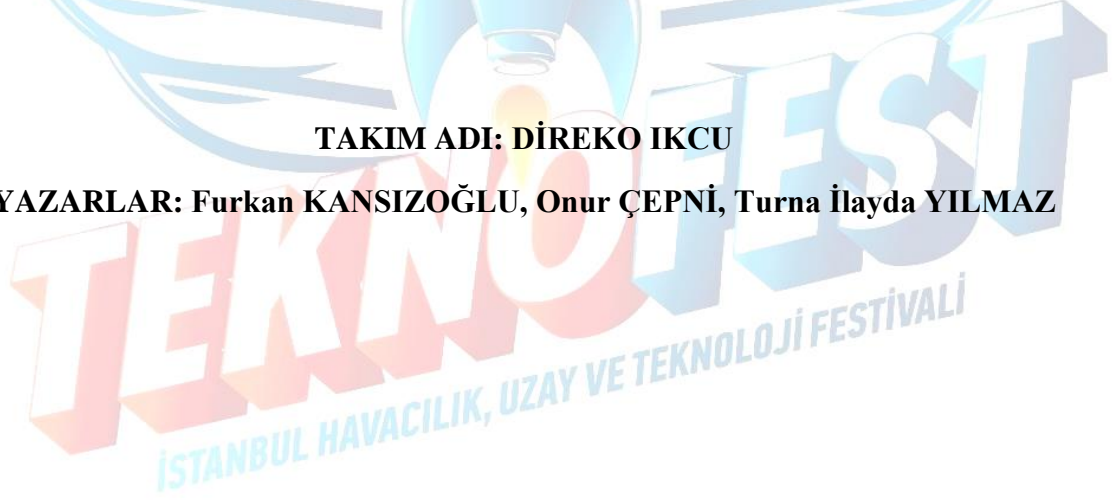




**TEKNOFEST İSTANBUL
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ
SAVAŞAN İHA YARIŞMA
KRİTİK TASARIM RAPORU**

TAKIM ADI: DİREKO IKCU

YAZARLAR: Furkan KANSIZOĞLU, Onur ÇEPNİ, Turna İlayda YILMAZ



İÇİNDEKİLER

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ	3
1.1. Sistem Tanımı	3
1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri	4
2. ORGANİZASYON ÖZETİ	5
2.1. Takım Organizasyonu	5
2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe	7
3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ	9
3.1. Nihai Sistem Mimarisi	9
3.2. Alt Sistemler Özeti	13
3.3. Hava Aracı Performans Özeti	19
3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı	20
3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı	20
4. OTONOM KİLİTLENME	22
5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME	26
6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI	29
7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU	32
7.1. Yapısal Entegrasyon	32
7.3. Elektronik Entegrasyon	40
8. TEST VE SİMÜLASYON	41
8.1. Alt Sistem Testleri	42
8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi	44
9. GÜVENLİK	47
10. REFERANSLAR	50

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ

1.1. Sistem Tanımı

İnsansız Hava Araçlarının ana alanı, kullanılan bileşenlerin küçülmeye başlamasıyla doksanlı yılların ortalarında büyümeye başladı, bu da normal bir uçağın neredeyse tüm uçuş yeteneklerine sahip hafif ve küçük bir uçak yapmayı mümkün kıldı. Gelişen teknoloji ve sınırları zorlama arzusunda insanoğlunun sonsuz araştırma hevesi neticesinde, son zamanlarda hızla gelişen otonom araçlardan biri olan “İnsansız Hava Araçları” alanında ciddi bir sektör ve rekabet oluştu. Gündelik yaşamda birçok yerde karşımıza çıkan İHA’lar tarım ve haritalandırma gibi çeşitli sektörlerde kullanılsa da daha çok askeri alanda karşımıza çıkmaktadır. DİREKO İKCU takımı olarak bu teknolojiyi yakından takip eden ve hayalimizdeki İHA’yı gerçeğe kavuşturmak için bu yıl, milli teknoloji hamlesine destek veren Teknofest’in düzenlediği “Savaşan İHA Sabit Kanat Kategorisi” üzerinden yarışmaya katıldık.

DİREKO İKCU olarak amacımız, gözlem araçları olarak kullanılan İHA’lara çevresel farkındalık, karar verme yeteneği ve dinamik ortamlarda planlama yeteneği kazandırarak savaş uçaklarının yaptıkları Dogfight, Hava-Hava muharebe manevraları yapabilme ve kamikaze yetenekleri kazandırmaktır. Bu doğrultuda yaptığımız çalışmalar ve araştırmalar neticesinde:

- Takım arkadaşlarımızın çeşitli kaynaklardan yaptıkları literatür taramaları tamamlanmıştır. Uçağımızın kalkış ağırlığı, faydalı yük taşıyabilme kapasitesi, havada kalış süresi gibi özellikleri yapılan teorik ve uygulamalı testler sonucu performans değerleri belirlenmiştir.
- Hava aracımızın olabildiğince hafif olması hedeflenmiş, bu doğrultuda uçağımız köpük üzerine karbon fiber kaplama olarak tasarlanmıştır.
- Uçağımızın diğer rakip uçaklar tarafından tespit edilebilmesini zorlaştırmak amacıyla uçağın görünürlüğü üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Uçağın kalkış ağırlığı fazla olduğu için ideal kanat genişliği belirlenmiştir.
- Olabildiğince hafif tasarladığımız uçağın havadaki kalış süresini arttırabilmek ve uçağımıza her türlü ortamda otonom bir şekilde kalkış-iniş yapabilme yeteneği kazandırabilmek için elle fırlatma sisteminin uygulanması uygun görülmüştür.
- Hazırladığımız uçağa kazandırılan otonom uçuş sayesinde kumanda ihtiyacı duymadan karar verebilme yeteneği kazandırılmıştır. Acil durumlarda müdahale edebilmek için hem yer kontrol istasyonundan kontrol ettiğimiz joystick hem de el kumandası olmak üzere iki farklı kumanda sistemimiz bulunmaktadır. Uçağımızın otonom uçuş sırasında hata vermesine karşı anlık müdahale edebilmemiz için iki pilotumuz bulunmaktadır. (2021, Savaşan İHA Yarışması, Sabit Kanat, DİREKO İKCU)

İtki Sistemi; Kalkış ağırlığı yaklaşık olarak 5.5kg olan Direko İHA’nın itki sistemini sağlayacak SunnySky X4125 515kv Fırçasız DC motor, 15x8 EOLO pervane, İHA’nın “Roll”, “Pitch”, “YAW” eksenlerinde hareketini sağlayabilmesi için 4 adet Hitec servo ve 80A değerinde ESC’den oluşmaktadır.



(Görsel 1, SunnySky X4125 515kv)



(Görsel 2, HobbyWing SkyWalker 80A ESC)

Yer Kontrol İstasyon Sistemi; Yer kontrol istasyonu bilgisayarı olarak Monster Abra A5 laptop kullanılmaktadır. İHA'nın takibi için Mission Planner ve Kilitlenme takibi için Direko arayüzü kullanılmaktadır.

Yer Kontrol İstasyon Anteni; İHA'nın anlık takibi için iki farklı anten sistemi kullanılmaktadır. RFD 868 telemetri sistemi ile birlikte Pixhawk telemetri veri takibi yapılmaktadır. Ubiquiti Wifi link anteni ile birlikte Jetson Xavier görüntü işleme bilgisayarı veri takibi, komut gönderme ve görüntü aktarma anteni olarak kullanılmaktadır.

Güç Sistemi; İHA'nın motor itki gücünü sağlayabilmesi için 1 adet 6S 8000mAh Lipo pil kullanılmaktadır. Uçuş kontrol sistemi, görüntü işleme bilgisayarı ve servoların gücünü sağlayabilmesi için 1 adet 4s 5200 mAh lipo pil kullanılmaktadır. Pixhawk, yardımcı bilgisayar, RFD 868 telemetri ve ubiquiti wifi link anteni sistemlerine güç dağılımı yapılabilmesi için "Matek PDB 5V BEC" güç dağıtım kartı kullanılmaktadır. Güç sistemlerinin kontrolü için Sigorta ve Anahtar sistemleri kullanılmaktadır.

Kumanda Sistemi; Operatörün acil durumlarda İHA'ya anlık müdahale edilebilmesi için kullanılan radyo kontrol cihazdır. Jumper T16 Pro RC kumanda kullanılmaktadır.



(Görsel 3, Jumper T16 Pro RC Kumanda)

Uçuş Kontrol Sistemi; Bu sistem içerisinde, İHA'nın otonom bir şekilde uçuş yapabilmesi için bir adet uçuş kontrol sistemi; Kilitlenme ve kamikaze görevleri için kullanılacak olan Jetson Xavier NX görüntü işleme bilgisayarı; Hava hızının ölçülebilmesi için bir adet Pitot tüpü ve İHA'nın konumunu belirleyebilmesi için iki adet Here 3 GPS bulunmaktadır.

1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri

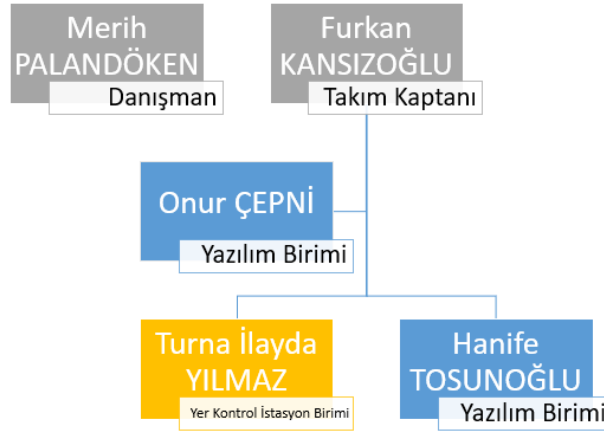
Kritik tasarım raporu sürecinde yapılan geliştirmeler, performans analizleri ve uçuş testleri sonucunda İHA'nın sistem nihai performans özellikleri belirlenmiş Tablo 1 de belirtilmiştir.

Nihai Sistem Performans Özellikleri	
Seyir Hızı	13 m/s
Stall Hızı	11 m/s
Azami Hız	31 m/s
Kalkış Ağırlığı	5500 gr
Kanat Açıklığı	2 metre
Uçuş Süresi	23 dk
Kamera Çözünürlüğü	640x480p 90
Haberleşme Menzili	15 km
Yer Kontrol İstasyonu	Monster Abra A5

(Tablo 1, Nihai Sistem Performans Özellikleri)

2. ORGANİZASYON ÖZETİ

2.1. Takım Organizasyonu



(Şema 1, Takım şeması)

2021 yılında “Teknofest Savaşan İHA Sabit Kanat” yarışmasına katılarak finalistler arasında yer alan DİREKO IKCU takımı, Teknofest yarışması sonucunda edindiği bilgi ve farkındalık ile İzmir Kâtip Çelebi Üniversite bünyesinde “Robotik ve Yapay Zekâ Teknolojileri Topluluğu” nu kurmuş ve daha yüksek bir motive ile 2022 yılında “IKCU RAI” bünyesinde tekrar “Savaşan İHA Sabit Kanat” yarışmasına başvurmuştur.

Merih PALANDÖKEN; Takımın danışman hocalığını yapmaktadır. 2005 yılında Hamburg Teknik Üniversitesi, Hamburg, Almanya'dan mikroelektronik ve mikrosistem mühendisliği diploması ve Ph.D. 2012 yılında Berlin Teknik Üniversitesi, Berlin, Almanya'dan teorik elektrik mühendisliği derecesini almıştır. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde çalışmaktadır. Mikrodalga/milimetre-dalga frekanslarında aktif/pasif kablosuz bileşenlerin analitik/sayısal tasarımı ve modellenmesi, özellikle RF enerji hasat sistemleri, kompakt mikrodalga soğurucuları, makine öğrenmesi tabanlı akıllı RF bileşenleri ve akıllı RF bileşenleri alanında çalışmaktadır.

Furkan KANSIZOĞLU; İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümü 3. sınıf öğrencisi. İMHAD Robot Maker atölyesinde 3B tasarım dersi, model uçak ve

Python eğitimleri vermektedir. 2020 Teknofest'e katılan Akyıldız-18 takımına danışmanlık vermiştir. 2021 yılında katıldığı Teknofest Savaşan İHA yarışmasında Finalist takımlar arasında yer almıştır. Takımın kaptanlığını, İHA'nın tasarımı ve takımın pilotluk görevini üstlenmektedir.

Onur ÇEPNİ; İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümü 1. sınıf öğrencisi. DİREKO takımı Yazılım Birim Lideri görevini yapmaktadır. Marmara Üniversitesi Elektronik Teknolojisi bölümünden mezundur. Lise yıllarından C programlama eğitimi almıştır. C++ alanında kendisini geliştirmekte ve iyi düzeyde Python bilmektedir. İHA'nın görüntü işleme ve kontrol sistemleri kısmında görev almaktadır.

Hanife TOSUNOĞLU; DİREKO IKCU takımının yazılım biriminde görev yapmaktadır. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Elektrik- Elektronik Mühendisliği bölümü 2. sınıf öğrencisidir. İHA'nın görüntü işleme, hedef tespit ve uçuş kontrolleri sistemleri üzerinde çalışmaktadır.

Turna İlayda YILMAZ; DİREKO IKCU takımının Yer Kontrol İstasyonu biriminde görev yapmaktadır. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği 2.sınıf öğrencisidir. Türkiye İzcilik Federasyonu'nda İzci Gönüllüsüdür. İHA-1 pilotudur. Özgün bir tasarım ile DİREKO IKCU takımının Yer Kontrol İstasyonu'nu tasarlamakta görev almaktadır

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe

Görev Tanımı	Sorumlu	HAFTALAR																							
		ŞUBAT				MART				NİSAN				MAYIS				HAZİRAN				TEMMUZ			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Görev Analizi ve Literatür Taraması	Furkan KANSIZOĞLU	■	■	■	■	■																			
Malzeme Seçimi ve Hava Aracı Maliyet Hesaplama	Furkan KANSIZOĞLU				■	■	■	■																	
Detaylı Tasarım ve Güç Sistemleri Tasarımı	Furkan KANSIZOĞLU									■	■	■													
Hedef Takip ve Hedeften Kaçınma Sisteminin Oluşturulması	Onur ÇEPNİ/ Hanife TOSUNOĞLU				■	■	■	■			■	■	■												
Otonom Sisteminin Oluşturulması	Onur ÇEPNİ									■	■	■	■												
Prototip İmalat ve Sistem Entegrasyonu	Turna İlayda Yılmaz													■	■	■	■								
Otonom Sistem Uçuş Testi	Takım																	■	■	■	■				
Hedef Belirleme ve Hedeften Kaçınma Testi	Takım																					■	■	■	■

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

No	Parça Adı	Destek Talebi	Adet	Net Fiyat (TL)
1	22.2V 8000mAh Lipo Batarya	VAR	1	4.000,00
2	14.8V 5200mAh Lipo Batarya	VAR	1	2.000,00
3	LI-IMX219-MIPI-FF-NANO-H90 Kamera	VAR	1	902,00
4	Pixhawk BUNDLE RFD – 868X	VAR	1	7.540,00
	XOAR PJM-E 15x8 Pervane	VAR	2	725,00
	Eolo 15x8 Elektrik Pervane	VAR	2	300,00
	Karbon Fiber Kumaş 93gr/m2	VAR	5	7.500,00
	MGS Laminasyon Epoksi Seti L285/H287 (1.5kg)	VAR	1	1.100,00
	LIDAR Lite V3	VAR	1	3.100,00
Talep Edilen Destek Tutarı		27.161,00 TL		
5	Pixhawk Power Brick Mini – HX4	YOK	1	680,00
	EN715 Jetson Xavier Nx	YOK	1	15.500,00
	SunnySky X4125 – 480 kv Motor	YOK	1	2.500,00
7	Ubiquiti Networks BULLET DUAL-BAND AC AIRMAX	YOK	1	1.700,00
8	Hitec HS-5245MG Dijital Mini High Tork Metal	YOK	4	2.880,00
9	Hitec HS-422 Delux Servo	YOK	4	1.200,00
11	Pixhawk Here 3 Can GPS	YOK	1	3.500,00
12	Flysky 10 Kanal Kumanda Alıcısı	YOK	1	600,00
13	Pixhawk Cube Orange Standart Set	YOK	1	7.700,00
14	Matek PDB 5v Bec	YOK	1	130,00
15	PX4 Pitot Tüpü	YOK	2	1.800,00
16	HobbyWing 80A ESC	YOK	1	650,00
21	Karbon Fiber Boru 3K Dış: 12mm İç:10mm	YOK	6	1.680,00
22	Karbon Fiber Boru 3K Dış:26mm İç:24mm	YOK	3	1.650,00
24	FrySky Taranis X9D Plus Kumanda	YOK	1	4.800,00
25	XT60 Konnektör Dişi	YOK	10	120,00

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

26	XT60 Konnektör Erkek	YOK	10	120,00
27	Ubiquiti T NANOBEAM 5 AC	YOK	1	1.800,00
Talep Edilmeyen Destek Tutar		49.010 TL		
Toplam Bütçe		76.171,00 TL		

İnsansız hava aracımızın yapımı için gerekli bütçe yukarıdaki tabloda belirtildiği üzere toplam 76.171,00TL” dir. Ön tasarım raporu aşamasında yapmış olduğumuz fiyat araştırmasına göre dolar kuru farkından dolayı güncel ürün listemizin bütçesi yükselmiştir. İki bütçe arasındaki fiyat farkı, ihtiyaç dışı ürünler çıkarılarak dengelenmeye çalışılmıştır.

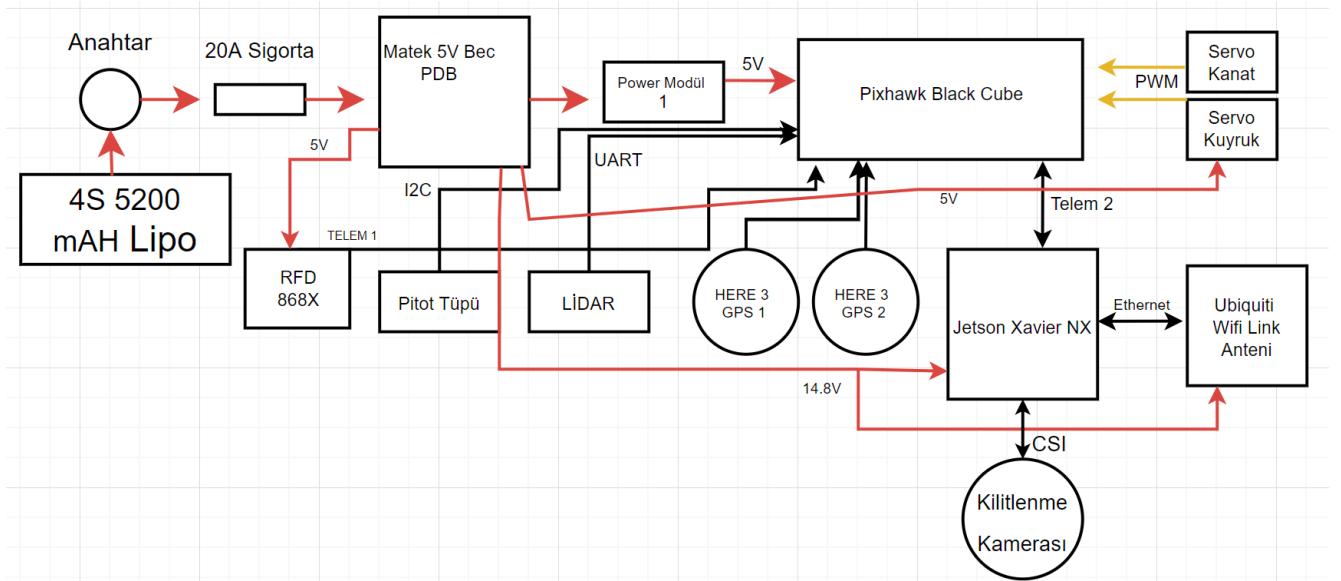
İMHAD Gençlik ve Spor Kulübü’nün İHA Yapımında vereceği malzeme desteği ile Teknofest’ten talep edilecek destek bütçesi indirilmiştir. Aynı zamanda uçuş testleri sırasında daha önceden elimizde bulunan ürünler kullanılacaktır.

