

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

TAKIM ADI: TUNGA SAYE

TAKIM ID: 465229

YAZARLAR: ÖZGÜR UZUNCA, TAHAN ENES BAYKURT, AHMAD MASOOD
SAHAK, KEVSERNUR ERGİNSU, BURAK ÖZÇELİK, TARİK ŞAHİN, SAMET
YILDIRIM, RİDHA CHAME



İÇİNDEKİLER

1.	TEMEL SİSTEM ÖZETİ (5 PUAN)	3
1.1.	Sistem Tanımı	3
1.2.	Sistem Nihai Performans Özellikleri	3
2.	ORGANİZASYON ÖZETİ (5 PUAN)	5
2.1.	Takım Organizasyonu	5
2.2.	Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe	6
3.	DETAYLI TASARIM ÖZETİ (15 PUAN)	7
3.1.	Nihai Sistem Mimarisi	7
3.2.	Alt Sistemler Özeti	15
3.3.	Hava Aracı Performans Özeti	19
3.4.	Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı	21
3.5.	Hava Aracı Ağırlık Dağılımı	23
4.	OTONOM KİLİTLENME (15 PUAN)	24
o 4.1.	Otonom Kilitlenme	24
o 4.2.	Kamikaze Görevi (tasarım)	28
5.	YER İSTASYONU VE HABERLEŞME (15 PUAN) YAZILIM EKİBİ	30
6.	KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI (10 PUAN) YAZILIM EKİBİ	34
7.	HAVA ARACI ENTEGRASYONU (10 PUAN)	39
7.1.	Yapısal Entegrasyon	39
7.2.	Mekanik Entegrasyon	40
7.3.	Elektronik Entegrasyon	42
8.	TEST VE SİMÜLASYON (15 PUAN)	44
8.1.	Alt Sistem Testleri	44
8.2.	Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi	47
9.	GÜVENLİK	48
10.	REFERANSLAR HERKES	50

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ (5 PUAN)

1.1. Sistem Tanımı

- Görüntü işleme
- Tespit- kilitlenme- takip
- Yarışma süresi
- Otonom iniş kalkış
- Kamikaze

Yarışmada yarışmacılardan istenilen kriterler: Yapılan İHA'nın (İnsansız Hava Aracı) minimum 15 dakika havada kalması istenmektedir. Yarışmanın 2 adet temel görevi vardır. Görevleri; rakip İHA'lara kilitlenerek puan toplamaktır. Diğer görev ise kamikaze görevidir bu görevde İHA' dan yerde bulunan 2x2 metre boyutlarında olan yer hedeflerini tespit etmektir. Otonom iniş-kalkış, kumanda üzerinde bulunan Auto ve RTL modları kullanılması planlandı. Seçilen İHA elden atmalı bir sisteme sahip olduğu için takım pilotu motora arm verir ve İHA elle atıldıktan sonra otonom olarak uçuşuna başlamaktadır. Jetson'a bağlı olan kameranın algıladığı görüntüler, Görüntü işleme bilgisayarında işlenerek haberleşme protokollerini aracılığı ile görüntü "Rocket R5AC Lite'e, ardından ise yer kontrol istasyonuna bağlı "Powerbeam 5AC 500"e aktarılarak "Mission Planner" programın görüntü arayüzde anlık olarak görüntülenebilecek. Nesnelerin algılanması için kullanılan "YOLOv5x" algoritması ile tespit edilen İHA, algıladığı değerleri nesne takip algoritmasına gönderecektir. Takip işlemi için takımın yazılım ekibi tarafından geliştirilen takip algoritmanın kullanılması uygun görüldü. Rakip İHA kilitlenme dörtgenine alındıktan sonra İHA'nın ekran üzerindeki görüntüsü minimum %8 olduğunda kilitlenme sayacı başlayacaktır. (%5 değil de %8 olması **4.1.2** kısmında detaylıca anlatılmıştır.) Rakip İHA'yı otonom olarak takip ederek 4 saniye boyunca kilitli kalması sağlanacaktır. Kilitlenme süre sayacı için Python yazılımı tarafından sağlanan Python zamanlayıcı fonksiyonları kullanıldı. Yarışmanın ilk 10 dakikası savaşan İHA görevi için ayrılrken son 5 dakika ise kamikaze görev için ayrıldı, kamikaze görevi başarılı bir şekilde tamamlanması durumunda ise tekrar savaşan İHA görevine dönüp hedeflere kilitlenmeye çalışılacaktır. Uçuş kontrol kartından hız, konum, yönelim vb. parametreler yer kontrol istasyonuna "RFD 868X" telemetri aracılığıyla aktarılacaktır. Iniş için İHA pilotu, kumandayı RTL (Eve dön) moda alıp, İHA'nın kalkış yaptığı alana otonom olarak inişini sağlayacaktır. İHA, kumanda alıcısı veya yer istasyonu ile haberleşmesinin kesilmesi durumunda İHA uçuş sonlandırma yapacaktır.

