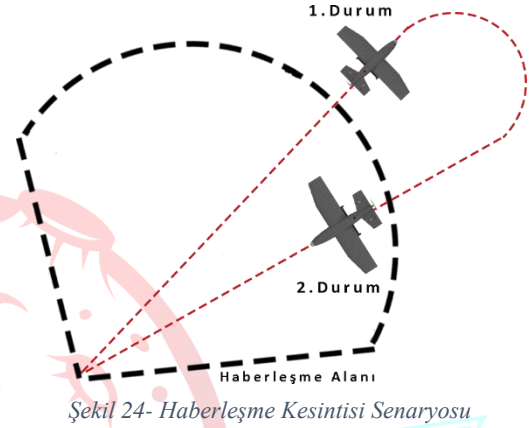
5.2. Yer Kontrol İstasyonu-İHA Haberleşmesi:



Şekil 23– Haberleşme Sistem Diyagramı

Mikrotik mANTbox 19S – Mikrotik Groove A 52:

İHA üzerinde bulunan Groove A 52 ve yer kontrol istasyonunda bulunan Mikrotik mANTbox 19S arasındaki bağlantı Wi-Fi üzerinden gerçekleştirilecektir. Bu bağlantı 5.8 GHz bandı üzerinden sağlanacak olup herhangi bir kesinti olmaması adına kullanılacak olan anten çok yönlü (omni-directional) bir anten olacaktır. Müsabakalar sırasında olası bir durumda İHA ile yer istasyonunda bulunan Access Pointler arasında meydana gelebilecek herhangi bir bağlantı kopmasından dolayı otonom görevler için hazırlanan yazılımlarının içinde sorun oluşması muhtemeldir. Oluşan bağlantı sorunlarının önüne geçmek için ve İHA'nın kontrolünü sağlamak için otonom uçuş ile haberleşme yazılımlarının içinde bazı geliştirmeler yapılmıştır. Bağlantı koptuğu sırada İHA'nın kontrol yazılımının içine yer istasyonuna doğru yönelim yapmaya başlaması şeklinde komut eklenmiştir. Bu sırada yeniden bağlantı sağlanması için socket kütüphanesi aracılığıyla yazılan haberleşme yazılımına reconnect komutu eklenerek İHA havadayken yazılımların kapanmaması sağlanmıştır. Oluşturulan senaryo ise Şekil 24'te gösterilmiştir.



Şekil 24- Haberleşme Kesintisi Senaryosu

FrSky Taranis X9D Plus – EZUHF Alıcı:

FrSky Taranis X9D Plus ve EZUHF arasındaki bağlantı kablosuz bir şekilde ve 433 MHz bandı üzerinden gerçekleşmektedir. Kumandadan verilen komutlar EZUHF aracılığıyla uçuş kontrol kartı olan Pixhawk'a iletilecektir. EZUHF alıcısı üzerinde dahili çift yönlü anten, seramik filtrelenmiş anten girişleri, -112dBm duyarlılığı ve FHSS (frekans atlamalı yayılmış spektrum) bağlantısı sayesinde İHA ile yer istasyonu arasında sürekli ve güvenilir bir bağlantı sağlamaktadır.

5.3. Yer Kontrol İstasyonu – Sunucu Arası Haberleşme:

Yarışma alanında verilen kullanıcı ve şifre yoluyla giriş yapıp Ethernet kablosu ile yer kontrol istasyonu ve sunucu arasındaki bağlantı sağlanacaktır. Anlık telemetri verileri API üzerinden JSON formatında GET request komutu kullanılarak rakip İHA'ların anlık verileri alınırken İHA'nın anlık verileri ise POST request komutu aracılığıyla JSON formatında yarışma sunucusuna aktarılacaktır. Kullanılacak yazılım dili Python olacaktır. İHA'dan gelen canlı videoyu aktarmak amacıyla UDP protokolü kullanılacaktır [10]. Videolar unicast olarak gönderilecektir. Sunucuya gönderilecek canlı video aktarımı MPEG-TS taşıyıcısı kullanılmakla birlikte h264 sıkıştırılması yapılarak gönderilecektir.

6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

Yer Kontrol İstasyonu (YKİ), İHA'yı kontrol ve kumanda eden bir sistemdir. İHA için yeni görev komutlarını yükleyip kontrol edilebilmesini sağlar ve anlık uçuş verilerini gözlemlenebilmesine yardımcı olur. Yer kontrol istasyonu iki ayrı birimden oluşmaktadır. Bu birimler üzerinden İHA'ya görev komutları verilebilecek ve uçuş verileri gözlemlenebilecektir. Bu iki birim;

- Mission Planner
- ALGAN İHA Takımı YKİ yazılımı

6.1. Mission Planner

Mission Planner, insansız hava, kara ve su araçlarının uzaktan otonom şekilde istenilen parametrelerle otonom veya farklı modlarla kontrol edilmesini sağlayan programdır. Aynı zamanda aracın üzerinde bulunan uçuş kontrol kartından gelen verileri kullanıcıya sunar. Açık kaynak kodlu tasarlanan Mission Planner kolay ve anlaşılabilir bir arayüze sahip olması ve kullanılan uçuş kontrol kartı ile uyumlu çalışabilmesi nedeni ile tercih edilmiştir. İHA'nın tüm uçuş bilgilerini anlık olarak göstermesinin yanında İHA'ya yeni görev komutları yükleme ve uçuş planlamaya imkân sağlamaktadır. Gerekli durumlar altında İHA'ya Mission Planner üzerinden de müdahale edilebilecektir. Mission Planner ana ekranı üzerinde 3 adet bölüm bulunmaktadır.

Bu bölümlerden 1 numara ile gösterilen kısım HUD (Head Up Display) ekranının olduğu bölümdür. Bu bölümde uçak yaw, roll ve pitch açıları, gps bağlantı durumu, telemetri bağlantı gücü, İHA'nın havaya ve yere göre hızları, batarya durum değerleri, anlık uçuş modu verileri, İHA yüksekliği ve sistem saati anlık olarak görülebilmektedir. 2.bölümde ise İHA'nın uçuş esnasında temel uçuş verilerinin görüldüğü, uçuş öncesi sistem parametrelerinin incelendiği, uçuş öncesindeki gerekli kalibrasyonların yapıldığı, otonom uçuş koordinatlarının belirlendiği, uçuş esnasında İHA'nın modunu, hız ve yükseklik değerlerinin değiştirildiği ve İHA'nın ARM/DISARM edildiği takip paneli bulunmaktadır. 3 numaralı bölümde ise uydu harita üzerinde İHA'nın anlık konumunun görülebilmemesinin yanı sıra görev için tanımlanmış waypointler ile uçuş rotası, İHA'nın GPS'den alınan ve hesaplanan rota çizgileri ve bir sonraki waypointe gitmesi için gereken rota çizgisi harita bölümü üzerinde yer almaktadır [11].



Şekil 25– Mission Planner Arayüzü

6.2. ALGAN İHA Takımı Arayüzü:

ALGAN İHA Takımı tarafından Savaşan İHA yarışmasının görev isterleri için Python dili kullanılarak oluşturulan ve özgün olarak tasarlanan arayüz, İHA'nın anlık uçuş verilerini, kilitlenme kamerası görüntülerini görmek, sunucu ile veri alışverişi yapmak ve İHA'ya çeşitli komutlar verebilmek amacıyla oluşturulmuştur. Arayüzün oluşturulmasında Python dili ile PyQt5 kütüphanesi kullanılmıştır. Bu kütüphanenin seçiminde etkili olan faktörler İHA ana kodlarının Python dili ile yazılmış olmasından dolayı kolay entegre edilebilmesi ve PyQt5 kütüphanesinin arayüz tasarımına daha elverişli olmasıdır. Tasarlanan arayüzün basit, işlevsel ve anlaşılır bir biçimde olmasına özen gösterilmiştir. Aynı zamanda arayüzdeki butonlar ve

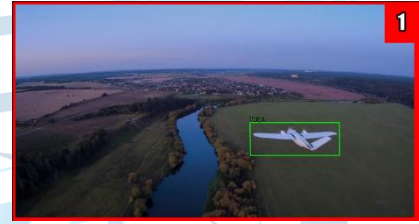
pencereler göreve uygun olarak özelleştirilmiştir. Arayüz 2 sekmeden ve toplam 6 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler sırası ile görüntü takip ekranı, uçuş haritası ekranı, bağlantı bölümü, takip göstergesi bölümü, anlık veri okuma ekranı ve terminal ekranıdır. Bu bölümler aşağıda belirtilen sıra ile açıklanmıştır. Arayüzün genel görünümü Şekil 26’da belirtilmiştir.



Şekil 26– Arayüz Genel Görünüm

1-Görüntü Takip Ekranı:

Yarışma görevlerini yerine getirebilmek amacıyla, İHA’dan gelen kilitlenme kamerası görüntülerinin anlık olarak takip edilebildiği ekrandır. İstenilen kilitlenme dörtgeni de bu ekran üzerinden görüntülenecektir.



Şekil 27– Görüntü Takip Bölümü

2- Uçuş haritası Ekranı:

Yapılan görevler esnasında İHA’nın uçuş rotasının takip edilebildiği ekrandır. Anlık olarak uçuş yapılan bölgenin harita görüntüsü arayüzde görüntülenecektir. Alınan GPS verileri harita görüntüsü üzerine işaretlenecektir. Bu sayede elde edilen konum verileri ile anlık uçuş konumu ve uçuş rotası görüntülenebilecektir. Kullanılacak harita web tabanlı olacaktır.



Şekil 28– Uçuş Haritası Bölümü

3-Bağlantı Bölümü:

Bu bölümde; Mission Planner’den uçuş modu, hız ve irtifa bilgilerinin alınması için kurulan bağlantı bölümünün yanı sıra sunucuya giriş-çıkış yapılmasını sağlayan sunucu giriş ve çıkış butonları, sunucuya kilitlenme ve telemetri verilerinin aktarılmasını sağlayan kilitlenme ve telemetri butonları, uçuş modunun değiştirilmesini sağlayan mod butonu, yönelim algoritmasının çalıştırılmasını sağlayan yönelim butonu ve acil iniş senaryolarında inişin yapılabilmesini sağlayan acil durum butonu yer almaktadır.



Şekil 29– Bağlantı Bölümü

4-Takip Gösterge Bölümü

Mission planner'dan alınan roll-pitch ve irtifa değerleri doğrultusunda anlık olarak değişimler gözlemlenebilen uçuş göstergeleri bu bölümde yer almaktadır. Bu arayüz dahilinde iki adet göstergeye yer verilmiştir. Bunlar sırası ile irtifayı görmemizi sağlayan altimetre ile roll ve pitch hareketlerini görmemizi sağlayan durum göstergesidir.