DIREKO IKCU takımı olarak İHA’mızın yapımı için Teknofest’ten talep edilecek bütçe miktarımız “27.161,00 TL” dir.

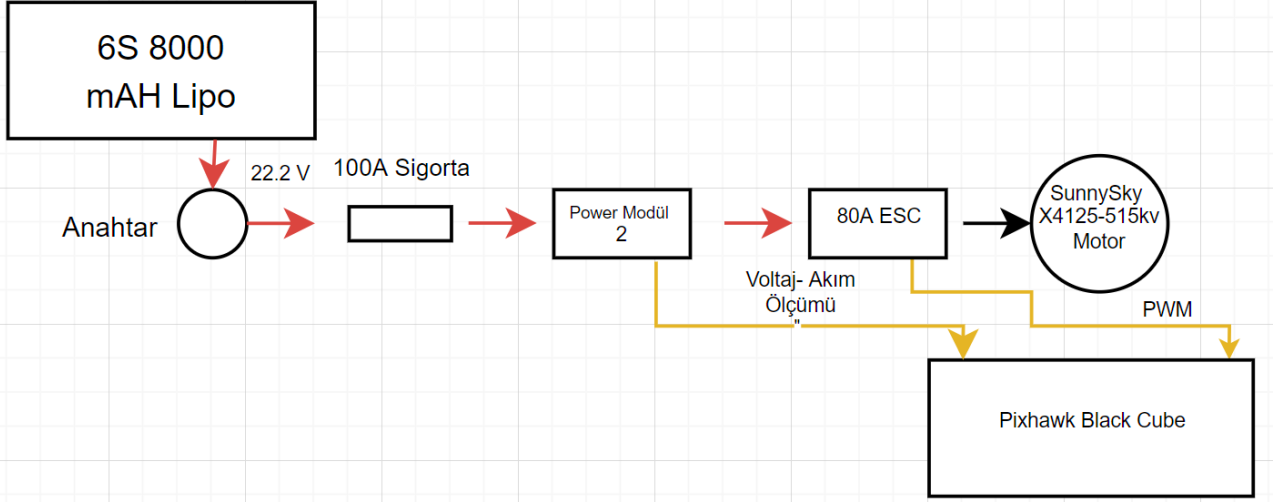
3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ

3.1. Nihai Sistem Mimarisi

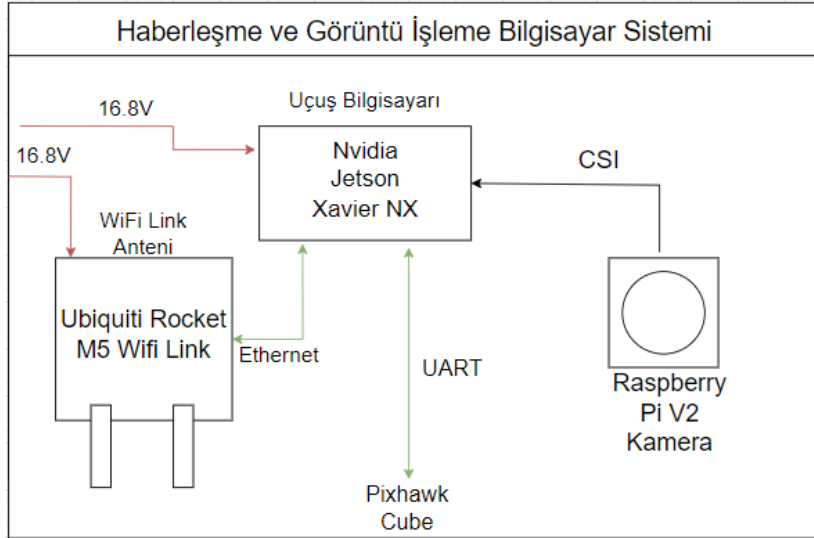
Hava aracı sistem mimarisinde, ön tasarım raporunda belirtilen ve kullanılması planlanan malzemelerin tekrar değerlendirilmesi ve İHA üzerinde yapılan geliştirmeler sonucunda bazı donanımlarda değişikliğe gidilmiştir. Ön tasarım raporu ile Kritik tasarım raporu sistem mimarisi arasında 3 farklı geliştirme bulunmaktadır. Nihai sistem mimarisi alt başlıkları belirtilmiştir.



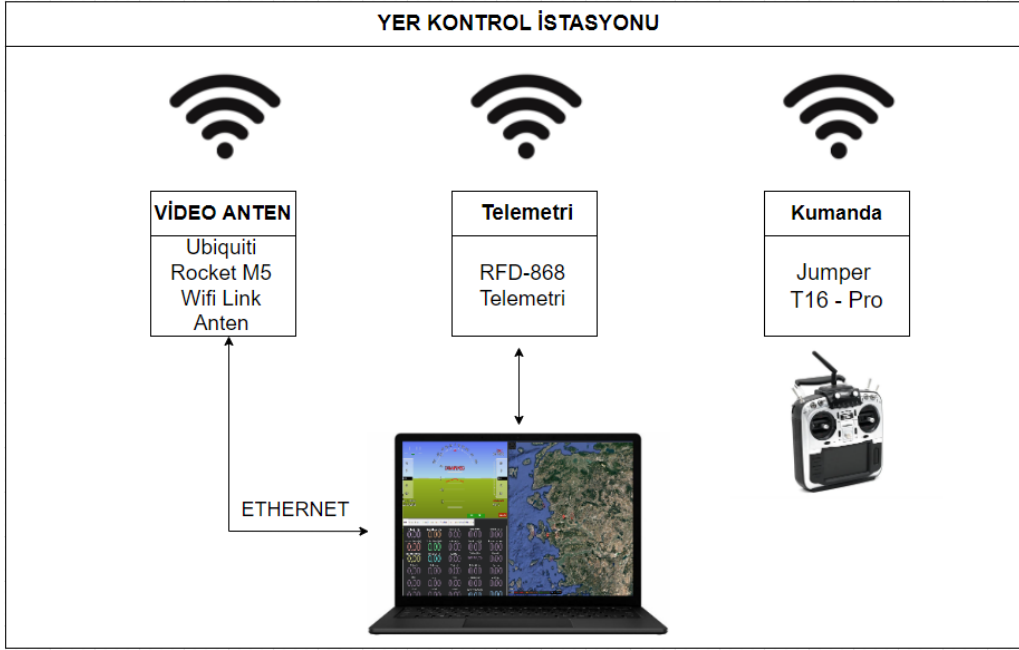
(Şema 2, Nihai Aviyonik Sistem Mimarisi)



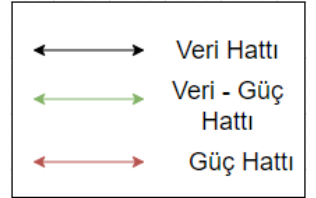
(Şema 3, Nihai İtki Sistem Mimarisi)



(Görsel 4, Nihai Haberleşme Sistemi)



(Görsel 5, Nihai Yer Kontrol İstasyon Sistemi)

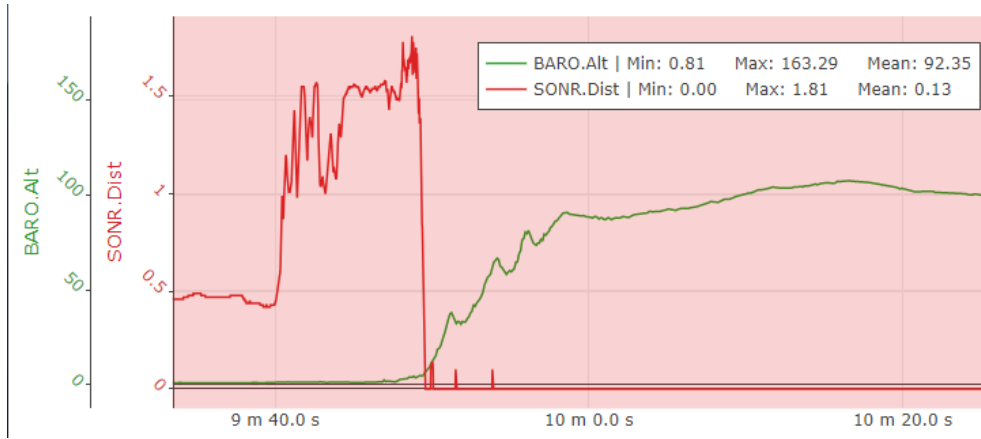


Kritik Tasarım Raporu Sürecinde Yapılan Değişiklikler:

- Ön tasarım raporu aşamasında belirtilen kuyruk kontrol yüzeyinde kullanılacak iki sağ kuyruk, iki sol kuyruk toplamda dört servonun kullanılması servoların birbirinin yedeği olması bir servonun arızalanması durumunda diğer servonun çalışması ile uçuşa devam etmesi planlanıyordu. Fakat kuyrukta kullanılan servoların ağır olmasından dolayı kuyrukta fazla ağırlık oluşmuş, uçağın ağırlaşması ve ağırlık merkezini bozulması göz önünde bulundurularak 2 servonun çıkartılmasına karar verilmiştir.
- Ön tasarım raporu aşamasında tasarlanan sistem üzerinde yapılan geliştirmeler arasında İtki sistem batarya izleme üzerine geliştirme yapılmıştır. Ön tasarım raporunda belirtilen sistemde itki sisteminin bataryası harici 6S Lipo pil üzerinden karşılanmaktadır. 6S Lipo pil pixhawk ile bağlantısı olmaması ve direk ESC'ye bağlanmasından dolayı batarya izlemesi yapılamamaktaydı. Yapılan geliştirme sonucu sisteme ikinci bir Pixhawk Power Modül bağlanacak, bu power modül üzerinden pixhawk'a güç verilmeyecek sadece batarya izlemesi yapılacaktır. Şu anda bu sistem yapım aşamasında olup yakın süre içerisinde testi yapılacaktır. Pixhawk Cube üzerinde bulunan Power 2 portuna takılacak olan Power Modül'ün Voltaj sensör, Akım sensör ve GND pinleri takılarak batarya izlemesi yapılacaktır.
- Ön tasarım raporu aşamasında belirtilen, iniş sırasında kullanılacak İHA ile yer yüzü arasında ki mesafe tespiti için kullanılacak TF-Mini Plus Lidar'ın uçuş testleri sırasında yapılan mesafe kontrol testi sonucunda firmanın belirtmiş olduğu 12 metre algılama test sonucu 2 metre olduğu tespit edilmiş ve TF-Mini Plus Lidar'ın verimsiz olduğu tespit edilmiştir. KTR yazım sürecinde "Garmin Lidar Lite v-3" kullanılması planlanmıştır. Bu iki Lidar'ın özellikleri araştırılıp yapılan karşılaştırma aşağıda ki Tablo 2 de belirtilmiştir.

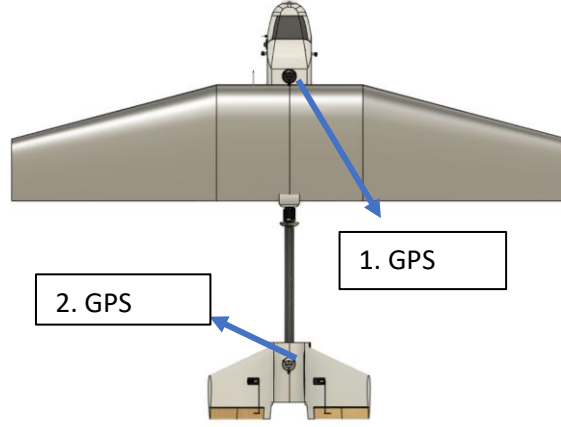
	Tf-Mini Plus Lidar	Garmin LIDAR-Lite v3
Özellikleri	Değerler	
Çalışma Mesafesi	0.1-12 metre	0.5 - 10 metre
Kesinlik	±5 cm (0.1-6 metre) ±1% (6-12 metre)	±1 cm - 2 metre ±2 cm – 4 metre ± 5cm – 10 metre
FOV	3.6°	4.77°
Yenileme Hızı	1~1000Hz	200 Hz
Çalışma Voltajı	5V±0.5V	5V±0.5V
Ortalama Akım	≤110mA	≤85mA
Çalışma Sıcaklığı	-20°C / 60°C	-20°C / 60°C
İletişim Portu	UART	I2C / UART
Çözünürlük	5 mm	1 cm
Ağırlık	12 gram	14.6 gram
Boyut	42.0 x 15.0 x 16.0 mm	52.2 x 21.2 x 24.0 mm

(Tablo 2, Tf-Mini Plus Lidar ve Garmin LIDAR Lite-v4 Özellik Karşılaştırma Tablosu)



(Görsel 6, Uçuş Testi Sonucunda Kalkış Anında Tf-Mini Plus Lidar Tarafından Ölçülen Mesafe Değerleri (SONAR.Dist) ve Barometre tarafından ölçülen Mesafe Değerleri)

- Kritik tasarım raporu hazırlık aşamasında ve yapılan testler sonucunda uçağın konumunu ve yönünü kesin olarak belirleyebilmesi için harici bir HERE 3 GPS kullanılmıştır. Takılan ikinci GPS'in uçağın yönünü bulma ve doğruluğunu iyileştirmek amacıyla birinci GPS'den uzak bir konuma yani uçağın kuyruğuna takılmıştır. GPS montajı 7.1.4 Kuyruk entegrasyonu görsel 7 de belirtilmiştir.



(Görsel 7, 3 Boyutlu tasarımda GPS'lerin konumlandırılması)

3.2. Alt Sistemler Özeti

3.2.1. Otopilot Kontrol Sistemi

Uçağın otonom bir şekilde görev isterlerini yerine getirebilmesi için “Pixhawk Black Cube” uçuş kontrol kartı kullanılmaktadır. Otonom uçuş kontrol sistemi, görev isterlerini karşılayabilecek şekilde tasarlanmıştır.

- Otonom kalkış-iniş
- Otonom yüksek manevra kabiliyeti
- Otonom takip sistemi
- Otonom kamikaze sistemi
- Acil durumlarda uçuş güvenliğini sağlayabilmesi
- Stabil uçuş gerçekleştirebilmesi

İHA'nın otonom bir şekilde görev isterlerini yerine getirebilmesi için kullanılan “Ardupilot” uçuş kontrol yazılım sistemi kullanılmaktadır. Ardupilot'ın kullanılmasının nedeni açık kaynaklı bir sistem olması ve dünya çapında fazla kullanıcısı olmasından dolayı yeteri kadar dokümantasyon bulundurmasıdır.

Failsafe: Ardupilot uçuş kontrol sistemi içerisinde bulunan “Failsafe” modu sayesinde İHA'nın sınır ihlali yapması durumunda başladığı konuma geri döndürmesi veya uçak içerisinde istenmeyen bir durum ile karşılaşılması durumunda uçağı düşürerek çevreye zarar vermemesi gibi özellikleri bulunmaktadır.

Mavlink: Ardupilot uçuş kontrol sistemi, Mavlink iletişim protokolü ile telemetri verilerini çekebilmemizi ve uçağı yönelim komutları verebilmemize imkân vermektedir. Bu sayede takip sistemi ve kamikaze sistemlerinde yardımcı bilgisayar sayesinde uçağı anlık komutlar verebilmemize imkân sağlamaktadır.

Uçuş Modu: Ardupilot uçuş kontrol sistemi seçilmesinin nedeni, açık kaynaklı bir yazılım olmasıdır. Otonom uçuş kontrol sistemi içerisinde “otonom kilitlenme” ve “kamikaze” görevleri için uçuş modu bulunmamaktadır. Bundan dolayı açık kaynaklı bir yazılım olan Ardupilot ile kendi uçuş modumuzu oluşturabilmekteyiz.

Pixhawk Black Cube: Yüksek performanslı bir uçuşun yapılabilmesi için seçilecek olan donanım yüksek bir önem arz etmektedir. Kullanmış olduğumuz “Pixhawk Black Cube” otonom uçuş kontrol kartı içerisinde bulunan yüksek hassasiyetli ivmeölçer, barometre, jiroskop, manyetometre gibi sensörler sayesinde hassas ve performanslı bir uçuş yapılabilir.

Lidar: İHA'nın otonom iniş sırasında hassas bir iniş yapabilmesi ve İHA'nın gövde üzerine iniş yapmasından dolayı motorun yaklaşık 6 metre kala kapanması gerekmektedir. Güneş ışınlarının da lidarlara etkisi de göz önünde bulundurulduğunda 40 metreye kadar ölçüm yapabilen “Garmin Lidar v3” kullanılması uygun görülmüştür.

GPS: İHA'nın otonom uçuş sırasında hassas bir şekilde konum takibini yapabilmesi için GPS ihtiyacı bulunmaktadır. Gövde üzeri ve kuyrukta olmak üzere iki adet Here 3 GPS kullanılarak dinamik RTK oluşturulmuştur. Bu sayede kalkış, iniş, rota- konum takibi ile hassas bir uçuş yapılabilir.

RFD 868 Telemetri: İHA'nın otonom uçuş sırasında, yer kontrol istasyonundan anlık olarak takip yapılabilmesi gerekmektedir. Uçtan uca şifreleme özelliği bulunan RFD-868 telemetri kullanılmaktadır. Bu sayede yarışma alanında diğer sinyaller ile çakışma olması önlenmektedir.

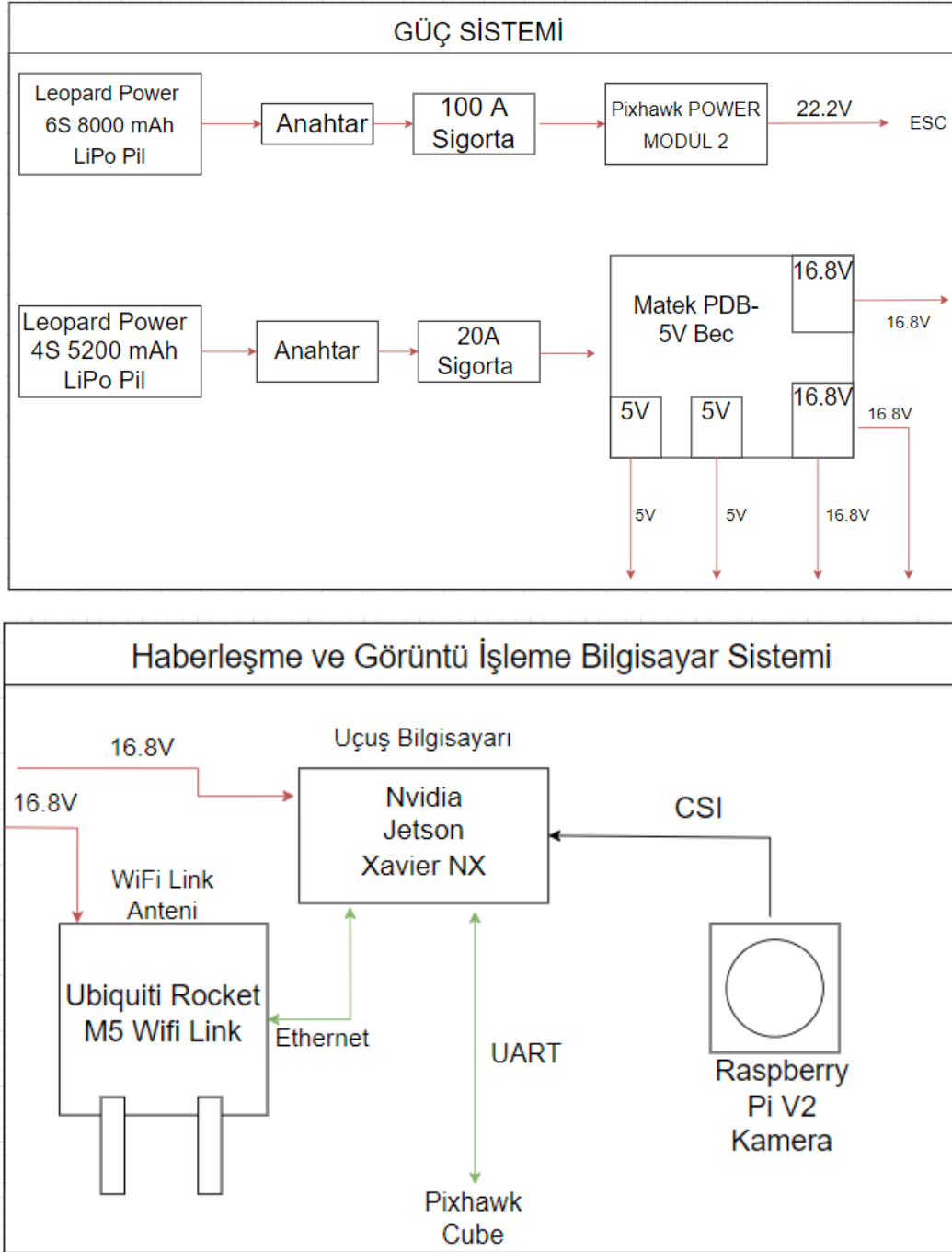
Hava Hızı Sensörü: İHA'nın otonom uçuş sırasında, uçağı “Stall” durumuna sokmadan asgari hızda uçuş yapılabilmesi beklenmektedir. Bundan dolayı sürekli olarak hava hızının ölçülmesi uçağın hızının 13 m/s hıza sabitlenmesi beklendiğinden dolayı pitot tüpü büyük bir önem arz etmektedir. Hava hızı sensörü olarak “PX4 Airspeed v1.1” sensörü kullanılmaktadır.

