

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

TAKIM ADI: ANATEK Sungur

YAZARLAR: Furkan Ahmet Aktaşın, Alkım Bozkurt, Erdem Ateş, Yusuf Çakıroğlu, Alp Beysir, Furkan Yıldız, Muhammed Eren Gökceođlu, Ebubekir Talha Akbulut

TEKNOFEST
İSTANBUL HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

İÇİNDEKİLER

1.	TEMEL SİSTEM ÖZETİ.....	4
1.1.	Sistem Tanımı	4
1.2.	Sistem Nihai Performans Özellikleri	4
2.	ORGANİZASYON ÖZETİ	5
2.1.	Takım Organizasyonu	5
2.2.	Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe.....	6
3.	DETAYLI TASARIM ÖZETİ	9
3.1.	Nihai Sistem Mimarisi.....	9
3.2.	Alt Sistemler Özeti	10
3.3.	Hava Aracı Performans Özeti.....	14
3.4.	Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı	15
3.5.	Hava Aracı Ağırlık Dağılımı.....	17
4.	OTONOM GÖREVLER.....	18
4.1.	Otonom Kilitlenme	19
4.1.1.	Görev Kontrol Yazılımı	19
4.1.2.	Görüntü İşleme Modülü.....	21
4.1.3.	Seyrüsefer Modülü	25
4.2.	Kamikaze Görevi	26
5.	YER İSTASYONU VE HABERLEŞME	28
5.1.	Hava Aracı İçi Haberleşme	28
5.2.	Sungur-YKİ Arası Haberleşme	30
5.3.	Yarışma Sunucusu – Yer Kontrol İstasyonu Arası Haberleşme:.....	32
6.	KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI	32
6.1.	Yer Kontrol Yazılımı.....	32
6.2.	ANATEK Savaşan İHA-YKİ Yazılımı	33
6.2.1.	Yer Kontrol Yazılımının Anlık Durumu.....	33
6.2.2.	Yer Kontrol Yazılımında Geliştirilmesi Planlanan Noktalar	34
7.	HAVA ARACI ENTEGRASYONU	35
7.1.	Yapısal Entegrasyon.....	35
7.2.	Mekanik Entegrasyon	37
7.3.	Elektronik Entegrasyon.....	39
8.	TEST VE SİMÜLASYON	39
8.1.	Alt Sistem Testleri.....	39
8.1.1.	İtki Doğrulama Testi.....	39
8.1.2.	Veri Link Menzil Testi.....	40

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

8.1.3.	Maksimum Uçuş Süresi Testi	40
8.1.4.	Yapısal Test	40
8.1.5.	Rota İyileştirme Testi	41
8.1.6.	Rota Birim Testi.....	41
8.1.7.	Güdümlü Yer Doğrulama Testi.....	42
8.1.8.	Tümleşik Kilitlenme Testi	42
8.2.	Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi	43
8.2.1.	Uçuş Kontrolleri	43
8.2.2.	Yer Testleri	44
8.2.3.	Manuel ve FBWA Kararlılık Testi:.....	44
8.2.4.	Autotune Testi	44
8.2.5.	TECS İyileştirme Testi	45
8.2.6.	L1 İyileştirme Testi	45
8.2.7.	Titreşim ve Perdövites (Stall) Hızı Tespit Testi	45
8.2.8.	Otonom Kalkış Testi	45
8.2.9.	Otonom İniş Testi.....	46
8.2.10.	Otonom Uçuş Testi	46
8.2.11.	GeoFencing Uçuş Testi.....	46
8.2.12.	Failsafe Testi	46
9.	GÜVENLİK (5 PUAN).....	46
10.	REFERANSLAR	48

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ

1.1. Sistem Tanımı

Ülkemizde Teknofest kapsamında gerçekleştirilen Savaşan İHA yarışmasındaki temel hedef, İHA'lara çevresel farkındalık, karar verme ve hareketli ortamlarda bir sonraki hareketini planlama yeteneği gibi özellikler kazandırarak yarışmanın senaryosu olan savaş muharebe alanında rakip İHA'lara ve yerdeki hedeflere başarılı bir şekilde kilitlenmeyi gerçekleştirmektir. Sungur adlı hava aracımızın, geliştireceğimiz algoritmalar sayesinde bu görevi başarıyla gerçekleştirmesi hedeflenmektedir. Bunun yanı sıra yarışma isterlerince hava aracımız kalkış, uçuş ve iniş görevlerini otonom olarak yapacak, veri aktarımını düzenli bir şekilde sağlayacak ve yer kontrol istasyonu (YKİ) ile haberleşmeye sahip olacaktır.

Hava aracı sistemi bir şase ve içerisindeki uçuş kontrol kartı, kamera, GPS, görev bilgisayarı gibi aviyonikler sayesinde verilen görevleri yerine getirecek bununla birlikte telemetri aracılığıyla YKİ ile haberleşecek ve Wi-Fi modülü ile kamera görüntüsünü anlık olarak YKİ'ye iletecek bir sistemdir. Hava aracı komponentlerinin görevleri şu şekildedir:

- İsterleri gerçekleştirmek için gerekli olan konum bilgisi GPS tarafından sağlanacaktır.
- Görev bilgisayarındaki bulunan yazılımlar ve kameradan gelen görüntüler kullanılarak rakip İHA'nın tespiti ve takibi yapılacaktır.
- Uçuş kontrol kartı ise stabil uçuşun sağlanmasından ve görev bilgisayarı tarafından verilen komutların yerine getirilmesinden sorumludur.

YKİ hava aracına komutlar gönderecek, verilen komutların yapılıp yapılmadığını kontrol edecek ve yarışma sunucusu tarafından istenilen bilgileri yarışma sunucusuna iletecek bir kontrol sistemidir. Hava aracının Wi-Fi modülü ile gönderdiği kamera görüntüsü sistem içinde bulunan yer anteni yardımı ile alınacaktır. Kumanda ile gerekli durumlarda hava aracı sisteminin bir pilot tarafından manuel kontrolü sağlanacaktır. Son olarak telemetrinin yer modülü ile İHA'nın konum, hız, doğrultu gibi bilgileri alınıp aynı zamanda YKİ'den verilen komutlar hava aracı sistemine iletilecektir.

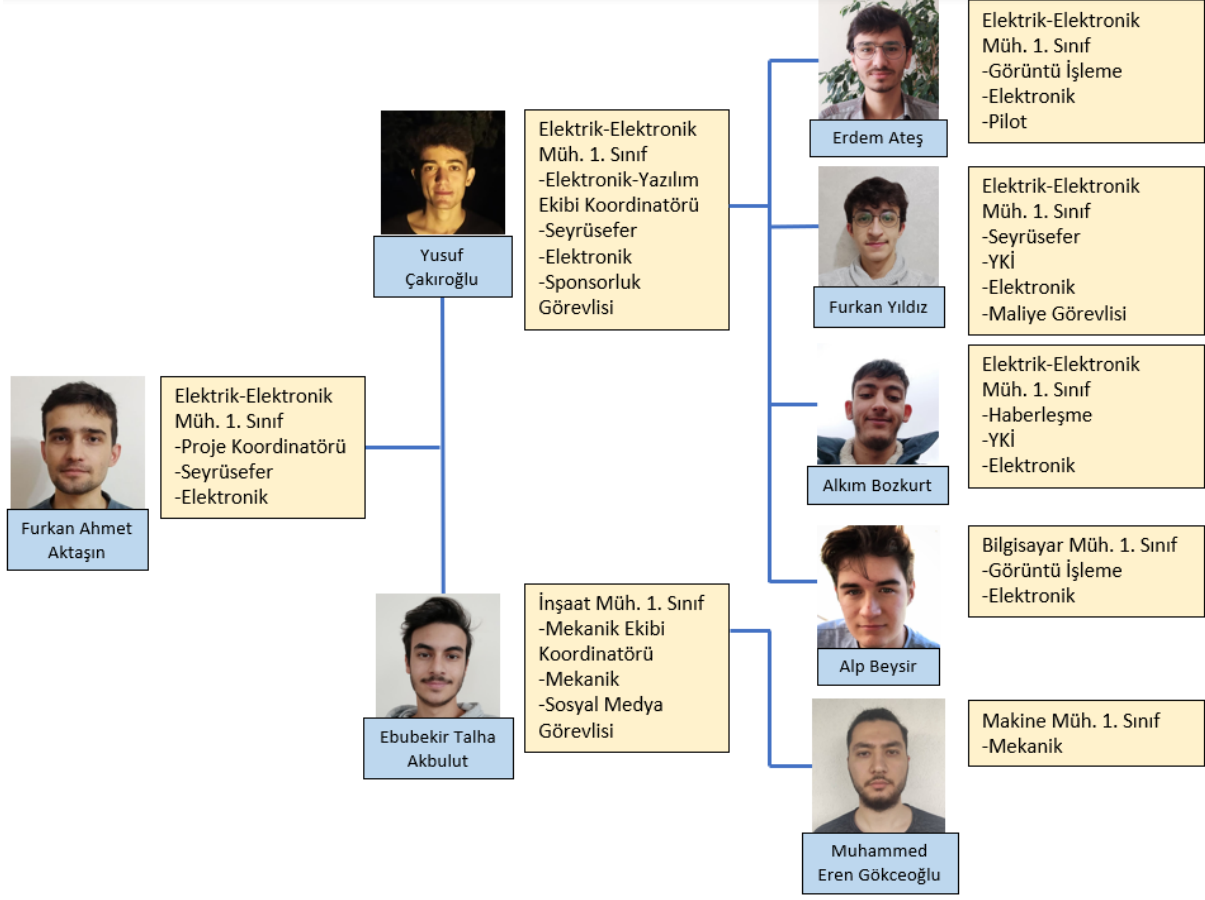
1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri

İtki	3220 g - 32.2 N
Ağırlık	3200 g - 32 N
Uzunluk	1000 mm
Yükseklik	148 mm
Kanat Açıklığı	1718 mm
Uçuş Hızı	18 m/s
Tutunma Hızı	12 m/s
Kalkış Ağırlığı	3200 gram
Birim Maliyeti	3352 \$
Görev Süresi	23 dakika
Görev İrtifası	50-200 metre
İletişim Mesafesi	40 km
İtki Ağırlık Oranı	1

Tablo 1 - Sungur Genel Sistem Performans Özellikleri

2. ORGANİZASYON ÖZETİ

2.1. Takım Organizasyonu



Şekil 1 - Takım Organizasyon Şeması

ANATEK Sungur takımı tamamı Orta Doğu Teknik Üniversitesinde okuyan 8 mühendislik öğrencisinden oluşmaktadır. Ön Tasarım Raporu'ndan bu yana takımımızda bir adet üye değişikliğine gidilmiş olup tabloda belirtilmiştir. Proje planlamasında görev dağılımı yaparken tespit edilen ve tabloda belirtildiği üzere takım üyelerimize atanan rollerin tanımı aşağıdaki gibidir.

Proje Koordinatörü: Takım kaptanlığı görevini üstlenir. Projenin takvime paralel şekilde ilerlediğini kontrol etmekten, haftalık toplantıların yönetilmesinden, proje yönetim süreçlerini iyileştirmekten ve alt birimler arası koordinasyondan sorumludur.

Birim Koordinatörü: Elektronik-Yazılım ekibi ve Mekanik ekibi olarak adlandırılan alt birimlerin yönetilmesinden ve iş dağılımlarının yapılmasından sorumludur.

Görüntü İşleme: Otonom kilitlenme mekanizması için oldukça önemli olan, yapay sinir ağları ile nesne tespiti ve takibi yapan algoritma mimarileri oluşturmak, bu ağları eğitmek için gerekli olan verileri toplamak ve çoğaltmak gibi görevleri gerçekleştirir.

Seyrüsefer: Rakip İHA'nın arkasına geçmek için gidilmesi gereken en kısa rotanın oluşturulması, güdüm sistemlerinin modellenmesi, görev akış dizaynı, İHA'ya aktarılan

verilerin işe yarar şekilde anlamlandırılması ve füzyonu görevlerini gerçekleştirmekten sorumlu olan birimdir.

Elektronik: Yarışma isterleri çerçevesinde platform için gerekli aviyonik birimlerin tespiti ve tercihi, alt sistemlerin entegrasyonu, güç dağıtımının tasarımı ve elektriksel güvenliğin sağlanmasından sorumlu olan birimdir.

Haberleşme: İHA içerisindeki aviyonik parçaların kendi içerisindeki veri iletiminin, İHA platformu ile YKİ arasındaki ve YKİ ile yarışma sunucusu arasındaki haberleşmelerin gerekliliklerini tespit eder. Bu gereklilikler için uygun haberleşme tipinin seçilmesi, gerekli donanımsal birimin seçilmesi ve bu birimlerin istenen biçimde çalışması için gerekli yazılımın geliştirilmesi konularında görev alır.

Mekanik: Yarışma süreci içerisinde gerçekleştirilecek üretimler için prosedürler oluşturmak, gerekli test İHA'larını üretmek, yarışmada tercih etmek üzere itki sistemleri ve şase tercihi yapmak, gerekli montajları yapmak ve mekanik sürdürülebilirliği sağlamak Mekanik ekibinin görevleridir.

YKİ: Yer kontrol istasyonu görevlileri, hazırda bilinen açık kaynak kodlu yer kontrol istasyonlarında bulunmayan ve Savaşan İHA Yarışması için elzem özellikler sunan ANATEK Savaşan İHA-YKİ yazılımının geliştirilmesinden, yarışma hazırlığında ve yarışma esnasında yer kontrol istasyonunun yönetilmesinden sorumludur.

Pilot: Savaşan İHA platformunun ve rakip İHA olarak tasarlanan test platformlarının geliştirme safhaları için planlanan hava testleri esnasında kumandayı kontrol etmekte olan, İHA-1 ehliyetine sahip üyedir.

Maliye Görevlisi: Maliye görevlisi, projenin gerçekleştirilebilmesi için gerekli maddi miktarın belirlenmesinden, takım banka hesabının kontrolünden ve gelir-gider tablolarının düzenlenmesinden sorumludur.

Sponsorluk Görevlisi: Sponsorluk görevlisi, takımımızın maddi ihtiyaçlarını karşılaması amacıyla gerekli sponsorluk görüşmelerinin ayarlanması konusunda görev alır. Bu görüşmeler için gerekli olan takım tanıtım dosyası gibi dosyaları hazırlamakla görevlidir.

Sosyal Medya Görevlisi: Sosyal medya görevlisi, takımımızın yarışma sürecindeki hazırlıklarının ve gerekli sponsorluk bağlantılarının sosyal medyada paylaşılmasında ve takımımızın tanınırlığının artırılmasında görev alır.

2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe

ANATEK Sungur takımı tarafından Savaşan İHA Projesi için planlanan sekiz aylık proje takvimi Tablo 2'de görülebilir.

Aşağıda verilen tabloda yeşil renk ile belirtilen kısımlar, Ön Tasarım Raporu'nda belirtilen süreçte oluşturulan planı, mavi renk ile belirtilen kısımlar, gelinen aşamaya kadar tamamlanan planı, kırmızı ile belirtilen kısımlar ise takvimde gecikme yaşanan kısımlar veyahut hali hazırda KTR sonrası için yapılan planları belirtmektedir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Bölmeler	Aşamalar	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos
Hazırlıklar	Nasa ve Ardupilot Dokümanlarının Okunması	Planlanan	Planlanan							
	Eğitim Amaçlı Test İHA'larının Üretilmesi			Planlanan	Planlanan					
	Savaşan İHA Malzeme Seçiminin Yapılması			Planlanan						
Mekanik	Uçuş Öncesi Analizlerin Yapılması				Planlanan	Planlanan				
	Malzemelerin Temini ile Sistemin Toplanması					Planlanan	Planlanan			
Seyrüsefer	Simülasyon Ortamında Uçuş Denemelerinin Yapılması				Planlanan	Planlanan	Planlanan			
	Güdümlü ve Rota Planlama İçin Literatür Taramasının Yapılması				Planlanan	Planlanan				
	Güdümlü ve Rota Planlama Algoritmalarının Yazılması				Planlanan	Planlanan	Planlanan	Gerçekleşecek		
	Savaşan İHA Yazılımının Toplanması ve Düzenlenmesi					Planlanan	Planlanan	Gerçekleşecek	Gerçekleşecek	
Görüntü İşleme	YOLO vb. Hazır Mimarilerin İncelenmesi ve Kullanılması			Planlanan	Planlanan	Planlanan				
	Detection / Tracker Jetson İçin Benchmark Çıkarılması				Planlanan	Planlanan	Planlanan			
	İHA Tespiti İçin Data Toplanması			Planlanan	Planlanan	Planlanan	Planlanan			
	Datanın Uygun Dağılımlarla Augmente Edilmesi				Planlanan	Planlanan	Planlanan			
Testler	Eğitim Amaçlı Otonom Uçuş Testlerinin Yapılması			Planlanan	Planlanan					
	Otonom Kalkış, Uçuş ve İniş Testlerinin Yapılması						Planlanan	Planlanan	Gerçekleşecek	
	Bilgi Alışverişi ve Görüntü Aktarımı Denemelerinin Yapılması						Planlanan	Planlanan	Gerçekleşecek	
	Savaşan İHA Testlerinin Gerçekleştirilmesi							Planlanan	Planlanan	Gerçekleşecek
YKİ	ANATEK-Savaşan İHA-YKİ İyileştirilmesi								Planlanan	Gerçekleşecek
Raporlar ve Yarışma	Ön Tasarım Raporu				Planlanan					
	Kritik Tasarım Raporu							Planlanan		
	Uçuş Kanıt Videosunun Çekilmesi ve Teslim Edilmesi								Planlanan	Gerçekleşecek
	Yarışma									Planlanan

Tablo 2 – Sungur Savaşan İHA Proje Takvimi

	Planlanan		Gerçekleşen
	Gerçekleşecek		

Takımımız, Aralık ayı itibariyle Savaşan İHA Yarışması için hazırlamış olduğu proje takvimini Ön Tasarım Raporu'nda birebir sunmuştu. Mart ayı itibariyle proje takvimine sadık kalan takımımız Kritik Tasarım Raporu aşamasına gelen sürece kadar birkaç maddede gecikme durumu yaşamıştır.

Yukarıdaki tabloda belirtildiği üzere gecikme yaşanan noktalardan ilki malzemelerin temini ile sistemin tamamlanmasıdır. Takımımızın rapor aşamalarından geçip geçmeyeceğinin belirsizliği ve yoğun sınav haftaları nedeniyle sistemin toplanması Nisan ayından Mayıs ayına ertelenmiştir. Bu zaman aralığında gerekli yazılım üretilmesine ve hazırlık yapılmasına yoğunlaşan ekibimiz, malzeme temini ile sistemin toplanmasını ve toplanan sistem mimarisi yardımıyla yapacağı uçuş testlerini Haziran ve Temmuz aylarında yapmayı planlamaktadır.

Görüntü İşleme ekibinde takım üyesi değişikliğine giden ekibimiz, bu alanda çalışacak yeni bir üye arayışında birtakım zaman kaybettiğinden ve bu süreçte tek kişiyle işleri yürütmesinden ötürü görüntü işleme alanında yapılacak işlerden bir süre geri kalsa da birden çok İHA ile yürütülecek olan Savaşan İHA testlerinin Haziran ve sonrasına ertelenmesi kararlaştırıldığından bu durum herhangi bir sorun teşkil etmemektedir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Seyrüsefer alanında sistem mimarisinin kararlaştırılması ve gerekli araştırmaların ve hazırlıklarının yapılmasının uzun sürmesinden ötürü 1 aylık gecikme yaşanmıştır. Görüntü işleme alanında olduğu gibi bu durum uçuş testlerini etkilemeyecektir.

Yukarıda bahsedilmeyen kısımlar proje takvimine uygun olarak ilerlemektedir veya ilerlemesi planlanmaktadır.

Malzeme Tipi	Malzeme İsmi	Ön Tasarım Raporu Aşaması		Kritik Tasarım Raporu Aşaması	
		Adedi	Toplam Maliyeti	Adedi	Toplam Maliyeti
Hava Hızı Sensörü	Sensirion SPD33	1	50\$	2	140\$
LiPo Batarya	Tattu 10000 mAh 14.8V	2	640\$	2	640\$
ESC	Hobbywing Skywalker 80A UBEC	3	120\$	3	125\$
Görev Bilgisayarı	Nvidia Jetson Xavier NX	1	840\$	0	0\$
Görüntü Aktarım Sistemi (İHA)	Ubiquiti Bullet M5	1	105\$	0	0\$
Görüntü Aktarım Sistemi (YKİ)	LiteBeam-5AC-GEN2	1	110\$	0	0\$
GPS	Here 3 GPS	2	410\$	2	420\$
Güç Modülü	Hex Power Brick Mini	2	70\$	2	60\$
Kamera	Huateng Vision HT-SUA202GC-T	2	740\$	0	0\$
Motor	Sunnysky X3520 780KV	3	210\$	4	250\$
Pervane	APC 12x8	6	60\$	10	40\$
Sigorta	Buton Tipi Sigorta	3	21\$	3	21\$
Şase	Talon X-UAV V2	2	900\$	2	900\$
Telemetri	RFD 868x	1	365\$	1	410\$
Uçuş Kontrol Kartı	Hex Pixhawk Cube Orange	1	400\$	1	430\$
RC Kumanda	Flysky FS-i6X	0	0\$	1	95\$
RC Alıcı	Flysky FS-IA10B	0	0\$	2	68\$
Pitot Tüpü	Pixhawk PX4 Diferansiyel Pitot Tüpü	0	0\$	2	80\$
		Toplam	5041\$	Toplam	3679\$

Tablo 3 - Bütçe Tablosu

Yukarıda görülebilecek olan Tablo 3'te ÖTR aşaması için belirtilen ve KTR aşaması ve sonrası için düzeltilen ve güncellenen Bütçe Tablosu yer almaktadır.

Ön Tasarım Raporu Aşaması adlı sütunda bulunan masraflar 2022 Mart ayı itibariyle güncel olup Sungur Savaşan İHA Projesi'nin gerçekleştirilebilmesi için gereken bütün masrafları göstermektedir. Kritik Tasarım Raporu aşamasına kadar gelinen süreçte bütçe tablomuz satıştan kaldırılan malzemeler dolayısıyla etkilenmiş olup hali hazırda takım envanterimizde bulunan ve sağlamlığı ve işlevselliği elektronik ekibimiz tarafından kontrol edilen aviyonik parçalar bütçe tablosundan çıkarılmıştır. Bu malzemelerin masrafları 0\$ ile gösterilmiştir.