Şekil 30– Takip Gösterge Bölümü

5-Veri Ekranı:

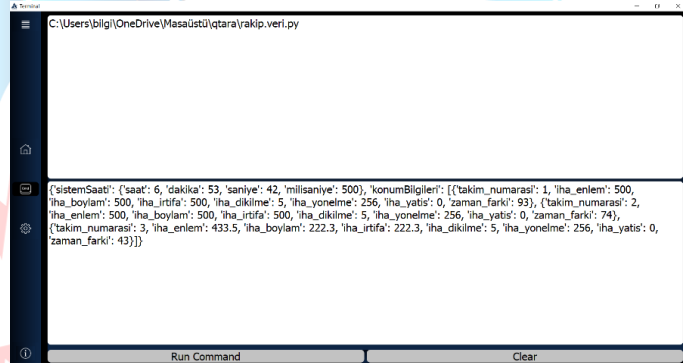
Mission planner aracılığı ile uçaktan alınan veriler bu ekranda görüntülenecektir. Görüntülenen bu veriler aynı anda bağlantı bölümünde yer alan telemetri butonu aracılığı ile yarışma sunucusuna da gönderilecektir. Veri ekran iki kısımdan oluşacaktır. Birinci kısımda yükseklik, yere göre ve havaya göre hızlar, yaw açısı, başlangıç konumuna olan uzaklık ve iki waypoint arası uzaklık gibi veriler yer alırken ikinci kısımda takım ID, kilitlenen İHA numarası, batarya doluluk yüzdesi, kilitlenme başlangıç ve bitiş zamanları ile saat verisi yer almaktadır.

Tab 1 Tab 2		
Altitude (m)	Dis to WP (m)	DistToMav
0,00	0,00	0,00
GroundSpeed	VerticalSpeed	Yaw(deg)
0,00	0,00	0,00

Şekil 31– Veri Ekranı

6-Terminal Ekranı:

Gerekli yazılımların yer istasyonundan çalıştırılabilmesini sağlayan ve gerekli bilgileri anlık olarak takip edebildiğimiz komut terminali 2.sekmede bulunmaktadır.



Şekil 32– Terminal Bölümü

7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU

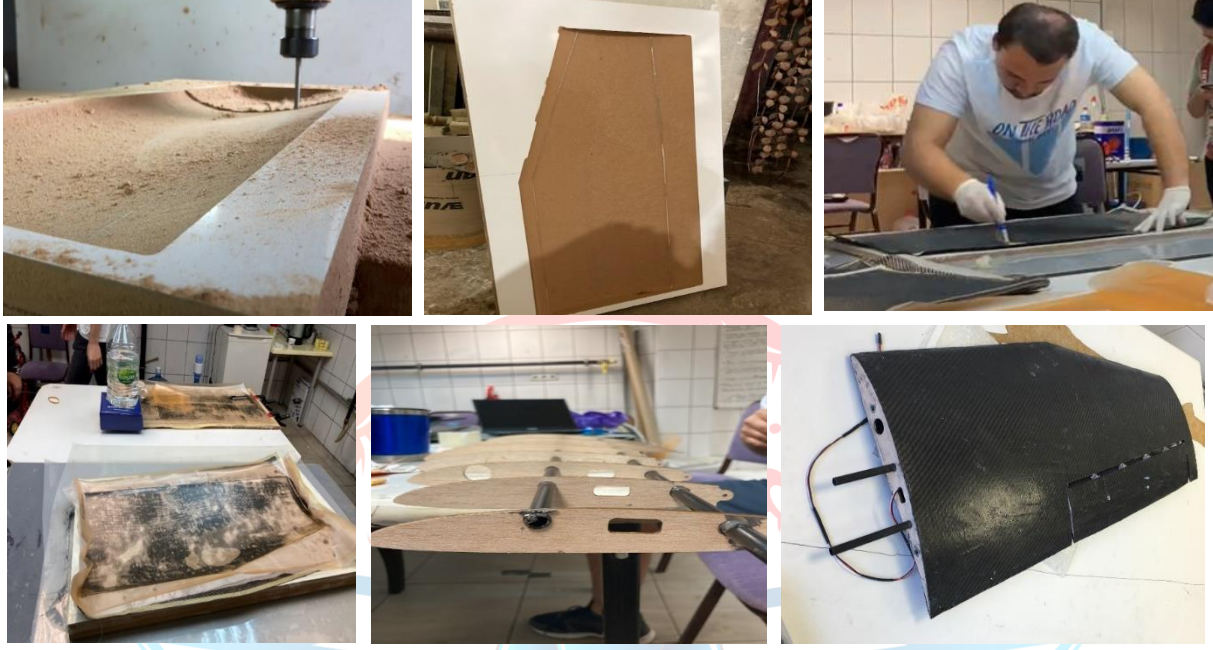
7.1. Yapısal Entegrasyon

7.1.1 Kanat

İHA'nın kanatları Solidworks programında modellenmiş üst ve alt olmak üzere dişi kalıp modelleri çıkarılmıştır. Kalıp modelleri CNC makinesinde MDF blokları işlenerek elde edilmiştir. İşlenen MDF'lerin yüzeyleri çeşitli işlemler uygulanarak kalıba uygun hale getirilmiştir. Hazırlanan kalıplardan 200 g/m2 karbon elyafı ve epoksi reçine kullanılarak el yatırması ile kompozit malzemeler üretilmiştir. Solidworks programından modellenen kanatlarda rip elemanlarının çizimleri elde edilmiştir. Lazer kesim ile balsa bu çizimlere göre kesilmiştir. Ardından rip elemanları 2 adet 10 mm çaplı karbon boru ve kanat yüzeyi için 2 mm çaplı karbon çubuklara ikiz tüp yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmış ve kanat iskeletleri

hazırlanmıştır. Ripler alt ve üst kanatlara yapıştırılmıştır. Eklemeli imalat yöntemiyle üretilen servo kutuları ve servo motorları kanadın alt tarafından yerleştirilmiştir.

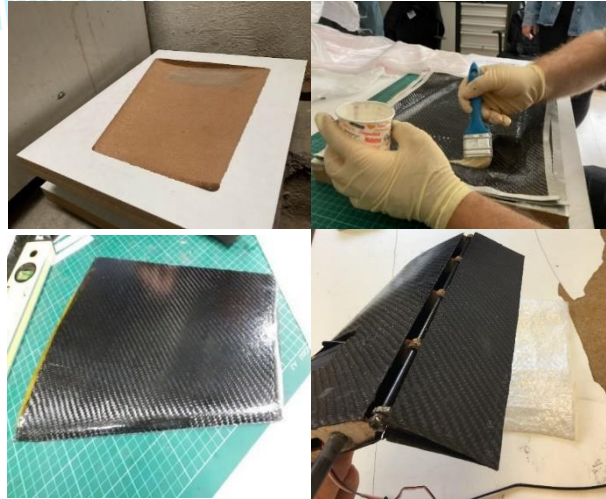
Kanatların gövde bağlantısı ise 2 adet M6 cıvata-somun ve 20 mm karbon boru ile modüler şekilde yapılmaktadır.



Şekil 33– Kanat Yapısal Entegrasyon Aşamaları

7.1.2. Kuyruk

Kuyruk üretimi için de kanat üretiminde olduğu gibi MDF kalıplarından el yatırması ile kompozit malzemeler üretilmiştir. Rip elemanları da balsadan lazer kesim ile elde edilmiştir. Rip elemanları 2 adet 10 mm çaplı ve kontrol yüzeyi için 1 adet 4 mm çaplı karbon boru ile ikiz yapıştırıcılar ile yapıştırılmıştır. Hazırlanmış olan kuyruk iskeletindeki ripler kompozit malzemelere yapıştırılmıştır. Eklemeli imalat yöntemiyle üretilen servo kutuları ve servo motorları kanat içine yerleştirilmiştir. Kuyrukların gövde bağlantısı için uygunu açı ve eğimde olan parça eklemeli imalat yöntemiyle üretilip sabitlenmiştir. Kuyruk, basılan parça ve gövde montajının emniyetini arttırmak için 2 adet M6 cıvata-somun ile güçlendirilmiştir [12].



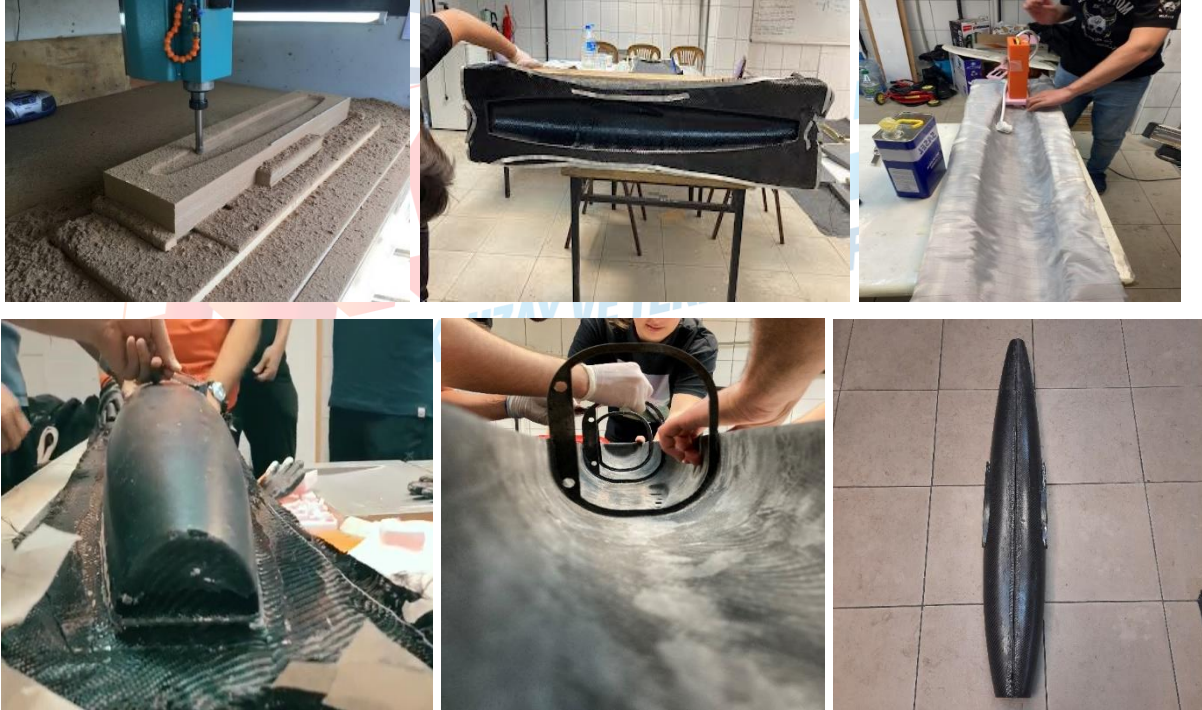
Şekil 34- Kuyruk Yapısal Entegrasyon Aşamaları

7.1.3. Gövde

İHA'nın gövde kısmı sağ gövde parçası, sol gövde parçası, kapak ve burun olmak üzere 4 ana parçadan oluşmakta ve aynı zamanda bu parçalar bir iskelet sistemiyle desteklenmektedir. İHA'da dayanım ve hafiflik ön planda olduğundan gövde malzemesi olarak karbonfiber takviyeli kompozit malzeme seçilmiştir. Tüm gövde 200 g/m² karbon elyafından 3 kat, motor, kanat bağlantı ve iniş takımının olduğu bölgeler 4 kat 200 g/m² karbon elyafı olacak şekilde yapılmıştır. İlave gövdeden kanat bağlantı yerinin modele uygun çıkması ve dayanımın artması için karbon elyafı kesilerek elde edilen kırpık kumaşlar kullanılmıştır.