3.2.2. Güç Kontrol Sistemi

İHA'nın motor itki gücünü sağlayabilmesi için 1 adet 6S 8000mAh Lipo pil kullanılmaktadır. Uçuş kontrol sistemi, görüntü işleme bilgisayar ve servoların gücünü sağlayabilmesi için 1 adet 4s 5200 mAh lipo pil kullanılmaktadır. Pixhawk, yardımcı bilgisayar, RFD 868 telemetri ve ubiquiti wifi link anteni sistemlerine güç dağılımı yapılabilmesi için Matek PDB 5V BEC güç dağıtım kartı kullanılmaktadır. Güç sistemlerinin kontrolü için Sigorta ve Anahtar sistemleri kullanılmaktadır.

- Güç sisteminde iki farklı lipo batarya kullanılmaktadır. Leoaprda Power 6S 8000 mAh lipo pil uçağın motor sistemini çalıştırmaktadır. 6S lipo pil öncelikle sigorta ve anahtara bağlanmaktadır. Motorda oluşabilecek acil bir durumda anahtar üzerinden anlık müdahale yapılabilecektir. Pil anahtardan sonra Pixhawk ikinci Power Modül üzerinden ESC'ye bağlanmaktadır. İkinci bir power modül kullanılmasının nedeni pixhawk 4S 5200 Lipo pil üzerinden beslenmektedir bundan dolayıda motoru çalıştıran pilin üzerinden geçen akım ve voltaj değerleri okunamamaktadır. İkinci bir power modül kullanılarak bu sorun ortadan kalkacaktır. Pixhawk üzerinden “POWER 2” portuna bağlanarak 6S 8000 mAh lipo bataryanın Voltaj ve Akım değerleri ölçülebilecektir.
- Leopard Power 4S 5200 mAh lipo pil ile Pixhawk Cube uçuş kontrol kartı, Jetson Xavier NX, RFD 868 ve Wifi Link antenine güç beslemesi yapılacaktır. 4S lipo pil öncelikle sigorta ve anahtar bağlanmaktadır. Ardından Matek PDB- 5V BEC güç

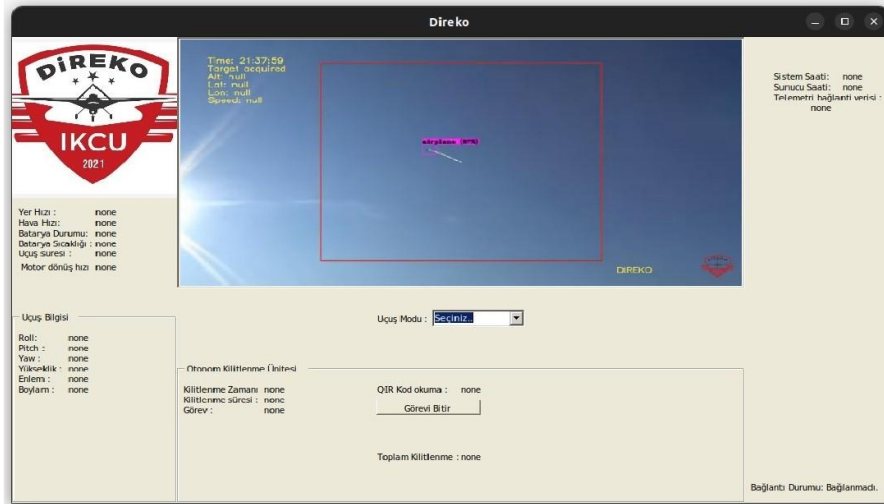
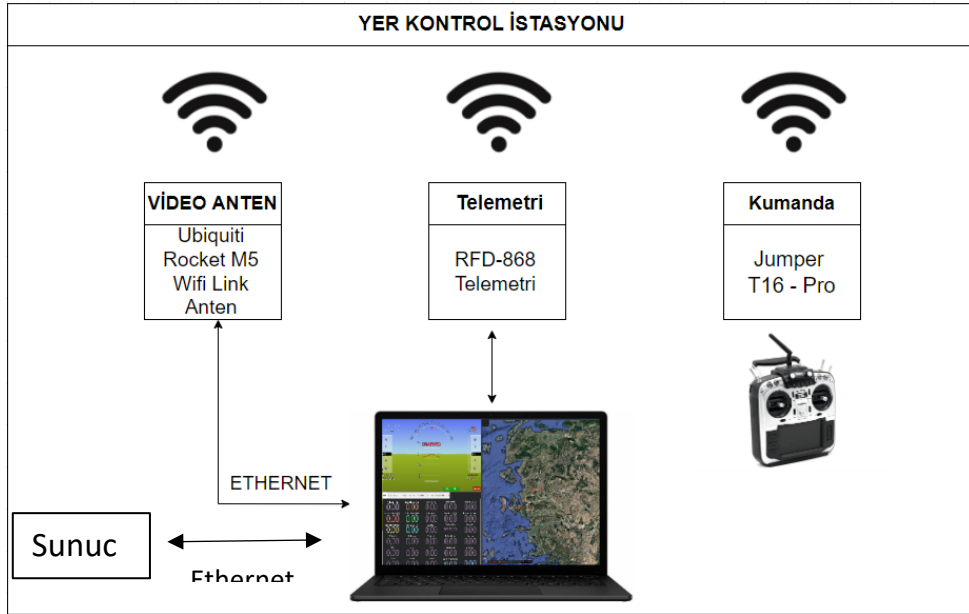
dağıtım kartına bağlanmaktadır. RFD 868 ve Servolar 5V üzerinden beslenmekte, Jetson Xavier, Pixhawk Cube ve Wifi Link anteni 16.8V üzerinden beslenmektedir.



3.2.3. Yer Kontrol İstasyonu

Yer kontrol istasyonu; İHA'nın görev sırasında anlık takibinin yapılabilmesi; görev ataması yapılabilmesi ve İHA'dan gelen telemetri verilerinin hakem bilgisayarına gönderilebilmesi için kullanılmaktadır. Yer kontrol istasyonu bilgisayarı olarak Monster Abra A5 laptop kullanılmaktadır. İHA'nın takibi için Mission Planner ve Kilitlenme takibi için Direko arayüzü (şekil-) kullanılmaktadır. İHA'nın anlık takibi iki farklı anten sistemi ile yapılmaktadır. RFD 868 telemetri sistemi ile birlikte Pixhawk üzerinden İHA'nın anlık konum, veri takibi yapılmaktadır. Ubiquiti Wifi link anteni ile birlikte Jetson Xavier görüntü işleme bilgisayarı

veri takibi ve görüntü aktarma anteni olarak kullanılmaktadır. Bilgisayardan gelen verilerin hakem bilgisayarına aktarılabilmesi için ethernet splitter kullanılarak wifi link anteninden çekilen veriler yer kontrol istasyonuna ve hakem bilgisayarına gönderilecektir.



3.2.4. İtki Sistemi

İtki sistemi, yüksek manevra kabiliyeti ve uzun süreli bir uçuş beklenen İHA'lar için önemli kısımlardan biridir. İtki sisteminde her ne kadar motor önemli olsa da aynı öneme sahip kriterler arasında pervane seçimi gelmektedir. Farklı pervaneler ile yapılan itki testleri sonucuna göre Direko İHA için en uygun pervane seçimi yapılmış farklı ortam koşullarında testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda elde edilen veriler tablo 3' da belirtilmiştir. Yapılan motor-pervane itki testi sonucunda en fazla itki gücü 4 bıçaklı 15x8 EOLO pervanesinden elde edilmiştir. Fakat motor çok fazla zorlanıp ısındığından dolayı İHA'nın yeterli gücünü karşılayan 2 bıçaklı 15x8 EOLO pervane kullanılması kararlaştırılmıştır.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Pervane(inch)	Voltaj (V)	Throttle (%)	Thrust(gr)
15x8 Ahşap Pervane 2 Bıçaklı	25.2 V	15	713 gr
		25	1467 gr
		45	2845 gr
		50	3276 gr
		75	4380 gr
		100	5760 gr
15x6 EOLO Pervane 2 Bıçaklı		15	650 gr
		25	1157 gr
		45	1649 gr
		50	2476 gr
		75	4258 gr
15x8 EOLO Pervane 2 Bıçaklı		100	5989 gr
		15	981 gr
		25	1265gr
		45	2765 gr
		50	3335 gr
		75	5800 gr
15x8 EOLO Pervane 4 Bıçaklı		100	7200 gr
		15	950 gr
		25	1295 gr
		45	2486 gr
		50	3200 gr
		75	5300gr
100		8500 gr	

(Tablo 3, Motor-Pervane İtki Testi Değerleri)

SunnySky X4125 515 Kv	
Özellik	Değer
Kv	515 Kv
Maksimum Sürekli Güç	2750 W
Çalışma Voltajı	6S (25.2V)
ESC	80 A
Yüksüz Akım	1.8A/10V
Mil Çapı	6mm
Rotor Çapı	49.7mm
Gövde Uzunluğu	54mm
Uygun Pervane Ölçüleri	15x8, 15x10, 16x8
Ağırlık	355 gr

(Tablo 4, SunnySky X4125 515Kv Motor Özellikleri)



(Görsel 8, Motor- Pervane Görself)

Farklı koşullarda yapılan motor itki testleri sonucunda motorun çektiğı akım hesaplanmış ve 80A değerinde 6S lipo batarya destekli “HobbyWing ESC” kullanılması uygun görülmüştür.

HobbyWing SkyWalker 80A ESC	
Özellik	Değer
Çıkış	80A sürekli
Maksimum	100A/ 10sn
Giriş	2-6S Lipo
Yenileme Hızı	50-432 Hz
BEC	5A/ 5V
Boyutlar	86mm x 38mm x 12mm
Ağırlık	82gr

(Tablo 5, HobbyWing SkyWalker 80A ESC)



Yarışmanın isterlerinden biri olan ve görev sırasında beklenen İHA'nın agresif manevra yapabilmesi göz önünde bulundurulmuş ve İHA'nın tasarımı oluşturulmuştur. Fakat agresif manevra kabiliyeti yapısal analiz programları ile hesaplanması çok zordur. Yapılan HAD analizleri sonucunda kontrol yüzeyinde kullanılabilcek Hitec Hs-422 servo motor seçilmiştir.

Hitec HS-422 Servo	
Özellik	Değer
Motor Tipi	3 Pole
Hız	0.21 sec(4.8v)
Tork	3.3kg/cm (4.8v)
Ölçüler	40.39 x 19.56 x 36.58 mm
Ağırlık	45.36 gr

(Tablo 6, Hitec Hs-422 Servo Özellikleri)



(Görsel 9, Hitec Hs-422 Servo Kanada Montajı)

3.3. Hava Aracı Performans Özeti

Direko insansız hava aracı tasarım sürecinde dikkat edilen en büyük hususlar arasında yer alan itki sistemi ve uçuş süresidir. İHA'nın önünde bulunan kilitlenme kamerasından dolayı itki sistemi İHA'nın gövde arkasına yerleştirilerek itici motor konfigürasyonu kullanılmıştır.

Yapılan analiz ve testler sonucu İHA'nın manevra kabiliyeti ve hava aracı performans değerleri belirlenmiştir. Yapılan geliştirmeler sonucu İHA'nın uçuş performansı artırılmıştır. İtici motor konfigürasyonu seçilmesinden dolayı oluşan dezavantaj durumunu V kuyruk konfigürasyonu kullanılarak giderilmiş ve hava aracının performansı artırılmıştır.

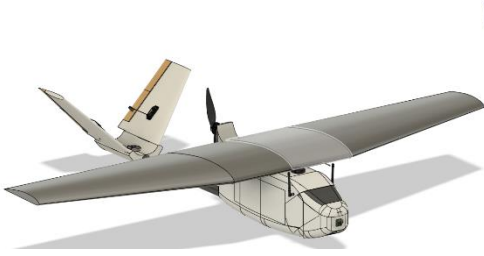
İtici sisteminde kullandığımız SunnySky x4125 515kv motor firmanın sunduğu değerler incelenmiş ve bu verilere göre 4 farklı pervane ile itki testi yapılmıştır. Dijital ölçüm aleti kullanılarak yapılan bu test verileri tablo 7 de belirtilmiştir. Direko İHA'nın kalkış ağırlığı yaklaşık olarak 5.5kg olarak tartılmıştır. Elde edilen itki test değerlerine göre 2 palli EOLO 15x8 pervane ile yaklaşık olarak 7200 gr thrust elde edilmektedir. Bu sonuca göre asgari itki miktarını fazlası ile karşılamaktadır. SunnySky x4125 515Kv motor ve EOLO 15x8 pervane ile yapılan uçuş testine elde edilen azami hız 31m/s, seyir hızı 13m/s ve asgari hız 11m/s olarak belirlenmiştir. İHA'nın kalkış anında çektiği akım 55A, seyir halinde çektiği akım 9A ve uçuş boyunca çektiği akımı 10A olarak hesaplanmıştır. Uçuş anındaki Voltaj ve Akım değişimi görsel-’de belirtilmiştir.

SunnySky X4125 –515 kv – 15x8 EOLO Pervane			
Pervane(inch)	Voltaj(V)	Throttle (%)	Thrust (gr)
15x8 EOLO Pervane 2 Bıçaklı	25.2V	15	981 gr
		25	1265gr
		45	2765 gr
		50	3335 gr
		75	5800 gr
		100	7200 gr

(Tablo 7, SunnySky X4125 –515 kv – 15x8 EOLO Pervane Test Değerleri)

Farklı ortamlarda yapılan uçuş testlerinin Log incelemeleri sonucunda ortalama bir uçuş süresi çıkartılmıştır. 13m/s seyir hızı yapılan uçuş testleri sonucunda İHA'nın 22 dk uçuş süresi bulunmaktadır bu süre bir müsabaka sürecini tamamlayabilmesi, kalkış- iniş ve iniş yapamama durumunda inişi pas geçerek tekrar iniş yapabilmesi için yeterli bir süre olarak hesaplanmıştır.

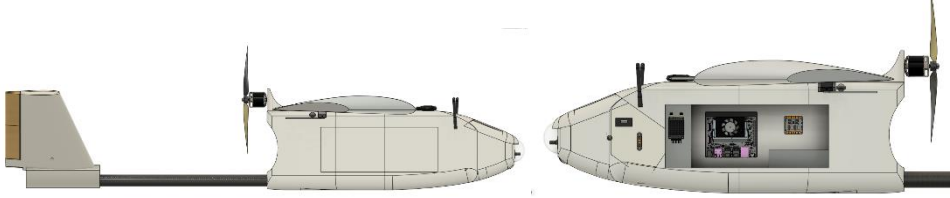
3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı



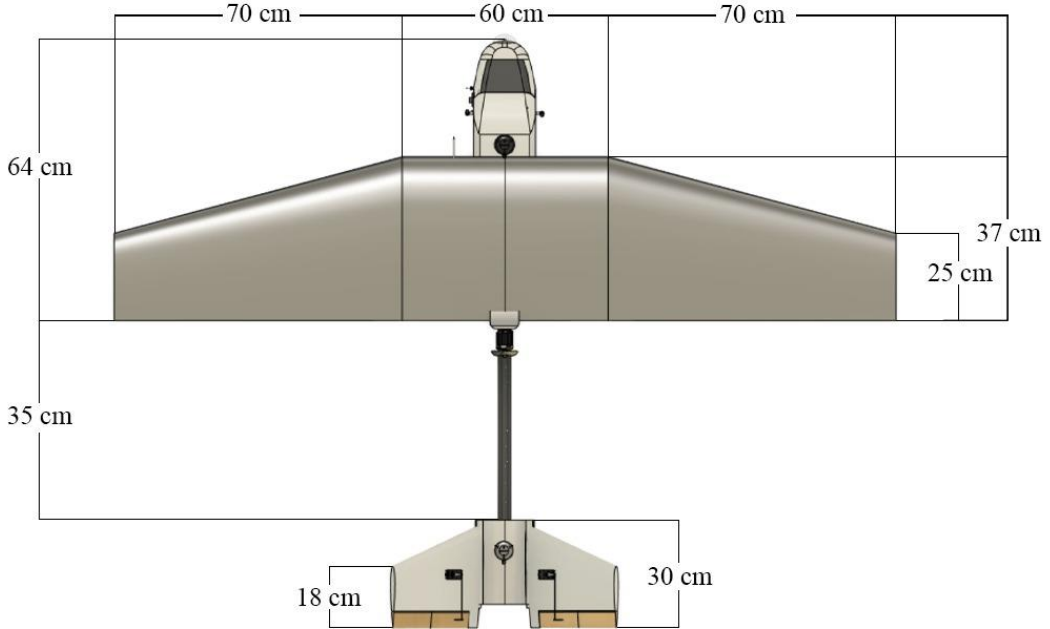
(Görsel 10, Direko İHA Perspektif Görünüş)



(Görsel 11, Direko İHA önden görünüş)



(Görsel 12, Direko İHA Sağ taraftan görünüş) (Görsel 13, Direko İHA Sol alt sistem görünüş)

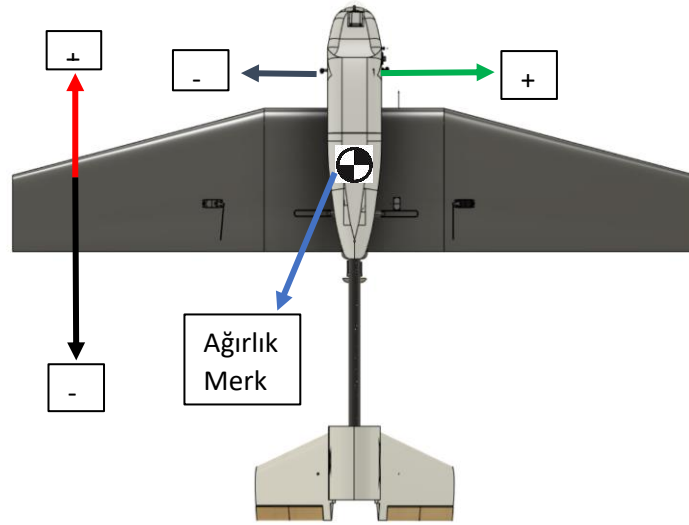


(Görsel 14, Direko İHA Üstten Görünüş)

3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı

Hava aracının içerisinde bulunan sistemlerin yerleştirilmesi ve ağırlık dağılımının dikkatli bir şekilde yapılması büyük bir önem arz etmektedir. Uçağın stabil bir şekilde uçuş yapabilmesi ve

İHA'nın sürekli olarak manevra yapması beklendiğinden dolayı uçuş güvenliğini riske atmayacak bir şekilde malzemelerin konumlandırılması gerekmektedir. İHA'nın tasarımı sırasında XFLR5 programı üzerinden yapılan kanat analizleri sonucu yaklaşık olarak ağırlık merkezi belirlenmiş ve alt sistemlerin ağırlıkları belirlenerek İHA'nın içerisine yerleştirilecek sistemlerin tasarımı yerleri belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucu İHA'nın ağırlık merkezi hücum kenarından yaklaşık olarak 10 cm içeridedir. Her uçuş öncesi yaptığımız kontroller arasında da İHA'nın ağırlık merkezi kontrolü bulunmaktadır. Görsel 15'de İHA'nın tahmini ağırlık merkezi belirtilmiştir. Tablo 8' de İHA alt sistem ağırlık tablosu ve sistem konumlandırılması x, y, z konumları olarak belirtilmiş ağırlık merkezi referans olarak alınmıştır.