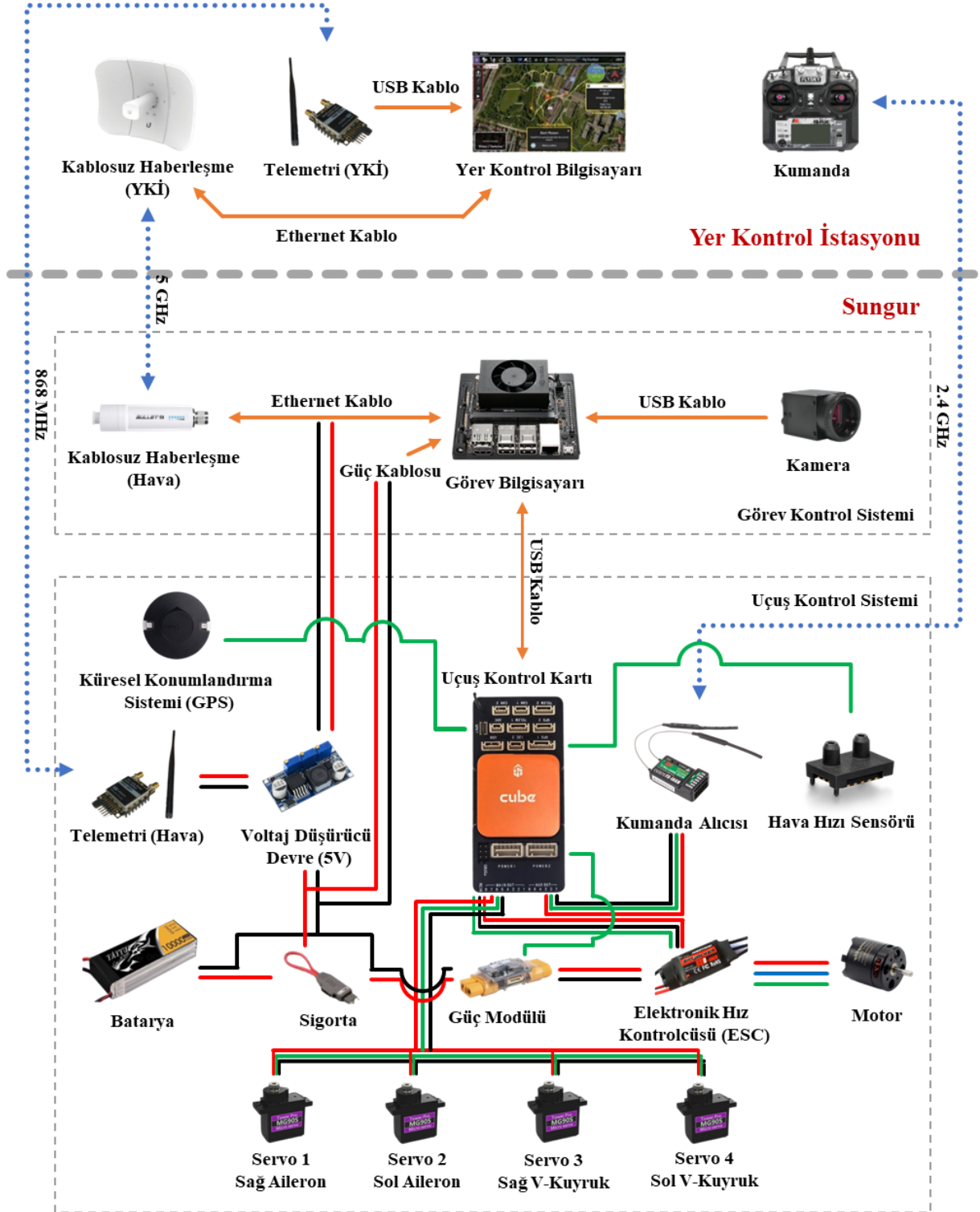
Hava hızı sensörü, motor ve pervane adetlerinde artışa gidilmiş olup bu malzemelerin yarışmaya hazırlık sürecinde projeye herhangi bir engel olmamaları için yedeklenmeleri planlanmıştır. RC Kumanda, RC alıcı ve pitot tüpü bütçe tablosuna eklenmiştir. Motor ve ESC modellerinde değişime gidilmiş olup bütçe tablosuna yansıtılmıştır.

Bütçe tablosunda görüldüğü üzere yukarıda bahsedilmeyen malzemelerin bazılarının fiyatlarında küçük miktarlarda artış veya iniş gözlemlenmekte olup toplam bütçeyi büyük miktarlarda değiştirmemektedir.

Takım envanterinden karşılanan malzemelerin masraflarındaki büyük etki dolayısıyla tabloda görülebileceği üzere ÖTR aşamasında toplam proje maliyeti 5041\$ iken KTR aşamasında bu miktar 3679\$'a inmiştir. 27 Mayıs tarihi itibariyle 16.40 olan Dolar/TL kuru göz önüne alındığında takımımızın projeye ayırması gereken masrafın 60.335,97 TL olduğu belirlenmiştir.

3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ

3.1. Nihai Sistem Mimarisi



Şekil 2 - Nihai Sistem Mimarisi

Nihai sistem mimarisi Tablo 4'te belirtilen ekipmanların uygun kablolarla güç ve veri yolları da belirtilerek Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekildeki kablo renkleri siyah toprağı, kırmızı pozitif gerilimi, yeşil veriyi belirtirken kesikli kablolar kablosuz veriyi göstermektedir. Ayrıca sistemin yazılımsal

mimarisi 4. Otonom Görevler başlığında açıklanmıştır. Şekilde görülebilen görev kontrol sistemi 4.1.1 bölümünde, uçuş kontrol sistemine 4.1.3 bölümünde yer verilmiştir.

Ekipman	Marka/Model
Hava Hızı Sensörü	Sensirion SDP33
Batarya	Tattu 10000 mAh 14.8V
Elektronik Hız Kontrolcüsü (ESC)	Hobbywing SkyWalker 60A UBEC
Görev Bilgisayarı	Nvidia Jetson Xavier NX
Kablosuz Haberleşme (İHA)	Ubiquiti Bullet M5
Kablosuz Haberleşme (YKİ)	Ubiquiti LiteBeam-5AC-GEN2
Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS)	Here 3 GPS
Kamera	Huateng Vision HT-SUA202GC-T
Uçuş Kontrol Kartı	Hex Pixhawk Cube Orange
Güç Modülü	Hex Power Brick Mini
Motor	Sunnysky X3520 780kv
Servo Motor	MG90S
Kumanda	Flysky FS-i6X ve FS-iA10B
Telemetri	RFD 868x
Voltaj Düşürücü Devre	LM2596

Tablo 4 - Elektronik Alt Sistemler

3.2. Alt Sistemler Özeti

Uçuş Kontrol Kartı: Otonom bir insansız hava aracı sisteminin beyni sayılabilecek unsuru uçuş kontrol kartıdır. Burada kullanılması planlanan uçuş kontrol yazılımı olan Ardupilot, yarışma şartnamesinde yer alan insan müdahalesinden bağımsız (otonom) görevleri yerine getirmek için seçilmiştir. Aynı zamanda açık kaynak kodlu olması ile üzerinde çalışmalar yaparak aşinalık kazanabileceğimiz ve gerek duyulduğu zaman ekibimiz tarafından üzerinde geliştirmeler yapabileceğimiz için bize tecrübe eldesi ve özelleştirme gibi avantajlar sağlamaktadır. İsmi geçen bu yazılımı çalıştırmak için ise alt sistem olarak **Hex Pixhawk Cube Orange** isimli uçuş kartı kullanılmaktadır. İçinde bulundurduğu titreşim sönümlenme sistemi, devresinde bulunan yarı iletkenlerin sıcaklığını optimal seviyede tutabilmesi, 3 yedekli ataletsel ölçüm birimi sistemine sahip olması ve çeşitli bağlantı arayüzlerini (I2C, CAN, UART) yapısında bulundurması gibi sebepler de kartın seçilmesinde önemli rol oynamıştır.

Görev Bilgisayarı: Ön tasarım raporumuzda da yer aldığı üzere insansız hava aracı sistemimizin havada gerekli görselleri işleme, anlamlı veri oluşturma ve görev akışını otonom olarak yönetme amacıyla uçuş kontrol kartının yanında bir de görev bilgisayarı bulunmalıdır. Bu bilgisayarın tercihi yapılırken mobilitesi, grafik işleme ünitesi bulundurması ve CAN, I2C, UART gibi haberleşme arayüzlerine sahip olması sebebiyle daha öncesinde de HU-35X ekibimiz tarafından kullanıldığı için aşına olduğumuz Nvidia Jetson ailesi incelenmiştir. Bu aile içerisinde yer alan üyeler içerisinde boyutu, muadillerine göre derin öğrenme algoritmalarını daha hızlı çalıştırması ve işlediği verilerin anlamlı sonuçlarını gerçek zamanlı olarak uçuş kontrol kartına aktarabilmesi sebebiyle **Nvidia Jetson Xavier NX** isimli görev bilgisayarı tercih edilmiştir.

Kamera: Sungur'un rakip insansız hava araçlarının konumunu belirleyebilmesi için bir sensöre ihtiyacı vardır. Bu sensör; radar, lazer, ultrasonik mesafe sensörü, kamera veya daha farklı bir elektronik ekipman olabilir. Yarışma şartnamesinde bizden görüntü ile kilitlenme istendiğinden rakip rakip insansız hava araçlarını tespit etmede sensör olarak kamera kullanılacaktır.

Kameranın sağladığı görüntü kalitesi, nesne tespiti ve otonom kilitlenme performansını doğrudan etkilemektedir. Nesne tespiti için görüntünün keskin olması önemlidir. Blurlu görüntülerde nesne tespit algoritmalarının tam performansla çalışmadıkları göz önünde alınarak buna seçimde buna dikkat edilmiştir. Görüntüde keskinlik ve kaliteyi yakalamak adına, tercih edilecek kameranın şu özelliklere sahip olması gerektiği belirlenmiştir:

a. Sensör: Kamera sensörünün dinamik aralığı yüksek, sinyal/gürültü oranı düşük ve az ışığa duyarlı olmalıdır. Sensör, kızılötesi ışın filtresi bulundurmalıdır. Bu filtre görünür aralık dışındaki elektromanyetik dalgaların gürültü oluşturmasını engeller. Sensör, aynı zamanda küresel deklanşöre de sahip olmalıdır. Son birkaç yıldır gelişen küresel deklanşör teknolojisi ile hareket esnasında görüntünün blurlanması problemi önemli ölçüde aşılmıştır. Yarışma sırasında kameranın sürekli hareket halinde ve ani manevralar eşliğinde çalışacağı düşünüldüğünde kamera tercihinde belirleyici kriterlerden birisidir.

b. Kare Hızı: Görüntü işlemeyle elde edilecek bilgi otopilot tarafından sensör verisi olarak kullanılacağından bu sensör verisini aktarma hızı yüksek olmalıdır. Bu hızı etkileyen faktörlerden birisi de kare hızıdır. Seçilecek kamera en azından 60 Hz yenileme hızına sahip olmalıdır.

c. Çözünürlük: Nesne tespit işleminde görüntünün piksellerinden faydalanılacaktır. Bu nedenle çözünürlük mümkün olduğunca yüksek olmalıdır.

d. Lens: Kamera sensörü ile beraber değerlendirildiğinde standart FOV açısına sahiptir.

Tüm bu kriterler değerlendirildiğinde isterlerimizin tamamını bünyesinde bulunduran endüstriyel tipteki **Huateng Vision HT-SUA202GC-T** kamerası tercih edilmiştir.

GPS: İnsansız hava aracı sistemimiz, belirlenen yarışma alanının içerisinde kalmak ve yarışma şartnamesinde belirtilen görevleri başarıyla tamamlamak amacıyla konum bilgilerine gerek duymaktadır. Bu amaçla sistemimizin, doğruluk ve yaygınlık açısından ülkemizdeki en iyi sistem olan küresel konumlandırma sistemine (GPS) entegre edilmesi kararlaştırılmıştır. Bu sebeple de veri akışı yüksek bir GPS modülü kullanılması gerekmektedir. CAN protokolünü kullanarak uçuş kontrol kartı ile haberleşebilen, sahip olduğu U-BLOX M8P yongasının 8 Hz'lik yenileme hızı ile tatminkar bir veri akışı sağlayan ve sahip olduğu IMU ile yüksek doğruluklu konum bilgileri elde etmemizi sağlayan **Here 3 GPS** modülü isterleri karşılama sebebiyle GPS alt sistemi olarak tercih edilmiştir.

Telemetri: Hem yarışma hem de uçuş testleri sırasında telemetri verilerinin yer kontrol bilgisayarına yüksek yenileme hızı ve düşük kesinti süreleriyle iletilmesi, verilerin gerçek zamanlı gözlenebilmesi ve gerekli durumlarda istenilen müdahalelerin yapılabilmesi adına önemlidir. Muadillerine kıyasla birim zamanda daha yüksek veri iletim hızlarına sahip olması ve 40 kilometrelik sunduğu menzile ile testlerde uçuş kontrol yazılımının davranışlarının mesafe kısıtlaması olmadan gerçek zamanlı olarak incelenebilmesine olanak tanınması sebebiyle **RFD**

868x isimli telemetri çifti, yer kontrol bilgisayarı ile insansız hava aracı sisteminin haberleşmesi için tercih edilmiştir. Aynı zamanda haberleşirken kullandığı 868 mHz civarındaki veri bandı aralığı ile yarışmanın gerçekleşeceği bölgenin yasal frekans bantı aralığında yer almaktadır. Nispeten diğer rakiplerine göre daha güvenli olan açık kaynak kodlu MAVLink v2.0 haberleşme protokolünü desteklemektedir. Bu anlamda kullandığı açık kaynak kodlu iletişim protokolü sayesinde gerekli düzenlemeler yapılarak uçuşa ait verileri gerekli yazılım arayüzlerinin kullanılmasıyla yerden havaya veya havadan yere MAVLink protokolü ile paketlenerek gönderilmesi mümkün olmaktadır.

Güç Modülü: Uçuş kontrol kartını ve yardımcı birimlerini beslemek amacıyla 8 hücreye kadar LiPo pili destekleyen ve güç hesaplarımız neticesinde çekilebilecek maksimum akımın üstünde olan 90 amperlik anma akımı özelliği sebebiyle ProfiCNC tarafından tasarlanan **Hex Power Brick Mini** güç modülü kullanılacaktır.

Hava Hızı Sensörü: İnsansız hava aracının içinde bulunduğu akışkan ortamın hızının yüksek doğrulukla ölçülebilmesi amacıyla hava hızı sensörü kullanılması planlanmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu otomatik kalibrasyon, yüksek örnekleme hızı ve yüksek doğruluk oranı gibi özelliklere sahip olması sebebiyle hava hızı sensörü olarak **Sensirion SPD33** modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. Aynı zamanda bu modelin muadillerine kıyasla sahip olduğu küçük boyutu ve hava sıcaklığındaki değişimlere karşı adaptif yapısı da bu modeli başarılı kılan diğer özelliklerindedir.

RC Kumanda: RC kumanda olarak **Flysky FS-i6X**, Sungur'da konumlandırılacak alıcı olarak ise **FS-iA10B** tercih edilmiştir. FS-i6X 10 kanala sahiptir. Piyasada muadili diğer ürünlere göre sahip olduğu düşük tepki süresi ve yeterli menzili de göz önüne alındığında Flysky FS-i6X~FS-iA10B sistemi yarışma için uygun görülmüştür.

Wi-Fi Modülü: Hava aracında elde edilen görüntülerin yer kontrol istasyonuna dijital olarak aktarılması ekibimiz tarafından veri güvenliği ve kalitesi açısından önemli bulunmuştur. Bu aktarımı gerçekleştirebilmek maksadı ile yer kontrol istasyonunda ve hava sisteminde Wi-Fi modülleri kullanılacağı ön tasarım raporunda belirtilmiştir. Sinyalin en verimli aktarımı için araç üzerinde kullanılacak antenle yer istasyonunda kullanılacak antenin aynı polarizasyona sahip olması gerekmektedir. Fakat piyasada yüksek kazançla sahip uzun mesafelere varabilen ve dairesel polarizasyona sahip uygun yönlü bir anten bulunmamaktadır. Bunun için yer kontrol bilgisayarında kullanılacak anten dual polarizasyona (hem yatay hem dikey ekseninde linear polarizasyon) sahip olacaktır. Bunun için **Ubiquiti LiteBeam-5AC-GEN2** cihazı uygun görülmüştür. LBE-5AC-GEN2 hem kendi radyo vericisine hem de yüksek kazançlı bir antene sahiptir. Araç üzerinde kullanılmak üzere alıcı da **Ubiquiti Bullet M5** olarak seçilmiştir. Bullet M5 muadillerine göre küçük boyutu ve görece daha az olan ağırlığı ile öne çıkması seçiminde belirleyici olmuştur. Sistem bu haliyle 5.0-5.8 GHz veribandı aralığında haberleşebilmekte ve yönlü olarak 3 kilometrelik menzile sahip olmaktadır.

Yer Kontrol Bilgisayarı: YKİ yazılımlarının kullanımı için Ubuntu işletim sistemli bir kişisel bilgisayarın kullanımı uygun görülmüştür.

İtki Sistemi: İtki sistemi tercihi yapılırken kullanacağımız platformun tahmini ağırlığı ve yüksek ivmelenme ihtiyacı göz önünde bulundurulmuştur. Uçağın ağırlığının aviyonikleriyle

beraber 3200 gram olacağı hesaplanmıştır. Kalkışta ve dikey manevralarda problem yaşamamak adına platformun T/W (Thrust/Weight, tr. İtki/Ağırlık) oranının 1 civarında tutulması uygun görülmüştür. Bu anlamda motor pervane ikilileri incelenmiştir. Ön Tasarım Raporunda belirtilen motor pervane ikilisinde güncellemeye gidilmiş ve aynı motorun benzer verilere sahip yeni serisi olan **Sunnysky X3520 780kv** motoru tercih edilmiştir. Yeni seriyi tercih etmemizdeki temel unsur şirketin motorların veri sayfasında önceki seride mevcut titreşim soğutma gibi problemlere bulduğu çözümleri geliştirmiş olduğunu iddia etmesi ve bunun HU-35X ekibimiz tarafından da artılarının gözlemlenmiş olmasıdır.

Motor	Pervane	Gerilim (V)	Çekilen akım (A)	Güç (Watt)	İtki(Gram)	Verimlilik (gram/Watt)
SunnySky X3525-880kv (ÖTR)	12*6	14,8	50,3	744,44	3100	4,16
SunnySky X V3 X3520 780kv(KTR)	13*6.5	14,8	54,6	808,08	3220	3,98

Tablo 5 - Motor Pervane İtki-Verim Verileri

Batarya-ESC: Tüm sistemi beslemek için ekip envanterinde bulunan **Tattu 10000 mAh 14.8V** bataryası tercih edilmiştir. 3.3 Hava Aracı Performans Özeti'nde hesabı bulunmakla birlikte, bu batarya ile insansız hava aracımız 22.7 dakika havada kalabilmektedir. Bunların yanı sıra motorların hızını kontrol edebilmek amacıyla **Hobbywing SkyWalker 80A UBEC** esc devresi tercih edilecektir. Anma akımının bataryadan çekilecek maksimum akımdan yüksek olması ve servoları beslemek için UBEC devresine sahip olması sebebiyle sistemle uyum içerisinde çalışacak bir hız kontrolcüsüdür.

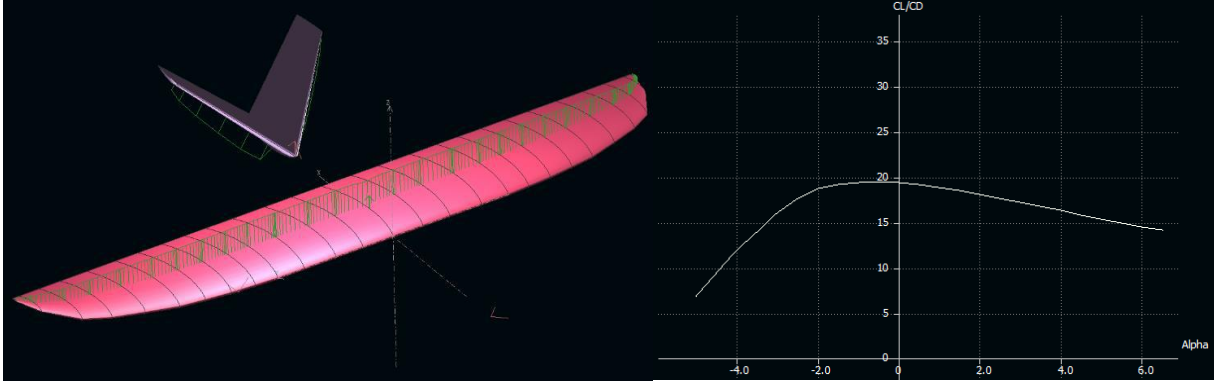
Servo Motor: Platformun kanatçıklarını hareket ettirmek için düşük boyutu (12mm x 32.5mm x 32.5mm), hafif yapısı (13g), hızı (60derece/0.1s), yeterli sıkışma torku (1.8kg/cm), 180 derecede 1 derece çözünürlüklü çıktı alımı ve düşük güç tüketimi ile **MG90S** servo tercih edilmiştir. Kanatlar ve V kuyruk için ikişer adet olmak üzere toplamda dört adet kullanılacaktır.

Sigorta: Olası kırım durumlarında platformlar büyük hasar alabilmekte, kablo bağlantıları hasar görebilmektedir. Herhangi bir kısa devre durumunda hava aracı içerisinde ortaya çıkabilecek yüksek ısı enerjisi yangına mahal verebilir. Bunun önüne geçebilmek için elektronik hız kontrolcüsünün pozitif ucuna sigorta bağlanması gerekmektedir. Bu sigorta aynı zamanda dışarıdan ulaşılabilecek şekilde bir anahtar görevi görmeli ve operasyonel çalışma amperinin üstünde bir değere sahip olmalıdır. Bu şartlar göz önünde bulundurulduğunda **Agus 500A-3sn Devre Kesici** anahtar sistemimizde sigorta olarak yer alacaktır.