İHA'nın gövde kısmını üretmek için kanat ve kuyruklarda olduğu gibi Solidworks programı üzerinden gövde modellenmiş ve sağ ve sol olmak üzere iki dişi kalıp modeli oluşturulmuştur. CNC makinesi ile şekillendirilen MDF bloklarından kalıplar oluşturulmuştur. MDF kalıplar epoksi reçinesini emmesi ve gövdenin yüzey kalitesini arttırmak için gerekli işlemlere tabi tutulmuştur. MDF kalıplardan el yatırması kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen gövdenin sağ ve sol kısımlarında kanat, kuyruk ve iniş takımını için belirlenen yerler dikey matkapla delinmiştir. Sağ ve sol gövde kısımları yapıştırılarak birleştirilmiştir.

Gövde iskeleti için 400 g/m² karbon elyafından 5 kat olacak şekilde epoksi matrisli karbonfiber kompozit plaka ALGAN İHA Takımı tarafından üretilmiştir. Solidworks programı üzerinden modellenen iskeletler CNC makinesi ile kesilmiştir. İHA'nın burun kısmının imalatı için eklemeli imalat yöntemi ile üretilen erkek kalıp kullanılmıştır. 25 g/m² lik cam elyafından 10 kat olacak şekilde el yatırma yöntemi ile üretilmiştir. Burun konisi belirlenen yerlerden somunlar yardımıyla sabitlenmiştir [13].



Şekil 35- Gövde Yapısal Entegrasyon Aşamaları

7.1.4. İniş takımları

Ön iniş takımı taksi yaparken kalkışta ve inişte darbeleri sönmüleyecek şekilde çift yaylı sisteme sahiptir. U profilli teker tablası 2124 alüminyumdan freze makinesinde üretilmiştir.

12mm çaplı 2124 alüminyum çubuk teker tablası ve yayları çelik miller ile tutturulmuştur. KFL001 yataklı rulman ile gövdeye M5 cıvata somun ile bağlanmıştır. Eklemeli imalat yöntemiyle üretilen servo kutusu ve servo motoru gövdenin altına sabitlenmiştir. Servo motorunun kolu ile alüminyum çubuk arasında dümen mekanizması yapılarak hareket kabiliyeti kazanılmıştır.

Arka iniş takımı için eklemeli imalat yöntemi ile erkek kalıp üretilmiştir. 400 g/m² karbon elyafından epoksi matrisli karbon fiber kompozit ALGAN İHA Takımı tarafından üretilmiştir. Üretilen kısım M6 cıvatalar ile gövdeye sabitlenmiştir.



Şekil 36– İniş Takımı Yapısal Entegrasyon Aşamaları

7.2. Mekanik Entegrasyon

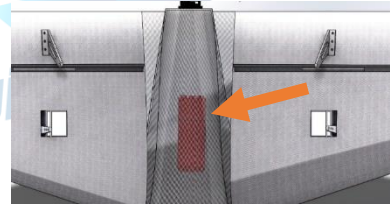
Mekanik entegrasyon esnasında hava aracı sistemlerinin kolay ulaşılabilir olması ve montajının kolay olması öncelik olarak belirlenmiş ve mekanik entegrasyon buna göre gerçekleştirilmiştir. Sistemlerin montajı esnasında eklemeli imalat yöntemi ile üretilen yardımcı parçalar kullanılmıştır. Üretilen parçaların hafif ve gövde ile uyumlu olması amaçlanmıştır.

Servo Motorlar: Servo motorlar eklemeli imalat yöntemi ile üretilen parçalar yardımıyla kanada monte edilmiştir. Parçalar hızlı yapıştırıcı ile kanatlara Şekil 37’deki gibi yapıştırılmıştır, ardından servo motor parçaya entegre edilmiştir.



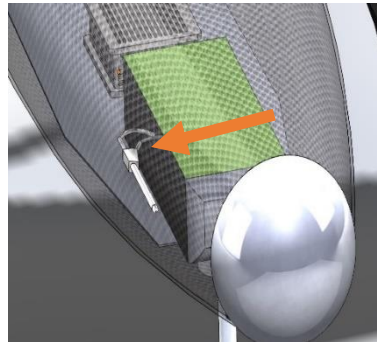
Şekil 37- Servo Motor Montajı

ESC: ESC gövde içine 2 adet cırt cırt bant kullanılarak gövdenin arka kısmına montajlanmıştır. Bant kullanılmadan önce ESC’nin sıcaklığına uygunluğu test edilmiştir. Gövde içindeki konumu Şekil 38’de gösterilmiştir.



Şekil 38- ESC Entegrasyonu

Pitot Tüpü: Montajı gövde üzerine yapılmıştır. Gövdenin bir kısmı kesilerek hızlı yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Şekil 39’da pitot tüpünün entegrasyonu gösterilmiştir.



Şekil 39- Pitot Tüpü Entegrasyonu

Lidar: Lidar hava aracı üzerinde yere dik olacak biçimde konumlandırılmıştır. Eklemeli imalat yöntemi ile parçalar üretilmiştir, parçalar gövdeye hızlı yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Lidar bu parçaya girecek şekilde montajlanmıştır (Şekil 40).



Şekil 40- Lidar

Motor: Motor hava aracının arka kısmına 4 adet M4 cıvata yardımı ile sabitlenmiştir. Motorun sabitleneceği kısım düz bir şekilde üretilmiştir. Şekil 41’de motorun entegrasyonu gösterilmiştir.

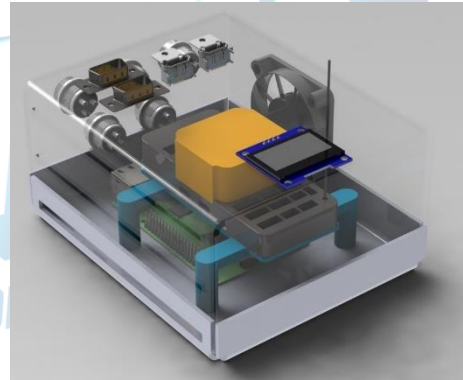


Şekil 41- Motor Entegrasyonu

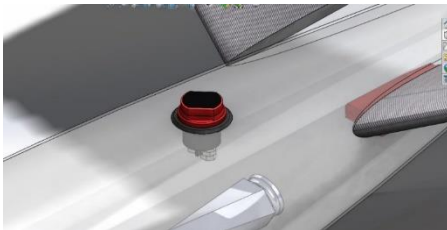
Sigorta: Sigorta gövdenin üst kısmına hızlı yapıştırıcı yardımı ile sabitlenmiştir. Sigorta montajı Şekil 43’te gösterilmiştir.

GPS: GPS montajı için eklemeli imalat yöntemi ile bir parça üretilip, üretilen parça gövdeye hızlı yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır, ardından GPS parçaya çift taraflı yapışkan bant ile sabitlenmiştir. GPS entegrasyonu Şekil 44’te verilmiştir.

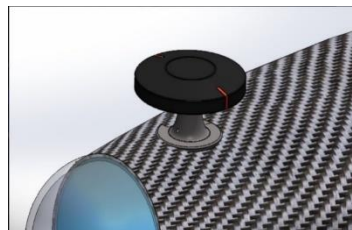
Kontrol Kutusu: Kontrol kutusu içerisinde uçak içi bilgisayar ve uçuş kontrol kartı bulunmaktadır (Şekil 42). Bu kutu konektörler yardımı ile gövde içindeki kablo dağınıklığını sorununu önlemek ve kablo bağlantılarını kolaylaştırmak için kullanılmaktadır. Bu kutunun altına eklemeli imalat yöntemiyle üretilen parçalar tarafımızdan tasarlanıp üretilmiştir. Kutu, bu parçaların üzerine sıkı bir şekilde geçirilip cırt bant ile sabitlenmiştir. Kontrol kutusunun yerleştirilmesi Şekil 45’te verildiği gibidir.