(Görsel 15, İHA ağırlık merkezi.)

No	Komponent	Ağırlık (gram)	X (CoG)	Y (CoG)	Z (CoG)
1	Pixhawk Cube	45 gr	15mm	-10 mm	0 mm
2	Power Modül	16 gr	-20 mm	-24 mm	-3 mm
3	Here 3 GPS-1	49 gr	0 mm	31 mm	120 mm
4	Here 3 GPS- 2	49 gr	-1350 mm	31 mm	-84 mm
5	Nvidia Jetson Xavier Nx	750 gr	0 mm	16 mm	0 mm
6	Raspberry Pi v2 Kamera	18 gr	350 mm	31 mm	-2 mm
7	Lidar Lite v-3	14 gr	140 mm	125 mm	120 mm
8	Ubiquiti Rocket M5	250 gr	-208 mm	63 mm	45 mm
9	Pixhawk Bundle RF-868x	20 gr	162 mm	72 mm	41 mm
10	Kumanda Alıcısı	15 gr	-93 mm	113 mm	95 mm
11	PX4 Pitot Tüpü	14 gr	71 mm	348 mm	120 mm
12	PDB XT60 5V BEC	20 gr	-181 mm	62 mm	48 mm
13	SunnySky X4125 Motor	407 gr	-381 mm	30 mm	145 mm
14	Eolo 15x8 Pervane	24 gr	-400 mm	30 mm	145 mm
15	80A ESC	80 gr	-193 mm	-12 mm	-14 mm
16	22.2V 8000 mAh Lipo Pil	1250 gr	238 mm	26 mm	0 mm

17	14.8V 6000 mAh Lipo Pil	870 gr	234 mm	26 mm	0 mm
18	Kapak 1	15 gr	-76 mm	-45 mm	0 mm
19	Cam Fanus	14 gr	356 mm	31 mm	0 mm
20	Sigorta	10 gr	202 mm	113 mm	45 mm
21	Anahtar	6 gr	198 mm	113 mm	42 mm
22	Hitec Hs-430 HB	270 gr	-	-	-
23	Gövde	700 gr	-	-	-
	Toplam	4906 gr			

(Tablo 8, İHA Ağırlık Dağılım Tablosu)

4. OTONOM KİLİTLENME

Savaşan İHA yarışmasında otonom kalkış, yönelme, rakip iha tespiti, rakip iha'ya kilitlenme, 4 saniye boyunca iha takibi, kamikaze dalış, rakip iha kaçış ve otonom iniş olmak üzere toplamda 8 görev isteri bulunmaktadır. Takip sistemi, kilitlenme sistemi ve kamikaze sistemi gibi görüntü işleme tabanına dayanan bu tür projelerde obje tespit sistemleri için genel olarak derin öğrenme (YOLO, TensorFlow, MobilNet vs.) kullanılmaktadır. Bunların birçoğu RCNN (Region-Based Convolutional Neural Networks) adı altındadır ve sınırlayıcı kutu verisi (label) ile objenin ne olduğu bilgisini öğrenebilirler. Ancak obje takibi ve tespiti çalışmaları çok pahalı, gelişmiş ekran kartları veya bu iş için özel tasarlanmış işlemcilerde geliştirildiği için genel kullanıcının hızlı raporlama yapan mimariler bulması için ikili modellere yönelmesi söz konusu olabilmektedir (Yanyan Chen ve Rui Sheng, 2021). Uçağımızda bulunan Jetson Xavier NX bilgisayar da güç olarak bu bahsedilen işlemcilerle göre güçsüzdür ancak fiyat ve verdiği performans olarak embedded sistemler için çok ideal bir sistemdir. Bu nedenle yapılan karşılaştırmalar sonucunda YOLO modeli ile obje tespitinin yapılmasına karar verdik. YOLO Jetson üzerinde Nvidia CUDA mimarisini ve cuDNN kütüphanesini kullandığı için oldukça verimli çalışmaktadır. Ayrıca Xavier NX özel işlem birimleri ile buna ek olarak KCF takip algoritması ile daha da yüksek verim alabiliyoruz. YOLO işaretleme görevini yerine getirecek ve işaretleme kutusunu KCF algoritmasına girdi olarak verip, KCF takip işlemini sürdürecektir. (2021, Savaşan İHA Yarışması, Sabit Kanat, DİREKO IKCU)

4.1. Sistem Bileşenleri

4.1.1. YOLOv5

Rakip İHA'ların tespit sistemi için kullanılan derin öğrenme tabanlı sistemlerden biri olan YOLO, gerçek tabanlı nesne algılama sistemi kullanılmaktadır. YOLO algoritmasının, tercih edilmesinin en büyük nedeni ise diğer sistemlere göre daha hızlı çalışması ve doğruluk oranının diğerlerine göre daha yüksek olmasıdır. Rakip İHA'nın takibinin kesintisiz bir şekilde gerçekleşebilmesi için yüksek FPS değerine sahip bir sistemin kullanılması gerekmektedir. İstedığımız FPS değerlerini YOLO ile elde edebilmekteyiz. YOLO modelleri arasında son çıkan YOLOv5 versiyonunu tercih etmemizin nedeni diğer modeller ile kıyaslandığında hızlı olmasıdır.

4.1.2. PyMavlink

Rakip İHA'ların tespitinden sonra çalıştırılacak olan takip ve kilitlenme algoritmaları sırasında Jetson Xavier NX yardımcı bilgisayardan, Pixhawk Black Cube uçuş kontrol kartına

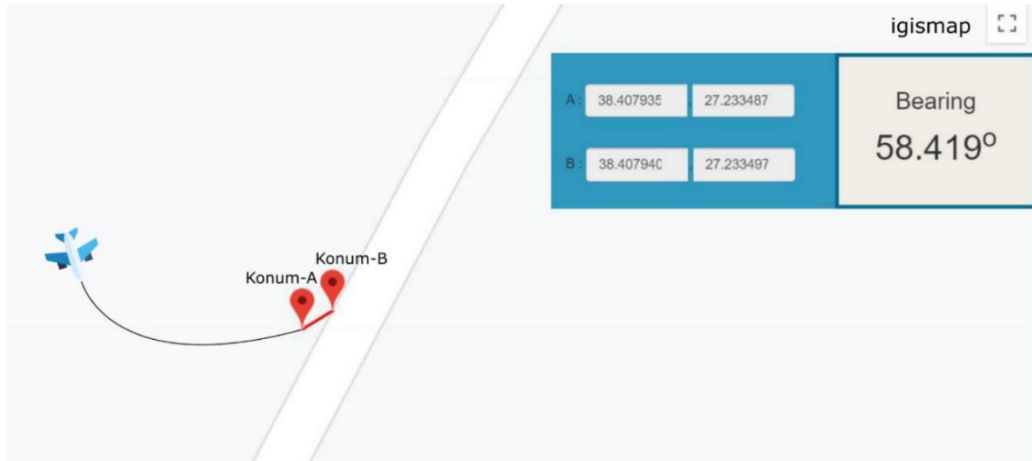
gönderilecek olan yönelme komutları Mavlink iletişim protokolü üzerinden sağlanmaktadır. Kullandığımız açık kaynaklı Ardupilot yazılımı ile uyumlu ve problemsiz çalışan PyMavlink iletişim kütüphanesi seçilmiştir. PyMavlink kullanım detayı 5.2 Görüntü İşleme Bilgisayarı-Pixhawk haberleşme bölümünde belirtilmiştir.

4.2. Hedef Tespiti

4.2.1. GPS Verileri Üzerinden Hedef Tespiti

Uçağımızın X, Y, Z koordinatları ve diğer takımların telemetri konum bilgilerini kullanarak İHA'nın bir sonraki koordinata göre konumunu kontrol etmek için program, mevcut nokta ile bir sonraki hedef arasındaki mesafeyi hesaplar ve her saniye bu mesafe ölçülür. Öklit uzaklığımızın en az olduğu uçağa doğru, uçağımızı yönlendirmeye başlarız. Konum verileriyle hedef aldığımız uçağın yönünü belirlemek için sunucuya gönderilen konum verileri üzerinden hedef alınan uçağın numarasından belirli bir atış (tick/hearbeat) süresince konum değişiminden rakip uçağın bearing/yönünü bulunmaktadır. Bu bizim hedef alınan uçağa kafa kafaya yönelme ihtimalimizi engelleyecektir. (2021, Savaşan İHA Yarışması, Sabit Kanat, DİREKO IKCU) Sistem kısaca şu şekilde çalışmaktadır:

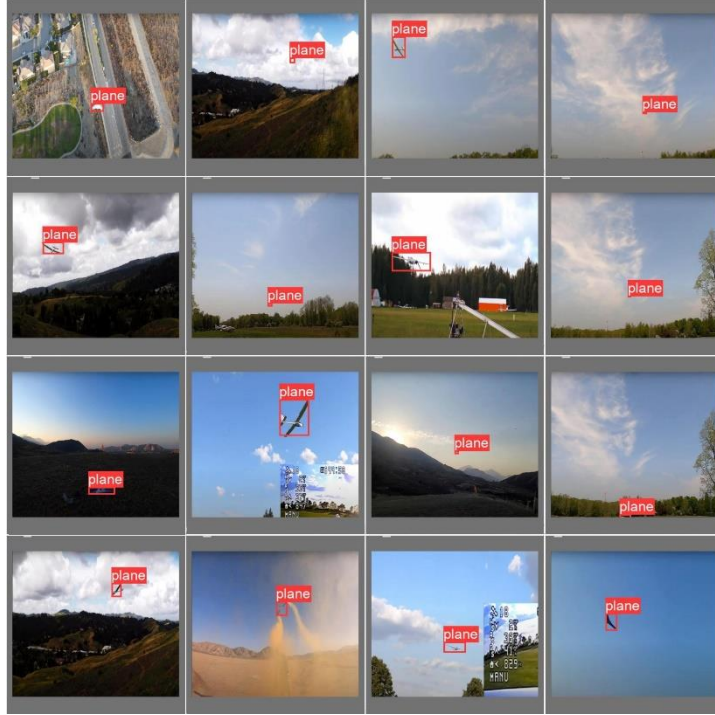
- Her şeyden önce, İHA'nın bir sonraki koordinata göre konumunu kontrol etmek için program, mevcut nokta ile bir sonraki hedef arasındaki mesafeyi hesaplar. Her saniye bu mesafe ölçülür ve yakın dairenin yarıçapından daha kısa ise yani İHA yakın dairede ise başka bir noktaya uçar.
- Bir sonraki adım, İHA'nın doğrudan bir sonraki koordinata uçup uçmadığını kontrol etmektir. Bu işleme ihtiyaç duyulmasının nedeni, durum böyle değilse, uçağın bir sonraki geçiş noktasına doğru hareketini ayarlamak için sola veya sağa dönmesi gerektiğidir.
- Bu adımda şu bilgiler bilinmektedir: 1) Mevcut koordinat; 2) Varış yeri koordinatı ve 3) İHA'nın yönünün mutlak açısı (Görsel 16). İki noktadan, mesafe çıkarılabilir. Bu mesafe mutlak açı ile hesaplandığında bir sonraki gelecek noktası yapılır.
- Hangi yöne döneleceğini bilmek için, mevcut yön ve hedefin mutlak açısına ihtiyaç vardır.
- Mutlak açığı elde etmek için öncelikle görel açı hesaplanmalı ve ondan sonra mutlak açı elde edilmelidir.



(Görsel 16, Hedef Konum ve Yön Hesaplaması)

4.2.2. Model Eğitimi

Kilitlenme sistemine görüntü tek RGB kameradan gitmektedir. YOLO modelini daha iyi uçak tanımlaması yapabilmeleri için standart dataset üzerinden kendi veri setimiz ile eğittik. Youtube üzerinden bulduğumuz model uçak uçuş görüntülerini kare kare keserek kendi veri setimizi oluşturduk. Yaklaşık olarak elde edilen 2500 adet uçak fotoğrafı farklı açılardan ve farklı alanlarda ve farklı renkli bölgelerde çekilen fotoğraflar ile eğitim yapıldı. Böylece daha iyi uçak tanımlaması yapabiliyoruz. Ayrıca MS Flight Simulator oyunundan ve çeşitli youtube videolarından ekran görüntüleri olarak birçok uçağın farklı açılardan ve değişik hava ve ışık koşulları altında görüntüleri elde edildi. Yapılan testlerin sonucunda 20-25 fps arasında tanımlama yapılabildi. Görsel 17’de model eğitimi sonrası yapılan hedef tanıma testinin görseli bulunmaktadır.



(Görsel 17, Model eğitimi sonrası yapılan hedef tespit denemesi)

4.3. Hedef Takibi

Görüntü Tanıma Sistemi ile tespit ettiğimiz rakip uçaklarını Sanal Muharebe Ortamı’nda yorumlanıp gelen veriler ile kilitlenme yapılabilecek en mantıklı rakip uçağı seçer. Ardından uçağı olan uzaklığını, uçağın hızını, uçağın tahmini konumunu tespit edip, o uçağı takip etmek için en uygun konuma ilerleme komutu verir ve bir rota oluşturur. Bu görev devam ederken hedef uçağın yerini değiştirmesi ve kamera alanımızdan çıkmasına karşılık, hedef uçak tam önümüzde olup kilitlenme için uygun olana kadar bu sistem çalışır. Sürekli olarak yukarıda ki eylemleri uygular.

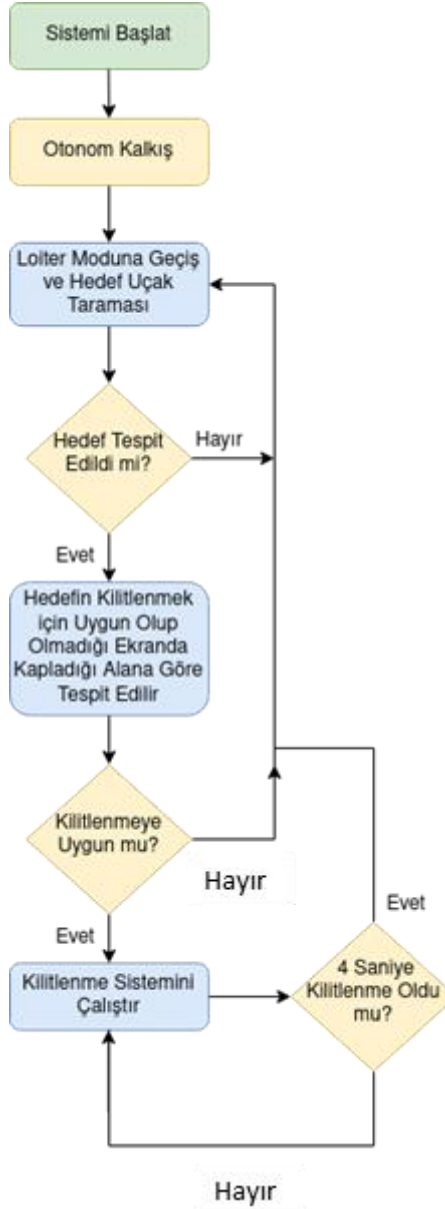
4.3.1. Mesafe Tespiti

Oluşturduğumuz görüntü tanıma sistemi ile tespit edilen rakip uçakların mesafesini hesaplamak için makine öğreniminde sıklıkla kullanılan Lineer Regresyon yöntemi ile çalışan bir yazılım tasarladık. Basit Lineer Regresyondan kısaca bahsetmek gerekirse, iki değişken arasında olan ilişkiye dayanarak tahmin yapılmasını sağlayan istatistiksel bir yöntemdir. Bu yöntemi kendi sistemimize, rakip uçakların bize olan mesafesini tahmin etmek için kullanmaktayız.

Datasetimizi kendi yaptığımız deneyler ile oluşturduk. Ardından sağlıklı bir sonuç alabilmek için veriler ön işleme kısımlarına tabii tutup işlenmektedir. Verileri ön işleme yaptıktan sonra dataset olarak kullanılacaktır.

Tespit edilen ve bounding box çizdirilen hedef uçakların uçağımıza olan mesafesini tespit etmek için, çizilmiş olan çerçevenin (Bounding Box) yatayda ki kapladığı piksel sayısını gerekli işlemler yaparak bulunacaktır. Her uçağın kanat açıklığı aynı ölçülerde olmadığından, ortalama bir ölçü belirledik ve bu ölçüye dayanarak datasetimizi oluşturduk. Tüm bu işlemlerin ardından Basit Lineer Regresyon yöntemi ile tespit edilen uçakların bize olan mesafesi tahmin edilecektir. Aykırı değerler (Outlier) gibi yazılımın çalışmasına zarar verecek veya yapacağı tahminleri gerçek dışı yapmasına sebep olacak durumlar için önlemler alınarak sistem ona göre tasarlanmıştır.

4.3.2. Hedef Takip Algoritması



(Şema 4, Hedef Takip Algoritması)

Hedef uçak önümüzde kilitlenmeye uygun konuma geldiği andan itibaren hedef takip algoritması ile kilitlenme işlemi başlar. Kilitlenecek uçağın önümüzde yaptığı hamleleri görüntü işleme ile tespit edip uçağın servolarını hedef uçağı taklit etmesi için kontrol edilir. Takip edilen uçağın anlık takibi ile yaptığı hareketler yapılır ve hedefe kilitlenilmeye çalışılır.

4.3.3. Otonom Uçuş Modu

Kullanılan “Ardupilot” uçuş kontrol yazılım sisteminde otonom takip ve kamikaze sistemleri için bir uçuş modu bulunmamaktadır. Bundan dolayı kendi sistemimizi uyarladığımız bir otonom uçuş modu geliştirilmektedir.

4.4. Otonom Kaçış

Görev isterilerinden biri olan otonom kaçış sistemi, oluşturulan algoritma ile birlikte hedef takibi ve kamikaze görevleri sırasında sunucu üzerinden rakip iha’ların alınan anlık konum ve irtifa bilgileri sayesinde, eğer takip edilen bir rakip İHA yoksa, kendi konumumuz ile sürekli olarak öklit üzerinden hesaplama yapılacak ve eğer 2 saniye boyunca konumu, uçağımıza yakın olan bir İHA tespit edilirse kaçış manevrası uygulanacaktır.