Voltaj Düşürücü: Sistem üzerinde bulunan Jetson Xavier NX ve RFD 868X Telemetri sistemleri 5V hat üzerinden beslenmektedir. 14.8 V'luk batarya voltajını 5 Volt seviyesine çekmek ve adı geçen sistemlere güç sağlamak amacıyla piyasada yaygın olarak kullanılan **LM2596** ayarlanabilir voltaj regülatörü kullanılacaktır.

3.3. Hava Aracı Performans Özeti

Performans Analizi:



Şekil 3 – Sungur'un XLFR5 Programı Üzerinde CL/CD Analizi

Sungur'un kanatları ve kuyruğu XLFR5 programı üzerinde analiz edildiğinde kaldırma kuvveti/sürüklenme kuvveti (CL/CD) oranının sabit hız ve irtifada yaklaşık olarak 19 değerine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 3). Gövdenin, hava aracının yüzeyindeki pürüzlerin ve gövde dışına yerleştirilen aviyoniklerin, (örn. GPS) yarattığı sürüklenme kuvveti ile bu değer 10'a düşeceği öngörülmektedir. Hava aracının sabit hızda uçuşu için dikey ve yatay eksenlerde kuvvetlerin dengelenmesi gerekmektedir ($T/W = D/L$). Buna göre: $L=W$, $T=D$ eşitlikleri sağlanmalıdır. Hava aracının ağırlığı (W) 3200g olduğunda üretilen kaldırma kuvvetinin de (L) 3200g olması gerekmektedir. $CL/CD=L/D$ eşitliğinden hava aracının üreteceği sürüklenme kuvvetinin (D) 320g olacağı, buradan da gerekli itki kuvvetinin (T) 320g olması gerektiği bulunur. Yani uçağın sabit hız ve irtifada uçabilmesi için motorun 320g'lık bir itki kuvveti vermesi gerekmektedir. Ancak Savaşan İHA gibi agresif manevralara bolca ihtiyaç duyulacak bir yarışmada itki ihtiyacının daha büyük olduğu açıktır. Yarışma esnasında ihtiyaç duyulacak vücut (body) x ekseninde pozitif ivmelenme ve gerçekleşecek irtifa değişimleri göz önünde bulundurulduğunda fazladan itki (excess thrust) ihtiyacını ortalama 1700 gramlarda tahmin etmekteyiz. Bu sayede vücut x ekseninde ortalama 5 m/s^2 lik bir pozitif ivmelenme değeri yakalayabiliriz. Bu şekilde:

İtki Kuvveti (T) = Fazladan İtki Kuvveti (Excess Thrust) + Sürüklenme Kuvveti

eşitliğinden ortalama 2000g'lık bir itki kuvveti (T) değeri elde etmiş oluruz. Motor üretici veri değerleri dökümanında bu kuvvetin karşılığı olarak ihtiyaç duyulan elektrik gücü 381 W olarak verilmiştir.

Maksimum havada kalma süresi: Hava aracımızın maksimum havada kalma süresi hesaplanırken öncelikle teorik hesaplamalar yapılmıştır. Elektronik sistemlerin tüketecekleri güç Tablo 6'da belirtilmiş olup toplam 422 Watt'lık güç ihtiyacı için ortalama 16 Volt gerilimli bir bataryadan 26.4 amper çekilmesi gerekmektedir. Sahip olunan 10.000 mAh batarya 26.4 amperlik akımı 22.7 dakika sağlayabilecektir. Yapılan hesaplamalar aşağıda belirtilmiştir:

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

$$\text{Güç} = \text{Gerilim} * \text{Akım} \quad (1)$$

$$422 \text{ W} / 16 \text{ V} = 26.4 \text{ A} \quad (2)$$

$$\text{mAh Değeri} / (1000 * \text{Akım}) = \text{Uçuş Süresi} \quad (3)$$

$$10000 \text{ mAh} / (1000 * 32.5 \text{ A}) = 0.378 \text{ Saat} = 22.7 \text{ Dakika} \quad (4)$$

Parça İsmi	Adet	Çalışma Gerilimi (V)	Ortalama Akım (A)	Tüketilen Güç (W)
Pixhawk Cube	1	5	2	10
RFD Telemetry	1	5	1	5
Servo Motor	4	5	0.5	10
Xavier NX	1	5	2	10
Wi-Fi Modülü	1	16	0.375	6
Motor	1	16	23.8	381
Toplam				422

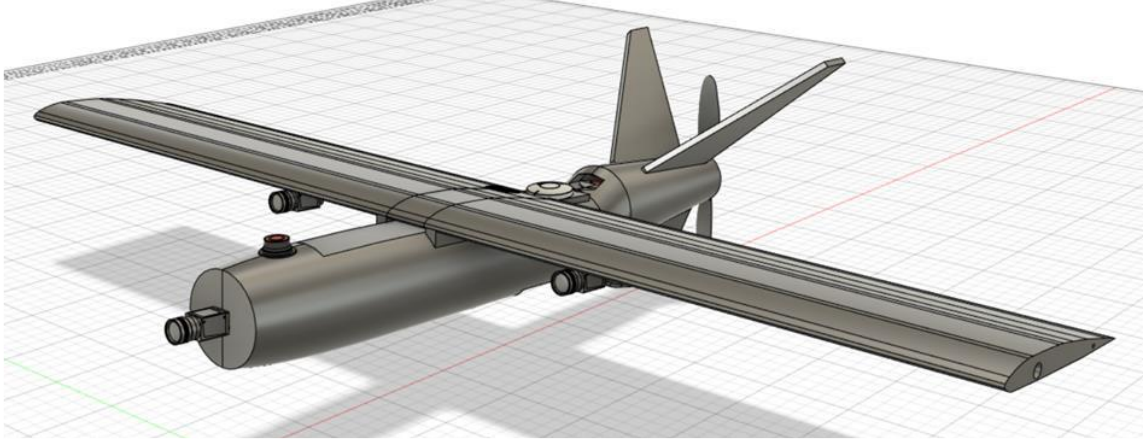
Tablo 6 - Elektronik Alt Sistemler Güç Değerleri

Görüldüğü üzere yapılan analiz ve hesaplamalar sonucunda HU-35X hava aracı 22.7 dakika havada kalabilmektedir. Bu süre bir müsabaka süresinden yaklaşık 8 dakika fazla olmakla birlikte yarışma isterlerine uygundur. Alternatif olarak uçuş süresi değeri elde etmek için maksimum havada kalma süresi tespit test prosedürü hazırlanmıştır. Test aşamaları 8.1 alt sistem testleri bölümünde mevcuttur. Bu test henüz yapılmamış olup yaz çalışma planında yer almaktadır.

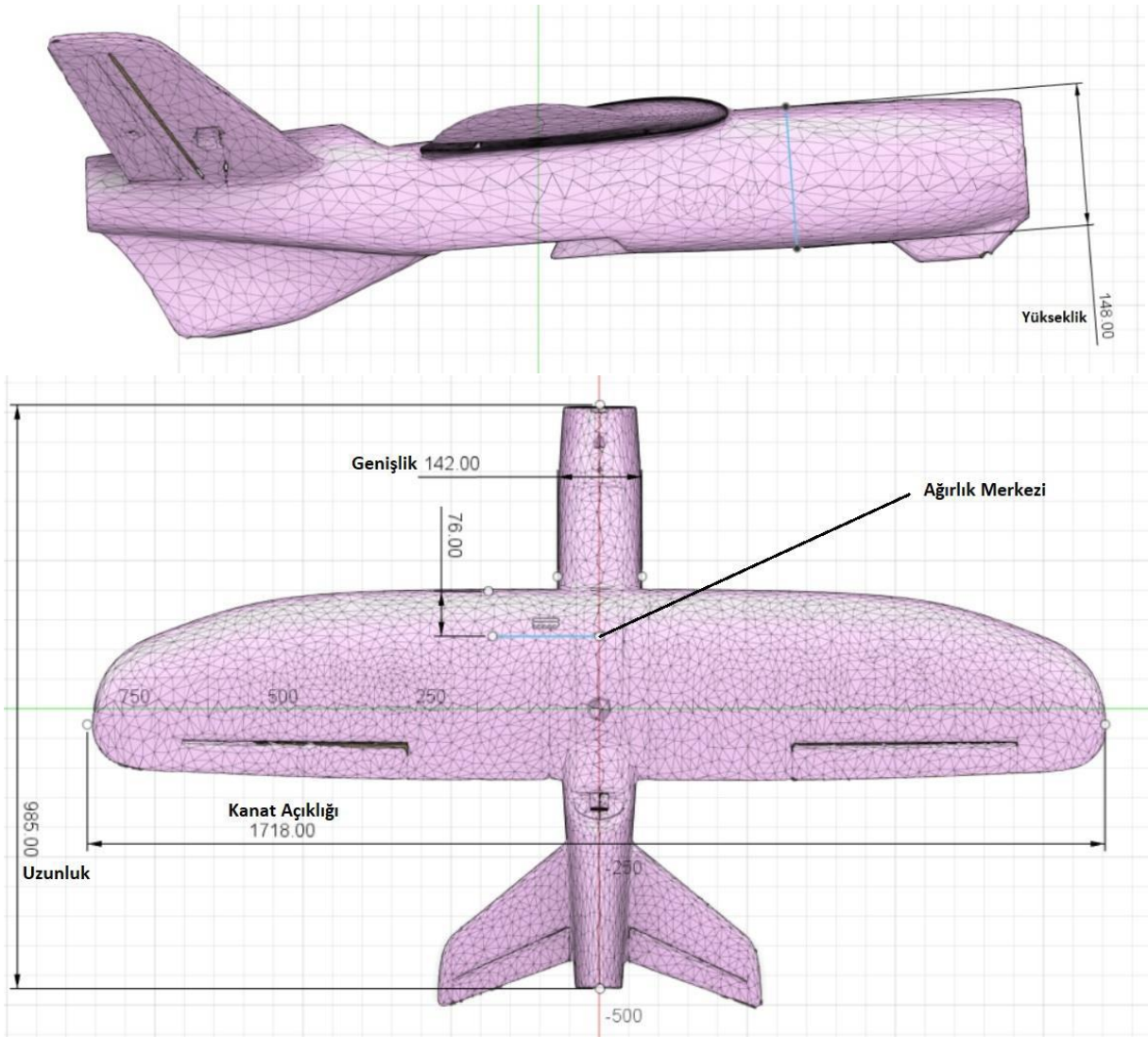
3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı

HU35-X'in aviyonik entegrasyonu yapılırken kullanılan aviyoniklerin boyutları, ağırlıkları, İHA'nın ağırlık merkezine olan uzaklıkları ve kablolarının minimum uzunlukta olması hususlarına dikkat edilmiştir. Yine özellikle batarya gibi sıklıkla hava aracından çıkartılması gereken veya kablo bağlantılarının kolay erişilebilir olması gereken aviyoniklerin konumları üst kapak bölümüne yakın seçilmiştir. Elektroniklerin güç ve veri hatlarının birbirlerini en az etkileyecek şekilde, örneğin yüksek akım geçecek güç kablolarının telemetri sinyalini etkilememesi için birbirinden uzak yerlere konulması da göz önünde bulundurulmuştur. HU-35X'in CAD çizimi Şekil 4'te, mm cinsinden boyutları Şekil 5'te, içerisine yerleştirilen aviyoniklerin konumlandırılması Şekil 6 ve 7'te gösterilmiştir. Kablo, kanatlardaki ve kuyruktaki servolar dahil edilmemiştir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

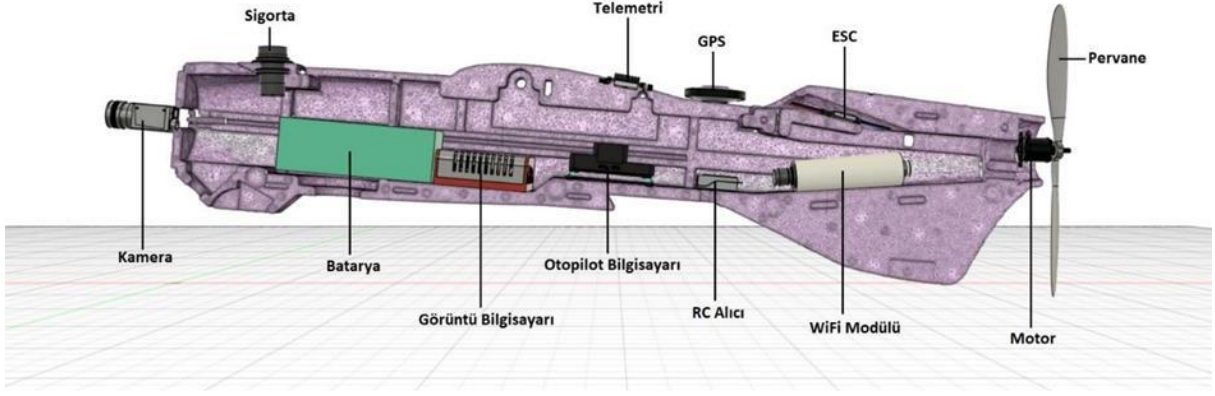


Şekil 4 - Hava Aracı CAD Çizimi



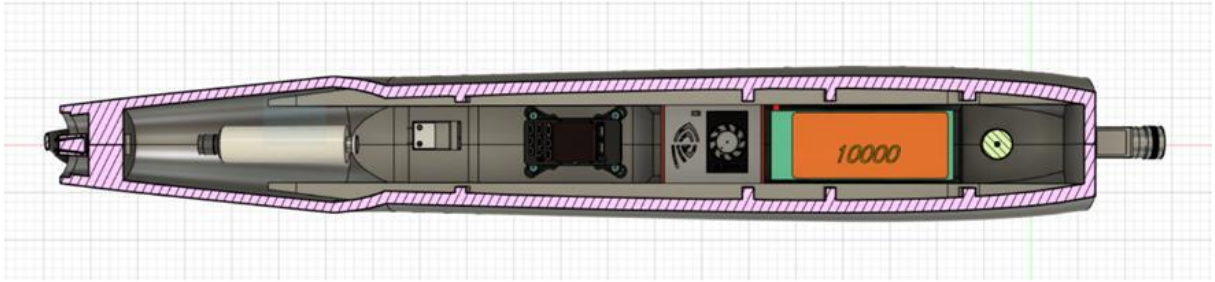
Şekil 5 - Platform Ölçüleri

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 6 - Alt Sistemler Araç İçi Yerleşimi (Yan Kesitten Görünümü)

X



Şekil 7 - Alt Sistemler Araç İçi Yerleşimi (Üstten Görünümü)

3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı

Alt Sistem	Ağırlık (g)	x Koordinatı (mm)	y Koordinatı (mm)	Moment (Dikey, g*mm)
Batarya	921	0	238,785	219920,985
Uçuş Kontrol Kartı	99	0	-124	-12276
Telemetri	43	10	-166	-7138
Görev Bilgisayarı	210	0	20	4200
Sigorta	18	0	270	4860
Kamera (sol kanat)	85	-295	0	0
Kamera (sağ kanat)	85	295	0	0
Kamera (ön)	85	0	413	35105
Motor	219	0	-600	-131400
ESC	20	0	-373	-7460
GPS	50	0	-232	-11600
Wifi Modülü	180	0	-372	-66960
Pervane	38	0	-628	-23864
RC Alıcı	14	-30,71	-242	-3388
Diğer	133	0	0	0
Toplam Ağırlık	3200	Toplam Moment		-0,015

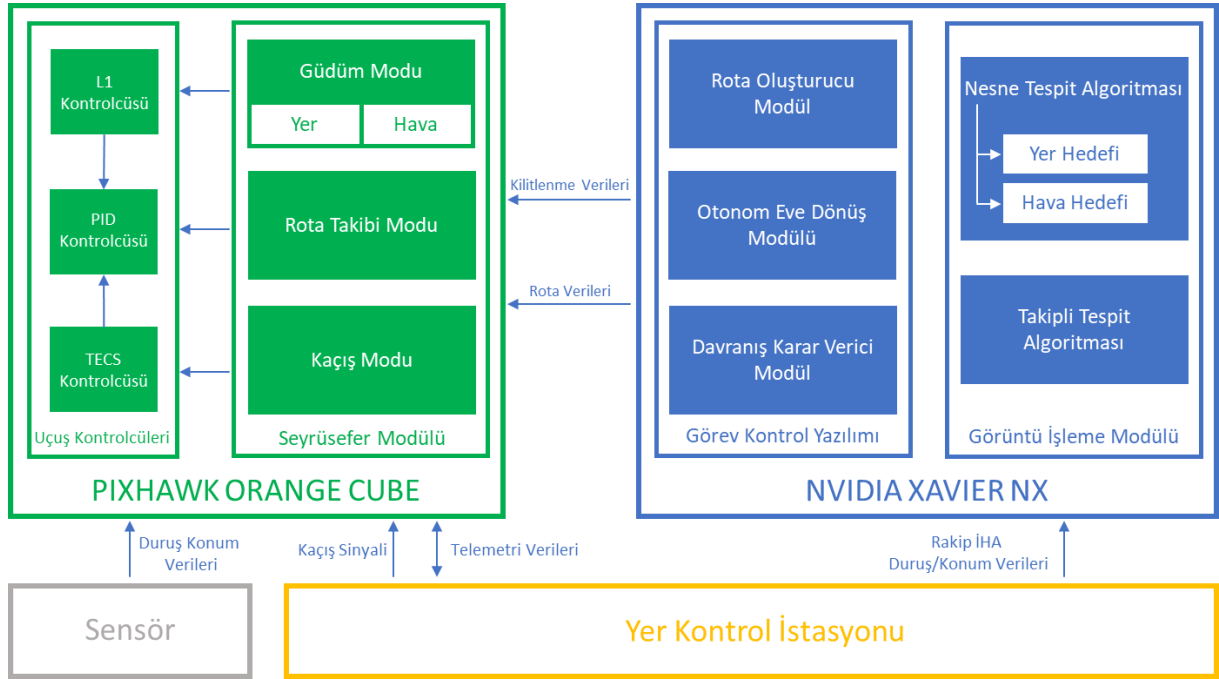
Tablo 7 - Ağırlık Dağılımı

Hava aracının ağırlık dağılımı hesabı yapılırken alt sistemlerin ağırlıkları yaklaşık olarak orta noktalarından alınmıştır. Moment hesabı yapılırken referans noktası, koordinat sisteminin

orijini, hava aracının üreticisi tarafından belirlenen ağırlık merkezi olarak yani kanat ucundan 76 mm geride olarak belirlenmiştir. 3.4 bölümünde de yer alan Şekil 5'te hava aracının kanat ucuna göre ağırlık merkezi ve Tablo 7'de alt sistemlerin bu nokta referans alınarak koordinatları ve ağırlıkları verilmiştir. Kablolama ve servolar ağırlık dengesi hesabına katılmamıştır. Pil, her uçuş öncesinde tekrar yerine monte edildiğinden, tasarımdaki yaptığımız genişlik sayesinde her defasında ağırlık merkezi üzerinde hassas bir ayar yapma imkanımız bulunmaktadır. Koordinatlar bir önceki bölümdeki görsellerle örtüşmektedir.

4. OTONOM GÖREVLER

Savaşan İHA görevi ve Kamikaze İHA görevini gerçekleştirmesi planlanan Sungur'un yazılım mimarisi aşağıda verilmiştir.

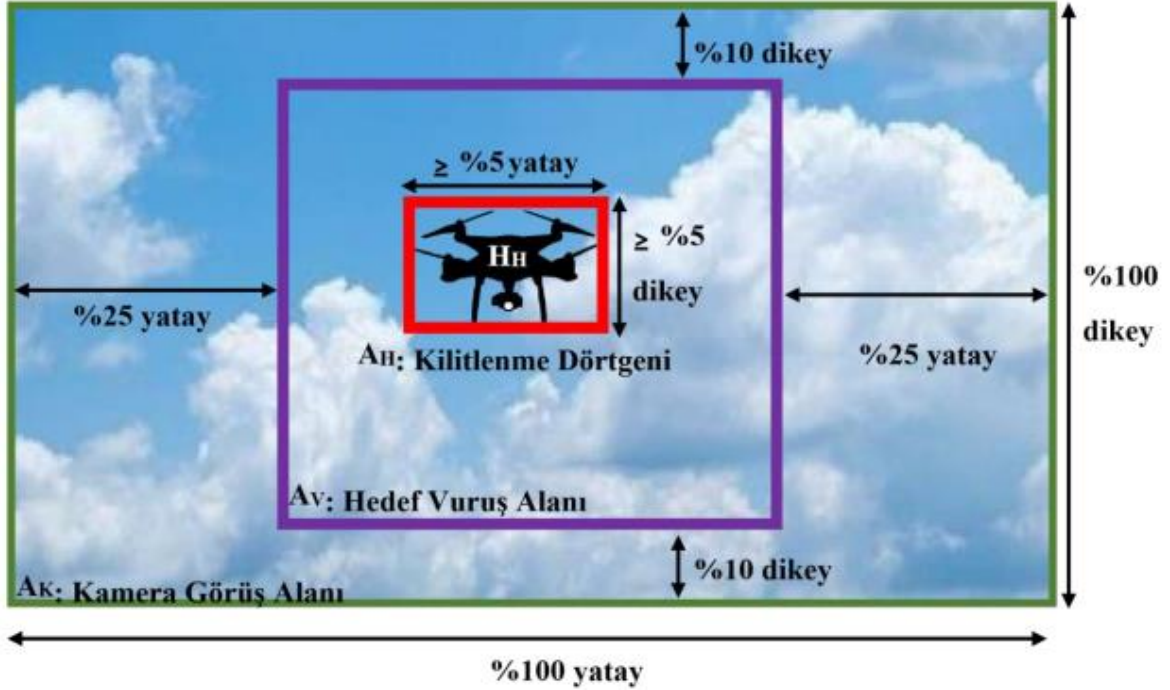


Şekil 8 - Sungur Yazılım Mimarisi

Şekil 8'de görüldüğü gibi otonom kilitlenme algoritmasının 3 adet ögesi bulunmaktadır. Bunlardan Görüntü İşleme Modülü ve Görev Kontrol Yazılımı paralel olarak Xavier NX donanımında, Seyrüsefer Modülü ise Cube donanımında çalıştırılacaktır. Algoritma Sungur platformunun uzun süreli kilitlenmeyi başarabilmek için rakip İHA'ya göre bağıl hızı düşük olacak şekilde İHA'nın nesne tespitini yüksek doğrulukta yapacağı bir konuma gelmesini sağlamaktadır. Bu görev rakip arkasına geçerek başarılmaya çalışılacaktır. Görev Kontrol Yazılımı ile bir rota oluşturulur ve Seyrüsefer Modülü ile bu rota takip edilir. Rakip İHA'nın arkasına geçildikten sonra paralelde çalışan Görüntü İşleme Modülü ile nesne tespiti yapılır. Seyrüsefer Modülü ile bu bilgiler eşliğinde rakip İHA'yı kilitlenme şartları içerisinde tutmak için gereken açısız ve hızsal parametreler hesaplanır ve güdümlü gerçekleştirilir. Bununla birlikte, Davranış Karar Verici Modül Kamikaze İHA görevi için yer hedefine kilitlenmeye karar verdiğinde yer hedefi uygun açı ile görülecek şekilde rota oluşturulur. Yer hedefi görüntü içerisine girdikten sonra nesne tespiti yapılarak Seyrüsefer Modülü ile hedef vuruş alanında tutulmaya çalışılır ve böylece kilitlenme gerçekleştirilmiş olur.