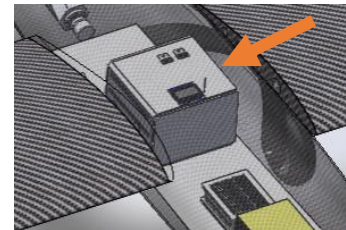
Şekil 42- Kontrol Kutusu



Şekil 43- Sigorta Entegrasyonu



Şekil 44- GPS Entegrasyonu



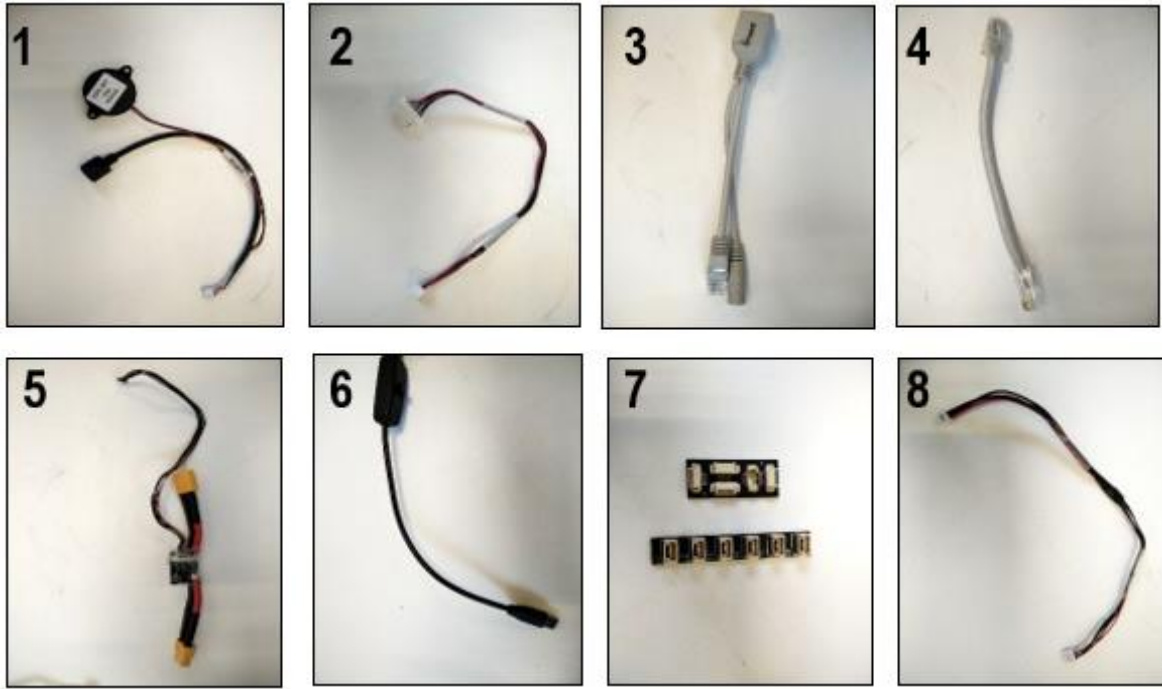
Şekil 45- Kontrol Kutusu Yerleşimi

7.3. Elektronik Entegrasyon

Elektronik entegrasyon uçak içi elektronik bağlantıların yapılması şeklinde tanımlanabilir. İHA içi aviyonik sistemlerin kablo bağlantısı, düzeni ve kurulumu aşağıdaki bağlantı şekilleriyle adım adım gösterilmiştir. İHA'nın gövdesi karbon fiber malzemeden yapıldığından dolayı ve malzemenin iletken olması nedeniyle kablolama daha önemli bir hal almıştır. Bu anlamda herhangi bir kablo açığı olmamalı ve bağlantıların kontrolleri tam olmalıdır.

7.3.1. Kablolama

Bu kısımda İHA'nın elektronik entegrasyonu gösterilmiştir.

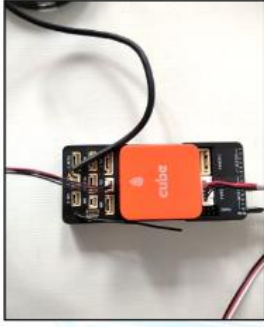


Şekil 46– Elektronik Entegrasyon Araçları

Tablo 13– Elektronik Entegrasyon Parça Açıklaması

Parça No	Açıklama	Parça No	Açıklama
1	Buzzer kablosu	5	Pixhawk power kablo
2	Power kablosu	6	Raspberry pi power kablosu
3	Groove power girişi kablosu	7	I ² C çoklayıcı
4	Ethernet kablosu	8	I ² C kablosu

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



8 numaralı kablo
Pixhawk I²C portuna
Bağlanması



GPS kablosu Pixhawk CAN1
portuna bağlanması



1 numaralı kablo Pixhawk
USB girişine bağlanması



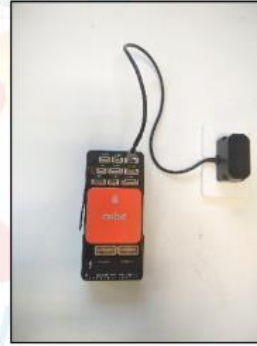
Servo ve alıcı kablosunun
Pixhawk Servo out ve RCin
portlarına bağlanması



2 numaralı kablo pixhawk
POWER1 girişine bağlanması



Pitot tüpü 7 numaralı
parçaya bağlanması



Lidar sensörünün
Tel2 portuna bağlanması



Raspberry Pi ile CSI kamera
bağlantısı



6 numaralı kablo Raspberry
Pi bağlanması



4 numaralı kablo ile
groove bağlantısı



Güç modülünün batarya
ile bağlantısı

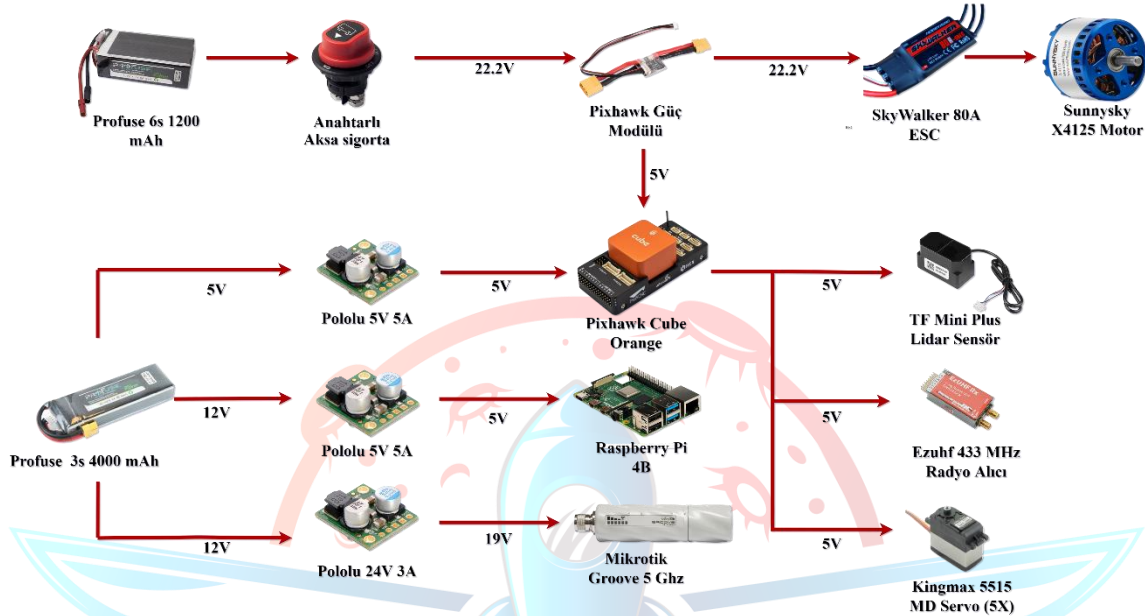


Motor ve ESC bağlantısı

Şekil 47- Elektronik Entegrasyonu

7.3.2. Güç Dağılımı

7.3.1 Kablolama başlığında belirtilen aviyonikler arası voltaj dağılımları Şekil 48’de gösterilmiştir.



Şekil 48– İHA Elektronik Sistemler Güç dağılımı

8. TEST VE SİMÜLASYON

8.1. Alt Sistem Testleri

8.1.1. Otonom Uçuş- Yönelim- Takip Testi

Yarışmada istenen görevlere hazırlık aşamasında gerçek İHA'larla test etmek yerine yarışma alanına uygun, gerçek uçuşa yakın sonuçlar veren ve yarışma için hazırlanan yazılımların denenebilmesi için bir simülasyon programına ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyaç doğrultusunda yapılan araştırmalar ve denemeler sonucunda ROS tabanlı Gazebo simülasyonu kullanılmasına karar verilmiştir. ROS temel olarak robotların istenildiği gibi kontrol edilmesini sağlayan yazılımların yazılabileceği açık kaynağa sahip platformdur. Gazebo ise ROS tabanlı yazılan robotik yazılımların denenebileceği açık kaynak bir simülasyon ortamıdır.

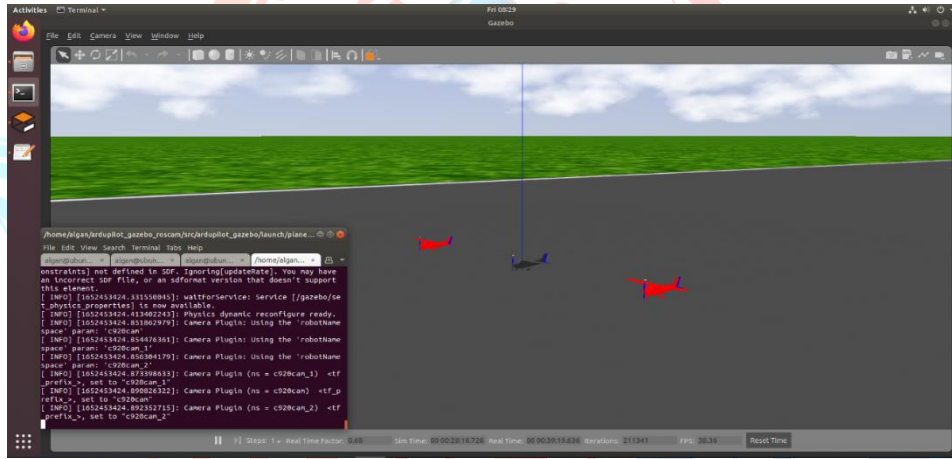
Bu seçimlerin ana sebeplerinden birkaçı ise ROS ve Gazebo başlıklarının adı altında fazla kaynak bulunuyor olması, ROS pluginleri sayesinde UDP portundan anlık görüntü alınabilmesi ve istenilen sistem performansına erişilebilmesinden dolayıdır. Sistem performansı, kullanılan bilgisayarın donanımına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Simülasyon testleri, Intel i7 işlemci, Nvidia GTX 1650 ekran kartı, 8 GB RAM kapasitesine sahip bilgisayarlarda gerçekleştirilmiştir.

Gazebo + ROS platformları seçilmesine rağmen simülasyon içinde kullanılacak uçakların modelleri ve uçakların istenilen şekilde hareket ettirebilmesi adına yapılan araştırmalar sonucu PX4-Autopilot ve ArduPilot olmak üzere iki farklı SITL modeli bulunmaktadır. Bu iki SITL modelinin karşılaştırılması Tablo 14’te verilmiştir.

Tablo 14– SITL modellerinin Karşılaştırılması

	PX4-Autopilot	ArduPilot
Performans (FPS)	>60 FPS	>60 FPS
Çoklu Araç	Var	Var
İHA mod değişimleri	Kısıtlı	Kısıtsız
RC Channel değişimleri	Yok	Var

İHA’da bulunacak kontrol yazılımı dronekit kütüphanesi aracılığıyla yazılmıştır. Bu kütüphanenin özelliklerinden biri ise İHA’nın kontrol yüzeylerine RC Channellar ile komut verilebildiğinden dolayı zorlanılmadan istenilen manevraların yapılabilmesidir. Bu özelliğe ArduPilot yazılımının sahip olmasından dolayı simülasyon testlerinde ArduPilot yazılımının kullanımına karar verilmiştir.