4.5. Otonom İniş

Otonom iniş sistemi için oluşturulan iki farklı sistem vardır. Bu sistemlerden biri şartnamede de belirtildiği üzere sırası ile kalkış yapan iha’ların müsabaka sonucunda sırasıyla iniş yapması beklenmektedir. Bundan dolayı Direko Arayüz’de bulunan "Görevi Bitir" butonu ile birlikte, iniş sırası gelmesi ile birlikte görev sonlandırılarak inişe geçecektir. Bir diğer sistem ise şartnamede bir müsabaka süresi olarak belirtilen 15 dk’lık uçuş süresinin, anlık olarak kontrol edilen sürenin bitmesine az kaldıysa oluşturulan algoritma ile kalkış yönünde bir iniş rotası belirlenecek ve otonom iniş başlatılacaktır.

5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME

Haberleşme ve Video aktarım sistemi, “İnsansız Hava Aracı- Yer Kontrol İstasyonu Haberleşme”, “Görüntü İşleme Bilgisayarı- Pixhawk Haberleşme”, “Video Aktarma Sistemi” ve “Pilot- İnsansız Hava Aracı Haberleşme” olmak üzere dört farklı başlıktan oluşmaktadır. (2021, Savaşan İHA Yarışması, Sabit Kanat, DİREKO IKCU)

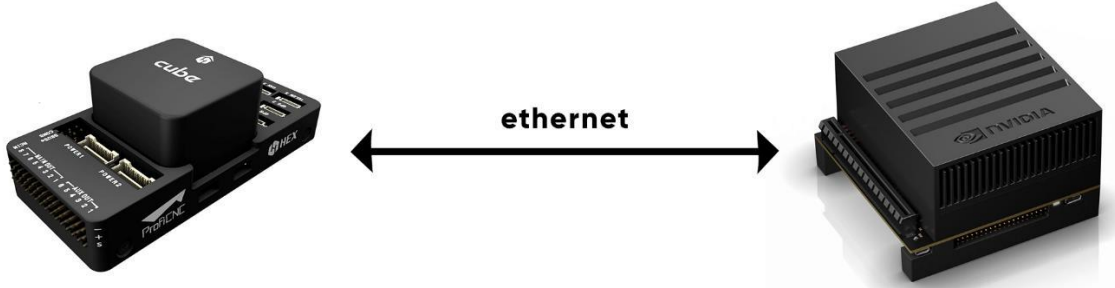
5.1. İnsansız Hava Aracı- Yer Kontrol İstasyonu Haberleşme

Yer kontrol istasyonu ile uçuş kontrol kartımız arasındaki haberleşmeyi sağlamak amacı ile MAVLink destekli, kullandığımız uçuş kontrol kartı(Pixhawk Black Cube) ile uyumlu, uzun menzilli etkili aktarım yapabilen RFD 868 tercih edilmiştir. RFD 868 Otonom uçuşlarımızda verilerimizi anlık, hızlı, akıcı bir şekilde yer kontrol istasyonu üzerinde görebilmemiz ve yer kontrol istasyonu ile İHA’mızın haberleşmesinin kopmaması için uzun menzilli olduğu için tercih edilmiştir. RFD 868 Telemetry aktarıcısı 868-869 MHz Frekans bandında çalışmaktadır. Hava veri aktarım hızı ve UART veri aktarım hızları kullanacağımız veri aktarım hızları ile uyumludur. Yer kontrol istasyonu ile uçuş kontrol kartımız arasındaki haberleşme protokolü olarak ise MAVLink haberleşme protokolü kullanılacaktır. RFD868, İHA’mızın uçuş kontrol

kartının Telem 1 portuna takılarak iletişimi sağlanacaktır. (2021, Savaşan İHA Yarışması, Sabit Kanat, DİREKO IKCU)

5.2. Görüntü İşleme Bilgisayarı – Pixhawk Haberleşme

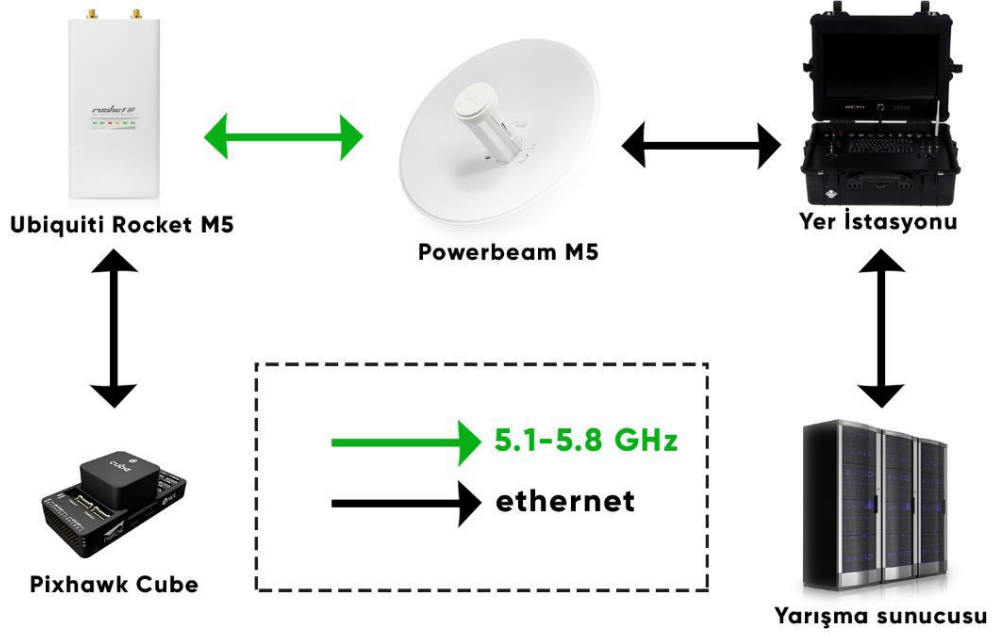
Hava aracı içerisindeki haberleşme sistemimiz Görüntü işleme bilgisayarı ile kullanacağımız uçuş kontrol kartı Pixhawk Black Cube ile olacaktır. Uçuş kontrol kartımız ile yardımcı bilgisayarımız arasındaki haberleşme MAVLink protokolü üzerinden sağlanacaktır ve MAVLink'in uygulama geliştirme kiti olan Py-Mavlink kütüphanesi kullanılacaktır. MAVLink bize publish-subscribe mantığını ve noktadan noktaya veri iletim mantığını sağlamaktadır. Py-Mavlink kütüphanesi ise bize hava aracımıza gelen rakip hava araçlarının telemetri verilerini de kullanmayı ve kapsamlı bir haberleşme yapma olanağını sağlar. Jetson Xavier NX, Pixhawk Black Cube Telem 2 portuna takılarak iletişimi sağlanacaktır. (2021, Savaşan İHA Yarışması, Sabit Kanat, DİREKO IKCU)



(Görsel 18, Pixhawk Black Cube ve Nvidia Jetson Xavier haberleşme)

5.3. Video Aktarma Sistemi

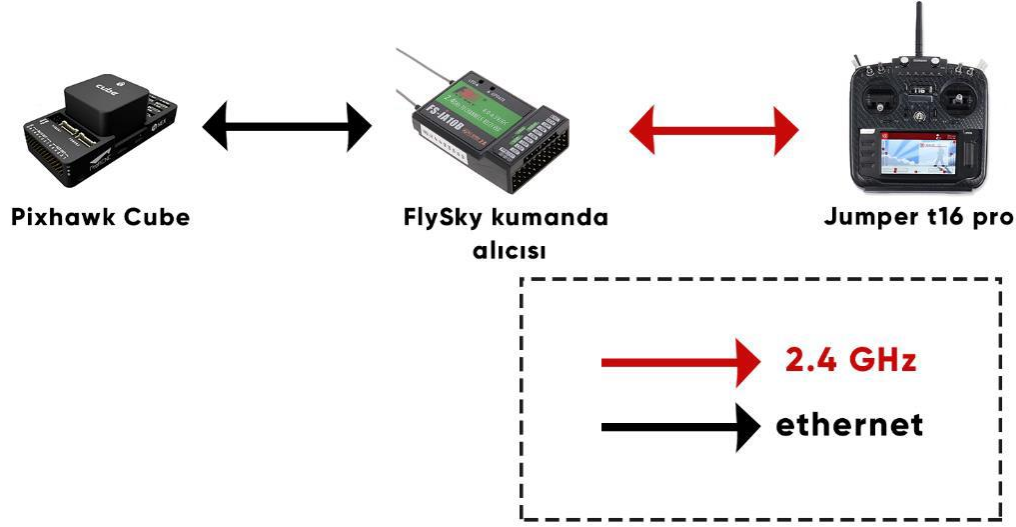
Wi-fi haberleşmesi yer istasyonuna bağlı Powerbeam M5-400 modülü ile hava aracına bağlı Ubiquiti Rocket M5 modülü ile gerçekleşecektir. Ubiquiti Rocket M5, yüksek çıkış gücü ve yüksek işlemci kapasitesi sayesinde noktadan noktaya şifreli haberleşme imkânı sağladığından dolayı, yer kontrol istasyonumuz ile görüntü aktarımı için kullanılacaktır. Wifi haberleşme sistemimiz 5170- 5875 MHz çalışma frekans aralığını desteklemektedir. Bu wifi haberleşmesi sayesinde yardımcı bilgisayarımız ile SSH (Secure SHELL) bağlantısı kurulabilecektir. Bu sayede uçağımızın hedef kilitleme verilerini ve kilitleme görüntülerini gibi görev bilgilerini wi-fi bağlantısı aracılığı ile yer istasyonumuza aktarımı yapılacaktır. Görüntü aktarımı gstreamer frameworkü ile H264 sıkıştırma algoritması kullanılarak yer istasyonumuzun belirli bir UDP veya TCP portuna aktararak sağlanacaktır. (2021, Savaşan İHA Yarışması, Sabit Kanat, DİREKO IKCU)



(Görsel 19, Pixhawk – Yarışma sunucusu haberleşme)

5.4. Pilot- İnsansız Hava Aracı Haberleşme

Kumanda olarak Jumper t16 pro ve kumanda alıcısı olarak Flysky 10 kanallı kumanda alıcısı kullanılmasına karar verilmiştir. RC Haberleşmemiz kumanda ve uçuş kontrol kartımıza bağlı kumanda alıcımız arasında 2.4 GHz bantından gerçekleşmektedir. RC Haberleşmesi esnasında olası frekans çakışması durumunda Yarışma kuralları çerçevesinde frekans atlama gerçekleştirilebilecektir. Kumandamız üzerinde bulunan kanallar sayesinde uçağımızın uçuş modunu değiştirme, motor kapatma ve açma gibi birçok fonksiyonu kullanabilmekteyiz. Genel olarak uçuş planımız otonom uçuş olmasından dolayı kumanda ile mümkün olduğu kadar az müdahale edilme hatta hiç müdahale edilmemesi planlanmaktadır. (2021, Savaşan İHA Yarışması, Sabit Kanat, DİREKO IKCU)



(Görsel 20, Pixhawk – Kumanda Haberleşme)

6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

Yer kontrol istasyonu olarak açık kaynaklı bir yazılım olan Mission Planner kullanılmaktadır. Mission Planner, Ardupilot otopilot yazılımını geliştiren takım tarafından geliştirilmektedir ve Ardupilot ile entegrasyonu oldukça iyidir. Qt yazılımı üzerine geliştirildiği için bu yazılım üzerine kendi modüllerimizi yazma çalışmalarımız devam etmektedir. Yazılım yarışma alanında Linux sistemi üzerinde çalışacaktır.

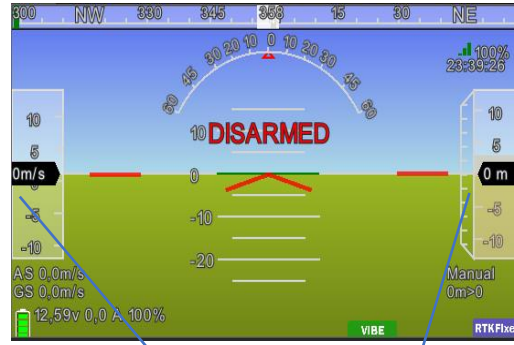
Yer Kontrol İstasyonu'nda tek bir ekran ile eş zamanlı uçuş ve görev kontrollerinin sağlanması yeterli olmayacağı için bu kontrollerin kolaylıkla yapılabilmesi ve yarışma sürecinde hızlı karar verilebilmesi adına 2 farklı arayüz kullanılması gerektiği gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda yapılan araştırmalar sonucunda geliştirilmeye uygun, açık kaynaklı “Mission Planner” arayüz uygulaması ve DİREKO IKCU takımı tarafından tasarlanan otonom kilitlenme durumunu ve telemetri verilerini kontrol etmeye yönelik ikinci bir arayüz kullanılacaktır.

6.1. Mission Planner

Uçakta kullandığımız Pixhawk Black Cube uçuş kontrol kartı ile uyumlu çalışması, uçuş öncesinde gerçek verilere yakın simülasyon ortamı ve uçuş testleri sonrasında kapsamlı bir arayüzle uçuş analizi yapma imkânı sunması bu uygulamayı seçmemizin başlıca sebeplerindedir. Uygulamanın arayüzü, uçağın duruşunu, harita üzerindeki konumunu ve otonom uçuş planını görebileceğimiz aynı zamanda hız, yükseklik, mod değişimi gibi durumları kontrol edebileceğimiz şekilde tasarlanmıştır. Yer istasyonu yazılımı bizim uçağımız ile MAVlink üzerinden iletişim kurmaktadır. Bu bağlantı fiziksel link olarak iki uç noktasına da bağlanan radyo vericiler ile sağlanmaktadır. Uçağımızdan gelen telemetri verileri gerçek zamanlı olarak yer istasyonunda gösterilmektedir. Uçuş modu değişimleri arayüz tarafından yapılabilmektedir.



(Görsel 21, Mission Planner Uygulama Arayüzü)



Hava Hızı
Gösterge

İrtifa
Gösterge

(Görsel 22, Mission Planner HUD Göstergesi)

6.2. DİREKO Arayüzü

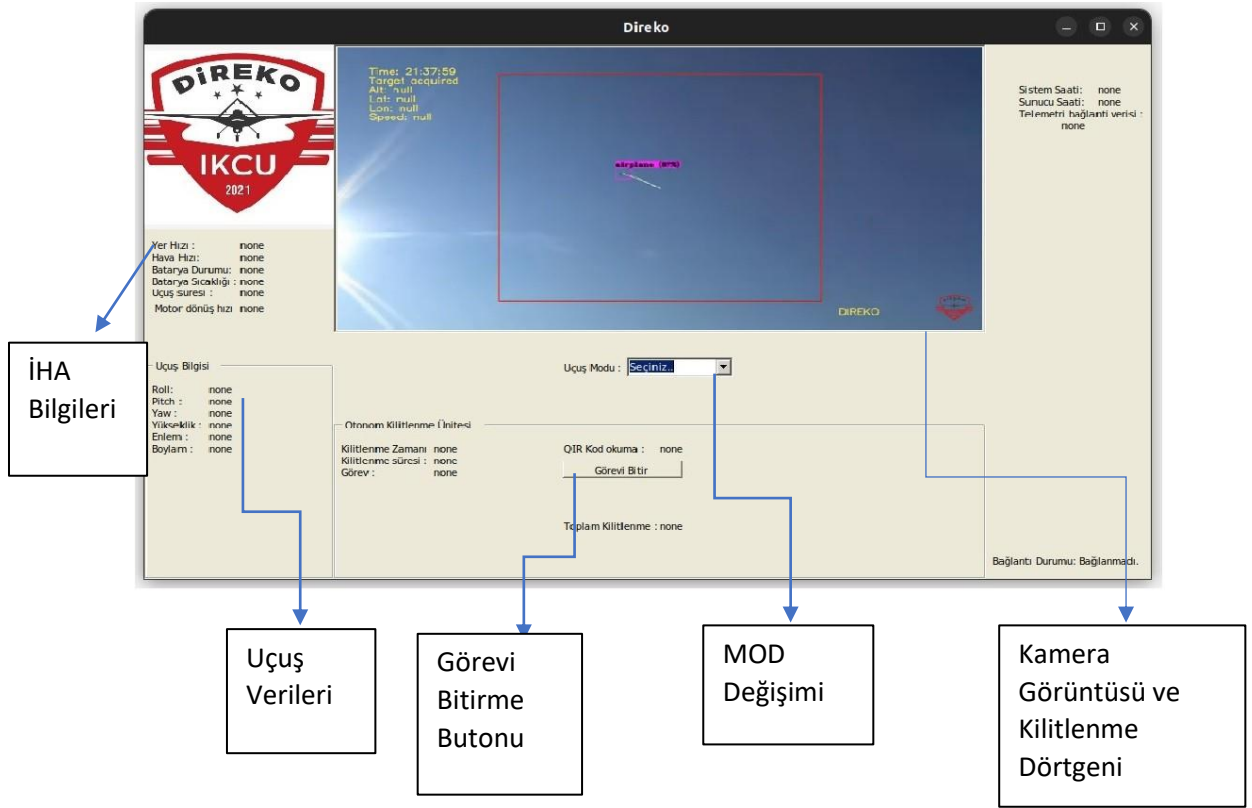
Tasarlanan arayüzde amaç, gerekli uçuş verilerini kullanarak otonom kilitlenme görevini kontrol edebilmektir. Arayüz tasarımı için seçim yaparken zengin kaynak kod içeren programlama dili ve veri akış hızı ön planda tutulmuştur. Linux, Mac OS ve Windows işletim sistemlerinde kullanılabilen “Visual Studio” geliştirme ortamı tercih edilmiştir ve Linux için WineHQ eklentisi kullanarak C# dilinde arayüz tasarlanmasına imkân vermektedir. Ayrıca Mission Planner uygulamasındaki kaynak kodların C# dilinde olması bize önemli bir avantaj sağlamıştır.

Uçağın takip moduna geçişi ya da özel oluşturulacak diğer modlara geçişi SSH bağlantısı sayesinde yardımcı bilgisayara gönderilen komutlar sayesinde sağlanmaktadır. Komutu alan yardımcı bilgisayar, uçuş bilgisayarına komutları MAVlink sayesinde iletmektedir. Bu aşamada program yazmayı kolaylaştırmak için diğer bir Dronecode yazılımı olan Py-MavLink

kullanılmaktadır. Bu yazılım geliştirme kiti çok hızlı bir şekilde yazılım geliştirmemize olanak sağlamaktadır.

Kamera akışı direk olarak “DİREKO” kullanıcı arayüzü üzerinden görüntülenmektedir. Yer istasyonunun UDP portuna Jetson tarafından gönderilen görüntü verisi, “DİREKO” üzerinde yapılan port ayarları ile direk olarak video arayüzüne gerçek zamanlı olarak aktarılacaktır. Buna ek olarak daha detaylı bilgileri Py-Mavlink ile yazılan programlar ile shell üzerinden alabilmekteyiz.

Log bilgileri de Mission Planner üzerinde otomatik olarak gösterilmekte ve kaydedilmektedir. Arayüzde sesli ve yazılı daha gelişmiş uyarı sistemleri üzerine çalışmalarımız sürmektedir.



(Görsel 23, DİREKO Arayüzü)

DİREKO Arayüzü, İHA Bilgileri, Uçuş Bilgileri, Otonom Kilitlenme Ünitesi ve Görüntü Ekranı olmak üzere 4 ana bölümden oluşmaktadır.

İHA Bilgileri: Uçağın hız bilgileri, batarya durumu, uçuş süresi, motor bilgisi gibi veriler bu kısımda kontrol edilecektir.

Uçuş Bilgileri: Bu bölümde yükseklik, enlem, boylam verileri ve temel uçuş hareketlerinin açıl bilgileri görüntülenecektir.