4.1. Otonom Kilitlenme

Savaşan İHA yarışması için hazırladığımız İHA'mızı diğer İHA'lardan ayıran temel özellik barındırdığı otonom kilitlenme sistemidir. Bu sistem dış dünyaya dair kendi konum ve durum verilerini, rakip İHA'lara dair alınan verileri ve sabit konumlandırılmış kamerasından elde ettiği verileri kullanıp çıktı olarak rakip İHA'ya göre nasıl bir konum ve durumda bulunması gerektiğini tespit etmelidir. Yarışma şartnamesinde, kamera görüntüsü üzerinde rakip İHA'ların boyutları, enlem ve boylam olarak görüntü boyutlarının %5'inden fazla olması, en az 4 saniye sürmesi, tespit edilen İHA'nın tespit dörtgeni içerisinde dikeyde merkezden dışarıya doğru %80 yatayda ise merkezden dışarıya doğru %50 piksel konumları içerisinde yer alması ve bunları otonom bir şekilde gerçekleştirmesi gerektiği belirtilmiştir.

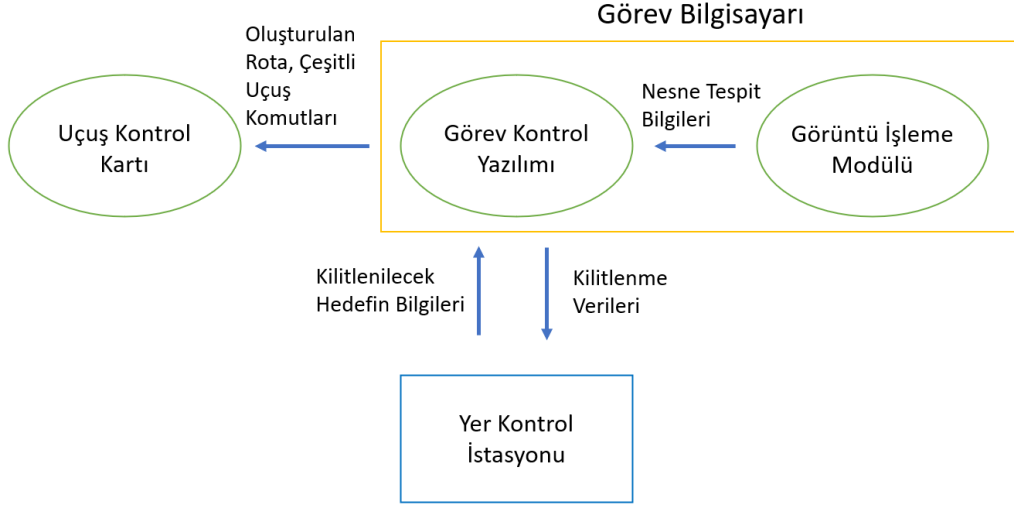


Şekil 9 – Örnek Vuruş Alanı[1]

4.1.1. Görev Kontrol Yazılımı

Görev Kontrol Yazılımı, görev bilgisayarında çalışacak olan birtakım algoritmaların ana başlığı olup Sungur'un otonom kilitlenme mekanizması için önemli bir yeri vardır. Görev Kontrol Yazılımı, otonom kilitlenme görevinin gerçekleştirilebilmesi için gereken haberleşmeler için bir köprü görevi görürken ek olarak da Sungur'un gerçekleştireceği birçok hareket için düzenleyici görev alır.

Şekil 10'da görülebileceği üzere, Görev Kontrol Yazılımı, yer kontrol istasyonundan alınacak olan otonom kilitlenme yapılacak hedeflerin bilgilerinin alınması, kamera yardımıyla anlık olarak işlenen görüntünün durumunun görüntü işleme modülünden alınması ve bu verileri kullanarak uçuş için gerekli algoritmalar aracılığıyla otonom kilitlenme için gerekli zemini hazırlar. Bunlara ek olarak, işlediği verileri uçuş kontrol kartına ileterek bu bilgilerin Sungur'un hareketine yansımını sağlar.



Şekil 10 – Görev Kontrol Yazılımının Sistemdeki Yeri

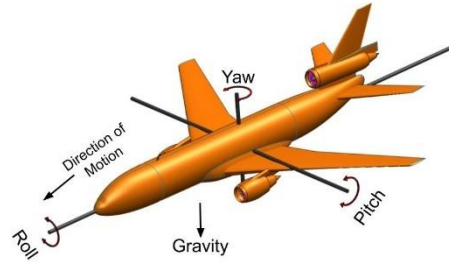
Görev Kontrol Yazılımı 3 alt başlıktan oluşmakta olup açıklamaları aşağıda verilmiştir.

A) Rota Oluşturucu Modül

Otonom kilitlenme yapılması planlanan İHA'nın konumunun yer kontrol istasyonu aracılığıyla Görev Kontrol Yazılımı'na iletilmesiyle birlikte Rota Oluşturucu Modül devreye girer. Rota Oluşturucu Modül, kilitlenilmesi planlanan İHA'nın verilerini kullanarak Sungur'u hedef İHA'nın tam arkasına geçecek şekilde bir rota planlanmasını gerçekleştirir.

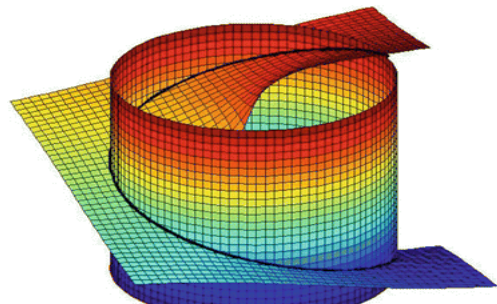
Sungur'un bir sabit kanatlı İHA olması sebebiyle bulunduğu noktadan belirli bir noktaya çizgisel olarak gitmesini sağlamak mümkün olmamaktadır. Bu sebeple, otonom kilitlenme yapmak üzere hedef İHA'nın arkasına geçme işlemi rota planlaması algoritmaları hakkında yapılan literatür taramaları sonucunda Dubin silindirleri yöntemi kullanılarak yapılacaktır.

Owen ve diğ. [2] makalesinde belirttiği üzere Lester Eli Dubins'in iki boyut için geliştirdiği Dubin yolları yöntemi üç boyuta geliştirilebilir. Dubin silindirleri yöntemi, konum değiştirmek için yalpalama ve yuvarlanma eksenlerini kullanan sabit kanatlı İHA'ların rotasının planlanması için önemli ölçüde bağımsızlık sağlar.



Şekil 11 - Sabit Kanatlı Hava Araçlarında 3 Ana Eksen

Rota oluşturucu modül, Dubin silindirleri yöntemini kullanarak belirli düz çizgilerin ve 3 boyutlu düzlemde bir silindirin üzerine çizilebilecek spiral parçaların birleştirilmesiyle Sungur'un yön vektörünü hedef İHA'nın anlık yön vektörüyle bağlayacaktır. Oluşturulan bu rota, Sungur'un bulunduğu noktadan istediği herhangi bir noktaya gidebilmesi için bir altyapı sağlayacaktır.



Şekil 12 - Silindirik Bir Rota Parçası

Rotada bulunacak düz çizgiler kuşbakışı düzlemde hareket edilmesini sağlarken, silindir parçaları ise

gerekli yön ve yükseklik değişiklikleri için zemin hazırlayacaktır. Bir Dubin silindiri parçası Şekil 12’de, arasında az miktarda yükseklik farkı olan iki nokta arasında oluşturulabilecek bir rota örneği ise Şekil 13’te görülebilir.

B) Otonom Eve Dönüş Modülü

Otonom Eve Dönüş Modülü, Sungur’un bir müsabakanın sonunda kalktığı noktaya otonom bir şekilde dönmesini sağlar. Eve dönüş rotası Rota Oluşturucu Modül’ün yardımıyla planlanır ve bu rota ArduPilot’un AUTO modu sayesinde izlenerek eve dönüş gerçekleştirilmiş olur.

C) Davranış Karar Verici Modül

Davranış Karar Verici Modül, Sungur’un anlık olarak yaptığı eylemleri ve otonom kilitlenme sürecindeki aşamaları kontrol eder. Kalkış esnasından sonra sistemin modunu ve anlık hareketleri göz önünde tutarak sistemin Savaşan İHA görevi mi Kamikaze İHA görevi mi gerçekleştireceğini veya serbest uçuş mu yapacağını kontrol eder.

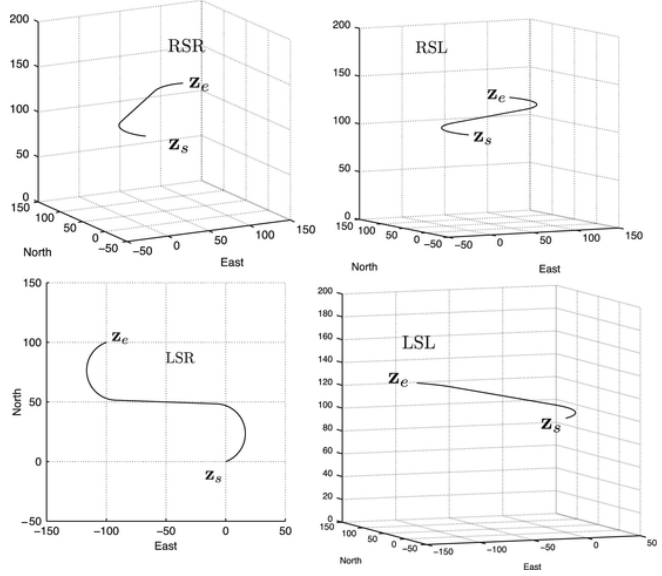
4.1.2. Görüntü İşleme Modülü

Görüntü İşleme Modülü, kameradan gelen görüntü verilerine nesne tespiti ve takipli tespit işlemlerini uygulayarak rakip İHA’yı tespit etmeye çalışır. Bu işlemi gerçekleştirmek için ilk olarak nesne tespit işlemi ile rakip İHA’nın görüntü üzerindeki piksel konumu bulunur ve ardından nesne tespitinin başarısını arttırmak adına takipli tespit algoritmasına geçilir. Görüntü İşleme Modülü iki alt başlığa ayrılır.

A) Nesne Tespit Algoritması

Nesne tespiti dijital bir görüntü içerisindeki belirli sınıfa ait nesnelerin örneklerini belirleme ve o nesnelerin konumlarını tespit etme işlemidir. Nesne tespiti işlemi yapılırken yapay zeka temelli algoritmalar kullanıldığından nesne tespitinin gelişmesinde ve önem kazanmasında yapay zeka teknolojisindeki gelişmeler etkili olmuştur.

Gelişen grafik işlemci kartları ile beraber çeşitli alanlarda çok sayıda yapay zeka algoritmaları geliştirilmiş ve yapay zeka alanında büyük ilerleme kaydedilmiştir. Artan işlem gücü sayesinde 1980 li yıllarda geliştirilen konvolüsyonel (evrimsimli) nöral ağlar 2012 den itibaren AlexNET[3] ile çok daha etkili bir şekilde kullanılmaya başlanmış, çeşitli konvolüsyonel ağlar ile başarılı nesne tespiti algoritmaları geliştirilmiştir. YOLO[4], SSD[5], RetinaNET[6], CenterNET[7] bu algoritmalara örnek olarak verilebilir. Bu algoritmalar geniş çeşitlilikte nesnelere tespit etmek için tasarlandığı için derin konvolüsyonel nöral ağlara sahiplerdir. Biz Savaşan İHA



Şekil 13 - 3 Boyutlu Uzayda 2 Adet Vektörün Dubin Silindirleri Yöntemi Kullanılarak Uç Uca Eklenmesi Örneği

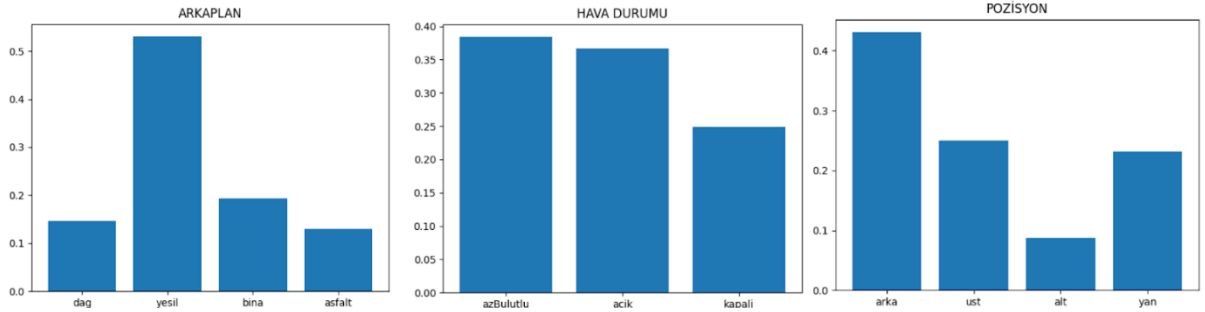
Yarışması'nda nesne tespiti için, derin konvolüsyonel ağların en modernlerinden olan YOLOv5'i kullanmayı hedefledik.

PyTorch kütüphanesini taban alan YOLOv5, eğitime ve test işlemlerinin gerçekleştirilmesi için Python tabanlı bir uygulama programlama arabirimine (API) sahiptir. Bu arabirimi kullanarak YOLOv5'i eğitmek üzere yeni ve kapsamlı bir veri seti oluşturulmuş ve veri seti üzerinde çeşitli veri çoğaltma teknikleri uygulanarak yaklaşık 110.000 adet görüntü verisi elde edilmiştir.

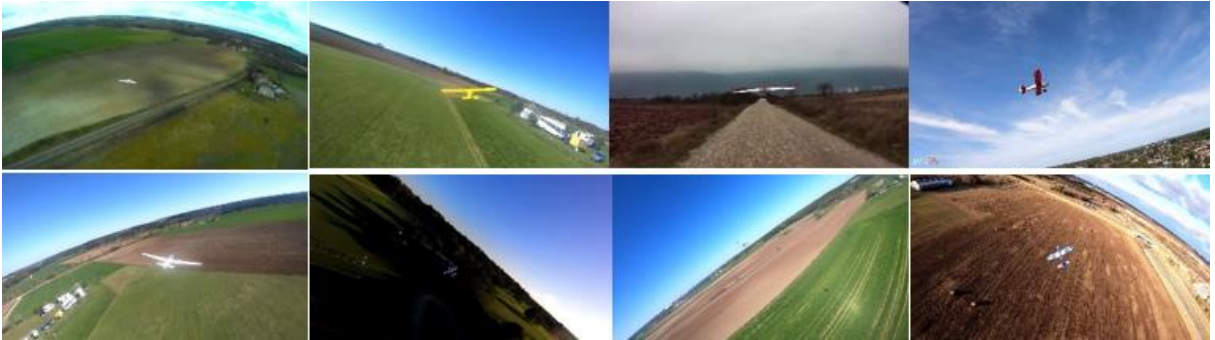
Veri seti iki ana başlık altında anlatılmıştır.

i) Ham Veri Seti:

Nesne tespit algoritmamızı eğitmek amacı ile daha önceden takımımız tarafından hazırlanmış olan veri seti geliştirilerek kullanılmaya karar verildi. Veri seti hazırlanırken yarışma zamanındaki hava durumu, yarışma yerinde İHA'mızın kamerasına yansıyacak arka plan ve karşılaşılabileceğimiz İHA'ların şekilleri gibi etkenler göz önünde bulundurularak çeşitli perspektiflerden veriler toplanmıştır. Örneğin yarışma yerinin özellikleri göz önüne alınarak asfalt, yeşil alan ve kırsal temalara, yarışma yaz aylarında yapılacağı için de az bulutlu arka planı olan verilere ağırlık verilmiştir. Bununla birlikte Sungur'un karşılaşılabilecek farklı durumlardan etkilenmesini en aza indirmek için birçok farklı durumu içeren veriler seçilmiştir. 10000 görüntüden oluşan veri setimiz Youtube üzerinden RC uçak videolarının ve yaptığımız testlerde çektiğimiz videoların 1-2 saniye aralıklı görüntü kareleri alınarak elde edilmiştir. Takımımızca toplanmış olan verilerin birleşiminden oluşan veri setimizin nihai özellikleri Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14 - Veri Seti Nihai Özellikleri



Şekil 15 - Veri Setimizden Birkaç Örnek Veri

ii) Veri Çoğaltma:

Veri miktarını ve çeşitliliğini artırmak için uygulanan veri çoğaltma (augmentasyon) işlemi resme belirli geometrik işlemler uygulayarak farklı resimler elde etmemizi sağlar. Veri setimize aynalama (flipping), rastgele kırpma (random cropping) ve döndürerek kırpma (rotation+cropping) işlemlerini uygulayarak veri sayımızı 10.000'den 110.000'e çıkardık. Veri çoğaltma işleminin ardından oluşan resimler ve orijinal resim Şekil 16 üzerinde görüldüğü gibidir.



Şekil 16 – Çoğaltılmış Veri Örneği

Yapay Zeka Model Yapısı

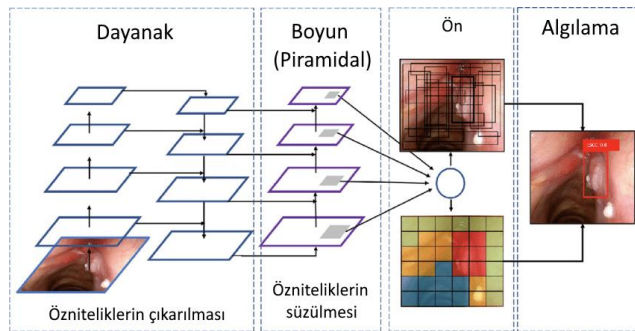
a) Konvansiyonel (Evrışimli) Ağ Mimarisi:

AlexNET ile başlayarak nesne tespiti konusunda öne çıkmaya başlayan konvolüsyonel nöral ağlar; zaman içinde gelişmiş, yeni mimariler ve bakış açıları ortaya çıkmıştır. Son gelişmeler arasında ise tasarımında Residual Blok barındıran, Ultralytics adlı bir şirketin tasarladığı YOLO (You Only Look Once, tr. Tek Bakışta) serisi yer almaktadır. YOLO serisi, hızlı, gerçek-zamanlı nesne tespiti hedeflenerek geliştirilmiştir. Biz nesne tespiti için son versiyon olan YOLOv5 6.1'i kullanmaya karar verdik.

YOLOv5 ağının farklı işlem gücüne sahip bilgisayarlar için farklı boyutları vardır. İHA'nın üzerinde yer alacak olan Jetson Xavier NX, güçlü bir yapay zekâ işlem ünitesine sahip olsa da YOLOv5 ağının büyük versiyonlarını, nesne tespit ve takibine olanak sağlayacak kare hızlarında çalıştıramamaktadır. Bundan dolayı biz algoritmamızda YOLOv5'in edge (uç) cihazlar için optimize edilmiş YOLOv5s boyutunu kullanmayı planlamaktayız. Bu sayede çıkarsama (inference) hızını yüksek tutarak nesne takibi algoritmasına geri bildirim olarak gönderilen verilerin sıklığını artırmayı amaçlamaktayız.

Model	size (pixels)	mAP ^{val} 0.5:0.95	mAP ^{val} 0.5	Speed CPU b1 (ms)	Speed V100 b1 (ms)	Speed V100 b32 (ms)	params (M)	FLOPs @640 (B)
YOLOv5n	640	28.0	45.7	45	6.3	0.6	1.9	4.5
YOLOv5s	640	37.4	56.8	98	6.4	0.9	7.2	16.5
YOLOv5m	640	45.4	64.1	224	8.2	1.7	21.2	49.0
YOLOv5l	640	49.0	67.3	430	10.1	2.7	46.5	109.1
YOLOv5x	640	50.7	68.9	766	12.1	4.8	86.7	205.7
YOLOv5n6	1280	36.0	54.4	153	8.1	2.1	3.2	4.6
YOLOv5s6	1280	44.8	63.7	385	8.2	3.6	12.6	16.8
YOLOv5m6	1280	51.3	69.3	887	11.1	6.8	35.7	50.0
YOLOv5l6	1280	53.7	71.3	1784	15.8	10.5	76.8	111.4
YOLOv5x6	1280	55.0	72.7	3136	26.2	19.4	140.7	209.8
+ TTA	1536	55.8	72.7	-	-	-	-	-

Tablo 17 - YOLOv5 Versiyon Özellik Tablosu



Şekil 18 - YOLOv5 Ağ Yapısı

YOLOv5 temelde bir evrişimli (convolutional) derin nöral ağdır. Şekil 18'de görebileceğiniz gibi 3 ana bölümden oluşur: 1. Dayanak (backbone), 2. Boyun (neck) kısmıdır. Bu bölüm PANet tabanlı bir piramidal yapıya sahiptir. Bu bölüm YOLO'nun, cisimleri, eğitim verisinden farklı ölçeklerde oluşur. İlk bölüm olan dayanak (backbone), girdi imajlar üzerinde farklı ölçeklerde öznetelik

çıkarımı gerçekleştirir. Bu bölümde aynı zamanda çıkarılan öznelikler kümeleştirilir. Sonraki bölüm de verimli şekilde tespit edebilmesini sağlar. elde edilen öznelik bilgilerini biçimlendirir, süzer ve ön bölümde kullanılmaya hazır hale getirir. Son bölüm olan ön (head) ise sboyundan gelen öznelik verilerinden yola çıkarak sınırlayıcı kutu (bounding box) ve çeşit (class) bilgisini sentezler.

b) Nöral Ağ Eğitimi:

Yukarıda bahsedilen nöral ağ mimarisini eğitmek üzere çeşitli kayıp (loss) fonksiyonları ve optimizasyon algoritmaları araştırılmış, optimizasyon algoritması olarak SGD algoritması tercih edilmiştir. Loss fonksiyonu olarak ise nesne tespiti için özel olarak geliştirilen IOU loss fonksiyonları incelenmiştir. IOU iki dikdörtgenin kesiştikleri alanın (intersection) bu iki dikdörtgenin birleşiminin (union) alanına bölümüdür. Nesne tespiti için bu iki dikdörtgen görüntülerde bizim etiketlediğimiz dikdörtgenler ile nöral ağın bu görüntülerde tahmin ettiği dikdörtgendir. IOU loss fonksiyonları bu iki dikdörtgenin IOU'sundan yola çıkarak algoritmik olarak bir loss değeri hesaplar.