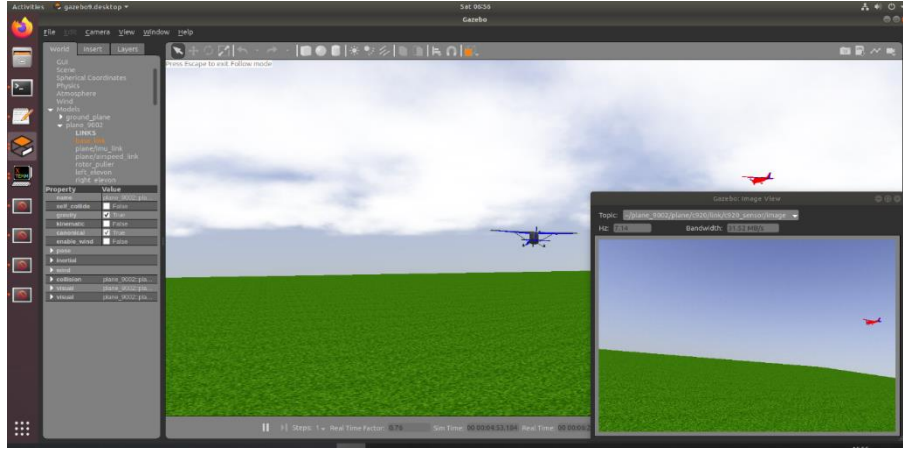
Şekil 49– Simülasyon Ortamı

ROS – Gazebo – Ardupilot arasındaki haberleşme ise Ardupilot dökümantasyonunda belirtilen ‘plugin’ ile gerçekleştirilir [14]. Simülasyon testleri için hazır model olarak simülasyon ortamına eklenen İHA’lardan biri ALGAN İHA Takımına ait olmasıyla birlikte diğer iki İHA ise rakip olarak belirlenmiştir. Oluşturulan simülasyona ait görüntü Şekil 49’da gösterilmiştir.

Hazırlanan simülasyonda farklı senaryolar denenerek otonom uçuş algoritması mümkün olduğunca stabil hale getirilmeye çalışılmıştır.

Otonom Uçuş: Yarışma sırasında görevlerin gerçekleştirilebilmesi için İHA’nın stabil uçuşu gerekmektedir. Stabil uçuş için ise simülasyon ortamı üzerinde İHA üzerinde ‘autotune’ modu aktifleştirilerek uygun PID ayarları yapılmıştır. Sonraki aşamada dronekit kütüphanesi aracılığıyla yazılan Python yazılımları ile gerekli testler gerçekleştirilmiştir.

Otonom Yönelim: Yarışma sunucusundan İHA’ya gönderilen rakip İHA’ların ve QR kodunun bulunduğu konum verileri ile otonom kilitlenme yapılabilmesi için ilgili alana yaklaşmak amacıyla tasarlanan algoritmalar 4.1.1. “Otonom Kalkış ve Yönelme” bölümünde açıklanmıştır. Vincenty metodu ile kalman filtresi yazılan algoritmalara eklenerek en yakın rakibin tespit edilip olası veri aktarım gecikmelerinin önüne geçilmiş ve görev tanımına uygun testler yapılmıştır.



Şekil 50– Simülasyon Yönelim Testi

Otonom Takip: Rakip uçaklar kırmızı renk olarak değiştirilerek birbirinden ayırt etmesi kolaylaştırılmış ve rakip İHA'ların tespiti için ayrı bir model eğitmek yerine sadece kırmızı rengi ayırt etme algoritması ile kolayca tespit edilebilmektedir. 4.1.3. “Otonom Takip” bölümündeki belirtilen kontrolcü algoritma tasarımı yardımıyla takip testleri gerçekleştirilmiştir.

8.1.2. İtki Testi:

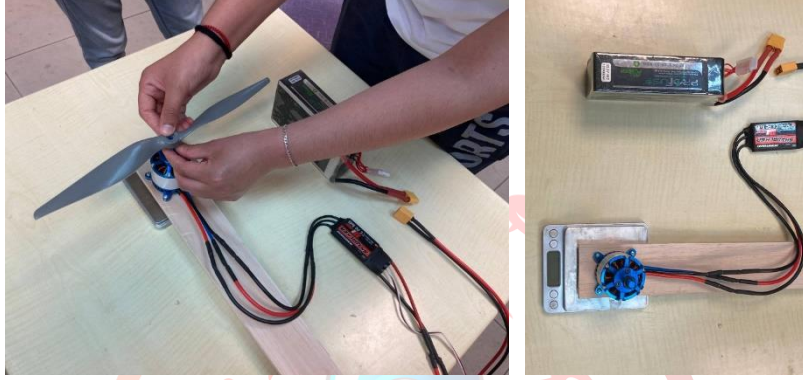
İtki testi uygulamasında motor ve pervane verimliliğinin hesaplanarak uzun uçuş süreleri, taşıma kapasitesinin artırılması, seyir hızının yükseltilmesi ve aşırı ısınmadan kaynaklı sorunların önüne geçilmesini amaçlamaktadır. Kullanılan DC fırçasız motorlar üretim kaynaklı veya uzun süreli kullanımlar nedeniyle performans kayıplarına maruz kalabilirler. Bu durumların tespit edilmemesi durumunda hava aracı yetersiz itkiden kaynaklı olarak havalanamayabilir, gerekli manevraları yapamayabilir veya motorun zorlanmasından dolayı fazla güç tüketebilir. Testler 22.2V 6S 12000 mAh batarya, SunnySky X Series X4125 fırçasız motor ve 15x8, 14x7 olmak üzere 2 farklı pervane ile test gerçekleştirilmiştir. Güç sisteminin nihai seçimi İHA gövdesi, yük ve göreve uygunluk parametrelerinin test sonuçları ile karşılaştırılmasıyla kararlaştırılacaktır.

Test Düzenineğinin Kurulması:

İtki testinin gerçekleştirilmesi için ALGAN İHA Takımı tarafından hazırlanan itki testi düzeneği kullanılmıştır. İtki test düzeneğinde motorun sabitlenmesi için gerekli olan bir denge sistemi, denge sisteminin sabitlenmesi için gerekli bir adet mengene, test edilecek güç sistemine ait motor, ESC ve pervane bileşenleri, sisteme güç sağlayacak test sistemine uygun batarya, motorun gaz oranının ayarlanması için alıcı/verici sistemi, akım ve gerilim değerlerinin hesaplanması için gerekli olan voltmetre ve pens ampermetre, sıcaklık ölçümü için termometre ve itişin gram(g) cinsinden ölçülmesini sağlayacak hassas terazi bulunmaktadır. Motor test standı menteşe noktasından ayrılan eşit uzunluktaki iki kolu sayesinde motorda üretilen itkiyi aynı büyüklükte teraziye iletmektedir. Test prosedürünü özetlemek gerekirse öncelikle motor test standına montelenir. Güvenlik nedeniyle güç vermeden önce pervane sıkıca takılır. Güç verildikten sonra servo test cihazı ile sinyal seviyesi minimumdan başlanarak kademeli bir şekilde arttırılır (Şekil 51). Test işlemi gerçekleştirilmeden önce tüm sistemler test sorumlusu

tarafından kontrol edilerek sistemin güvenilirliği kesinleştirilmiştir. Test esnasında değerlerin okunması için kamera sistemleri gerekli noktalara yerleştirilmiştir ve bu sayede istenilmeyen durumlarda yaralanmaların önüne geçilmiştir.

Belli seviyelerde motorun ürettiği itki not edilir. Test sonunda öncelikle batarya çekilip malzemeler toplanılır. Bu testin sonucunda İHA’da bulunan motorun 7000 gram (68 N) itkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır ve sistemin yeterli itkiyi sağladığı doğrulanmıştır.



Şekil 51– İtki test Düzenneği

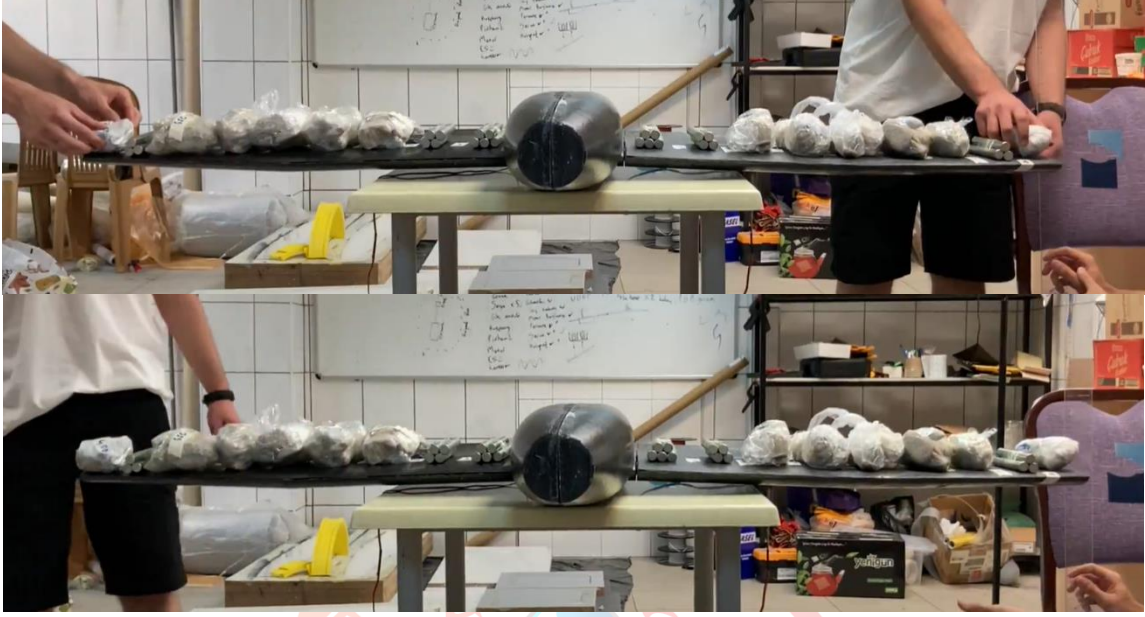
Test edilen motor ve pervane itki değerleri sonucunda Şekil 51’de görüldüğü gibi SunnySky X Series X4125 motor ile APC 15x8 inç pervane kullanımına karar verilmiştir.