Otonom Kilitlenme Ünitesi: Arayüzün en önemli kısmını oluşturmaktadır. Burada kilitlenme durumunun başlangıcı ve kilitlenme süresi kontrol edilecektir. Sistem, Savaşan İHA görev isteklerine göre başarılı bir kilitlenme olduğu takdirde “Görev Başarılı” olarak algılayacak ve

QR Kod okuma görevi dahil toplam otonom kilitlenme sayısını ekrana yazdıracaktır. Oluşacak herhangi bir tehlikede veya arıza durumunda “Görevi Bitir” butonu ile görev sonlandırılarak eve dönüş algoritması çalıştırılacaktır.

Bunlara ek olarak sağ üst kısımda sunucu ve sistem saati anlık olarak görüntülenebilmektedir ve telemetri bağlantı verimiz dijital olarak gösterilmektedir. Uçuş verileri ve Mod değişimi kontrollerin kolaylıkla yapılabilmesi için 2 arayüzde de bulunmaktadır.

7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU

7.1. Yapısal Entegrasyon

Direko ekibi olarak uçağımızın tasarımını yaparken, hava aracının dayanıklılığı, zorlu koşullarda maksimum verimli uçuş performansı; manevra kabiliyeti, kanat profil tipi, üretilebilirlik, hafiflik gibi parametreler göz önünde bulundurularak İHA'nın tasarımı tamamlanmıştır. Bu bölümde “Gövde”, “Kanat”, “Şase” ve “Kuyruk” olmak üzere dört farklı alanda Yapısal entegrasyon aşamaları açıklanmıştır.

İHA'nın üretimi aşamasında beş farklı yapısal malzeme kullanılmıştır. Bu malzemelerin sıralaması şu şekildedir;

- Karbonfiber
- Cam elyaf
- L285/H285 Laminasyon Epoksi Seti
- EPO Strafor Köpük
- Karbonfiber Plaka
- PLA
- Deniz Tutkalı

7.1.1. Gövde Entegrasyonu

Direko İHA'nın tasarımı aşamasında İHA'nın kalkış ağırlığının olabildiğince hafif olması planlandığından dolayı gövde üzeri iniş yapılması planlanmıştır. İniş anında gövde üzeri iniş yapmasından dolayı da gövdenin mukavemetinin yüksek ve hafif olması gerekmektedir.

Gövdenin üretimi sırasında, tasarlanan gövde modeli EPO strafor köpüğün sıcak tel yardımı ile kesilerek gövdenin kalıbı üretilmiştir. 100gr/m² Karbonfiber köpük üzerine kaplanmadan önce ağırlık merkezi dikkate alınarak alt sistemlerin ve kapakların yerleri belirlenmiştir. Köpük gövde işleme sokulmadan önce koli bandı ile kaplama yapılmıştır. Bu sayede pürüzsüz bir zemin elde edilmiş ve köpüğün epoksiyi çekmesi önlenmiştir. Düz bir zemin üzerinde spatula yardımı ile epoksi iyice karbonfibere işlenmiş ardından karbonfiber köpük gövde üzerine sarılmıştır. 4 gün kurumaması için beklenen karbonfiber, kuruduktan sonra titreşimli zımpara ile yüzeydeki pürüzler temizlenmiştir. Karbonfiber tozları iyice temizlendikten epoksi-karbonfiber kaplama işlemi tekrarlanmıştır. Bu süreç 4 kere tekrarlandıktan sonra 620gr ağırlığında gövde üretim süreci tamamlanmıştır.



(Görsel 24, Gövde köpük kalıp)



(Görsel 25, Karbonfiber kaplanmış gövde)

Kanat karbonfiber borularının hızlı bir şekilde sökölüp takılabilmesi için gövdenin üzerine dış çapı 16mm iç çapı 14mm kalınlığında 12cm uzunluğunda karbonfiber borular yerleştirilmiş ve borular epoksi ile karbonfiber gövdeye bağlanmıştır. Son olarak üzerine karbonfiber kaplama yapılarak mukavemeti arttırılmıştır.

7.1.2. Kanat Entegrasyonu

KTR sürecinde dikkat edilen en önemli kısımlardan biri kanat entegrasyon kısmıdır. Kanat tasarımı yapılırken İHA'nın tahmini kalkış ağırlığı hesaplanmış, tahmini stall hızı ve seyir hızı belirlendikten sonra kanat profilleri arasında bir seçim yapılmıştır. Takip algoritmasına başlanmadan önce havadaki ihaların tespiti sırasında seyir hızının asgari düzeyde olması hedeflenmiş bundan dolayı "ClarkY" kanat profili seçilmiştir. Tasarladığımız kanat üzerinde yapılan analizler sonucu Lift coefficient hesaplanmıştır.

İHA Seyir Hızı	Lift coefficient
9 m/s	1,948
10 m/s	1,578
11 m/s	1,304
12 m/s	1,096
13 m/s	0,934
14 m/s	0,805
15 m/s	0,701
16 m/s	0,616
17 m/s	0,546
18 m/s	0,487
19 m/s	0,437
20 m/s	0,394
21 m/s	0,357
22 m/s	0,326
23 m/s	0,298
24 m/s	0,274
25 m/s	0,252

(Tablo 9, Seyir hızı- Lift coefficient tablosu)

Kanadın üretilebilirliği, kolay bir şekilde sökölüp takılabilmesi ve hasar almadan kolay bir şekilde taşınabilmesi için sağ ve sol kanat olmak üzere 2 farklı parçadan oluşmaktadır. Kanadın üretiminde, köpük kesimi için kullanılan sıcak tel kesim tekniği uygulanmıştır. Sıcak tel

kesiminden sonra köpük üzerine zımpara yapılmış ve yüzey pürüzsüz hale getirilmiştir. 400gr cam elyaf ve epoksi reçine kullanılarak kaplama yapılmıştır. Kanat kaplamasının cam elyaftan üretilmesinin nedeni uçak ile yer kontrol istasyonu arasında telemetri ve video aktarma antenlerinin etkilenmemesidir.



(Görsel 26, Cam elyaf kaplama kanat)

Kanadın içerisinde boydan boya sökölüp takılabilir, dış çapı 12mm kalınlığında, boyu 2 metre uzunluğunda karbonfiber boru bulunmaktadır. Karbonfiber borunun kanat içerisine yerleştirilirken köpüğe zarar vermemesi için cam elyaf kaplama yapılmadan önce köpük içerisine 30cm aralıklarla 10cm uzunluğunda dış çapı 13mm iç çapı 12mm Alüminyum borular yerleştirilmiştir. Kanat yapısal analiz testi 8.1.2 Kanat Yapısal Analiz bölümünde belirtilmiştir.

Aileronların üretimi sırasında, agresif manevralarda mukavemetinin yüksek olması gerektiği düşünülmüş ve kanatçıklar kavak ağacından yapılmıştır. Kanat ile kanatçık bağlantısını sağlayan menteşe alüminyum plakadan üretilmiştir. Menteşeler iki farklı noktadan bağlanmıştır. Menteşelere yapılan testler sonucunda herhangi bir deformasyona uğramadığı gözlemlenmiştir. Servoların kanata takımı için bir servo yuvası yapılması planlanmıştır. Bu sayede servonun arızalanması durumunda kolay bir şekilde değiştirilebilmesi ve dışarıdan gelecek zararlara karşı servoyu korumak hedeflenmiş 3d printerdan alınan servo kutusunun PLA'dan baskısı alınmış ve köpük üzerine cam elyaf kaplama yapılmadan önce köpüğün içerisine yerleştirilmiştir. Servo bağlantısı 7.2.2 Servoların Yerleştirilmesi bölümünde görsel 34 de gösterilmiştir.

7.1.3. Şase Entegrasyonu

İHA'nın tasarımı sırasında dikkat edilen önemli bölümlerden birisi Şase kısmıdır. İHA gövde üzeri iniş yapmasından dolayı şase entegrasyonu yapılırken Kanat- Kuyruk bölümünde karbonfiber plakalar kullanılarak Kanat- Motor Yuvası- Kuyruk borusu birleştirilmiştir. Gövdenin taşıyıcılığı yoktur sadece kaplama olarak kullanılmaktadır. Bu plakalar iki parçadan oluşmaktadır. Taşıyıcı olan plaka arka bölümdeki plakadır ve bağlantısı civata-somun bağlantısı ile yapılmıştır. Bu plakalar aynı zamanda elektronik sistemlerin bağlanacağı plakalardır. Ön plakanın üzerinde Pixhawk ve Jetson Xavier Nx bulunmaktadır. Motor

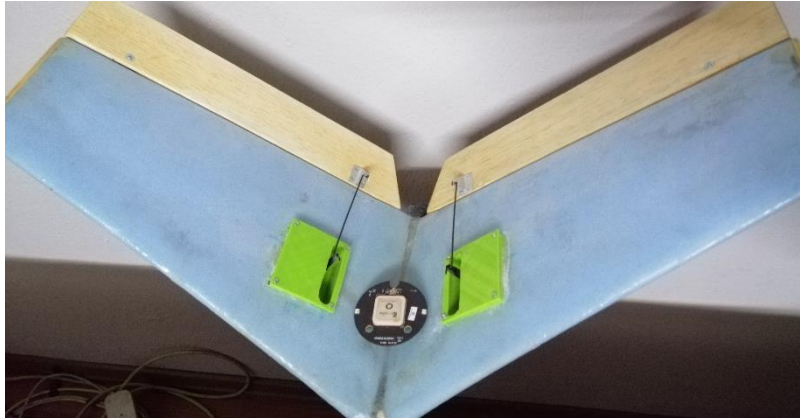
yuvasının direk olarak bu plakalara bağlı olmasından dolayı motorun oluşturacağı titreşimi pixhawk uçuş kontrol kartına aktarmaması için plaka ile şaseye bağlandığı bölüm arasına titreşim sönümleyici konulmuştur.



(Görsel 27, Gövde içitaşıyıcı plakalar)

7.1.4. Kuyruk Entegrasyon

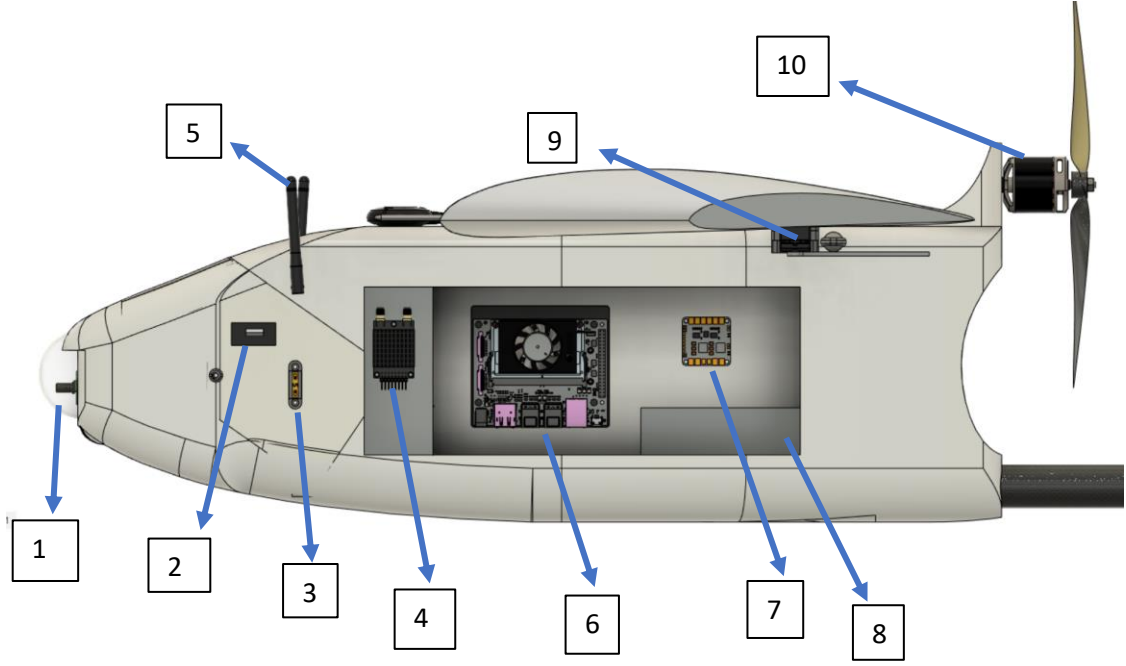
İHA'nın kuyruk tasarım sürecinde yapılan araştırmalar sonucu simetrik kanat profili kullanılmıştır. Kuyruk stabilizörleri köpüğün sıcak tel ile kesiminden sonra içerisine karbonfiber borular ve servolar için 3d yazıcıdan baskısı alınan kutular yerleştirilmiştir. En son üzerine cam elyaf- epoksi kaplama yapılmıştır. Uçağın taşımı sırasında zarar görmemesi için kontrollü bir şekilde çıkartılabilmesi için Kuyruk borusunun içerisine takılabilen dış çapı 22mm uzunluğu 19cm olan karbon fiber boruya stabilizörler sabitlenmiştir. Kanatçık olarak balsa ağacı kullanılmış ve kendi ürettiğimiz alüminyum menteşeler ile iki farklı bölgeden kanatçık bağlantısı yapılmıştır.



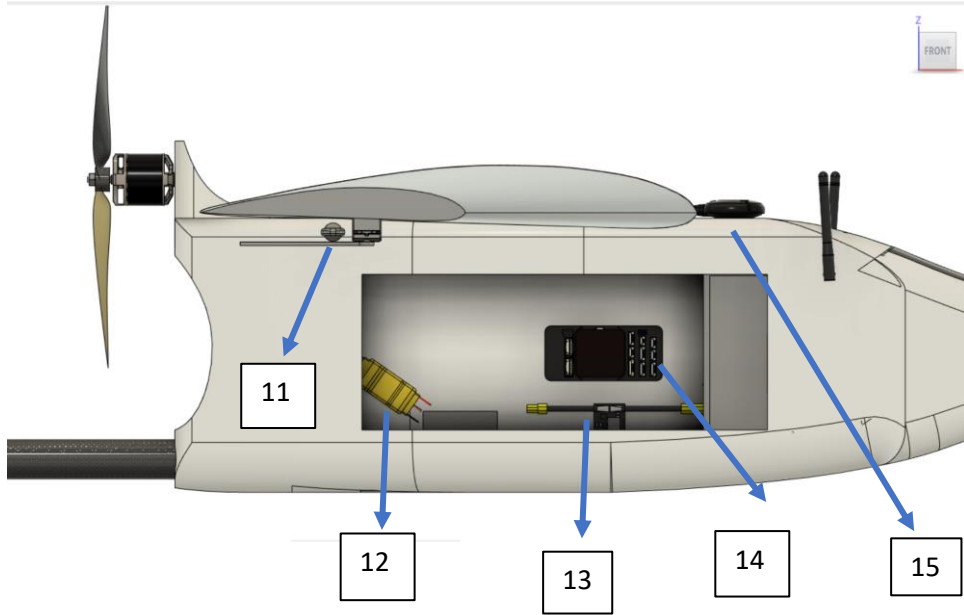
(Görsel 28, Kuyruk servo bağlantı)

7.2. Mekanik Entegrasyon

Ekip olarak tasarladığımız Direko İHA'nın içerisinde ki sistemlere kolay ulaşılabilirlik, montajının kolay ve hızlı bir şekilde olması ve bütün parçaların sabit bir şekilde durabilmesi hedeflenmiş, bu hususlara dikkat edilerek Direko İHA tasarlanmıştır.



(Görsel 29, Direko İHA Alt sistemler soldan görünüş)



(Görsel 30, Direko İHA Alt sistemler sağdan görünüş)

Parça Numarası	Parça İsmi
1	Kamera
2	Akım Kesici
3	Sigorta
4	RFD 868 Telemetri
5	RFD 868 Telemetri Anteni
6	Nvidia Jetson Xavier NX
7	Matel PDB 5V BEC Güç Ayırıcı
8	Wifi Link

9	Lidar
10	Motor
11	Wifi Link Anten
12	80A ESC
13	Power Modül
14	Pixhawk Black Cube
15	Here 3 GPS

(Tablo 10, Direko İHA mekanik entegrasyon malzeme listesi)

7.2.1. Motorun Yerleştirilmesi

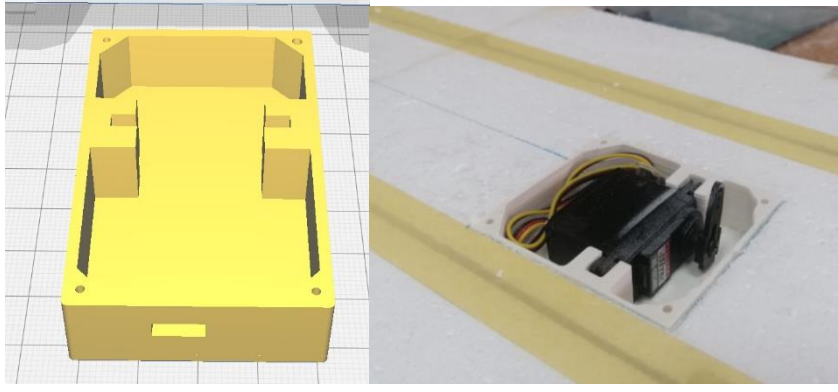
Direko İHA’da itici motor konfigürasyonu kullanılmasından dolayı motor gövdenin arkasına, 15x8 pervane kullanılmasından dolayı da görsel 31’de gösterildiği şekilde gövdenin üst tarafına doğru yerleştirilmiştir. Kalkış ağırlığının yaklaşık olarak 5.5kg olması ve motorun yaklaşık olarak 7.2 kg thrust vermesinden dolayı motor yatağına aşırı yük binmektedir. Motor yatağının mukavemetinin yüksek ve hafif olması için karbonfiberden üretilmiştir. Gövdenin üzerine direkt monte edilen motor yatağı, yapılan analiz ve test sonucu 23 kg kadar dayanıklılığı olduğu tespit edilmiştir. Motorun sürekli olarak dışarıda olması, motorun ısınmaması için avantaj oluşturmaktadır.



(Görsel 31, Direko İHA karbon fiber Motor yatağı)

7.2.2. Servoların Yerleştirilmesi

İHA’ların mekanik entegrasyonu kısmında dikkat edilmesi gereken önemli kısımlardan birisi de Servoların yerleştirilmesidir. Direko ekibi olarak tasarladığımız servoların, servo kutuları sayesinde, servoların arızalanması veya değiştirilmesi ihtiyacı durumunda servo kapağının sökülerek servoların yuvadan kolaylıkla çıkartılabilmektedir. Servo kutusu gövde ve kapak olmak üzere 2 kısımdan oluşmaktadır. Kapak sayesinde servoya erişim kolaylaşmış ve yağışlı havalarda servoların içerisine su girişi önlenmiştir. Tasarladığımız bu kutular 3D yazıcıdan çıktı olarak alınmış, civata ve somun ile sabitlenerek yerine oturtulmuştur. Görsel 34 de gösterildiği üzere servonun dışarıdan direkt hasar alması da önlenmiştir.