Zheng ve diğ. [8] yaptığı çalışmada, üç geometrik faktör göz önüne alınarak Complete IOU adı verilen yeni bir loss fonksiyonu önerilmiştir.

$$CIoU = S(A, B) + D(A, B) + V(A, B)$$

Denklem 1: S - Örtüşme alanı, D - Normalleştirilmiş merkezi nokta mesafesi, V - En Boy Oranı

Bu loss fonksiyonunun optimizasyon süreci ana hatlarıyla Denklem 1'de görülebilir. Yapılan denemelerde CIOU Loss'un nöral ağı eğitmede büyük katkısı olmuştur. Nesne tespit başarısı artmış, eğitim süresi kısalmıştır.

B) Takipli Tespit Algoritması

Kısım 4.3.1'deki gibi bir nesne tespit algoritmasını kullanmak her ne kadar bir avantaj olsa da bazen kadrajda bir rakip İHA bulunduğu halde doğal olarak nesne tespit algoritması İHA olmadığı sonucu verebilmektedir. Bundan dolayı bir nesne takip algoritmasından destek almaya karar verdik.

Hedef İHA'ların yerini ve yönelimini verimli biçimde tespit edebilmek için yalnızca nesne tespit algoritmaları yeterli değildir. Bundan dolayı nesne tespit algoritmasından gelen veriyi gerçek zamanlı bir nesne takip algoritmasına verme kararı aldık. İHA'daki donanım üzerinde gerçek zamanlı (30-60fps) çalışabilecek ve yeterince az hata oranına sahip bir takip algoritması bulunması gerekiyordu. Literatür taraması sonucunda Alex ve diğ. [9] tarafından sunulan SORT'un (Simple Online Realtime Tracking, Basit Çevrimiçi Gerçek Zamanlı Takip) bu şartları sağladığı görüldü.

SORT, kameradan gelen her kare üzerinde veya sabit biçimde her N karede bir; nesne tespit algoritmasından gelen veriye göre çalıştırılır. SORT, iki ana basit ama etkili yönteme dayanır. İlk olarak takip algoritması, Kalman filtresi adı verilen bir yöntemden yararlanarak tespit edilen cismin gelecekteki



Şekil 19 - SORT Çalışma Prensipleri

konumu hakkında, hızının lineer (doğrusal) değiştiğini varsayarak tahmin yapar. İkinci olarak, Hungarian algoritması kullanarak şu anki karedeki bir cismin, önceki karedeki bir cisim ile aynı olup olmadığını algılayabilir.

SORT'tan gelen tahmini hız bilgisi ile YOLO'dan gelen konum bilgisi beraber ele alındığında, rakip İHA'nın hareketlerini denkleme (kompanse etmek) ve otonom kilitlenmek için gereken verileri elde etmek planlanmaktadır.

4.1.3. Seyrüsefer Modülü

Seyrüsefer modülü, uçuş kontrol kartında çalışacak ana yazılım olan ArduPlane yazılımına eklenen 3 moddan oluşmaktadır. Savaşan İHA Yarışması'nın isterlerini uçuş ve seyrüsefer anlamında yerine getirebilmek için daha özgür bir yazılım ortamı tercih edilmiş olup görev bilgisayarında çalışacak olan yazılımların çıktılarının Sungur tarafından gerçekleştirilebilmesi için takımımıza gerekli imkanı sağlamaktadır. Seyrüsefer modülü, oluşturulan rotanın takip edilebilmesi, otonom kilitlenmenin sağlanabilmesi amacıyla güdümün gerçekleştirilebilmesi ve diğer İHA'lar tarafından kilitlenmenin kaçınılması görevlerini gerçekleştirme kapasitesine sahiptir. Seyrüsefer Modülü içerisinde bulunacak 3 mod aşağıda verilmiştir.

a) Rota Takibi Modu

Otonom kilitlenme mekanizmasındaki rakip İHA'yı takip etme kısmı Rota Takibi Modu tarafından gerçekleştirilecektir. Rota Oluşturucu Modül'ün hali hazırda hareket etmekte olan hedef İHA'yı takip etmek amacıyla oluşturduğu rota planı, Rota Takibi Modu tarafından izlenecektir.

ArduPilot altyapısında hali hazırda bulunan uçuş modlarının yerine Rota Takibi Modu'nun yazılma sebepleri, Savaşan İHA Yarışması'nın gereklerinden ötürüdür. Otonom kilitlenme yapılması hedeflenen İHA, Sungur onun arkasına geçmeye çalışırken hareket eyleminde olacağından ötürü oluşturulması planlanan rota, anlık olarak güncellenmektedir. ArduPilot'un sahip olduğu ana uçuş modlarından otonom uçuş sağlayabilen modlardan AUTO ve GUIDED modlarının açıklamaları ve seçilmeme sebepleri aşağıda verilmiştir.

AUTO Mod [10]: AUTO mod, sabit kanatlı insansız hava araçlarında önceden yer kontrol istasyonu tarafından belirlenen bir rotayı izlemeye yarar. Yukarıda bahsedildiği üzere rotanın anlık olarak güncellenecek olması, AUTO modun tercih edilebilir bir seçenek olmadığını gösterir.

GUIDED Mod [11]: GUIDED mod, İHA'nın herhangi bir noktaya herhangi bir rota belirlemeye ihtiyaç duymadan uçuşmasını sağlar ve hedefe ulaştıktan sonra LOITER modunu devreye sokar. LOITER modu, İHA'nın hedef noktaya ulaştıktan sonra çember çizmesini sağlar. Amacı hedef İHA'ya kilitlenmek ve dolayısıyla onun tam arkasına geçmek olan bir İHA'nın hedef İHA etrafında çember çizmeye başlaması istenen bir durum olmamaktadır.

b) Güdüm Modu

Güdüm modu, rakip İHA'nın kamera tarafından fark edilmesiyle birlikte devreye giren moddur. Rota Takibi Modu'nun sona ermesiyle birlikte Sungur, kendisine atanan rotayı takip etmek yerine rakip İHA'yı 4 saniye kilitleyebilmek için onun hareketlerine göre uçuşuna devam

edecektir. Güdüm modu sayesinde Rakip İHA'nın görüntüsünün orta noktası ile kamera açısının orta noktası yakınlaştırılmaya çalışılır. Sungur, bu iki nokta arasında oluşturulan yönlü vektörün x ve y eksenindeki büyüklüklerine göre kendisini yönlendirir. X ekseninde oluşan fark, roll ile, Y ekseninde oluşan fark ise pitch hareketi ile kapatılmaya çalışılır. Böylelikle 4 saniye boyunca rakip İHA'nın kamera açısında kalması sağlanırken otonom kilitlenme gerçekleşmiş olur.



Şekil 20 - Güdüm Modunda Konum

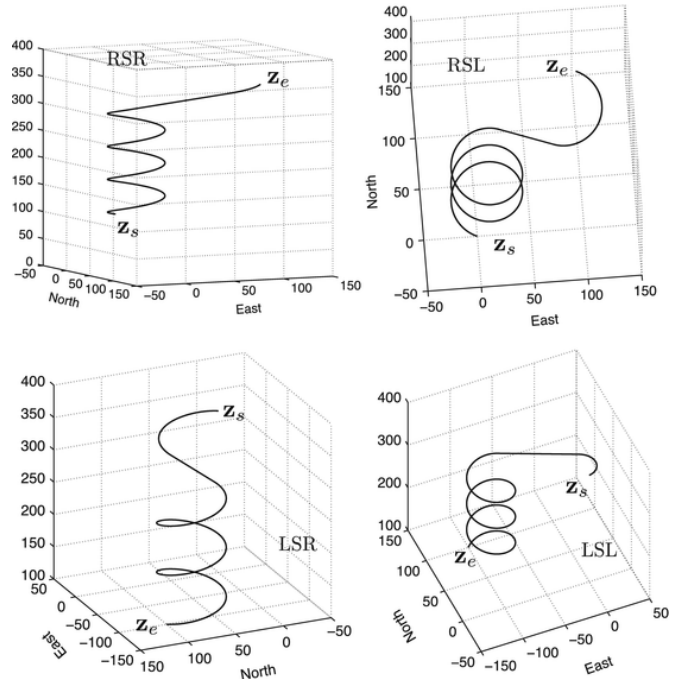
c) Kaçış Modu

Yarışma isterlerinden biri de diğer İHA'lar tarafından kilitlenilmekten kaçınmaktır. Bu isteri yerine getirmek amacıyla Kaçış modu geliştirilecektir. Sungur'a yakın olan İHA'lardan herhangi birinin Sungur'a yaklaştığının yer kontrol istasyonu tarafından fark edilmesi durumunda Sungur'a kaçış sinyali iletilecektir. Yarışma sahası sınırları bir geofence (coğrafi sınır)[12] olarak kullanılarak bu alanın dışına çıkmadan keskin bir manevra gerçekleştirilecektir. Sungur, yapacağı bu keskin manevra sayesinde onu takip etmeye çalışan İHA'nın kamera açısından çıkarak kilitlenilmekten kurtulacaktır.

4.2. Kamikaze Görevi

Kamikaze görevinin gerçekleştirilme prensibi otonom kilitlenme mimarisinden esinlenilerek gerçekleştirilecektir. Şekil 8'de görülebileceği üzere Kamikaze İHA Görevi için ayrı olarak rota oluşturucu modül, nesne tespit algoritması ve güdüm modu kullanılması planlanmaktadır.

Davranış karar verici modül, sistemin herhangi bir otonom kilitlenme görevi üzerinde olmadığını belirlediği bir zaman aralığında Kamikaze İHA görevi için başlangıç emrini verecektir. Yer kontrol istasyonu-yarışma sunucusu arasında gerçekleşecek haberleşme sonrası yarışma alanında bulunacak 4 adet yer hedeflerinin konumları alındıktan sonra Sungur'un konumuna en uygun yer hedefi yer kontrol istasyonunda otonom olarak veya YKİ görevlisi tarafından manuel olarak seçilecektir.



Şekil 21 - Yükseklik Farkı Çok Olan İki Nokta Arasında Oluşturulabilecek Rota Planı Örneği

Seçilen yer hedefinin konum bilgileri görev bilgisayarında çalışacak olan rota oluşturucu modüle iletilerek Kamikaze İHA görevi için yeni bir rota oluşturulması planlanmaktadır.

Otonom kilitlenmedeki yöntemle benzer bir şekilde Dubin silindirleri yöntemi rota planlamasında kullanılacaktır. Fakat Kamikaze İHA görevinde otonom kilitlenmenin tersine Sungur ve yer hedefi arasındaki yükseklik farkı, havadaki iki İHA arasındaki yükseklik farkından çok daha fazla olacağından, Sungur'un rotasında birden çok Dubin silindiri kullanılacaktır.

Yerle belirli bir açıyla yapılacak tamamen düz bir rota yerine birden çok Dubin silindiri ve onun sonunda QR koda kilitlenmenin sağlanabileceği düz bir çizginin kullanılma sebeplerinden biri Sungur'un sahip olduğu mekanik enerjinin daha kolay kontrol edilebilmesidir. Rotanın birçok silindirden oluşması nedeniyle katedilecek yolun artması, Sungur'un potansiyel enerji kaybının kinetik enerjiye dönüşümü esnasında olası fazla hızlanmaların engellenebilmesi için frenlemeye olanak sağlar. Fazla hızlanmanın engellenmesi, olası bir kazanın önüne geçmesinin yanı sıra, QR kodu görüntüsü işlemeye çalışan kameraya kolaylık sağlamış olur.

Oluşturulan rotanın anlık olarak uçuş kontrol kartına iletilmesi ve seyrüsefer modülünün aktifleşmesiyle birlikte, daha önceden oluşturulan rota Rota Takibi modu sayesinde Sungur tarafından izlenecektir.

Rota takibi modu ile eşzamanlı olarak çalışan görüntü işleme modülü, Sungur yer hedefinin konumuna doğru bir hareket yapmakta iken yer hedefinde bulunacak olan QR kodunu, Sungur'un önünde bulunacak olan kamera aracılığıyla aramaya başlayacaktır. QR kodun görüntüsünün işlendiği vakitten itibaren görev bilgisayarı ve uçuş kontrol kartı arasında gerçekleşecek haberleşme sonrası Sungur'un modu rota takibi modundan güdüm moduna değiştirilecektir.

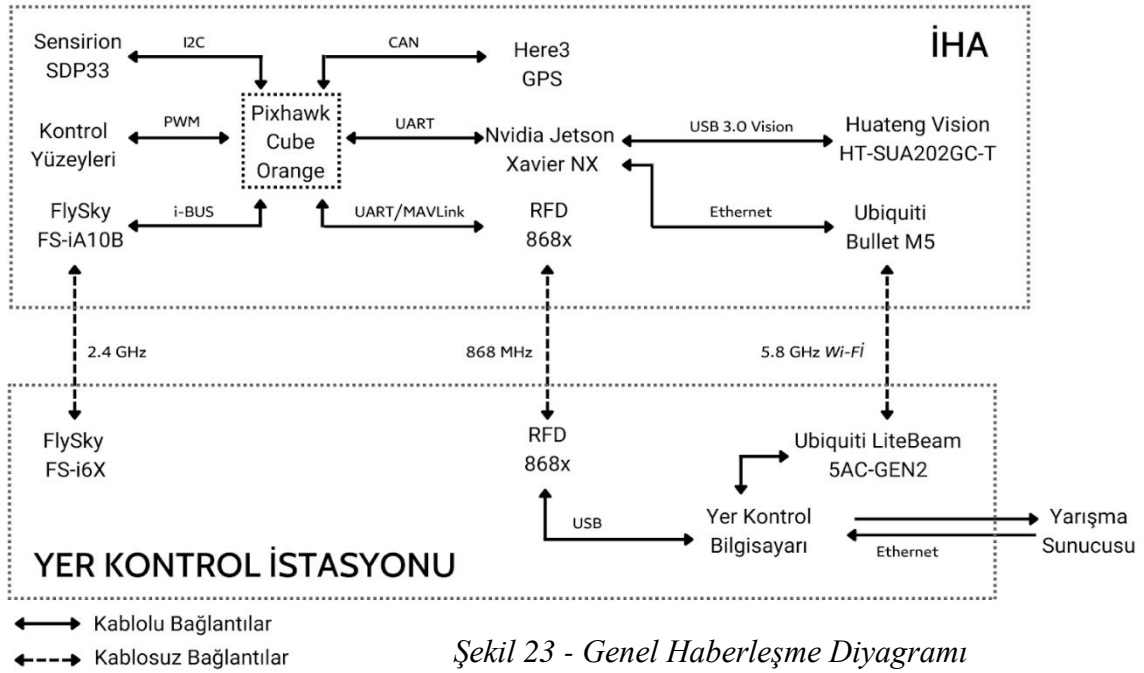
Kamera açısına giren QR kodun orta noktasını kamera görüntüsünün orta noktasına yaklaştırmak için güdüm modu etkinleşecektir. Güdüm modu etkinleştiği andan itibaren rota planı yerine QR kod merkezli bir hareket söz konusu olacaktır. Böylece rota planındaki olası sapmalar engellenerek görev merkezli bir uçuş oluşacaktır. QR kodun tamamen anlaşılması sonucunda elde edilen görüntü işlenerek çıktısı sırasıyla yer kontrol istasyonuna ve yarışma sunucusuna iletilecektir.

Kamikaze İHA görevinin tamamlanmasıyla birlikte serbest uçuş moduna geçmek üzere, aşağı yönlü hareket tamamlanır ve önceden belirlenmiş olan yüksekliğe çıkılarak yer hedefi pas geçilmiş olur. Kamikaze İHA görevi için bir örnek Şekil 22'de verilmiştir.



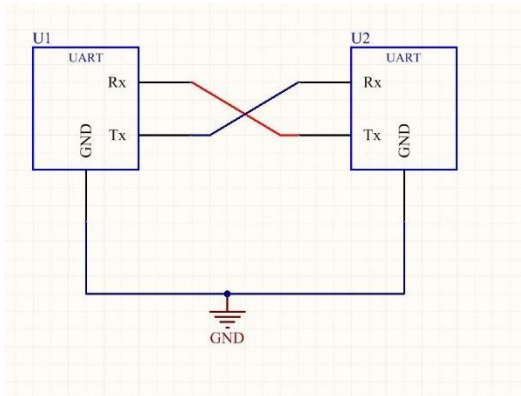
Şekil 22 - Örnek Bir Kamikaze İHA Görevi

5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME

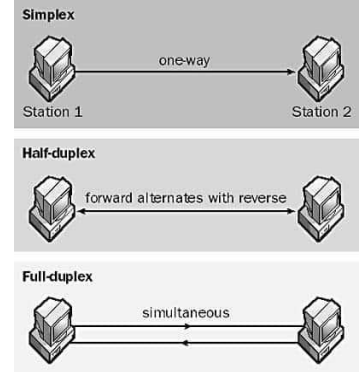


5.1. Hava Aracı İçi Haberleşme

Nvidia Jetson Xavier NX – Pixhawk Cube Orange: Nvidia Jetson Xavier NX ile Pixhawk Cube Orange arasında iletilen veriler Micro Air Vehicle Link (MAVLink) protokolüne uygun bir biçimde paketlenmektedir. Paketlenen verilerin iki komponent arasında aktarımı UART seri haberleşme protokolü ile gerçekleşir. Bir Device-to-Device (Cihazdan Cihaza) iletişim türü olan UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), adından da anlaşılacağı üzere asenkron çalışan bir haberleşme protokolüdür. Bu demektir ki alıcı ve verici uçlar önceden belirlenen bir baud oranında çalışır ve ortak bir saat verisine göre düzenlenmezler. Şekil 25'te görüldüğü üzere, haberleşecek cihazların alıcı pinlerinin (RX) diğer cihazın verici pinine (TX), verici pinlerinin ise diğer cihazın alıcı pinine bağlanması ile gerçekleştirilir. Birinci cihazdan ikinci cihaza veri aktarılırken birinci cihazın



Şekil 25 - UART Haberleşme Yapısı

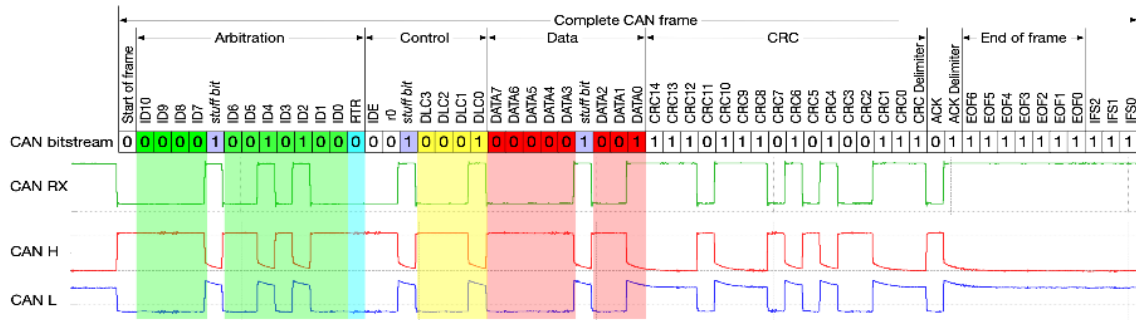


Şekil 24 - Full Duplex

verici (TX) pini ile ikinci cihazın alıcı (RX) pini arasındaki bağlantı kullanılır. İkinci cihazdan birinci cihaza veri aktarılırken ise zıt konfigürasyon kullanılır. Şekil 24'te de görüldüğü üzere UART protokolünde iki iletişim hattı bulunmaktadır ve bu özelliğe "Full-Duplex" denir. UART protokolü Full-Duplex çalışabildiği için cihazların veri aktarımı esnasında birbirlerini beklemesi gerekmemektedir. Görev bilgisayarının TX ve RX pinleri uçuş kontrol kartının "TELEM2" portunda mevcut olan TX ve

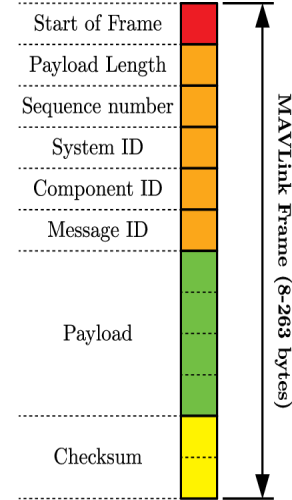
RX pinlerine UART protokolüne uygun bir biçimde bağlanır.

Pixhawk Cube Orange – Here 3 GPS: GPS olarak seçtiğimiz Here3 GPS, uçuş kontrol kartı ile olan haberleşmesini CAN protokolünü takip ederek yapar. CAN protokolü, elektronik alt sistemlerin küçük boyutlu (8 bit ve altı) veri alışverişinde yaygınca kullanılan yüksek hızlı bir seri iletişim metodudur ve mikrodenetleyiciler arasında gerçek zamanlı iletişim de dahil pek çok ihtiyaca cevap verir. CAN protokolü, elektromanyetik gürültüye karşı dayanıklıdır ve bu özelliği sayesinde Sungur'un konum bilgilerinin tayini son derece yüksek doğrulukla yapılmaktadır. GPS modülü, CAN bağlantı kablosu ile uçuş kontrol kartının VCC_5V, CAN_H, CAN_L, GND isimli 4 pinden oluşan CAN1 ya da CAN2 portuna bağlanır. Dahili hata algılama sistemi ve 8 Hz'ye varan yenileme hızı, CAN protokolünün birkaç avantajıdır.