Tablo 15– İtki Testi Değerleri

Pervane (inç)	Gerilim (V)	Çekilen Akım (A)	İtki (gf)	Güç (W)	Verim (g/W)	%100 itiş Sıcaklığı
APC 15x8	22.96	85.19	7123	1956	3.64	110
APC 14x7	23.35	98.03	6096	2289.04	2.66	120

8.1.3. Yapısal Test

Uçaklara yapılan yapısal testler incelendiğinde kanat yük testinin yarışmada kullanılacak İHA’ya uygun olduğu görülmüştür. Bu test sayesinde İHA’nın kanatlarının istenilen manevralarda maruz kalacağı kuvvetlere dayanabileceğinin doğrulanması istenmiştir. Kanat yük testinde hava aracı sağa ya da sola manevra yaptığında merkezci kuvvete tepki kuvveti ile ağırlığından fazla kuvvete maruz kaldığında kanatların alacağı şekil ve eğilme miktarları görülmüştür. Test senaryoları esnasında düz 1 G, 2 G ve 3 G merkezci dönüş yaratan bir dönüş ele alınmış olup, bu senaryolarda İHA üzerinde yer alan ana taşıyıcı kanadın alacağı şekil ve eğilme miktarları gözlemlenmiştir. Bunun için İHA ters çevrilip kanatları boşta kalacak şekilde gövdesi bir zemine oturtulmuştur. Daha sonra bir kanadın belirli noktalarına dikey olarak cetveller yerleştirilerek kanatların farklı kuvvetlerde hangi noktalarda ne kadar eğildiği gözlemlenmiş, bu noktaların kanat üzerinde yük bulunmuyorken ki yerden yüksekliği not edilmiştir. Bu testler esnasında elde edilen fotoğraflar Şekil 52’de gösterilmiştir.

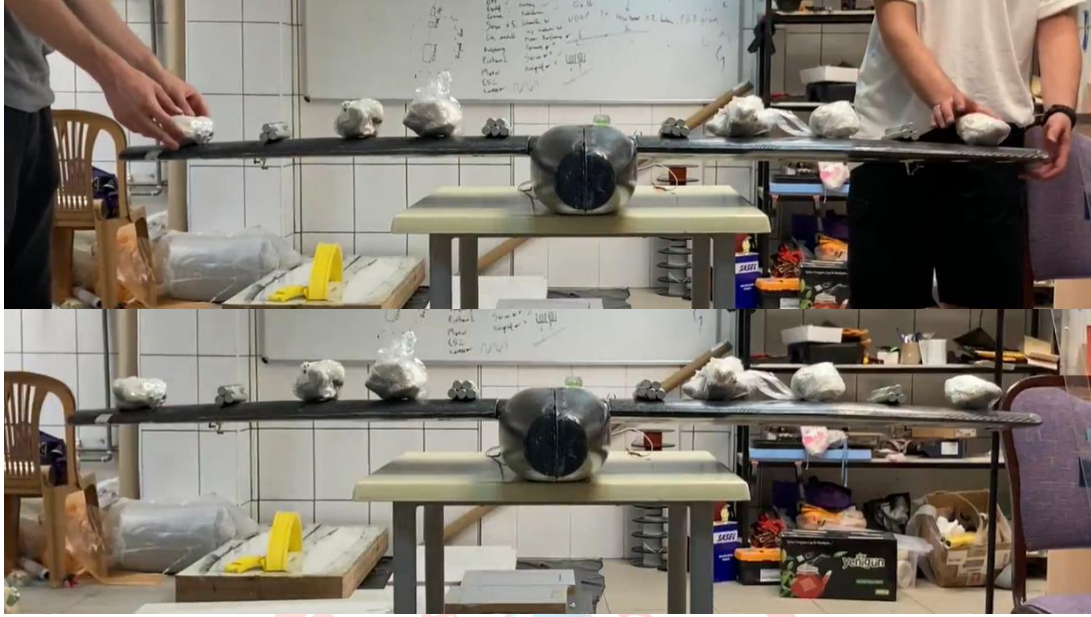


Şekil 52- Kanat Yük Testi (+G)

İlk olarak kanat üzerinde İHA'nın düz uçuşu esnasında uygulanacak kuvvet olan 1 G kuvvet, yani İHA'nın kendi ağırlığı kadar, 7500 gram ağırlık kum torbaları aracılığı ile kanatlar üzerinde dağıtılmıştır. İkinci aşama olarak İHA'nın dönüş manevrası esnasında kanat üzerinde uygulanacak kuvvet olan 2 G, kendi ağırlığının iki katı kadar, yani 15000 gram kuvvet kum torbaları aracılığı ile kanat üzerinde dağıtılmıştır. Üçüncü aşama olarak ise 3G, kendi ağırlığının üç katı kadar, yani 22500 gram kuvvet kum torbaları aracılığı ile kanat üzerinde dağıtılmıştır. Yük dağıtımı yapılırken kök veter uzunluğuna yakın yani kaldırma noktasında daha fazla, kanadın uç veter uzunluğu kısmında ise daha az olmak üzere kum torbalarının ağırlığı düzenlenmiştir. Yapılan testler sonucu elde edilen veriler Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16– Kanat Yük Testi Sonuçları

Kanat Bölmesi	Eğilme Miktarı (mm)		
	1 G (7500 g)	2 G (15000 g)	3 G (22500 g)
1	0	19	39
2	4	26	41
3	10	39	55
4	14	46	61
5	18	52	81
6	21	59	89
7	24	65	96
8	28	72	101
9	32	79	103



Şekil 53- Kanat Yük Testi (-G)

İHA'nın kamikaze İHA görevini tam anlamıyla tamamlayabilmesi amacıyla gerçekleştireceği pike manevrasında maruz kalacağı negatif G kuvvetleri için kanat yüklenme testi yapılmış olup bu test fotoğrafları Şekil 53'te belirtilmiştir.

Pozitif G kuvvetlerinin gözlemi için yapılan testler ile -1 G ve -2 G kuvvetler için yapılan testlerin verileri Tablo 17'de belirtilmiştir.

Tablo 17 - Kanat Yük Testi Sonuçları

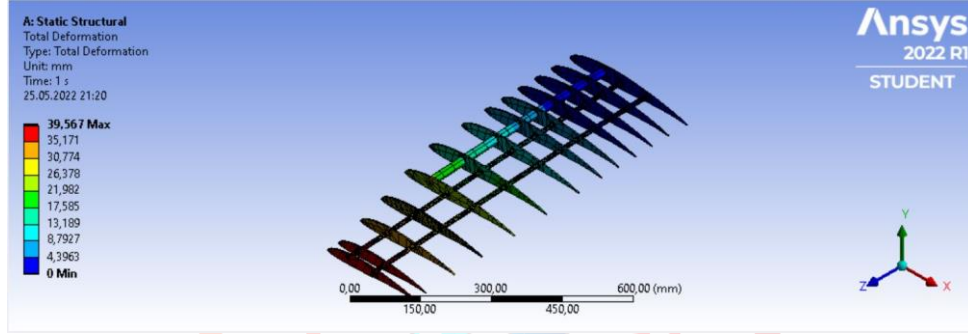
Kanat Bölmesi	Eğilme Miktarı (mm)		
	-1 G (7500 g)	-2 G (15000 g)	-3 G (22500 g)
1	0	0	13
2	0	4	19
3	3	11	22
4	5	13	29
5	8	17	34
6	11	20	42
7	15	22	58
8	17	25	72
9	19	27	82

Elde edilen veriler incelendiğinde kanatta gerçekleşen eğilmenin kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer aldığı gözlemlenmiştir. Yapılan her testte oluşan deformasyonlar elastiktir. Kanat üzerinde herhangi bir plastik deformasyon oluşmamıştır. İHA'ya hiçbir zarar gelmemiştir.

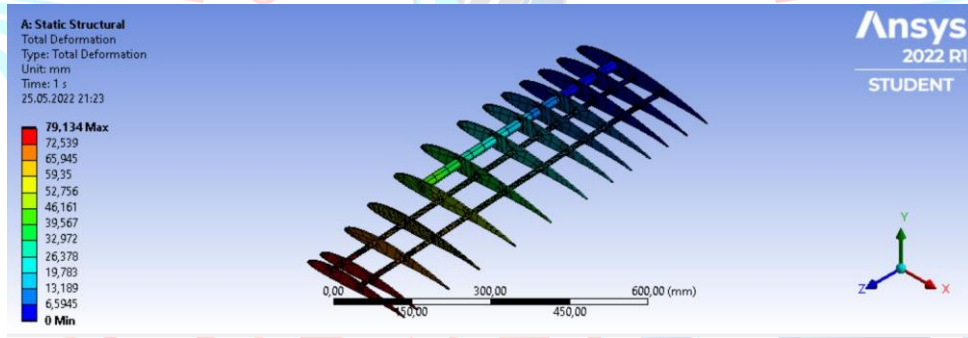
Yapılan test ve uçuş testi verileri İHA'nın -3 G ile +3 G aralığındaki merkezci kuvvet gerektiren manevraları güvenle gerçekleştirebileceğini kanıtlamaktadır.

8.1.3.1. Kanat Yükleme Analizi

ALGAN İHA Takımı tarafından yapılan kanat yükleme testi İHA üzerinde yapmadan önce ANSYS programında gerçekleştirildi. Analizde kanat sırasıyla 1 G ve 2 G yük altında test edildi. Analiz sonucunda 1 G ve 2 G de kanatlarda oluşan deformasyonlar sırasıyla 39.5(mm) ve 79.1(mm) olarak hesaplandı. Yapılan analiz sonuçlarına göre kanat ucuna doğru olan gerilmeler artmıştır. Oluşan gerilmeleri azaltmak için kanat borularının uzunlukları artırılmıştır. Şekil 54'te kanatların 1 G deformasyon sonuçları Şekil 55'te kanatların 2 G deformasyon sonuçları yer almaktadır.



Şekil 54- Kanatların 1 G deformasyon sonuçları



Şekil 55- Kanatların 2 G deformasyon sonuçları

8.1.4. Stall Açısı ve Tutunma Hızı Testi

İHA'nın, uçuş esnasında havada kalabilmesi için kaldırma kuvvetinin oluşması gerekmektedir. Bu kuvvetin oluşması için kanat profil tasarımı ve kanadın hücum açısından faydalanmaktadır. Kanat profilleri özel olarak tasarlanarak, İHA'nın kullanılacağı görevlere göre kaldırma ve direnç katsayıları oluşturmaktadır. Hücum açısı ise kanadın hücum kenarı ile akış doğrultusu arasında oluşan açı olarak adlandırılır. Hücum açısı vesilesiyle hava aracının kaldırma kuvveti kontrol edilmektedir.

Hücum açılarının büyük değerlerinde (genellikle 15° den fazla), akış, kanadın üst yüzeyinden tamamen ayrılarak kaldırmanın şiddetli bir şekilde azalmasına ve kanadın Stall'a uğramasına yol açar [15]. Her kanada, Stall durumu oluşmadan belli bir değere kadar hücum açısı verilebilir. Kanadın hücum açısı kanat profili hücum açısı bulunarak tespit edilir. Bu yüzden her kanat profilinin Stall durumuna düşmeden sahip olduğu hücum açısı değerleri vardır. Bu hücum açısı değeri yardımcı programlar kullanarak tespit edilmektedir.

Yarışma için kullanılacak İHA'nın kanat profili XFLR5 programı kullanılarak hesaplamalar için gerekli olan C_l ve C_d katsayıları Şekil 5'te görüldüğü üzere analiz edilerek çıkarılmıştır.