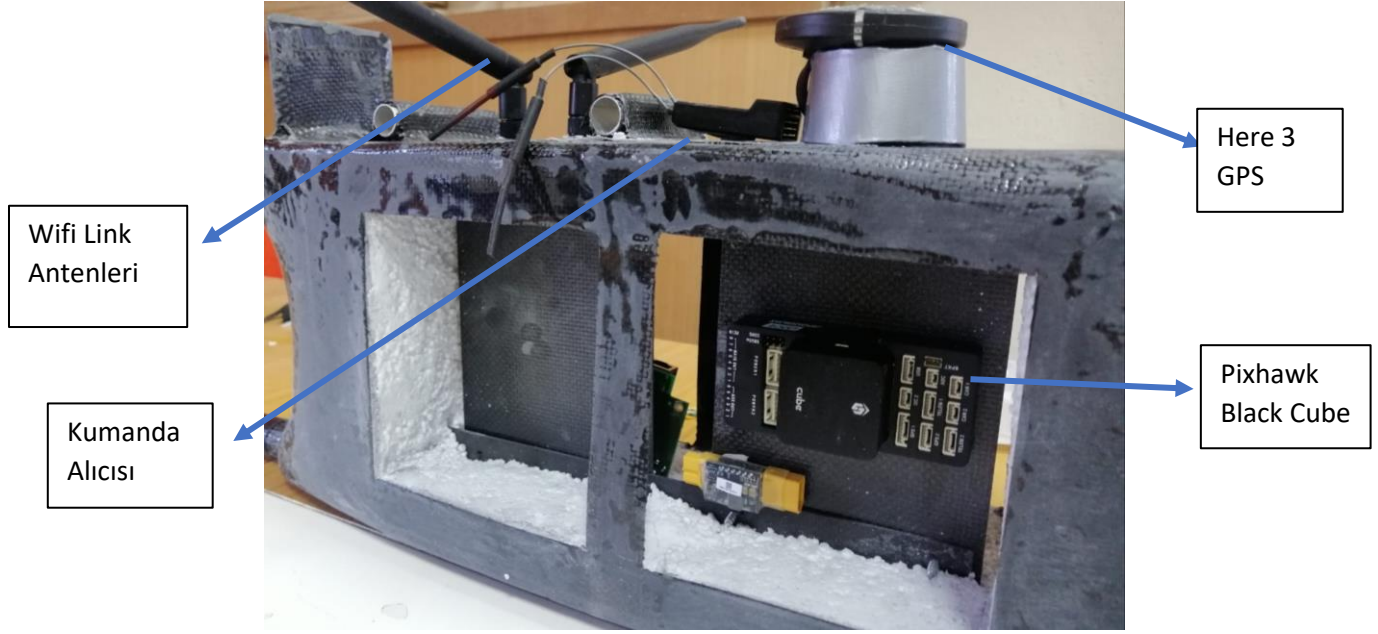
(Görsel 32, Servo yuva 3D modeli) (Görsel 33, Servo yuvasına yerleştirilen Hitec Hs442 Servo)



(Görsel 34, Servo-Kanatçık bağlantısı son hali)

7.2.3. Diğer Elektronik Bileşenlerin Yerleştirilmesi

Pixhawk; Uçuş kontrol kartı olarak kullanılan Pixhawk Cube gövde içerisinde bulunan dik bloklara cırt ile sabitlenmiştir. Uçuş anında sarsıntıdan dolayı uçuş kontrol kartının cırttan kurtulmaması için güvenlik olarak plastik kelepçe ile desteklenmektedir. Gövdenin içerisinde bulunan dik bloklara yatay bir şekilde bağlanması sayesinde kablo bağlantıları kontrollü ve kolay bir şekilde yapılmaktadır. Ağırlık merkezine yerleştirdiğimiz Pixhawk IMU sensörü daha hassas bir şekilde çalışmaktadır.



(Görsel 35-, İHA'nın şaseye Pixhawk Black Cube temsili montaj)

Yardımcı Bilgisayar; Görüntü işleme bilgisayarı olarak kullanılan Jetson Xavier NX kamerası ve pixhawk'a yakın olması istendiğinden dolayı Pixhawk'ın takılı bulunduğu dik bloğun arka bölümüne yerleştirilmiştir. Bilgisayar şaseye somun ve cıvatalar ile bağlanacaktır ve bilgisayara dokunulup kısa devre yapılması istenmediğinden dolayı üzerine kapak tasarlanmıştır.

RFD Telemetri; RFD 868 telemetrinin güçlü sinyal vermesinden dolayı servoları etkilemekte ve servolarda titreşim oluşturmaktaydı. Bunun önüne geçilmesi için pixhawk gövde içerisinde kullanılan dik bloklara yerleştirildi. RFD pixhawk'ın bağlı olduğu karbonfiber plakının arkasına yerleştirildi. Karbonfiber olan bloklar sinyali yansıtmadığından dolayı RFD'nin pixhawk'a yaptığı baskılamının önüne geçilmiştir. Antenlerde yere doğru çevrilerek Yer Kontrol İstasyonu ile arasında veri kaybı aza indirilmiş sinyallerden dolayı oluşacak vorteks'in önüne geçilmiştir.



(Görsel 36, Prototip Aşağıya doğru döndürülmüş RFD-868 telemetri antenleri)

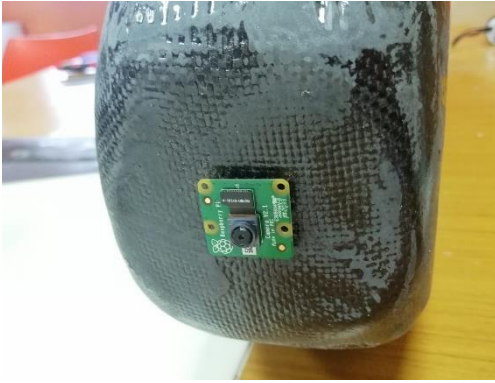
ESC; Yapılan uçuş testleri sonucu ESC de fazla bir ısınma tespit edilmemiştir. Her ihtimale karşı ESC'nin ısınması göz önünde bulundurulmuş ve ESC'nin üzerinde bulunan kılıfın çıkartılarak uçağın içerisinde bulunan Alüminyum soğutucuya monte edilerek fazla ısınması engellenecektir. ESC gövde içerisinde bulunan dik plakaya plastik kelepçe ile bağlanarak sabitlenmiştir.

Pitot Tüpü; İtici motor konfigürasyonu kullanılmasından dolayı pitot tüpünün öne takılması uygun görülmüştür. Pitot tüpü'nün sabitlenebilmesi için 3D yazıcıdan pitot tüpü gövde baskısı alınmış ve İHA'ya monte edilmiştir.



(Görsel 37, Prototip Direko İHA üzerine takılı pitot tüpü ve 3d yazıcıdan çıktısı alınmış PLA pitot tüpü yuvası)

Kamera; Kilitlenme kamerası olarak kullanılacak Raspberry Pi v2 kamera uçağın burnunda bulunan karbonfiber plakaya somun ve civata ile bağlanacaktır. Kameranın zarar görmemesi için önüne fanus kapak takılacaktır. Bu sayede kamera çevresini görebilecek ve fiziksel bir zarar görmesi engellenecektir.



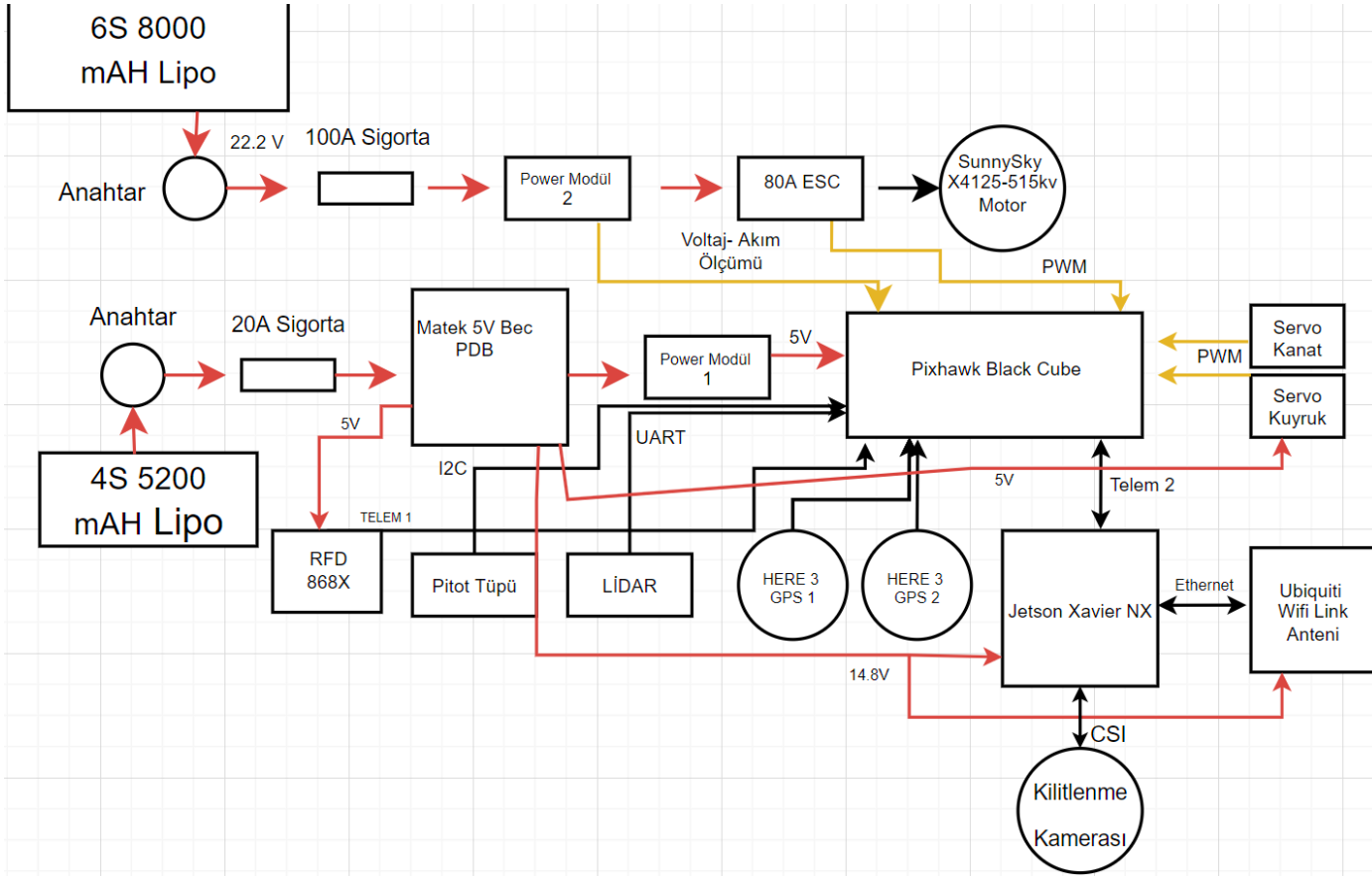
(Görsel 38, Kamera Temsili Konumlandırılması)



(Görsel 39, Fanus Temsili Konumlandırılması)

7.3. Elektronik Entegrasyon

Direko İHA'nın genel sistemi 6S ve 4S lipo pil olmak üzere iki farklı batarya ile çalışmaktadır. Sistemin genel güç sistemi şema 5 de belirtilmiştir.



(Şema 5 Direko İHA Sistem Şeması)

Güç sisteminde iki farklı lipo batarya kullanılmaktadır. Leoaprda Power 6S 8000 mAh lipo pil uçağın motor sistemini çalıştırmaktadır. 6S lipo pil öncelikle sigorta ve anahtara bağlanmaktadır. Motorda oluşabilecek acil bir durumda anahtar üzerinden anlık müdahale yapılabilecektir. Pil anahtardan sonra Pixhawk ikinci Power Modül üzerinden ESC'ye bağlanmaktadır. İkinci bir power modül kullanılmasının nedeni pixhawk 4S 5200 Lipo pil üzerinden beslenmektedir bundan dolayı da motoru çalıştıran pilin üzerinden geçen akım ve voltaj değerleri okunamamaktadır. İkinci bir power modül kullanılarak bu sorun ortadan kalkacaktır. Pixhawk üzerinden "POWER 2" portuna bağlanarak 6S 8000 mAh lipo bataryanın Voltaj ve Akım değerleri ölçülebilecektir.

Güç Dağılım Tablosu	
SunnySky X4125 515kv Motor	2750W
Jetson Xavier NX	15W
Ubiquiti Rocket M5	9.5W
Uçuş Kontrol Kartı	3W
GPS (2 adet)	2W

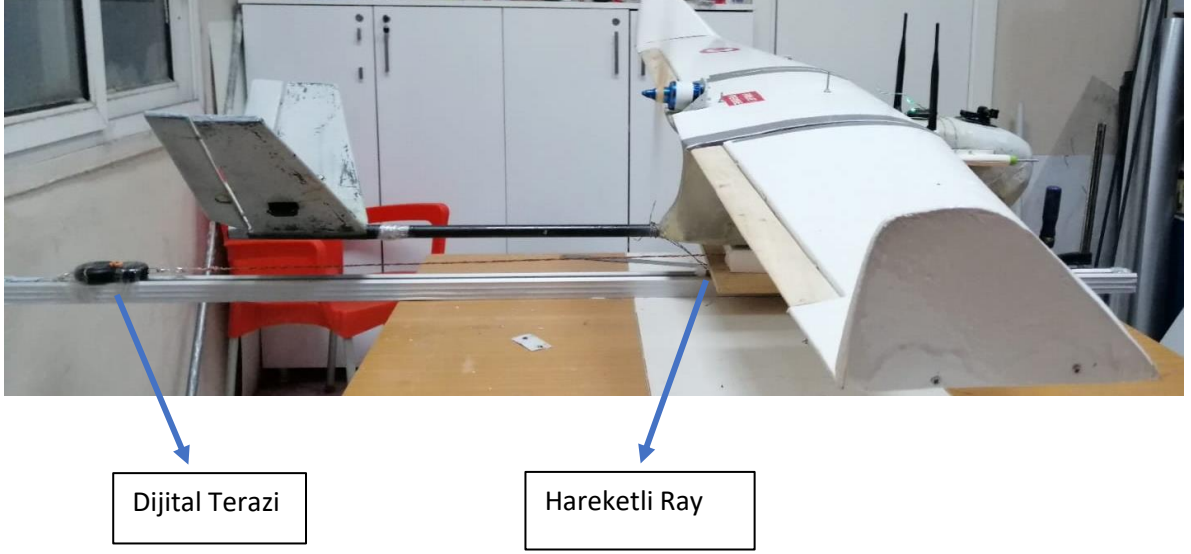
(Tablo 11, Güç dağılım tablosu)

8. TEST VE SİMÜLASYON

8.1. Alt Sistem Testleri

8.1.1. İtki Testi

DİREKO İHA itki sistemi için seçilen SunnySky x4125 515kv motorun fabrika verilerine göre seçilen EOLO 15x8 pervane ile yapılan itki testleri sonucu yaklaşık olarak 7200gr itki elde edildiği gözlemlenmiştir. Çeşitli pervaneler ile yapılan testler sonucu en iyi performans EOLO 15x8 pervaneden elde edilmiştir. Motor-Pervane değerleri tablo 3’da gösterilmiştir. Yaklaşık olarak 5500gr olan Direko İHA için bu itki yeterli gelmektedir. İtki testi ray ve dijital ölçü aleti kullanılarak yapılmıştır.



(Görsel 40, Prototip Uçak İtki Test Görseli)

8.1.2. Yapısal Kanat Yükleme Testi

İHA'nın uçuş sırasında maruz kalacağı yüklere dayanabilecek bir şekilde tasarladığımız uçağa yapılan fiziksel kanat yükleme testi yapılmıştır. Kademeli olarak yapılan yüklemde sağ kanat ve sol kanata 5500 gr olmak üzere toplam 11000gr yükleme yapılmış ve test başarılı bir şekilde tamamlanmış herhangi bir deformasyona rastlanmamıştır. Yük olarak net ağırlığı belirli olan 2.5kg'lık ve 1kg'lık bakliyalardan oluşan ağırlıklar kullanılmıştır.



(Görsel 41, DİREKO İHA Yüksüz kanat görseli)



(Görsel 42, DİREKO İHA Yüklü kanat görseli)

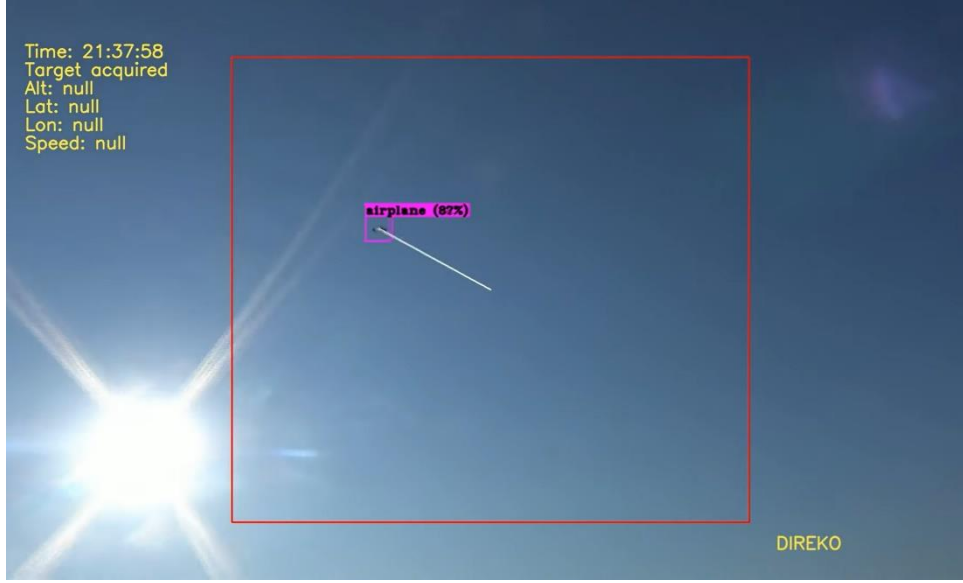
8.1.3. Haberleşme Testi

Nihai sistem mimarisinde de belirtildiği üzere İHA'nın içerisinde iki farklı telemetri sistemi bulunmaktadır. Uçuş kontrol kartı ile yer kontrol istasyonu arasındaki haberleşmeyi sağlayan RFD-868 üretici firma verilerine göre 40 km menzili olduğu söylenmektedir. Yarışma alanında uçuş sahası ve güvenlik alanı ile birlikte ihtiyacımız olan menzile 2 km çap olarak düşünülmüştür. Bu verilere göre farklı irtifalarda yapılan uçuşlarda Mission Planner üzerinden ölçülen sinyal seviyeleri gözlemlenmiş ve sinyal kaybı yaşanmamıştır.

Bir diğer telemetri sistemi iste uçağın içerisinde bulunan görüntü işleme bilgisayarı ile yer kontrol istasyonu arasındaki iletişimi sağlayan Ubiquiti Rocket M5 Wifi link anteni. Uçtan uca şifreleme özelliğine sahip bu anten ile birlikte yapılan uçuş testinde de sinyal kaybına rastlanmamıştır. Test sırasında wifi link görüntü işleme bilgisayarının telemetri verileri ve görüntü aktarma başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.

8.1.4. Kilitlenme Testi

Ekibimizin bir tane İHA'sı olmasından dolayı uçuş testi sırasında havadan havaya kilitlenme test edilememiştir. Yerden çekilen görüntüler üzerine tespit yapılmıştır. Nesne tespiti için yapılan test te kesintisiz bir şekilde tespit yapılabilmektedir.