Şekil 26 - CAN Protokol Mesaj Formatı

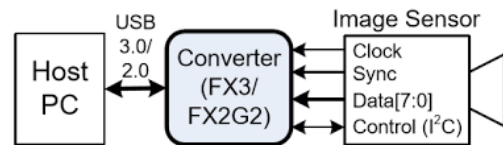
Pixhawk Cube Orange – RFD868x: Telemetri hava modülü DF13 konnektör ile uçuş kontrol kartının üzerinde bulunan "TELEM1" isimli porta bağlanır. TELEM1 portunda VCC, TX(OUT), RX(IN), CTS, RTS, GND isimli 6 pin bulunmaktadır. Birimler arasındaki iletişim UART ile gerçekleşen seri bir iletişimdir ve MAVLink protokolünü takip ederek sağlanır. Komponentler tarafından MAVLink paket formatına uygun bir biçimde paketlenen veriler birbirlerine seri olarak aktarılır. Şekil 27 MAVLink paket formatını temsil eder. Gönderilen ilk bayt yeni bir paketin başlangıcını belirtmek için kullanılır. Ardından gönderilenler ise sırasıyla paketin uzunluğu, içeriği şeklinde devam etmektedir.



Şekil 27 - MAVLink Paket Formatı

Pixhawk Cube Orange – FS-iA10B: Uçuş kontrol kartı ve RC alıcı FlySky-iA10B arasındaki iletişim seri olarak i-BUS protokolüne göre sağlanır. FlySky tarafından geliştirilmiş bir protokol olan i-BUS protokolü, UART arayüzünü kullanarak verilerin 115200 bit/s hızında iletilmesine olanak sunar. Güç, toprak ve sinyal kablolarından oluşan 3 şeritli kablo RC Alıcının PPM/CH1 çıkışına ve uçuş kontrol kartının RC IN portuna bağlanarak haberleşme sağlanır.

Nvidia Jetson Xavier NX – Huateng Vision HT-SUA202GC-T: Kamera ve görev bilgisayarı arasındaki güç ve veri aktarımı, kamerada bulunan CMOS sensörleri için özelleştirilmiş USB 3.0 Vision [13] arabirim standardı ile



Şekil 28 - Görev Bilgisayarı ve Kamera Bağlantısının Temsili Görüntüsü

sağlanmaktadır. USB 3.0 Vision standardı, USB 3.0 tabanlı yüksek performanslı kameraları desteklemeye odaklanan bir haberleşme arayüzüdür. Komponentler, USB-B tipi 3.0 kablo ile birbirlerine bağlanmıştır. Yüksek veri aktarım hızı ve bant genişliği, düşük gecikme, düşük işlemci kullanımı ve stabil veri iletimi gibi özelliklerinden dolayı bu haberleşme standardı tercih edilmiştir.

Nvidia Jetson Xavier NX – Ubiquiti Bullet M5: Xavier NX ve Bullet M5 arasındaki haberleşme Ethernet üzerinden sağlanacaktır. Cat6 kablusunun bir ucu görev bilgisayarının ethernet portuna, diğer ucu kablosuz haberleşme vericisinin ethernet portuna bağlanacaktır. Cat6 kablosu veri aktarımında 10 Gbps hızına ulaşabildiği için görev bilgisayarından yer istasyonuna HD görüntü aktarımı için yeterli olacaktır.

Pixhawk Cube Orange – Sensirion SDP33: Hava hızı sensörü Sensirion SDP33 ve Pixhawk Cube Orange arasındaki iletişim I2C protokolü ile sağlanır. Sensör, 4'lü şerit kablo ile uçuş kontrol kartı üstündeki "I2C" portuna bağlanır. Bahsi geçen çıkış portunda SCL, VDD, GND ve SDA isimli 4 pin bulunmaktadır. I2C protokolü seri bir haberleşme protokolüdür. Kullanılan pin sayısının az olması ve iletişimin kompleks olmayan bir biçimde sağlanması I2C protokolünün avantajlarından biridir.

Pixhawk Cube Orange – Kontrol Yüzeyleri: Uçuş kontrol kartı, kendisinin MAIN OUT ya da AUX OUT portlarına bağlı olan servo motorlara PWM sinyalleri göndererek servo motorların çalışmasını kontrol eder.

5.2. Sungur-YKİ Arası Haberleşme

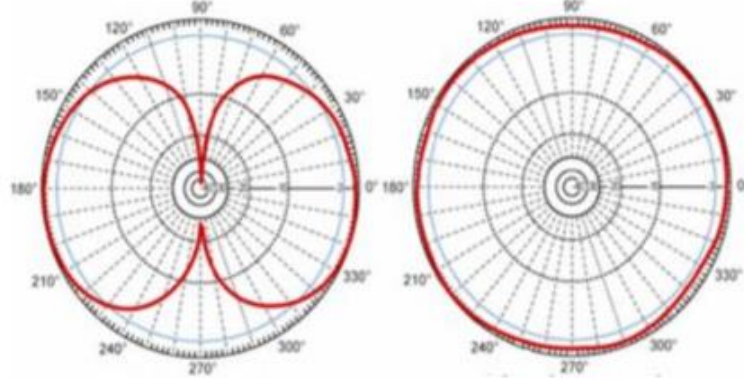
FlySky FS-i6X – FlySky FS-iA10B: FS-i6X uzaktan kumanda ve FS-iA10B alıcı arasındaki haberleşme FlySky patentli AFHDS 2A protokolüne göre radyo dalgaları ile gerçekleşir. AFHDS 2A RC sistemi 2.4 GHz frekans bandında kablosuz bir şekilde çalışır. FS-i6X pilot tarafından verilen komutları paketleyip GFSK modülasyonu ile modüle eder ve alıcı FS-iA10B'ye gönderir. FS-iA10B kendisine ulaşan sinyali demodüle ederek uçuş kontrol kartına iletir.

RFD 868x Hava Modülü – Yer Modülü: Uçuş kontrol kartı ve YKİ arasındaki iletişimi sağlamak amacıyla RFD 868x radyo modem çifti tercih edilmiştir. Radyo modemler arasındaki haberleşme MAVLink protokolüne kablosuz bir biçimde sağlanır. MAVLink paket formatına göre şekillendirilen veri paketleri darbe pozisyon modülasyonu (PPM) ile düzenlenip alıcı modüle gönderilir. RFD 868x yasal olarak izin verilen en yüksek frekans aralıklarından olan 868-869 MHz frekans bandında çalışır. Telemetri modülü, parazit engelleme yöntemi olarak Frequency Hopping Spread Spectrum (Frekans Atlamalı Geniş Spektrum) metodunu kullanmaktadır. Bu özellik, birçok telemetri modülü bulunacak olan yarışma sahasında Sungur ile olan iletişimimizin kesilmemesi adına kritik bir rol oynamaktadır. RFD 868x, 500 kbit/s'ye varan veri transfer hızı, AES (Advanced Encryption Standard) şifreleme, geniş iletişim menzili ve çift yönlü veri transferi gibi özelliklere sahiptir. RF gürültüyü engellemek amacıyla alıcı ve verici modül antenleri birbirlerine dik bir biçimde konumlandırılmalıdır[14] (Şekil 29).

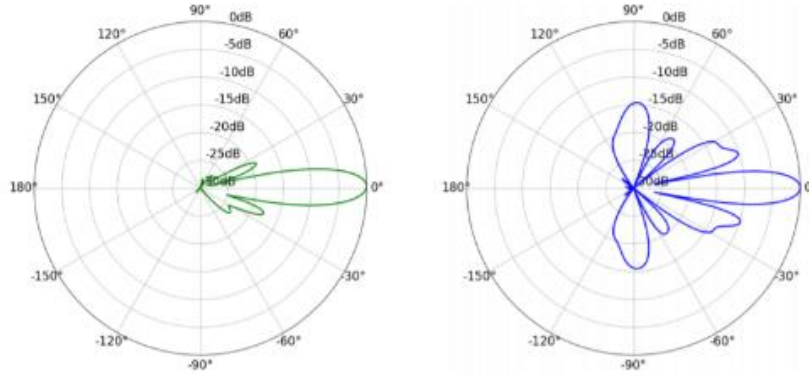


Şekil 29 - Dikey Polarizasyon

Ubiquiti Bullet M5 – Ubiquiti LiteBeam-5AC-GEN2: Sungur'un üzerinde bulunan Bullet M5 ve YKİ'de bulunan LiteBeam-5AC-GEN2 arasındaki iletişim kablosuz bir biçimde 5.8 GHz bant genişliğinde Wi-Fi bağlantısı ile gerçekleşecektir. Yarışma boyunca Sungur'un pek çok farklı oryantasyonda bulunması sebebiyle bağlantının kopmaması adına Bullet M5'e bağlanacak olan anten çok yönlü (omni-directional) bir anten olacaktır. Anten, yansıma gibi istenmeyen durumlarda veri kaybını engellemek amacıyla dairesel polarizasyona sahip olacaktır ve bu nedenle Bullet M5'e radyasyon modeli Şekil 30'da görülen cloverleaf (yonca) anten bağlanacaktır.



Şekil 30 - Cloverleaf Anten Radyasyon Modeli
(Sol: Yükseklik Düzlemi, Sağ: Azimut Düzlemi)

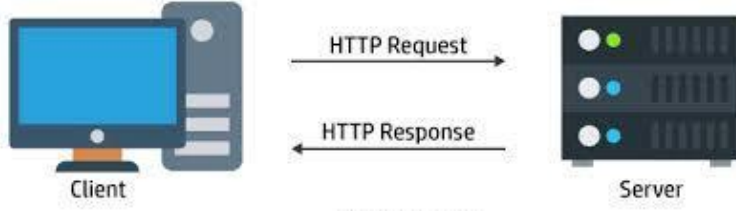


Şekil 31 - LiteBeam-5AC Anteni Radyasyon Modeli
(Sol: Azimut Düzlemi, Sağ: Yükseklik Düzlemi)

Bullet M5'e bağlı olan anten çok yönlü bir anten olması sebebiyle düşük kazançlı bir antendir ve haberleşmenin sağlıklı olması adına LiteBeam-5AC'nin anteni yüksek kazançlı bir anten olmalıdır. LiteBeam-5AC'de kullanılacak anten 23 dBi kazançla sahip olacaktır. Yüksek kazançlı antenler yalnızca belirli bir bölgeye yayın yapabildiği için iletişimin istenen düzeyde verimli olması adına LiteBeam-5AC'nin uçuş boyunca Bullet M5'e doğru yönlendirilmesi gerekir.

5.3. Yarışma Sunucusu – Yer Kontrol İstasyonu Arası Haberleşme:

MAVLink bağlantı protokolünü kullanarak DroneKit API ile Sungur'un verileri (telemetri bilgisi ve kilitlenme bilgisi) alınacak ve yarışma şartnamesinin regülasyonlarına uygun bir biçimde takımımızca hazırlanmış olan bir Python scripti ile yarışma sunucusuna iletilecektir. Sungur'dan alınan veriler yarışma kuralları gereğince JSON formatına dönüştürülüp ardından sunucuya ulaştırılacaktır. Yer kontrol istasyonu bilgisayarını yarışma sunucusuna bir Ethernet kablosu aracılığıyla bağlanacaktır ve haberleşmede HTTP protokolü kullanılacaktır. Yarışma sunucusuna veri iletilmeden önce takımımız POST request ile “/api/giris” adresinde oturum açacak ve daha sonra Sungur'dan gelen veriler tekrar POST request ile “/api/telemetri_gonder”, “/api/kilitlenme_bilgisi” adreslerine iletilecektir. Bahsi geçen request metodları, Python üzerinden belirli bir URL'ye HTTP istekleri atmamızı sağlayan Requests kütüphanesi kullanarak gerçekleştirilecektir. Aynı zamanda GET metodu ile “/api/telemetri_al” adresinden rakip İHA'ların konum-kilitlenme bilgisine JSON veri tipinde ulaşılabilecektir. Video aktarımında ise, Sungur'dan gelen gerçek zamanlı görüntüler bir Gstreamer pipeline ile yer kontrol istasyonu bilgisayarına aktarılacaktır. Görüntüler, H265 formatına uygun bir biçimde sıkıştırılacak ve MPEG-TS taşıyıcısı ile yarışma sunucusuna aktarılacaktır. Böylece UDP protokolü ile yarışma sunucusuna anlık video yayını yapılacaktır.



Şekil 32 - Yer Kontrol Bilgisayarı ile Yarışma Sunucusu Arasındaki HTTP İletişiminin Temsili Görseli

6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

Yer kontrol istasyonu, üretilmesi hedeflenen İHA sistemi havadayken onunla iletişime geçmek, ona gerekli komutları iletmek, onun anlık hareketini izlemek ve ondan anlık görüntü, sistemin hızı, yüksekliği gibi verileri alıp incelemek için kullanılır. Bahsi geçen aksiyonlar yer kontrol istasyonu ve insansız hava aracı arasında yapılacak olan kablosuz haberleşme aracılığıyla sağlanır. Ek olarak bir yer kontrol istasyonu, YKİ görevlisinin sistemi anlık olarak bir uçak kokpitine benzer bir şekilde kontrol etmesini sağlar.

Sungur Yer Kontrol İstasyonu uçuş için gerekli kontrolleri yapmak ve Savaşan İHA Yarışması gerekliliklerini (Sunucu ile sistem arasındaki veri alışverişini sağlamak ve seçilen otonom hedefi kolaylıkla izlemek gibi) yerine getirmek için iki ayrı arayüzden oluşacaktır. Bunlar:

- Açık kaynak kodlu yer kontrol yazılımı
- Anatek Savaşan İHA-YKİ yazılımıdır.

6.1. Yer Kontrol Yazılımı

Takımımızın sahip olacağı yer kontrol istasyonunun ilk birimi, Dronecode tarafından açık kaynaklı olarak sunulan QGroundControl[15] adlı yazılımdır. QGroundControl, ArduPilot altyapısını kullanan insansız hava araçları ile tam uyumlu olarak çalışır.

QGroundControl yazılımı, Savaşan İHA testlerinde Sungur ve rakip İHA'larının aynı yer kontrol istasyonu tarafından yönetilebilmesine imkan tanınması, kolay ve anlaşılır bir arayüze sahip olması, açık kaynak kodlu bir yazılım olup YKİ ekibi isteklerine göre yeniden dizayn edilebilmesi gibi özellikleri sayesinde ekibimiz tarafından muadillerine tercih edilmiştir.



Şekil 33 - QGroundControl Arayüzü

QGroundControl yazılımı, ekibimiz tarafından yer kontrol istasyonunun birincil ögesi olarak seçilmiş olup Sungur havadayken onun anlık olarak sahip olduğu hız, konum, yerle yaptığı açı, batarya durumu, telemetri bağlantısının sağlığı gibi değerleri alıp izlemek ve ona gerektiği durumlarda komutlar göndermek için kullanılacaktır. Bu komutlara örnek olarak yazılımın bize sunduğu özelliklerden mod değişimi ve acil durumlarda verilebilecek iniş komutu örnek verilebilir.

6.2. ANATEK Savaşan İHA-YKİ Yazılımı

Savaşan İHA Yarışması isterleri gereğince, hali hazırda kullanabileceğimiz herhangi bir yer kontrol yazılımlarında bulunmayan özelliklere ihtiyacımız olmaktadır. Bunlara örnek olarak, yarışma sunucusundan diğer İHA'ların verilerini alıp Sungur'un takip edebileceği en uygun İHA'nın seçilmesi ve anlık olarak oluşturulan rotanın ona iletilmesi gibi özellikler verilebilir.

ANATEK Savaşan İHA-YKİ adlı yazılım ilk olarak 2021 yılında ANATEK HU-35X ekibi tarafından, yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı Teknofest Savaşan İHA Yarışması'nda kullanılmak amacıyla geliştirilmiş bir yazılım olup zaman içerisinde gerekli değişikliklere ve düzenlemelere imkan sağlayan bir yapıya sahiptir.

Zaman çizelgesinde de belirtildiği üzere ekibimiz, bahsi geçen yazılım üzerinde gerekli geliştirmeleri temmuz ve ağustos aylarında yapmayı planladığından, 6.2.1 ve 6.2.2 maddelerinde yazılımın anlık durumu ve bu aylarda yapılması planlanan noktalardan bahsedilecektir.

6.2.1. Yer Kontrol Yazılımının Anlık Durumu

Takımımızın birincil yer kontrol yazılımı olarak kullanmayı planladığı QGroundControl yazılımında bulunmayan özellikler ANATEK Savaşan İHA-YKİ aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir. Sistemimizin sahip olduğu bu özelliklerine aşağıda yer verilmiştir:

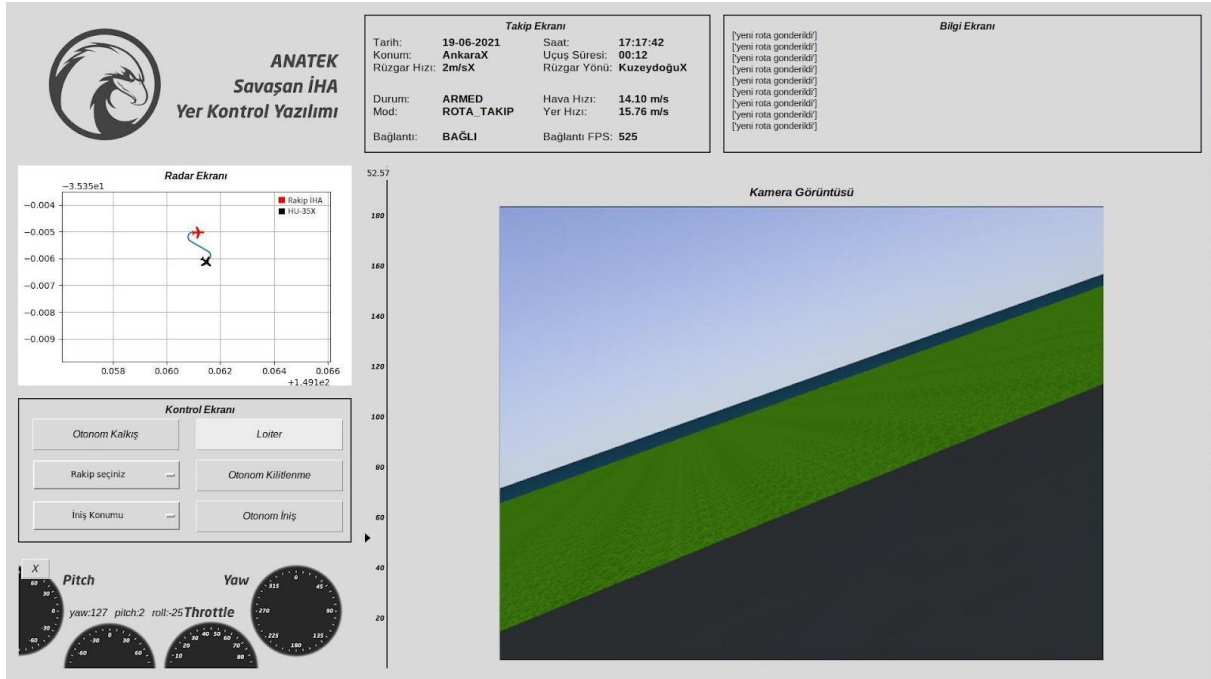
- Hem yarışma sunucusuyla hem de bağlı olduğu İHA sistemiyle haberleşebilir.
- Havadaki sistemin anlık olarak kamera aracılığıyla yakaladığı görüntü ve kilitleme dikdörtgeni sağ alt kısımda görüldüğü üzere YKİ görevlilerine aktarılabilir. Verilen resimde yer kontrol yazılımımız simülasyon ortamında çalıştırıldığı için anlık kamera



Şekil 34 - Örnek Kilitleme Görüntüsü

görüntüsü yerine sanal bir mekan görünmektedir. Yarışma esnasında Şekil 35'tekine benzer bir görüntü gözlemlenecektir.

- Sunucudan gelen, havadaki diğer İHA'ların sahip olduğu konum ve duruş verilerini kullanarak bağlı olduğu İHA'yı ve takip edilmekte olan rakip İHA'ları sanal bir radar aracılığıyla gösterebilir. Özellikle otonom kilitlenme ve rota takibi aşamalarında sistemin durumunun YKİ görevlilerince rahat bir şekilde anlaşılmasını sağlar. Radar ekranı, arayüzün sol üst kısmında görülebilir.
- Otonom kilitlenme yapılacak İHA, ANATEK Savaşan İHA-YKİ tarafından otonom bir şekilde seçilebilmesinin yanı sıra, kontrol ekranı aracılığıyla YKİ görevlisi tarafından da seçilebilir. Kontrol ekranı, ek olarak mod geçişlerine ve sisteme iniş-kalkış komutlarının verilebilmesine de olanak sağlar. Kontrol ekranı arayüzün sol orta kısmında görülebilir.
- Takip ekranı sayesinde İHA sisteminin sahip olduğu anlık uçuş modu, konum, hız gibi bilgiler kullanıcıya sunulur. Takip ekranı, QGroundControl programına alternatif olarak kullanılabilmekte olup arayüzün üst kısmında görülebilir.



Şekil 35 - ANATEK Savaşan İHA YKİ Arayüzü

6.2.2. Yer Kontrol Yazılımında Geliştirilmesi Planlanan Noktalar

6.2.1 maddesinde ANATEK Savaşan İHA-YKİ adlı yazılımımızın son durumunda verilen özelliklerine ve durumuna ek olarak Temmuz ve Ağustos aylarında yazılım üzerinde yapılması planlanan noktalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Kamikaze İHA görevinin gerekliliklerince, otonom veya manuel bir şekilde yer hedefi seçilebilecektir.
- Şu anda yalnızca İHA'larla çalışabilen radar ekranı, yer hedeflerine yönelme ve kilitlenme esnasında bu görevi belirtecek şekilde geliştirilecektir.

- YKİ birimindeki üyelerimizin istekleri doğrultusunda yazılımın ön tasarımında değişiklikler yapılabilir.
- Çeşitli iyileştirmeler planlanmaktadır.