Tutunma Hızı:

İHA'nın havada kalması için gereken minimum hız tutunma hızı olarak adlandırılır. Bu hız kaldırma kuvvetinin, uçağın ağırlığına eşit olduğunda sahip olduğu minimum hızdır. Tutunma hızı denklem (3) kullanılarak hesaplanacak olursa;

$$F_l = 12 \times \rho \times V_2 \times A \times C$$

F_l : Kaldırma kuvveti, ρ : akışkan yoğunluğu, V : hava aracı hızı, C_l : kaldırma katsayısı

$$\rho = 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad A = 0.854 \text{ m}^2, \quad C_l = 1.983, \quad F_l = W = 4.5 \times 9.81$$

$$V_{\text{tutunma}} = \sqrt{2 \times 4,5 \times 9,81 \times 1,225 \times 0,426 \times 1,841}$$

$V_{\text{tutunma}} = 13.53 \text{ m/s}$ olarak hesaplanır.

Gerçek Stall ve hız testi:

İHA'nın Stall'a girdiği gerçek hücum açısı ve bu hücum açısında sahip olduğu hızının tespit edilmesi için paket programlarının kullanılmasının yanı sıra gerçek testlerin yapılması gerekmektedir. Gerçek testin yapılması; İHA havada uçarken kanadın üzerinde oluşacak akış ayrılması durumunda İHA'nın Stall'a girdiği hücum açısının ve hızının yardımcı ekipmanlar ile tespit edilmesi şeklindedir. Elde edilen bu değerler paket programda bulunan değerler ile karşılaştırılmalıdır.

8.1.5. Kablosuz Haberleşme menzil testi:

İHA üzerinde ve yer istasyonunda bulunan kablosuz haberleşme sistemlerinin menzillerinin test edilmesi için yapılan testler 3 ana başlıkta incelenmektedir. Bunlar görüntü aktarma, radyo alıcı/verici, telemetri menzil testleridir.

8.1.5.1. Görüntü ve veri aktarım menzil testi:

Görüntü ve veri aktarım testi 5.8 GHz Mikrotik GrooveA 52 access point ile Mikrotik mANTBox üzerinde uygulanmıştır. Testler ALGAN İHA Takımı tarafından kontrollü bir şekilde güvenli ortamlarda gerçekleştirilmiştir.

- Access Point Menzil Testi:**

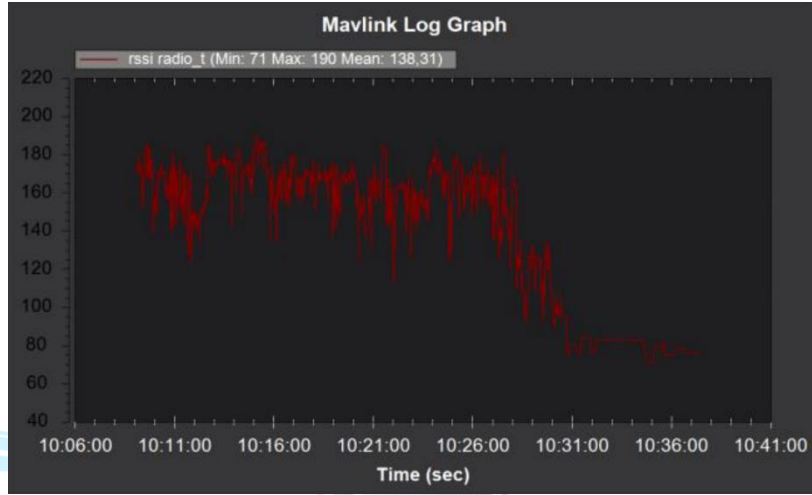
Access Point menzil testi, yer istasyonunda bulunan Mikrotik mANTBox kablosuz yönlendirici ile İHA üzerinde bulunan Mikrotik Groove access point alıcısı/vericisi arasında yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda kilitlenme kamerası görüntülerinin ve GPS verilerinin 1500 metreye kadar kesintisiz aktarıldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 56– Access Point Test Sistemleri

8.1.1.2. Radyo Alıcı/verici menzil testi:

Radyo alıcı/verici menzil testi EZUHF 433MHz alıcı ve RadioLink X9d+ verici donanımlarını kapsamaktadır. Sistemlerin test edilmesi için RSSI değeri referans alınmaktadır. Telekomünikasyonda, alınan sinyal gücü göstergesi (RSSI) alınan bir radyo sinyalinde mevcut gücün bir ölçümüdür. RSSI değeri ölçümlerinin, alıcı üzerinde atanan bir kanal ile uçuş kontrol kartı üzerinden okuma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler Şekil 57’deki grafikte verilmiştir.



Şekil 57– RSSI Değer Grafiği

Gerçekleşen testler sonucunda EZUHF 433MHz alıcı ile FrSky x9d+ verici donanımlarının en yakın konumda maksimum 190 RSSI değerine, alıcı ve verici arasındaki mesafenin 5000 metre sonrasında minimum 71 değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. İHA üzerindeki kontrol kayıpları 100 RSSI değerinde yaşanmaya başlanmıştır. Yarışma koşulları göz önünde bulundurularak 100 RSSI değerinin sağlandığı 4000 metreye radyo/alıcı verici menzili sınırlandırılmıştır.

8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi

Yapılan test uçuşları yarışmada kullanılacak olan ALGAN İHA Takımı tarafından tasarlanan İHA ile gerçekleştirilmiştir. Bu testlerle birlikte haberleşme sisteminin performansını, otonom uçuş parametrelerinin iyileştirilmesi ve otonom takip algoritmasının test edilmesi gibi kazanımlar elde edilmesi amaçlanmıştır. Test uçuşları ve sonuçları bu başlıkta açıklanmıştır.

Tablo 18 - Test uçuşları ve sonuçları

Görev	Test Sayısı	Başarı Sayısı	Başarısızlık nedeni	Düzenlemeler
Otonom Kalkış	12	8	Hatalı parametre, Yetersiz itki, Hatalı ağırlık dağılımı	Parametre optimizasyonu, İtki sistemi ve Ağırlık dağılımı iyileştirmeleri
Otonom İniş	6	3	Hatalı parametre, lidar ve pitot tüpü hatalı konumları, İniş pisti bozuklukları	Parametre optimizasyonu, lidar ve pitot tüpü konum düzenlemeleri, İnişe uygun pist seçilmesi
Otonom Nokta Takibi	90	82	Hatalı PID parametreleri, sağlıklı GPS verileri, kötü hava şartları	“Autotune” işlemi gerçekleşmesi, GPS konumunu kablolardan ve antenlerden uzaklaştırması

8.2.1. Otonom Kalkış

Testin amacı otonom kalkış için gerekli olan parametrelerin test İHA'ları üzerinde test edilerek Savaşan İHA yarışmasında yaşanabilecek kaza ve kırımların önüne geçmektir. Testlerimiz iki farklı İHA tipinde gerçekleştirilmiş olup farklı durum ve senaryolara göre hazırlıklar gerçekleştirilmiştir. Test uçuşlarımız Şekil 58'de görünmekte olup elden atışlı İHA'lar üzerinde test edilmiştir.



Şekil 58- otonom Kalkış Testin Görüntüleri

8.2.2. Otonom İniş

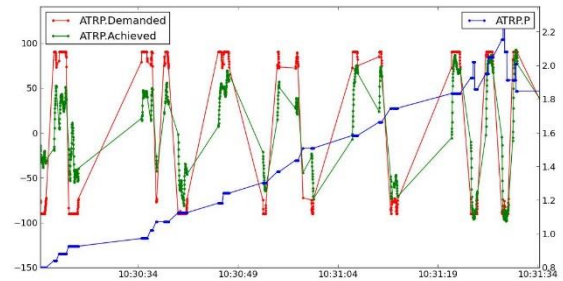
Testin amacı İHA'nın otonom bir şekilde hassas ve stabil şekilde iniş gerçekleştirmesi üzerinedir. Test sırasında uçak üzerinde bulunan sensör verilerinin doğruluğu kontrol edilerek iniş için en uygun iniş parametreleri güncellemeleri gerçekleştirilmektedir. Şekil 59'da görüldüğü üzere iniş sekansında ki İHA'nın otonom bir şekilde iniş aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 59- Otonom İniş Testin Görüntüleri

8.2.3. Autotune Testi

İHA otonom ve yarı otonom modlarda istikrarlı ve doğru bir uçuş sergilemesi için roll ve pitch eksenlerindeki parametrelerinin ayarlanması gerekmektedir. Uçuş sırasında uçuş kontrol kartı AUTOTUNE moduna alınarak parametre güncelleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Test sırasında uçuş kontrol kartı kontrolcü parametrelerini otomatik şekilde güncelleyerek İHA'ya en uygun parametre setlerinin kaydedilmesini sağlamaktadır. Şekil 60'ta görüldüğü üzere istenilen (Demedanded) ve alınan (Achieved) değerlerinin test ilerledikçe birbirine yaklaştığı ve hata oranının düştüğü gözlenmektedir. Test sonrasında İHA otonom ve yarı otonom modlarda test edilerek istikrarlı ve doğru uçuş gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 60- İstenilen ve Alınan Değerlerinin grafiği

8.2.4. ALGAN İHA Takımı Uçuş Kontrol Listesi

Güvenli bir uçuş yapabilmek için 32 maddelik bir uçuş kontrol listesi hazırlanmıştır. Uçuş kontrol listesi Tablo 19 ve Tablo 20’de maddeler halinde belirtilmiştir.

Uçuş Öncesi Uçuş Kontrol Listesi

Adı Soyadı:.....

Tarih:.....