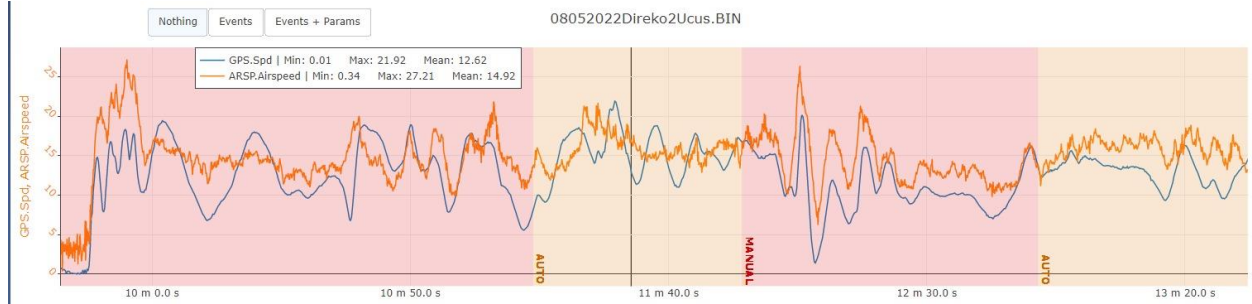


(Görsel 43, Prototip Direko İHA Yerden Kilitlenme Testi)

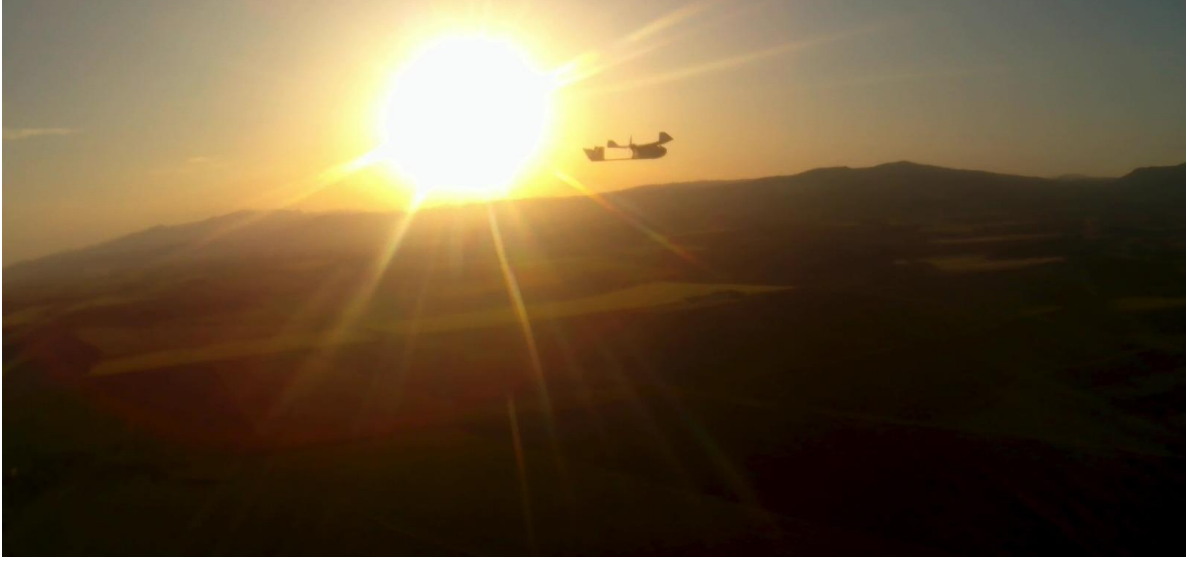
8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi

8.2.1. Uçuş Testi

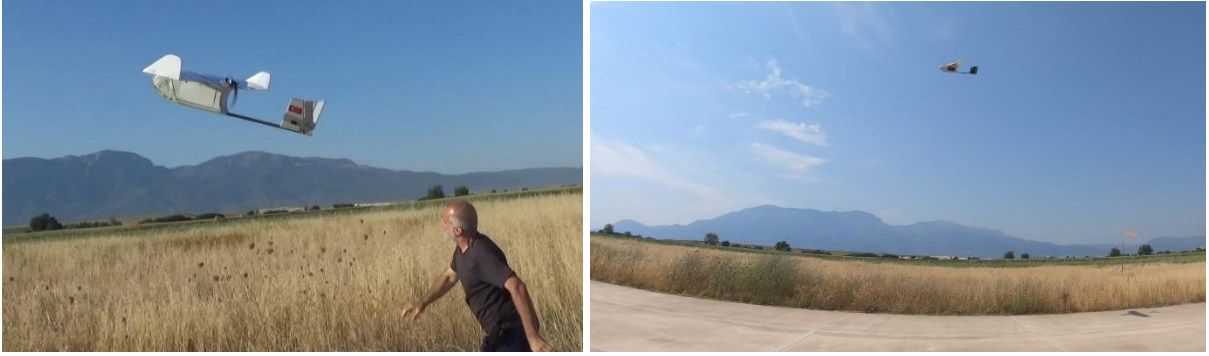
Rapor sürecinde uçuş testleri için 6 farklı uçuş gerçekleştirilmiştir. Bu uçuş testleri sırasında rüzgârlı ve rüzgarsız durumlarda ki uçuş süresi, stall hızı tespiti, ulaşılabilecek azami uçuş hızı, dayanabildiği rüzgâr hızı, sinyal seviye testi, sınır ihlali testi ve RTL mod testleri gerçekleştirilmiştir. Uçuş log verilerinin incelenmesi sonucu İHA üzerinde geliştirmeler yapılmıştır. Uçuş veri incelemesi görsel 44’ belirtilmiştir.



(Görsel 44, Manuel ve Otonom Uçuş Veri Analizi)



(Görsel 45, Döner Kanat İHA ile çekilmiş Prototip Direko İHA test uçuşu)



(Görsel 46, Prototip Direko İHA Test Uçuşu Kalkış Anı) (Görsel 47; Prototip Direko İHA Test Uçuşu Otonom İniş)

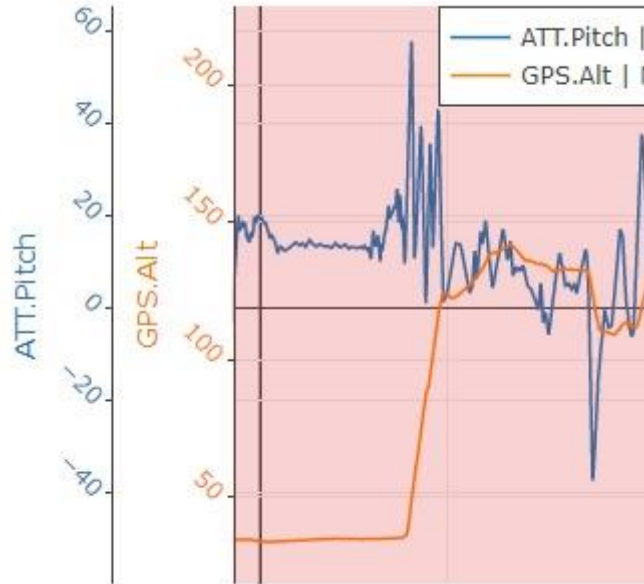
Uçuş süresi; Farklı hava koşullarında yapılan uçuş testleri sonucunda uçuş süresi hesaplanmıştır. 9 m/s lik bir rüzgârda yapılan uçuş testinde 13 dk'lık bir uçuş gerçekleşmiş, 3 m/s'lik bir rüzgârda 27 dk'lık bir uçuş gerçekleşmiştir.

Stall/ Seyir/ Azami Hız testi; Profesyonel pilotların gözetimi altında yapılan manual ve otonom uçuşlarda uçağın azami, seyir ve stall hızları, girilen gaz komutunun yüzdelik değeri olarak tespit edilerek hız testleri yapılmıştır. Bu değerler sonucu otopilot hız sistemi ayarlanmıştır.



(Görsel 48, Prototip Direko İHA Uçuş Testi sırasında ölçülen Hava hızı ve Yer hızı verileri)

Yükseliş testi; Elle fırlatma ile kalkışa başlayan DİREKO İHA'nın kalkış açısı ve yükseliş açıları test edilmiştir. İlk fırlatış da 20 derecelik bir açı ile yükselmeye başlayan Direko 60 derecelik bir açı ile tırmanış yaparak 4.5 saniye içerisinde 100 metre irtifaya tırmanışı test edilmiştir. Görsel 49 da gösterilmiştir.



(Görsel 49, Prototip Direko İHA Kalkış anında ölçülen Pitch değeri ve İrtifa değeri)

Sınır ihlali testi; Otonom uçuş sırasında Mission Planner üzerinden çizilen sınırların aşması halinde RTL moda girerek uçağın başladığı konuma geri dönüş yapması ve tekrar otonoma geçiş yaparak uçuşa devam etmesi testi başarılı bir şekilde yapılmıştır.

RTL mod denemesi; Yapılan uçuş sırasında kumanda kapatılarak uçak ile kumanda arasındaki sinyal koparılmış ve uçak RTL moda girerek başladığı konuma geri dönüş yapmıştır. Yapılan bu test sonucunda uçak otonom olarak başarılı bir şekilde iniş yapmıştır.

8.2.2. Uçuş Kontrol Listesi

DİREKO İHA'nın uçuşunu gerçekleştirmeden önce güvenli bir uçuşun yapılabilmesi için yapılan literatür taramaları sonucu "Uçuş Öncesi Kontrol Listesi" oluşturulmuştur. Ekip üyelerinin arasındaki görev paylaşımı ve sorumlulukları uçuş öncesi ekip üyelerine bildirilerek

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

uçuş kontrol listesi ile birlikte uçuş hazırlıkları başlatılır. Uçuş kontrol listesinde mekanik ve yazılımsal testler bulunmaktadır.

“Uçuş kontrol listesi” görsel 50’ de belirtilmiştir. Kontrolör uçuşa başlamadan önce listede bulunan tüm testleri gerçekleştirir. Tüm kabloların yerlerine takılı olduğu, kopmuş ya da aşınmış kablo olup olmadığı kontrol edilir. Bataryanın yerine doğru takıldığı kontrol edilir ve ağırlık merkezinin kontrolü yapılır. Uçuşa başlamadan önce rüzgâr yönü ve kuvveti kontrol edilir. Son test olarak motorun itki gücü kontrol edilir ve pilota bilgi verilerek uçuş başlatılır.

Otonom uçuş sırasında pilot uçağın bütün hareketlerini ve uçağın doğru rotada uçup uçmadığını kontrol eder. Oluşturduğumuz algoritmaların testi sırasında Acil bir durum olması durumunda müdahale edilebilmesi için pilot kumandaya erişimi kolay olacak bir şekilde hazırlıklı bekler.

UÇUŞ ÖNCESİ KONTROL LİSTESİ			
Pilot Ad-Soyad :		Uçuş Tarihi : 08-05-2022 19:10	
Yardımcı Pilot Ad-Soyad :		İHA Kayıt Numarası : TFL	
Uçuş Yeri : Manisa Havaçılık Tesisleri			
Uçuş Amacı : Test Uçuşu/03 - 0+opilot Seyir - İniş - UçurTehi			
Notlar :			
No	Maddde	Uygun	Notlar
1	Hava Durumu: Rüzgâr Hızı Yüks Görüş Mesafesi	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	8m/s normal rüzgâr 11m/s ani rüzgâr
2	İHA Batarya Durumu (Min %75)	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	RC Batarya Durumu (Min %75)	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Kullanılan Batarya Sayısı	65-45 (2)	
5	Fiziksel Kontroller :		
	Motorlar	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Pervaneler	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Bataryalar	<input checked="" type="checkbox"/>	
	ESC	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Kablolár	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Bağlantı Noktaları	<input checked="" type="checkbox"/>	
	İniş Takımı	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Kamera	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Gimbal	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	Servo Bağlantıları	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Halfa Kartı Takı	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	GPS Kalibrasyonu	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	IMU Kalibrasyonu	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	Pusulâ Kalibrasyonu	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	Uçuş Alanı	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	Elektrik Testleri	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	Potansiyel Enerji	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	Home Lokasyon Belirleme	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	Maksimum Uçuş Yüksekliği	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	ACU İniş Alanı Belirleme	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	Sinyal Seviyesi/ Anten Kontrolü	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	Kontroller	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	Elevator K.	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	Roller K.	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	Aileron K.	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	Ötopilot K.	<input checked="" type="checkbox"/>	
Notlar : 60 sn uçuş süresi Oranetik maddde rotaya değmedi 2.17' +tr+ 16 m/s			
Dolga çizerek vadedildi. Titreşim (z) 32'ye saktı.			

(Görsel 50, Prototip Direko İHA Uçuş testi sırasında kullanılan uçuş öncesi kontrol listesi)

9. GÜVENLİK

Güvenli bir uçuş yapılabilmesi ve istenilen uçuşun gerçekleştirilebilmesi için uçuş öncesinde, uçuş sırasında ve uçuş sonrasında kontrollerin yapılması şarttır. Gereken güvenlik tedbirleri kapsamında takımımızın yapmış olduğu literatür taramaları sonucu, uçuş öncesi, uçuş esnasında ve uçuş sonrası checklist oluşturuldu. Her uçuş öncesi uçağımızın güvenlik kontrolleri yapılarak uçuş sırasında oluşabilecek olumsuz durumlar minimum seviyeye indirilmektedir.

9.1. Uçuş Öncesinde Oluşabilecek Riskler

-Ekip üyelerinin arasındaki görev paylaşımı ve sorumlulukları uçuş öncesi ekip üyelerine bildirilerek checklist ile birlikte uçuş hazırlıkları başlatılır.

-Uçuşa başlamadan önce, bütün parçaların uçuş kontrol listesine uygun olarak tek tek kontrol edilmesi gerekmektedir.

-Tüm parçaların sorunsuz çalıştığından ve uçak üzerinde tüm parçaların sağlam bir şekilde takıldığından emin olmak gerekmektedir. Aksi halde uçağın kontrolü kaybedilebilir ve istenmeyen sonuçlar doğabilir.

-Tüm kabloların yerlerine takılı olduğu, kopmuş ya da aşınmış kablo olup olmadığı kontrol edilmelidir. Uçağın kontrolünün kaybedilme olasılığının önüne geçilir. Olası bir yangın durumu önlenmiş olur. Her halükârda yangın durumuna karşı alanda yangın söndürme tüpü hazır bulundurulacaktır.

-Pervanelerin doğru takılması kontrol edilmesi gerekir. Uçuş öncesinde pervanelerin sıkı bir şekilde takıldığından emin olmadan uçuşa başlanmamalıdır.

-Uçuşa başlamadan önce, kumandanın komutlarına uyup uymadığı kontrol edilmelidir. Tüm kontrol yüzeylerinin çalıştığı teyit edilir.

-Bataryanın yerine doğru takıldığı kontrol edilmelidir. Tüm bileşenlerin hasarsız olduğu teyit edilmelidir. Uçağın kırılma uğramasına, yanmasına veya kontrolden çıkmasına v.b sonradan gelişebilecek istenmeyen durumların önüne geçilmiş olunacaktır.

-Her uçuş öncesi bataryaların tam şarj olduğundan emin olunmalıdır. Pilin bitmesi uçaktaki tüm kontrolün kaybedilmesine neden olmaktadır. Bu duruma önlem olarak motorun güç beslemesiyle diğer elektroniklerin güç beslemeleri birbirinden bağımsız lipo bataryalar ile sağlanmaktadır. Bu sayede motorun bataryası bitse bile uçuş kontrol sistemimiz çalışmaya devam edecek ve uçağımızın süzülerek yere indirilmesi sağlanacaktır. Bataryalar kullanıma bağlı olarak sık sık arıza verebilmektedir. Ayrıca uzun süre kullanılmayan bataryalar deforme olur ve şişer. Batarya şişmesi sık rastlanan arızalardan biridir ve tehlike arz eder. Bu nedenle batarya kullanım talimatlarına uygun olarak hareket edilmelidir. Sistemde kullandığımız bataryalarda oluşabilecek patlama, yanma gibi tehlikeli durumlarda kendimize ve çevreye zarar vermemesi için taşınma sırasında güvenli lipo pil saklama çantası kullanılacaktır.

9.2. Uçuş Sırasında Oluşabilecek Riskler

- Uçuş sırasında oluşabilecek tehlikeli durumlar, hatalı hedef takibi durumunda uçağın belirlenen alanların dışına çıkması, uçağın uzaktan kontrolünün kaybedilmesi, yetersiz batarya durumları, servo hataları olarak sıralanabilir.

- Uçağın belirlenen alanlar içerisinde kalması ve herhangi bir nedenden dolayı bu alan dışına çıkmasının önlenmesi için sistemde alan sınırlama özelliği bulunmaktadır. Alan sınırlama yazılımı yer kontrol sistemlerinden çit tanımlanarak kullanılmaktadır. Böylece herhangi bir nedene bağlı olarak, uçağın yanlış hedefi takip etmesi gibi, uçağı alan dışına çıkartan komutlar otomatik olarak engellenecektir.

- Uçak ve yer istasyonu arasındaki haberleşme kesintileri nedeniyle oluşabilecek acil durumların önüne geçebilmek için uçağımızda Fail Safe özelliği bulunmaktadır. Haberleşme kesintisi durumunda uçak otomatik olarak Fail Safe durumuna geçerek önceden belirlenmiş konuma geri dönmektedir. Bu sayede uçağın uzaktan kontrol edilemediği durumlarda davranışı önceden belirlenerek uçağın takip edilmesi kolaylaştırılmaktadır.
- Aynı zamanda bataryanın yetersiz olduğu durumlarda en kısa sürede belirlenen konuma geri gelmesi veya güvenli bir alana indirilmesi gereklidir.
- Uçak motor güç beslemesinin aşırı akım ve kısa devre durumlarında korunması için ESC'nin batarya hattı anahtarlanacak şekilde sigorta kullanılmaktadır. Acil durumlarda sigorta devresi, kolay ulaşılabilir olması için gövde üzerine yerleştirilmiştir.
- Otonom uçuş sırasında oluşacak diğer kritik arızalar durumunda manuel uçuşa geçilmesi planlanmıştır. Uçağımızın servolarının bozulması, dişli kırılması veya sistemden kaynaklı olarak kontrolden çıkması durumlarında eğer uçak otonom olarak kontrol edilemiyorsa, önceliğimiz kumanda kontrolü ile uçağı yönlendirmektir. Eğer uçak kontrolümüze yanıt vermezse daha önceden belirlenen güvenli alana, kişilere ve diğer yarışmacılara risk oluşturmayacak şekilde düşürülmesi sağlanacaktır. Servoların arızalanması ihtimaline karşı çift servo tasarımı kullanıldığı için bu hata tasarımsal olarak en aza indirilmeye çalışılmıştır.
- Otonom uçuş sırasında yazılımdan kaynaklı kırımların önüne geçmek amacıyla kumanda ve yer istasyonunda bulunan arayüz üzerinde acil durum anahtarı bulunmaktadır. Acil durum anahtarı uçağın istenmeyen manevralar gerçekleştirmesi durumunda operatör müdahalesi ile kullanılmaktadır. Bu anahtar kullanıldığında uçak otonom moddan çıkarak kontrolün uçuş kontrol kartından pilot tarafına geçmesini sağlar.

9.3. Uçuş Sonrasında Oluşabilecek Riskler

- Uçuş sonrasında, uçak yere iniş yaptıktan sonra oluşabilecek riskler temel olarak, uçağı yaklaşırken motorun çalışmasına bağlı yaralanmalar, uçuş sırasında çıkan yangının büyümesi, ya da sert inişe bağlı uçakta yangın çıkması durumlarıdır.
- Uçağımız yere başarılı bir iniş yaptıktan hemen sonra motor bağlantısı kapatılır ve motor güvenliği sağlanır. Yangın olması durumunda sorumlu ekip üyesi müdahale etmelidir. İlk yardım çantası ve yangın tüpü her ihtimale karşı hazır bulundurulur.
- İniş sonrası uçakta hasar olup olmadığı kontrol edilir. Gövdede kırık olup olmadığı, pervane uçlarının zarar görüp görmediği, motorun yuvasından çıkma durumu, servoların bağlı olduğu alanlar tek tek kontrol edilmelidir. Uçağın diğer tüm elektronik bileşenlerinin durumu tek tek kontrol edilir.
- İş sağlığı ve güvenliği tedbirleri kapsamında takım üyeleri bilgilendirilmiştir.

10. REFERANSLAR

- [1]: DİREKO IKCU 2021 Savaşan İHA KTR
- [2]: http://scottbryce.com/parachute/spherical_parachute.html
- [3]: <http://www.nirarocketry.org/docs/LE/2000/LE2000MayJun.pdf>
- [4]: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnbot.2022.808147/full>
- [5]: Ardupilot Dokümantasyonu, <https://ardupilot.org/plane/index.html>
- [6]: XFLR5 Dokümantasyonu, <http://www.xflr5.tech/xflr5.htm>
- [7]: <https://gstreamer.freedesktop.org/documentation/tutorials/basic/streaming.html?gi-language=c>