7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU

7.1. Yapısal Entegrasyon

Talon X-UAV'ın yapısal olarak birleştirilmesinde uygulanan adımlar çekilen görsellerle birlikte aşağıda gösterilmiştir. İlk olarak hava aracının iskeletini oluşturacak ve çeşitli aviyoniklerin üzerine sabitlenmesi için zemin oluşturacak kontrplaklar ahşap yapıştırmaya uygun olduğundan dolayı hızlı yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır (Şekil 36).



Şekil 36 - Ahşap Parçaların Yapıştırılması

Hava aracının geri kalan birleştirme işlemleri için köpük malzeme ile kimyasal reaksiyona girmeyen ve kuvvetli bir birleşim özelliği sağlayan L285 numaralı laminasyon reçinesi kullanılmıştır. Bu reçine-sertleştirici karışımı hassas terazi ile hazırlanıp karıştırıldıktan sonra yüzeye uygulanmaya hazır hale gelmiştir. Ardından ön kamera kafesi, kapak kontrplakları ve birbirine yapıştırılan ahşap parçalar gövdenin bir tarafına hazırlanan bu epoksi karışımı ile yapıştırılmış, kıskaçlarla sabitlenip kurumaya bırakılmıştır (Şekil 37).



Şekil 37 – Ahşap Parçalarının Gövdeye Yapıştırılması

Yan gövdenin kuruması sürecinde yine epoksi yapıştırıcı ile kontrol boynuzları, kanatlara ve kuyruğa mukavemet sağlayacak karbon fiber kanat direkleri yapıştırılıp kurumaya bırakılmıştır (Şekil 38).



Şekil 38 - Kanat Direkleri ve Kontrol Boynuzlarının Yapıştırılması

Sürecin ilerleyen kısmında, uçağın iki parça olan gövdesi epoksi karışımı ile birbirine yapıştırılmıştır. Epoksinin kuruma ve sertleşme süreci yaklaşık 24 saat aldığından dolayı hava aracının gövdesi kâğıt bantlarla ve kısıkaçlarla sabitlenerek 24 saatlik kurumaya bırakılmıştır. Kuruma sürecinin ardından kuyruk kısmı gövdeye yapıştırılmıştır (Şekil 39).



Şekil 39 - Gövdenin Yapıştırılması

Yapıştırma işlemi biten Talon X-UAV'ın tamamen uçuşa hazır hale gelmesi için kanatların karbon fiber tüp kelepçelerinden gövdeye alyan ile takılması, kamera kafesinin gövdeye yine alyan ile sabitlenmesi ve kapağın gövdeye vida ile bağlanması gerekmektedir. Kolaylık sağlaması için hava aracı 3 parça halinde taşınabilmektedir. Montajın tamamlanmış hali Şekil 40'ta gösterilmiştir.



Şekil 40 - Talon X-UAV Sungur

7.2. Mekanik Entegrasyon



Şekil 41 - Motor, ESC ve Servo Entegrasyonu

Sungur bir RC uçak olmanın ötesinde sahip olduğu elektronik donanımla yüksek teknoloji bir İHA'dır. Görevi özelinde birçok mekanik parçaya sahip olan hava aracının mekanik entegrasyonu da kullanıcı dostu, sistemin verimli ve güvenli çalışmasını sağlayacak şekilde yapılmıştır. İHA'mızın itkisini sağlayacak olan motorun entegrasyonu X-UAV Talon şasesinin arkasında bulunan kontrplak motor pedine vidalanmasıyla yapılmıştır. Motorumuz çekme yerine itme uygulayacağından dolayı bu şekilde bir vidalama yeterli görülmüştür. Yapılan yer testlerinde motor itki doğrulama testi ile motor ve şase arasındaki bağlantının sağlamlığı görülmüştür. ESC konumlandırılırken ileteceği yüksek akımdan dolayı zamanla ısınacağı öngörülüp kolay soğuyabilmesi için motor soğutma kanalına konumlandırılmıştır.

Ayrıca motora yakın olması da kablolama açısından avantaj oluşturmuştur. ESC yerine sabitlenirken çift taraflı bant kullanılmıştır.

Servo motorlar şaseye önceden açılmış olan yuvalarına sıkıştırılarak yerleştirilmiş, üstünden de fiber bantla sabitlenmiştir. Bu sayede servo motorların arızalanması durumunda kolayca değişim yapılabilmektedir. Servo motorların kontrol yüzeylerine bağlantısı için çelik tel kullanılmış olup kontrol boynuzlarına bağlantıları yapılmıştır. Kontrol boynuzları da epoksi yapıştırıcı ile sağlam bir şekilde kontrol yüzeylerine konumlandırılmıştır. Bataryanın ağırlığı nedeniyle şaseye çok sağlam bir şekilde konumlandırılması gerekmektedir. Aksi takdirde uçuş sırasında oynayarak tehlikeli durumların oluşmasına neden olabilir. Bu anlamda yapışkan özelliğe sahip cırt bant kullanılarak batarya sıkıca sabitlenmiştir. Görev bilgisayarı konumlandırılırken görüntü verisinin geleceği kameradan veri alacağından dolayı kamera ile yakın olmasına dikkat edilmiştir. Kameranın hava aracının ön kısmında olmasından dolayı da görev bilgisayarı da bataryanın hemen arkasında konumlandırılmıştır. Bu sayede hem kameraya hem de diğer iletişimde olacağı elektroniklere yakın olması sağlanmıştır. Görev bilgisayarı sabitlenirken 3 boyutlu yazıcıdan çıkartılan koruyucu kap kullanılmıştır. Bu sayede hassas elektronik devre korunmuş, kablolar ile olası bir kısa devre engellenmiştir.

Telemetri, antenlerinin havaya bakacağı şekilde hava aracının üst kısmına konumlandırılmıştır ve antenler yerine sabitlenirken çift taraflı bant kullanılmıştır. Yine veri alışverişi yapacağı uçuş kontrol kartına ve güç alacağı voltaj regülatörüne yakınlığı göz önünde bulundurulmuştur.

Uçuş kontrol kartı barındırdığı sensörlerin daha doğru çalışması için hava aracının ağırlık merkezine yakın konumlandırılmıştır. Uçuş kontrol kartının birçok elektronik kablo bağlantısı olmasından dolayı hava aracının ortasında olması kablolama açısından avantaj sağlamıştır. Uçuş kontrol kartı şaseye sabitlenirken şaseden gelecek titreşimleri sönmemesi amacıyla damper kullanılmış olup bağlantılar çift taraflı bantla tutturulmuştur. Wi-Fi modülü büyüklüğü nedeniyle kuyruk kısmında kullanılmayan arka kısma yerleştirilerek o bölgenin verimli bir şekilde kullanılması sağlanmıştır. RC alıcı antenleri yukarı bakacak şekilde hava aracının üst kısmına yerleştirilmiştir. Güç modülü ve voltaj regülatörü geçirdikleri akımların oluşturdukları gürültüyle diğer elektronikleri etkilememeleri için hava aracı içinde diğer elektronik aksamdan olabildiğince uzak konumlandırılmıştır.



Şekil 42 - Uçuş Kontrol Kartı ve Diğer Aviyoniklerin Entegrasyonu



Şekil 43 - Batarya, Görev Bilgisayarı ve Telemetri Entegrasyonu

7.3. Elektronik Entegrasyon

Hava aracında kullanılacak aviyoniklerin doğru çalıştığının, yeterli güç aldığının ve parçalarda herhangi bir kısa devre olmadığını tespiti aviyonikler araca yerleştirilmeden önce yapılmalıdır. Bu amaçla sistem çalıştırılmadan önce tüm aviyoniklerin sağlıklı bir biçimde çalıştığı ayrı ayrı doğrulanacaktır. Yerleştirmenin ardından aviyonikler arasında uygun kablolama yapılacaktır. Kabloların lehimlendiği noktalarda veya açıkta iletken kalması durumunda makaron kullanılarak olası kısa devre ve güvenlik tehditlerinin önüne geçilecektir. Güç kabloları mümkün olduğunca kendi etraflarında döndürülüp güç etrafına sarılarak oluşacak elektromanyetik gürültü azaltılmaya çalışılacaktır. Halen elektromanyetik gürültü olması durumuna karşı güç kaynağı ve kablolarının elektromanyetik dalga geçirmeyen bir malzeme olan alüminyum folyo ile sarılması mümkündür. Kablolama yapılırken tüm kabloların gereken uzunlukta olması ağırlığı arttırmama açısından önemlidir. Elektroniklerin hava aracının içine yerleştirilmesi sırasında da konumlandırma gürültünün minimum olacağı şekilde olacaktır. Elektronik sistemin güç kaynağı 10.000 mAh 4S Li-Po bataryadır. 15-16.8 volt gerilimle ESC, Wi-Fi modülü ve voltaj regülatörünü besler. ESC'ye giden artı güç hattına sigorta bağlanmasıyla birlikte olası yüksek akımlarda motorun zarar görmesi engellenir ve acil durumlarda motora giden gücün kesilmesi sağlanır. Pixhawk Cube Orange ve ona bağlı olan GPS ve RC alıcı güç modülü üzerinden beslenir. Servo motorlar ESC'de bulunan BEC devresinin sağladığı 5 volt ile çalışırlar. Voltaj regülatörü bataryadan güç alır ve RFD telemetri ile NVIDIA Jetson Xavier NX'e 5 voltluk gerilim sağlar.

8. TEST VE SİMÜLASYON

ANATEK Sungur ekibi platform üzerinde geliştirmelerini yaparken adım adım ilerlemekte, tasarımsal ve yazılımsal anlamda eksiklerini tespit etmek için gerçek hayatta ve simülasyon ortamında testlerini gerçekleştirmektedir. Donanım performans yeterlilik, platform dayanıklılık testleri uygun güvenlik koşulları oluşturularak sahada gerçekleştirilirken teorik geliştirme sürecinde ortaya konan yazılımlar simülasyon üzerinde defalarca hata ayıklama işlemine tabi tutulduktan sonra stabil versiyonuna ulaşınca sahaya çıkarılmaktadır. Yazılımsal geliştirme sürecinde ROS-Gazebo robot fizik simülasyonundan faydalanılmaktadır. Platforma uygulanacak her bir testin HU-35X ekibinde çalışmış üyelerimiz tarafından hazırlanmış ve ekibimiz tarafından gerekli güncellemeleri yapılmış kendine özgü prosedürü mevcuttur. Bu bölümde platform geliştirme sırasında alt sistemlere uygulanması planlanan testler 8.1'de yer almakta, 8.2'de ise bu platformların parametre ayarlama prosedürleri, uçuş testlerine ait görseller ve her test öncesinde titizlikle uygulanan "ANATEK Uçuş Öncesi Kontrol Listesi" mevcuttur.

8.1. Alt Sistem Testleri

8.1.1. İtki Doğrulama Testi

Hava aracının sahip olduğu itki miktarı uçuş performansını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. İtkinin yetersiz olması durumunda hava aracı havalanamayabilir, gereken manevraları yapamayabilir ya da motorun itkiyi sağlamak için daha da zorlanmasından dolayı öngörülenden fazla miktarda güç tüketebilir. Bu sebeplerden ötürü itki değerinin doğrulanması gerekmektedir. Test prosedürünü özetlemek gerekirse öncelikle motor hassas

terazi üzerine sağlam bir şekilde bantlanır. Daha sonra pervane sıkıca takılır. Bu aşamada tartıda motor ve pervanenin ağırlığını hesaba dahil etmemek adına tara alınır. Ardından servo test cihazı ile kademeli bir biçimde güç verilmeye başlanır. Servo test cihazı maksimum çıkıtıyı iletği sırada terazide okunan değer maksimum itki değeri olarak not edilir. Test sonunda batarya çekilir ve malzemeler toplanır. Bu test sonucunda Sungur hava aracının sahip olduğu itki değeri görölmüş ve sistemin yeterli itkiye sahip olduğu doğrulanmış olacaktır.

8.1.2. Veri Link Menzil Testi

YKİ ve Sungur arasında bulunan telemetri bağlantısının yanında Wi-Fi üzerinden de bağlantı kurulacaktır. Sungur'dan YKİ'ye bu bağlantı sayesinde görüntü aktarımı gerçekleştirilecektir. Fakat bu bağlantının menzilin tespiti yapılması gerekmektedir. Veri link menzil testinin amacı bu menzilin bulunması ve Sungur ile YKİ arasındaki sinyal durumunu gözlemlemektir. Test prosedürünü özetlemek gerekirse Sungur'un kalkışının ardından video aktarımı gözlemlenecek, görüntü aktarım menziline bulmak için video aktarımı kesilene kadar Sungur'un YKİ'den uzaklaşması sağlanacaktır. Uzaklaşma sırasında Sungur-YKİ arasındaki sinyaller gözlemlenecektir. Böylelikle mesafenin sinyal şiddetine etkisi ve görüntü aktarım sisteminin menzili bulunacaktır.

8.1.3. Maksimum Uçuş Süresi Testi

Bu testte Sungur'un havada kaldığı azami süre tespit edilmeye çalışılacaktır. Stabil ve agresif uçuşlarda motorun harcadığı güç miktarlarının farklı olmasından dolayı iki durumu da gözlemek adına iki uçuş yapılması gerekmektedir. Bu uçuşlardan ilki yeterli büyüklükte kare bir rotanın döngüye alınmasıyla oluşturulacaktır. İlk aşamada stabil uçuşla kaç dakika uçulduğu gözlemlenecektir bu yüzden karenin kenar uzunluklarının büyük olması dönüş agresifliğini azaltması sebebiyle önemli bir kriter olacaktır. İkinci aşamada daha agresif bir rota çizilecek ve Sungur'un agresif uçuşta ne kadar uçtuğu gözlemlenecektir. Batarya voltaj seviyesi her bir hücre başına 3.75 Volt olduğunda iniş yapılacaktır. İki aşamada da kronometre ile süre tutulacaktır. Bu sayede Sungur'un uçuş süresi tespit edilecektir. Bu süre 25 dakika olarak öngörülmektedir.

8.1.4. Yapısal Test

Hava aracına uygulamak adına gerçek uçaklara yapılan yapı testleri incelenmiş ve kanat yük testinin yarışmada kullanılacak hava aracına uygun olduğu görölmüştür. Bu test sonucunda hava aracının yaptığı manevralar sırasında maruz kaldığı kuvvetlere nasıl tepkiler verdiği gözlemlenecektir. Hava aracı dönüş manevrası yaptığında merkezci kuvvete zıt yönlü bir tepki kuvveti oluşur ve bu kuvvetin kendi ağırlığından daha fazla olması muhtemeldir. Testte kanatların bu kuvvet altında eğilme miktarları gözlemlenecektir. Bunun için hava aracı kanatlarının altı boş kalacak şekilde ters çevrilir. Daha sonra kanadın üzerine uçağın ağırlığının tam sayı katları olacak şekilde ve belli uzaklıklarda ağırlıklar yerleştirilecektir. Eğilme miktarları cetvelle ölçülecektir. Uçağın şekli deforme olmadan maruz kalabildiği maksimum kuvvet bulunduğunda bu değer ile uçağın sağa veya sola dönüş sırasındaki maksimum eğilme açısı hesaplanabilir.

8.1.5. Rota İyileştirme Testi

Bu testin amacı Sungur'un otonom takip ve otonom iniş süresince kullanacağı rota planlayıcısının parametrelerinin iyileştirilmesidir. Testimizde insansız hava aracımız ilk olarak otonom olarak kaldırılıp yeterli irtifaya ulaşması beklenir. Bundan sonrasında yer kontrol istasyonundan Loiter moduna alınır. Loiter modunda stabil daireler çizmeye başladığında Otonom Takip moduna geçilir. Bu aşamada Sungur birbirinden yeterli uzaklıkta belirlenen iki nokta arasında döngüsel bir hareket yapacak ve bu hareketinde noktalara yalpalama açısıyla gelmeye çalışacaktır. Her döngüde rota planlamasında yer alan bazı değişkenler ve durumlar test edilecektir. Bunlardan bazıları dönüş yarıçapı, manevra sertliği, manevra sonrası uçağın kendini düzeltme doğruluğu ve hızıdır. Gerekli testler ve gözlemler yapıldıktan sonra yer kontrol istasyonundan otonom iniş komutu verilecektir. Oluşturulan rota ve uçağın iniş noktasına istenilen baş açısında gelmesi test edilecektir. Testin öncesinde simülasyon ortamında gerçekleştirilerek bazı parametrelerin ideal değerlerinin test öncesinde belirlenip testte bu değerlerin de denenmesi planlanmıştır.

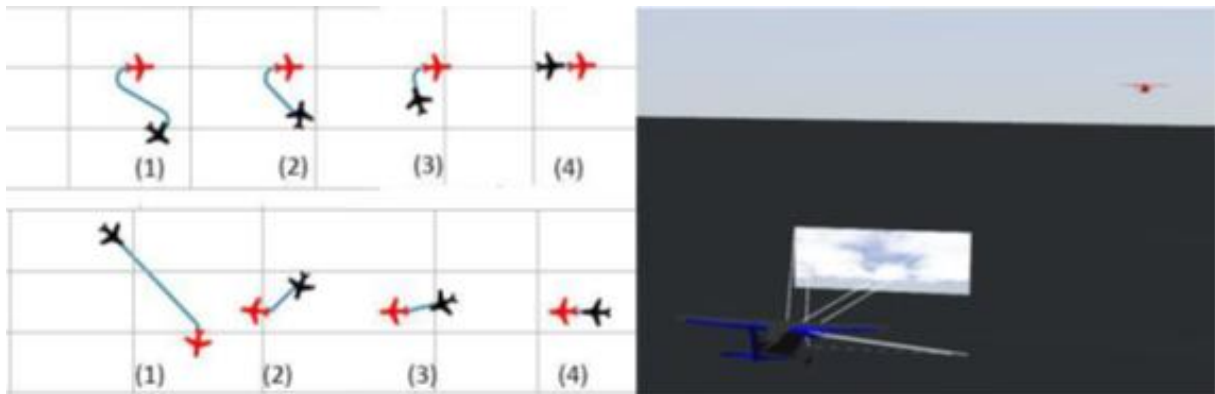
8.1.6. Rota Birim Testi

Rota iyileştirme testinde sabit noktalar oluşturulmuş ve bu ortamda parametreler iyileştirilmiştir ancak Sungur'un yarışma esnasında dinamik bir hedefe rota oluşturması gerekmektedir. Bu testte de Sungur rota planlayıcı ve rota takip algoritmaları kullanılarak hareketli bir hedef üzerinde testler gerçekleştirilecektir. Hareketli hedef olarak daha öncesinde test amaçlı geliştirdiğimiz insansız hava aracımızın kullanılması planlanmaktadır. Her iki İHA da aynı yer kontrol bilgisayarına bağlanacak ve yarışma sunucusunu taklit eden "sunucu.py" dosyası çalıştırılacaktır.



Şekil 44 - Görev Örneği

Rakip insansız hava aracına Şekil 44'te bir örneğine yer verdiğimiz şekilde bir otonom görev yüklenir. Görevin bitmesine ihtimaline karşı görev döngü içerisinde çalıştırılmalı ve bu görevin içerisinde farklı geometrik şekiller bulunmalıdır. Görevde farklı geometrik şekiller bulunması, algoritmaların farklı geometrik şekillerde belirlenen hareket rotaları için vereceği farklı tepkileri gözlemlememizi sağlar. Otonom görev yüklenmiş rakip İHA'ya ve Sungur'a kalkış yaptırılır ve Sungur otonom kitlenme moduna alınır. Sungur başarılı kitlenme ve oluşturulan



Şekil 45 - Rota Takibi ve Simülasyon Örnekleri

rota ile rakip İHA'ya ulaşmadan sonra 30 saniyelğine Loiter moduna girer ve daha sonra farklı bir noktadan tekrardan kitlenmeye çalışır. Bu sayede insansız hava araçlarının birbirine göre farklı konum ve duruşlarda bulunduğu durumlarda algoritmanın testi sağlanmış olur.

Teste gidilmeden önce Sungur'un simülasyon üzerinde testlerinin yapılması planlanmaktadır. HU35-X ekibimiz tarafından hazırlanmış Şekil 45'te yapılması planlanan rota takibi örneklerini ve simülasyondan bir kareyi görebilirsiniz.

8.1.7. Güdüm Yer Doğrulama Testi

Bu testte amacımız görev bilgisayarı üzerine yüklenen gömülü yazılımın girdilere doğru çıktılar verip vermediğini ölçmektir. Testin başlangıcında Sungur'a güvenlik anahtarı açık bir şekilde güç verilir. Bu esnada servolara girdiler ulaşmakta ancak motora güç gitmemektedir. Bu durumda iken Sungur güdüm moduna alınır ve kamera monte edilmiş görev bilgisayarı üzerinde nesne tespit yazılımı çalıştırılır. Tespit edilecek nesne, kameranın görüş alanı içerisinde çeşitli noktalara hareket ettirilir. Bu esnada kontrol yüzeyleri ve güdüm yazılımı çıktıları incelenir. Test sırasında nesne konumu görüntünün üstüneyken negatif yunuslama açısı üretme çabası gibi herhangi bir anormallik tespit edilmezse bu test başarıyla gerçekleştirilmiş olur.

8.1.8. Tümleşik Kilitlenme Testi

Simülasyon ortamında geliştirilmiş olan Görev Kontrol Yazılımı ve Seyrüsefer modüllerinin Görüntü İşleme modülüne entegre bir şekilde gerçek ortamda biri av biri avcı olmak üzere iki adet uçuş platformu ile gerçekleştirilecek olan testtir. Yarışma öncesi yarışma ortamının bir provası olacak şekilde planlanmıştır. Bu test sırasında, otonom kilitlenme için geliştirilen teori ve algoritmaların gerçekte platformlar üstünde nasıl bir performans sergilediği hava ve yer ortamlarında gözlemlenecektir. Yazılım modülleri içerisindeki kritik değişkenleri test sonrasında analizi yapılmak üzere görev bilgisayarı üzerine kaydedilecektir. Bu değişkenlerin en mühimleri "kilitlenme dörtgeni boyutu", "arzulanan yunuslama açısı, baş açısı, ve hız girdileri" ile eş zamanlı olarak elde edilmiş "yunuslama açısı, baş açısı, ve hız girdileri" ve "planlanan rota" ile "takip edilen rota" olacaktır. Bunun yanı sıra yayınlanan haberleşme dökümanındaki tüm mesajlar MAVLink paketi olarak YKİ'ye iletilecek ve arzulanan ile elde edilen değerler arası hatalar YKİ'de gerçek zamanlı olarak gözlemlenecektir. Aynı zamanda geliştirilen YKİ üzerinden gerçek zamanlı olarak sistemin iyileştirilmesi adına kontrolcü parametreleri güncellemeleri gerçekleştirilecektir.