1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri

Bu madde de istenilen isterler ecalc uygulaması ile hesaplandı. Çıkan sonuç doğrultusunda İHA'nın 18,6 dakikalık bir uçuşa sahip olduğu görülmektedir. Aynı zamanda seçilen motorun itkisinin İHA'nın kalkış ağırlığını kaldırdığı görülmektedir.

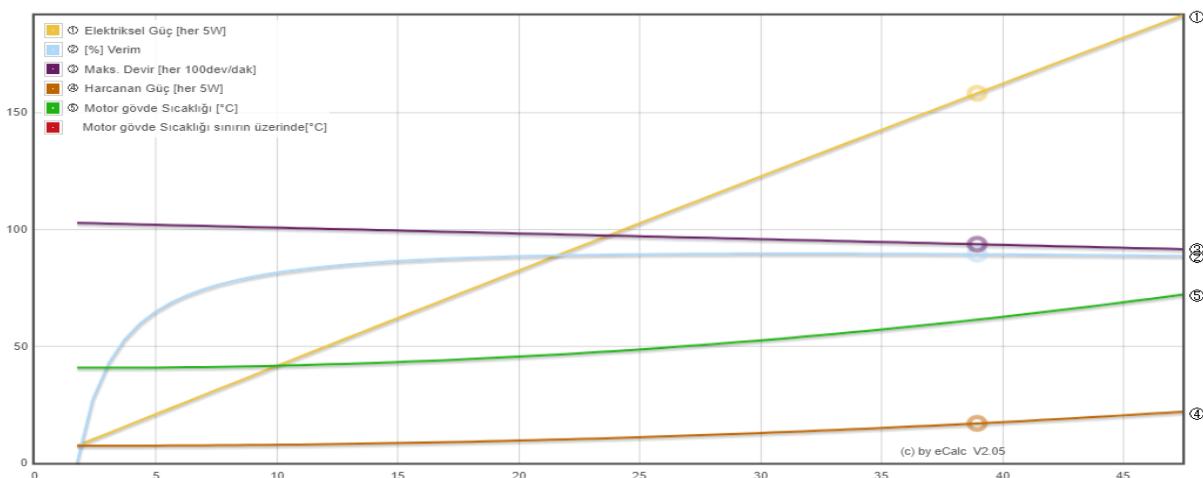
SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 1: Ecalc Verileri

Pervane dev/dak	İtki %	Akım (DC) A	Gerilim (DC) V	Elektriksel Güç W	Verim %	İtki g	İtki oz	Yunuslama Hızı km/h	Hız (Seviye) km/h	Hız (Seviye) mph	Motor Çalışma Süresi (85%) dakika			
1400	14	0.3	20.9	5.2	46.0	75	2.7	14.4	0.51	14	9	-	-	2026.9
2100	21	0.6	20.9	12.6	64.7	169	6.0	13.5	0.48	21	13	-	-	844.1
2800	28	1.2	20.9	25.6	75.3	301	10.6	11.8	0.42	28	17	-	-	414.3
3500	35	2.2	20.8	46.3	81.4	471	16.6	10.2	0.36	35	22	-	-	228.8
4200	42	3.7	20.8	76.7	84.9	678	23.9	8.8	0.31	42	26	-	-	138.0
4900	50	5.7	20.8	118.8	87.0	923	32.5	7.8	0.27	49	30	-	-	88.9
5600	57	8.5	20.8	174.8	88.2	1205	42.5	6.9	0.24	55	34	35	22	60.3
6300	65	12.0	20.8	246.8	89.0	1525	53.8	6.2	0.22	62	39	57	35	42.6
7000	73	16.4	20.7	336.9	89.4	1883	66.4	5.6	0.20	69	43	64	40	31.1
7700	81	21.8	20.7	447.4	89.6	2278	80.4	5.1	0.18	76	47	70	44	23.4
8400	89	28.4	20.6	580.5	89.6	2711	95.6	4.7	0.16	83	52	77	48	18.0
9100	97	36.3	20.5	738.6	89.6	3182	112.2	4.3	0.15	90	56	83	52	14.0
9343	100	39.5	20.5	802.6	89.3	3364	118.3	4.2	0.15	93	58	85	53	12.9