Tablo 19 - Uçuş Öncesi Kontrol Listesi

<input type="checkbox"/> 1. Faydalı Yük Anten Kontrolü	Aviyonik Sistem Kontrolü
<input type="checkbox"/> 2. Uçuş kontrol kartı bağlantı kontrolü	
<input type="checkbox"/> 3. Kamera soketi kontrolü	
<input type="checkbox"/> 4. USB Bağlantı kontrolü	
<input type="checkbox"/> 5. Güç soketleri kontrolü	
<input type="checkbox"/> 6. GPS, Lidar, Pitot, bağlantı kontrolü	
<input type="checkbox"/> 7. Batarya Kontrolü	
<input type="checkbox"/> 8. Mekanik Bağlantı noktaları kontrolü	Mekanik Bölge Kontrolü
<input type="checkbox"/> 9. Servo bağlantıları kontrolü	
<input type="checkbox"/> 10. Kanat Bağlantı noktaları kontrolü	
<input type="checkbox"/> 11. İniş takımı bağlantı noktaları kontrolü	
<input type="checkbox"/> 12. Gövde içi sabitleme kontrolü	
<input type="checkbox"/> 13. Motor ve pervane bağlantı kontrolü	
<input type="checkbox"/> 14. Ağırlık merkezi kontrolü	Arayüz ve Parametre Kontrolü
<input type="checkbox"/> 15. Uçağın Mavproxy ile bağlantısının gerçekleştirilmesi	
<input type="checkbox"/> 16. Uçağın arayüz bağlantısı gerçekleştirilmesi	
<input type="checkbox"/> 17. Görüntü ve GPS veri akış kontrolü	
<input type="checkbox"/> 18. Pitot koruyucu sökülmesi ve Pitot testi	
<input type="checkbox"/> 19. GPS sayısı kontrolü	
<input type="checkbox"/> 20. GPS kalibrasyonu	
<input type="checkbox"/> 21. Lidar kontrolü	
<input type="checkbox"/> 22. Otonom ve manuel parametre kontrolü	
<input type="checkbox"/> 23. Manuel mod kontrol yüzeyleri kontrol ve trim ayarları	
<input type="checkbox"/> 24. FBWA mod kontrol yüzeyleri kontrolü	Son Pist Başına Geçmeden ve Geçtikten Sonraki Kontroller
<input type="checkbox"/> 25. Arayüz üzerinden batarya voltaj ve akım değerleri kontrolü	
<input type="checkbox"/> 26. 5 saniye tam gaz testi	
<input type="checkbox"/> 27. Görüntü Kaydı başlatılması	
<input type="checkbox"/> 28. Hava aracı pist başına alınması	

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

<input type="checkbox"/> 29. Rüzgâr açısı ve hız kontrolü	
<input type="checkbox"/> 30. Kontrol yüzeyleri son kontrol	
<input type="checkbox"/> 31. Rudder dümeni kontrolü	
<input type="checkbox"/> 32. Uçuş onayı beklenmesi	
<input type="checkbox"/> 33. İHA ve Yer İstasyonu arası telemetri veri akışı kontrolü	Haberleşme Yazılımı Kontrolü
<input type="checkbox"/> 34. İHA ve Yer İstasyonu arası kilitlenme verisi iletiminin testi	
<input type="checkbox"/> 35. İHA ve Yer İstasyonu arası görüntü aktarım testi	
<input type="checkbox"/> 36. İHA ve Yer İstasyonu arası QR kod verisinin aktarımının test edilmesi	
<input type="checkbox"/> 37. Yer ve sunucu arası veri akışı testi	Yapay Zekâ Yazılım Kontrolü
<input type="checkbox"/> 38. Hedef tespit işleminin yerde test edilmesi	
<input type="checkbox"/> 39. Hedef takibinin yerde test edilmesi ve motorların hareketinin izlenmesi	
<input type="checkbox"/> 40. Kilitlenme işleminin yerde test edilmesi	
<input type="checkbox"/> 41. QR kod okuma testi	

Uçuş Sonrası Uçuş Kontrol Listesi

Tablo 20 - Uçuş Sonrası Kontrol Listesi

<input type="checkbox"/> 1. Uçağı DİSARM yap
<input type="checkbox"/> 2. Bataryayı İHA'dan çıkar
<input type="checkbox"/> 3. Pervaneyi çıkar
<input type="checkbox"/> 4. Kanat bağlantı noktalarını açarak kanadı gövdeden ayır
<input type="checkbox"/> 5. Hasar kontrolü yap
<input type="checkbox"/> 6. Bataryayı çantasına yerleştir
<input type="checkbox"/> 7. Tüm sistemlerinin kontrollerini yap
<input type="checkbox"/> 8. CHECKLIST tekrar gözden geçir

Uçuş Görev Tanımı (Yapılan uçuşta ne amaçlandığı, kaç dakika uçulduğunu, varsa otonom görev parametreleri yazılır):

9. GÜVENLİK

İHA üretimi ve uçuş esnasında dikkat edilen en önemli unsurlardan biri güvenlidir. Olası faaliyetler sonucunda oluşabilecek riskler (0-10 arası) ve bunlara karşı alınacak önlemler Tablo 21’de gösterilmiştir [16] [17].

Tablo 21 – Güvenlik Tablosu

FAALİYET	RİSK	SONUÇ	ÖNLEM ÖNCESİ			ÖNLEM	ÖNLEM SONRASI		
			OLASILIK	ŞİDDET	SIKLIK		OLASILIK	ŞİDDET	SIKLIK
Mekanik, kimyasal ve elektronik kazalardan kaynaklı yaralanma	Uzuv yaralanmaları ve elektrik çarpması	Yaralanma Sakatlanma Ölüm	5	6	7	Güvenlik ekipmanlarının kullanılması, ilk yardım çantasının temini	3	5	1
Yüksek amper ve gerilimlerde kablo ve elektronik cihazların yüksek sıcaklıklara çıkarak yanması	Alevlenme tutuşma, patlama	Yangın çıkması	4	7	2	Yangın söndürme tüpünün hazırda bulunması, kablo kalınlıklarının artırılması	3	7	1
İHA’nın istenmeyen manevralar yapması, pilot kontrolünden çıkması	Uçağın kırılma uğraması	Maddi hasar, fiziksel yaralanma	6	6	4	Kumanda ve yer istasyonunda bulunan arayüzde acil durum anahtarı bulunması	3	6	1
Epoksi kullanımı	Deriye veya göze temas etmesi	Görme kaybı ve cilt hasarı	9	8	8	Eldiven ve gözlük kullanımı	4	2	3
İHA’da motor güç hattının kısa devre yapması, yanlış kablo bağlantısı	Yanma	Aviyonik e meydana gelen hasar	6	5	4	Sigorta koruması	2	5	1
Batarya patlaması	Yangına sebebiyet vermesi	Aviyonik e meydana gelen hasar	2	9	1	Batarya koruma kılıfının kullanılması	1	4	1

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

İHA'nın üretim esnasında malzeme kullanımı hatası	Hatalı üretim	İHA'da oluşan denge sorunları	5	9	5	Ağırlık merkezinin düzeltilmesi	3	5	2
Hatalı GPS kalibrasyonu	Uçağın konum hatası	Uçağın rotadan çıkması	4	6	4	GPS Kalibrasyonun yeniden yapılması	1	3	2
Pervanenin çıkması	Motordan kaynaklı titreşme sonucu civatanın gevşeyerek pervanenin çıkması	Maddi hasar, fiziksel yaralanma	3	9	2	Pervanenin somon yardımıyla daha sıkı sıkıştırılması	1	2	1
Kameranın kırılması	Kameranın sabitlendiği yüzeyden çıkması	Maddi hasar, testlerde gecikme	4	6	3	Kameranın sabitleneceği yere 3D parça ve fanus eklenmesi	1	3	1
İniş sırasındaki rüzgâr şiddeti	Hatalı iniş	Gövde üzerinde meydana gelen hasar	7	5	4	Rüzgârın şiddetine göre iniş paterni seçilmesi	3	4	2
Yükseklik verisinin sapma ihtimali	Hatalı iniş	Gövde üzerinde meydana gelen hasar	6	5	3	Lidar kullanılması	4	3	1
Düşük pil şarjı ile uçuş	Uçuş sırasında sistemin kapanması	İHA'nın kırılma uğraması	3	8	3	Uçuş öncesi batarya voltaj kontrolü yapılması	2	4	1

10. REFERANSLAR

- [1] Hwu, K. I., & Peng, T. J. (2011). A novel buck–boost converter combining KY and buck converters. *IEEE Transactions on power electronics*, 27(5), 2236-2241.
- [2] Jain, K. P., & Mueller, M. W. (2020, May). Flying batteries: In-flight battery switching to increase multirotor flight time. In *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 3510-3516). IEEE.
- [3] Akşar, E., & Selim, S. Sabit Kanatlı İnsansız Hava Araçlarında (İHA) Kanat Tasarımının Uçuş Süresi, Manevra Kabiliyeti, Kalkış Hızı (Vstall) Üzerine Etkilerinin Araştırılması.
- [4] Mahmoud, H., & Akkari, N. (2016, March). Shortest path calculation: a comparative study for location-based recommender system. In *2016 world symposium on computer applications & research (WSCAR)* (pp. 1-5). IEEE.
- [5] Rameshbabu, K., Swarnadurga, J., Archana, G., & Menaka, K. (2012). Target tracking system using kalman filter. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 2, 90-94.
- [6] Luo, S., Yu, J., Xi, Y., & Liao, X. (2022). Aircraft Target Detection in Remote Sensing Images Based on Improved YOLOv5. *IEEE Access*.
- [7] Hu, G., Gans, N., Fitz-Coy, N., & Dixon, W. (2009). Adaptive homography-based visual servo tracking control via a quaternion formulation. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 18(1), 128-135.
- [8] Voskuijl, M. (2021). Performance analysis and design of loitering munitions: A comprehensive technical survey of recent developments. *Defence Technology*, 325-343.
- [9] Allouch, A., Cheikhrouhou, O., Koubâa, A., Khalgui, M., & Abbes, T. (2019, June). MAVSec: Securing the MAVLink protocol for ardupilot/PX4 unmanned aerial systems. In *2019 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)* (pp. 621-628). IEEE.
- [10] Zheng, H., & Boyce, J. (2001). An improved UDP protocol for video transmission over internet-to-wireless networks. *IEEE Transactions on Multimedia*, 3(3), 356-365.
- [11] Putera, A. S., & Ramdani, F. (2018). Software Testing by Standard Software Metrics Method; Study Case" Mission Planner" as UAV Ground Station Software. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, 10(1-8), 123-128.
- [12] Okur, Z. Ş. (2019). Karbon elyaf takviyeli epoksi esaslı tabakalı kompozitlerin üretimi ve kırılma davranışlarının incelenmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

- [13] KORKMAZ, N., ÇAKMAK, E., & DAYIK, M. (2016). Dokuma karbon elyaf takviyeli karbon nano tüp-epoksi kompozit malzemelerin mekanik ve termal karakterizasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(2).
- [14] Moon, S., Bird, J. J., Borenstein, S., & Frew, E. W. (2020, September). A Gazebo/ROS-based Communication-Realistic Simulator for Networked sUAS. In 2020 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) (pp. 1819-1827). IEEE.
- [15] Yunus A. Çengel, J. M. (2018). Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications. McGraw-Hill Education, 2018.
- [16] AKPINAR, T., & Çakmakkaya, B. Y. (2014). İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından İşverenlerin Risk Değerlendirme Yükümlülüğü. Çalışma ve Toplum, 40(1).
- [17] Ceylan, H., & Başhelvacı, V. S. (2011). Risk değerlendirme tablosu yöntemi ile risk analizi: Bir uygulama. International Journal of Engineering Research and Development, 3(2), 25-33.