YKİ'nin yanısıra harici bir bilgisayarda yarışma sunucusunu taklit eden bir yazılım çalıştırılacaktır. Test öncesinde bu yazılımın yayınladığı verilerin cinsleri kontrol edilmelidir (Örn: Hava hızı - m/s). Eğer cinslerde bir problem varsa test durdurulur ve mesaj tipi ivedilikle istenen duruma getirilir. Bunun yanı sıra test öncesi rakip İHA olarak kullanılacak platform için hafif, orta, yüksek seviyeli otonom rotalar belirlenir. Rakip İHA bu rotaları takip etmek üzere havalandırılır. Ardından Sungur üzerinde Görev Kontrol Yazılımı çalıştırılır ve otonom olarak it dalaşı faaliyetine başlanır.

8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi

8.2.1. Uçuş Kontrolleri

Ekibimiz önceki yıllardaki çalışmalarından elde edilen tecrübelerle oluşturulmuş, uçuş öncesi ve sonrasında yapılması gereken kontrollerin madde madde bulunduğu test prosedürünü kullanmaktadır. Bahsi geçen prosedür 5 başlıktan oluşmaktadır.

Test Öncesi Atölyede Yapılması Gerekenler: Test edilecek İHA'ların atölyede mekanik ve elektronik kontrollerinin yapılmasını kapsar.

Teste Götürülmesi Gereken Ekipman Kontrol Listesi: Sahada meydana gelebilecek her türlü soruna anında müdahale edebilmek ve testi sürekliliğini sağlamak adına titizlikle hazırlanan ekipman listesidir.

Uçuş Öncesi Sahada Yapılması Gerekenler: Uçuşun güvenli bir şekilde gerçekleşmesi adına uçuştan önce İHA'nın mekanik, elektronik ekipmanlarının kontrolü ve YKİ'de yapılması gereken bağlantıların tamamlanması ve kontrolünü kapsar.

Uçuş Sırasında Sahada Yapılması Gerekenler: Bu aşamada test sorumlusu tarafından belirlenen test amacı, beklentileri, yapılması gerekenler test üyelerine aktarılır. Daha sonra test sorumlusu tarafından test üyeleri arasında görev paylaşımı yapılır. Kameraman, pilot, YKİ sorumluları, saha sorumlusu belirlenir ve herkes kendine verilen görevi icra eder. Test boyunca test sorumlusu koordinasyonu sağlar ve testte gözlemlenenleri not alır.

Uçuş Sonrasında Yapılması Gerekenler: Uçuş sonrasında uçuşa dair alınması gereken veriler YKİ ve İHA'dan alınır. Malzemeler toplanır.

Anadolu Teknolojileri Takımı İnsansız Hava Aracı Test Kontrol Listesi		Sahaya Çıkmadan Önce Yapılması Gereken Testler	Sahaya Çıkmadan Önce Yapılması Gereken Testler
Test İsmi:		<ul style="list-style-type: none"> Telemetri Bağlantısı Uçuşun başladığından itibaren yavaş bakması ARM check'lerin açık olduğunun kontrol edilmesi Hızsız bir şekilde ARM olma Motorsuz sorunsuz bir biçimde çalışması Komanda kumandalarının doğru bir şekilde okunması Açıkta kablo bulunmaması Açıkta merkezinin istenilen komanda olması Görev kodunun hazır olması ANA_ANO_TESPIT parametresinin 1 olması 	<ul style="list-style-type: none"> Kronometresinin başlatılması Uçuş Sonrası : Motor Emergency : DISARM : Safety Switch'in açılması Batarya bağlantısının kurulması
Test Numarası:			
İHA Adı:			
İHA NO:			
İHA Uçuş Kütlesi:			
İHA maksimum hızı (gr):			
T/W Ratio:			
Tarih :			
Yer :			
Hava Durumu Raporu			
> Yağmurlu Durumu :	<input type="checkbox"/>		
> Çiylik :	<input type="checkbox"/>		
> Sisli :	<input type="checkbox"/>		
> Normal :	<input type="checkbox"/>		
> Sağanak :	<input type="checkbox"/>		
> Rüzgar Durumu :			
> Rüzgar (km/saat) :			
> Güç (km/saat) :			
> Yön :			
Test Sorumlusu :			
Teste Katılımcılar ve Görevleri			
Katılımcıların İsimleri	Görev Numaraları		
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
Toplanılacak			
> Yer :			
> Zaman :			
		Uçuş Öncesi Kontroller :	
		<ul style="list-style-type: none"> Kablolara bağlı olup oynanması Gövde kapaklarının yeterince sağlanması Kanadın Sabitlemesi Pervanın vidaya bağlanması CG Kontrolü Bataryanın vidaya sabitlenmesi Bataryanın bağlanması Kumandaların bağlanması Safety switch'in kapanması YK-İHA Telemetri bağlantısının yapılması Pilot-YKİ arasındaki telefon bağlantısının yapılması Kontrol yüzeylerinin yerleşiminin doğru olması (Ospilottaki her mod ve kumanda) Kontrol yüzeylerinin transistörün doğru olması (Ospilotdaki her mod ve kumanda) Kontrol yüzeylerinin max-min değerlerinin yeterli olması Pervane yerleşiminin doğru olması Mod geçişlerinin sorunsuz bir şekilde yapılabilmesi ARM/DISARM komutlarının sorunsuz bir şekilde çalışması Motor Emergency komutlarının sorunsuz bir şekilde çalışması Görev kodu için : Kamera kalibrasyonunun yapılması Wi-Fi yer modülüne güç verilmesi ve ethernet kablosu ile YKİ'ye bağlanması (Sadece JS batarya kullanılır) Wi-Fi modülünün bir bulaşına bağlanmasını beklenmesi SSE ile görev bilgisayara bağlanması Görev kodunun başlatılması Video kaydının başlatılması 	
			Uçuş Sırası :
			Batarya Başlangıç Voltajı :
			Test Sonu Batarya Voltajı :
			Elektronik Malzemeler
			İHA ve Bileşenleri (Malzeme Adları Yazılacak)
			<input type="checkbox"/> GPS:
			<input type="checkbox"/> İHA Telemetri :
			<input type="checkbox"/> Yer Telemetri :
			<input type="checkbox"/> Görev Bilgisayarı:
			<input type="checkbox"/> Kamera:
			<input type="checkbox"/> Power Modül:
			<input type="checkbox"/> Kumanda:
			<input type="checkbox"/> Doğru Bir Şekilde Çalışıyor
			<input type="checkbox"/> Batarya Durum : %
			<input type="checkbox"/> C/R Alıcı:
			Batarya Voltaj Uyarıcı
			<input type="checkbox"/> Birinci YKİ Bilgisayar
			<input type="checkbox"/> Doğru Bir Şekilde Çalışıyor
			<input type="checkbox"/> Batarya Durum : %
			<input type="checkbox"/> Yedek YKİ Bilgisayar
			<input type="checkbox"/> Doğru Bir Şekilde Çalışıyor
			<input type="checkbox"/> Batarya Durum : %
			<input type="checkbox"/> Ethernet Kablosu
			Wi-Fi Yer Modülü
			Wi-Fi Yer Modülü Güç Regülatörü

Şekil 46 - ANATEK Uçuş Kontrol Listesi 1

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Test Çekim Kamerası

Düzgün Bir Şekilde Çalışıyor

Batarya Durumu : %

Alınan Bataryalar

Marka	mAh	S	Tam Dolu	Adet
			<input type="checkbox"/>	
			<input type="checkbox"/>	
			<input type="checkbox"/>	

Uçuş Öncesi İHA Elektronik Malzeme Kontrolleri

Anemometre

Batarya voltaj uyarıcı

Batarya saaj aleti

Arabaya Taahhüt mü?

Traşer kablolu

İnvertör

Uçlu Uzatma

Alat Çantası Araç ve Gereç Kontrol Listesi

Masalar Alet Çantaları

Yiyecek-İçecek Su

MALZEMELER

Masa İp

Tripod Tarta

Büyük Maket Bıçağı Kalem Pili

Küçük Maket Bıçağı Yedek Pervane (1045)

Kolü Bandı Yedek Pervane (1047)

Elektrik Bandı Yedek Pervane (1365)

Fiber Bant Şiş (kalın ve ince)

Çift Taraflı Bant

Tamir Bandı

Büyük Yıldız Tornavida

Küçük Yıldız Tornavida

Büyük Düz Tornavida

Küçük Düz Tornavida

Pense

Kargaburun

Yan Keski

Kepçete

Alyan Seti

Malcas

Şerit Metre

Çöp Torbası

Yangın Tüpü

Lastik

Kelepeç

Çakmak

Japon Yapıştırıcı

3 Dk Epoksi

Multimetre

Pilot Kalem

Silinmez Kalem

M3-16mm 4 adet civata

Güneş Kremi

Servo Tester

Yedek Servo

İkik Mendil

Jumper Kablo (diji-diji, erkek-diji, erkek-erkek)

Test Bitişi Yapılması Gerekenler

Video kaydının durdurulması

İHA'nın kapatılması

Motor Emergency

DISARM

Safety Switch

Batarya bağlantısının kesilmesi

YK Bilgisayarının kapatılması

Malzemelerin alet çantasına koyulması

Masanın toplanması

Test bitiş saati:

Eksek veya Alınması Gereken Malzemeler:

>

>

>

>

Girdi (Testte Deneneler)	Çıktı (Testte Gözlemleniler)
1-	
2-	
3-	
4-	
5-	
6-	
7-	
8-	
9-	
10-	
11-	

Şekil 47 - ANATEK Uçuş Kontrol Listesi 2

8.2.2. Yer Testleri

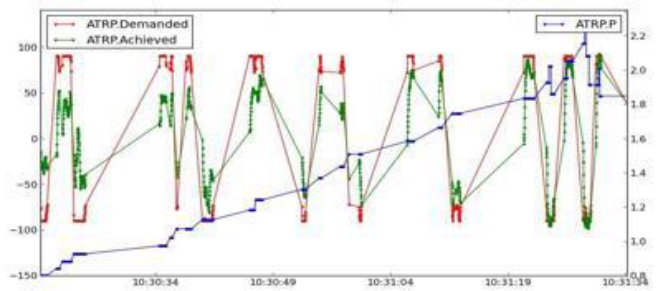
Testin amacı platformun mekanik ve elektronik olarak uçuşa hazır hale gelmesinin ardından sensör kalibrasyonlarının ve parametre ayarlamalarının yapılmasını kapsar. Sırasıyla gerçekleştirilen uygulamalar şu şekildedir: Ağırlık merkezi kontrolü, radyo kalibrasyonu, servo çıkış fonksiyonları kontrolü, ivmeölçer kalibrasyonu, pusula kalibrasyonu, elektronik hız kontrolcüsü kalibrasyonu.

8.2.3. Manuel ve FBWA Kararlılık Testi:

Testin amacı İHA'nın mekanik ve elektronik olarak kararlılığını test etmektir. Platform ile yapılan ilk uçuş testidir. Sistemin sorunsuz bir şekilde çalıştığı manuel ve yarı otonom modlarda yapılan uçuşla doğrulanır.

8.2.4. Autotune Testi

İHA'nın otonomi içeren modlarda daha güvenli ve isabetli uçabilmesi için yuvarlanma ve yunuslama hareketlerini kontrol eden kontrolcülerin ayarlanması gerekmektedir. Uçuş kontrol kartı, uçuş modu Autotune moduna alındığında bu parametreleri ayarlamaktadır. Testteki amaç yunuslama ve yalpalama açılarının PID kontrolcülerinin katsayılarını iyileştirerek uçuşun kararlılığını arttırmaktır. Test sonucundaki katsayılar kaydedilir ve sonrasında üretilen aynı model İHA'ların üretiminde kullanılabilir. Testin gerçekleştiği sırada istenilen(demanded) ve alınan(achieved) değerler test ilerledikçe birbirine yaklaşır. Bu da test ile istenilen ve alınan değerler arasındaki hatanın azaldığını göstermektedir.



Şekil 48 - İstenilen ve Alınan Açı Değerleri

Test sonucundaki katsayılar kaydedilir ve sonrasında üretilen aynı model İHA'ların üretiminde kullanılabilir. Testin gerçekleştiği sırada istenilen(demanded) ve alınan(achieved) değerler test ilerledikçe birbirine yaklaşır. Bu da test ile istenilen ve alınan değerler arasındaki hatanın azaldığını göstermektedir.

8.2.5. TECS İyileştirme Testi

TECS kontrol sistemi gaz keleşi ve yunuslama açısını kontrol ederek uçağın istenilen yükseklik ve hızda olduğunu kontrol eden sistemdir. Sungur irtifa kaybettiği zaman potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye dönüştürerek hız kazanır. Bu sırada İHA'ya etki eden sürtünme kuvveti İHA'nın hız kaybetmesine neden olur. Eğer İHA'nın hızı korunmak istenirse gaz keleşini azaltmak gerekebilir. Sungur irtifa kazandığı zamansa kinetik enerjisi potansiyel enerjiye dönüşür. Aynı zamanda sürtünme nedeniyle mekanik enerji kaybı da gerçekleşecektir. Bu da daha yüksek irtifalarda hızın sabit olması istenirse gaz keleşinin artırılması anlamına gelir. Testteki amaç bu dengeyi sağlayan algoritmanın parametrelerini belirlemek ve bu değerleri optimize etmektir. Yarışma esnasında Sungur'un irtifa kazanacağı ya da kaybedeceği anların olması muhtemeldir. Bu anlarda Sungur'un hızını koruması gerekmektedir. TECS iyileştirme testi, hız ve irtifa doğruluğunu sağlayan en önemli unsurlardan biridir. Bu test ile ideal değerlere ulaşmaya çalışılacaktır.

8.2.6. L1 İyileştirme Testi

Ardupilot yazılımı belirlenen rotada ve noktalar arasında dönüşler yapmak için L1 navigasyon algoritmasını kullanmaktadır. Bu testin amacı İHA'nın yapacağı dönüşlerin iyileştirilmesi, belirlenen rotaya uymasının optimize edilmesi ve salınımın azaltılması için L1 parametrelerinin en optimal değerlerinin elde edilmesini kapsar. Testte Sungur için en ideal değerler elde edilmiştir.

8.2.7. Titreşim ve Perdövites (Stall) Hızı Tespit Testi

Otopilot tarafından İHA'nın pozisyonu belirlenirken GPS, barometre ve ivmeölçer sensörlerinden gelen bilgiler kullanılır. Bu sensörler arasından ivmeölçer titreşimlere karşı duyarlı bir sensördür ve İHA'daki titreşimlerden etkilenir. Bu sebeple aşırı titreşim durumlarında ivmeölçer ölçümlerinin doğruluğu bozulacak ve bu da isabetli konumlandırma gerektiren modların yeterince iyi çalışmamasına neden olacaktır. Bu tip durumları engellemek adına bu testin ilk kısmında uçuş sırasında İHA'daki titreşim seviyesi ölçülmektedir. Bu test ile İHA'nın titreşim oranı tespit edilmiş olup damper ile beraber kullanıldığı durumlarda otopilot titreşiminin normal değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

Uçağın kanatları üzerinden akan havanın düzgün bir akışta olmayıp düzensizleştiği durumlarda yeterli kaldırma kuvveti oluşamaz ve uçak perdövites (stall) girer. Perdövites giren uçak havada tutunamadığından dolayı düşmeye başlar. Uçağın perdövites girmesini engellemek adına otopilot hangi durumlarda uçağın perdövites gireceğini tahmin eder ve bu tahminlere göre perdövites engellemek amacıyla bazı önlemler alır. Bu tahminler uçağın "level flight" sırasındaki perdövites hızına göre yapılmaktadır. Bu sebeple olası kazaları engellemek ve uçağı maksimum verimde kullanabilmek adına level flight sırasındaki perdövites hızının bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Bu testte level flight sırasındaki perdövites hızı tespit edilmiştir.

8.2.8. Otonom Kalkış Testi

Testin amacı elden atılan bir İHA ile otonom kalkış modunun kullanımını ve İHA'ya verilen görevin başlangıcının doğruluğunu gözlemlemektir. Bu test ile yarışmada yapılacak otonom kalkış aşaması test edilecek ve buradan elde edilen verilerle parametreler iyileştirilecektir.

8.2.9. Otonom İniş Testi

Testin amacı İHA'nın otonom olarak stabil ve hassas bir şekilde iniş yapabilmesini sağlamaktır. Bu amaçla parametreler test edilecek ve İHA'nın olabildiğince az hasar alarak iniş yapması sağlanmaya çalışılacaktır. Bu test sırasında aynı zamanda iniş yapılmadan hemen önce inişlerin iptal edilmesi (abort landing) de test edilecektir.

8.2.10. Otonom Uçuş Testi

Bu testin amacı tam otonom uçuş için gerekli iyileştirmeleri tamamlayıp kalkışı ve inişi de dahil olmak üzere tam otonom uçuş gerçekleştirmektir. Bu test ile Sungur'un yarışma öncesinde gerekli yeterliliklere sahip olduğunun kanıtlanması amaçlanmaktadır.

8.2.11. GeoFencing Uçuş Testi

İnsansız hava aracının uçuş alanının belirli durumlarda sınırlandırılması gerekebilir. Bu tür durumlarda da otopilotun GeoFencing özelliği sayesinde İHA'nın tanımlanmış alan içerisinde kalması ve bu alandan çıkması durumunda da daha öncesinden belirlenmiş bir koordinata dönmesi sağlanır. GeoFencing özelliği ile sadece enlem ve boylam açısından sınırlandırmalar değil aynı zamanda minimum ve maksimum uçuş irtifaları belirlenerek İHA'nın bu alan içerisinde uçuşması sağlanabilir. Bu test ile yarışmada Sungur'un belirlenen alan içerisinde kalması ve bu alandan çıkması durumunda da belirlenen koordinatlara dönmesi simüle edilmeye çalışılmıştır.

8.2.12. Failsafe Testi

Kırım veya çevreye zarar ile sonuçlanabilecek durumların otopilot tarafından fark edilmesi ile İHA'nın önceden belirlenmiş bazı aksiyonlar almasına failsafe denir. Bu testte Sungur'un RC kumanda ve yer kontrol istasyonu ile bağlantısının kesildiği veya bataryasının belirli bir düzeyin altına indiği durumlarda alacağı aksiyonların test edilmesi amaçlanmıştır.

9. GÜVENLİK (5 PUAN)

Yapılan çalışmalarda takım üyelerinin şahsi güvenliği ve kullanılan hassas elektronik aletler, işlerin sıkı emniyet önlemleriyle yapılmasını lüzumlu kılmaktadır. Yapılan atölye çalışmalarında takımımız atölye yönetmeliğine bağlı kalarak bütün alet ve edevatları doğru halde kullanıp muhtemel kullanıcı kaynaklı kazaları önlemektedir. Hava araçlarında güç deposu olarak kullanılan Li-Po bataryalar, belli nedenlerden ötürü yanma durumu teşkil etmeleri nedeniyle Şekil 9'da görülen gizleme çantalarında muhafaza edilmektedirler. Atölye çalışmalarında ya da kontrol esnasında, muhtemel yaralanmalarda gerekli müdahalenin yapılabilmesi için ilk yardım kiti bulunmaktadır. Yine atölyemizde kısa devrelerden ya da Li-Po pillerden çıkabilecek yangınları önlemek amacıyla yangın tüpü bulundurulmaktadır. Atölye faaliyetleri sonrasında muhtemel bir açık elektronik ekipmanın kapatılması amacıyla sigortadan bütün



Şekil 49 - Li-Po Saklama Çantası

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

elektrik kesilmektedir. Motor pervanesi olası dikkatsizlik durumlarında tehlike yaratmaktadır. Yüksek hızlara ani bir halde çıkıp parmak ya da vücut yaralanmalarına sebep olabilmektedir. Bu anlamda meydana getirilen çalışmalarda pervane ancak uçuştan derhal ilkin takılmaktadır. Atölye çalışmalarında yapılacak işin oluşturabileceği tehlikelere nazaran tedbir alınmaktadır. Gerektiği yerlerde atölye gözlüğü ve iş eldiveni kullanılmaktadır. Özellikle hobi matkabı ile kesme işlemi yapılırken göze gelebilecek küçük parçalardan korunmak amacıyla atölye gözlüğü kullanılmaktadır.

REFERANSLAR

- [1]: Alıntıdır: https://cdn.teknofest.org/media/upload/userFormUpload/Sava%C5%9Fan_%C4%B0HA_Yar%C4%B1%C5%9Fma_%C5%9Earnameesi_PjMhK.pdf
- [2]: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-90-481-9707-1_120
- [3]: Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks
- [4]: Joseph Redmon, Ali Farhadi. (2018). YOLOv3: An Incremental Improvement
- [5]: Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg. (2015). SSD: Single Shot MultiBox Detector
- [6]: Tsung-Yi Lin, Priya Goyal, Ross Girshick, Kaiming He, Piotr Dollár. (2017). Focal Loss for Dense Object Detection
- [7]: Kaiwen Duan, Song Bai, Lingxi Xie, Honggang Qi, Qingming Huang, Qi Tian. (2019). CenterNet: Keypoint Triplets for Object Detection
- [8]: Zhaohui Zheng, Ping Wang, Dongwei Ren, Wei Liu, Rongguang Ye, Qinghua Hu, Wangmeng Zuo. (2020). Enhancing Geometric Factors in Model Learning and Inference for Object Detection and Instance Segmentation
- [9]: <https://arxiv.org/abs/1602.00763>
- [10]: <https://ardupilot.org/plane/docs/auto-mode.html>
- [11]: <https://ardupilot.org/plane/docs/guided-mode.html>
- [12]: <https://ardupilot.org/plane/docs/geofencing.html>
- [13]: Heard, C. (2014, March). USB 3.0 empowers embedded vision: USB3 vision has a number of benefits for industrial and embedded vision applications. *Quality*, 53(3), 10VS+.
- [14]: “Söker B. (2013, June). Polarization diversity in channel modeling for mimo systems <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=1wrK9N136sDc3mYDjkF4VA&no=HSapL9rcg5T9XzY6GeyPnA>
- [15]: <https://docs.qgroundcontrol.com/master/en/>