Şekil 2: Motor Kısıtlı Yüklü Durumda Motorun Özellikleri

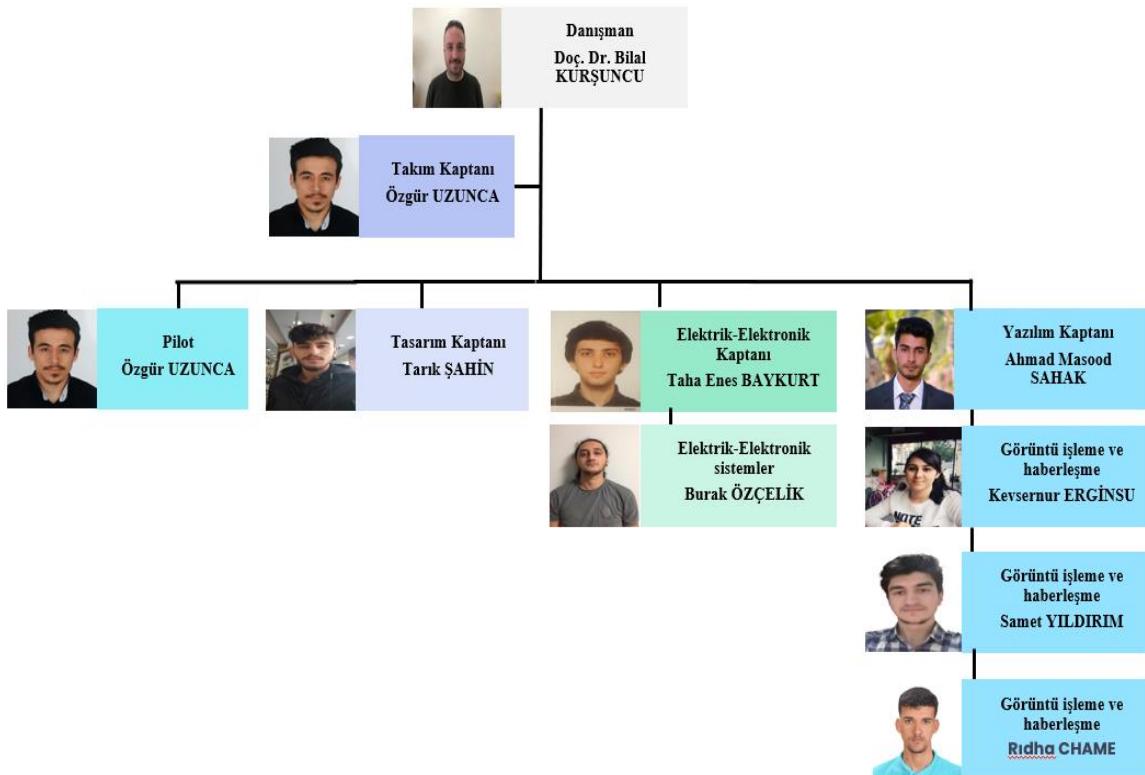


Şekil 3: Tam İtki Durumunda Motorun Özellikleri

2. ORGANİZASYON ÖZETİ (5 PUAN)

2.1. Takım Organizasyonu

Yarışma kapsamında ekibimiz 9 kişiden oluşmaktadır. Ekibimiz üç temel departmandan oluşmaktadır. Departmanlar mekanik, yazılım, elektronik olarak sınıflandırılmaktadır. Mekanik ekibi, gereken isterleri yerine getiren hafif bir İHA tasarlayan, test eden ve montajı sağlayan ekiptir. Elektronik ekibi, İnsansız hava aracı üzerinde alt sistemlerin en uygun şekilde çalışmasını sağlayan ve entegrasyondan sorumlu ekiptir. Yazılım ekibi, algoritmaları geliştiren, haberleşme, otonom uçuş, kilitlenme sağlayan yazılım ve çalışmasından sorumlu ekiptir. Takım danışmanı, Bartın Üniversitesi akademisyenlerinden Doç. Dr. Bilal KURŞUNCU' dur. Takım kaptanı ve pilotu, ticari İnsansız Hava Aracı (İHA) 1 ehliyetine sahip makine mühendisliği 4. sınıf öğrencisi Özgür UZUNCA' dir. Tasarım kaptanı, tasarım ve montaj işlemlerinde, makine mühendisliği 3. sınıf öğrencisi Tarık ŞAHİN görev almaktadır. Elektrik-elektronik kaptanı, elektrik-elektronik 1. Sınıf öğrencisi Taha Enes BAYKURT, elektrik-elektronik sistemlerinde, elektrik-elektronik 1. Sınıf öğrencisi Burak ÖZÇELİK görev almaktadır. Yazılım kaptanı, yazılımsal haberleşmeden sorumlu olan Bilgisayar Teknolojisi ve Bilişim Sistemleri 2. Sınıf öğrencisi Ahmad Masood SAHAK, görüntü işleme ve haberleşmeden sorumlu olan bilgisayar mühendisliği 3. Sınıf öğrencileri Kevsernur ERGİNSU, Samet YILDIRIM, Ridha CHAME görev almaktadır.



Sekil 4: Takım Organizasyon Dağılımı

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

2.2. Zaman Aķış Çizelgesi ve Bütçe

Ön tasarım raporuna göre bütçe planlamasında Sunnysky x4110S-400 KV (1000 TL) motor temin edilemediği için Sunnysky X3525 520 KV motor (3200 TL) ile değiştirilmiştir. Eolo 100A Pro ESC (746,23 TL) seçilen motora ile uygun olmadığı için SkyWalker 60A ESC (528 TL) ile değiştirilmiştir. Sigorta aynı fiyatta başka bir sigorta alındığı için bütçede değişikliğe neden olmamıştır. ÖTR verilen FlySky FS-I6X (1600 TL) kumanda bozulduğu için yerine At9s pro (2400 TL) kumanda seçilmiştir. Seçilen malzemeler diğer alt sistem elemanları ile uyumlu çalışmaktadır. ÖTR sürecinde İHA'nın tasarımının ve üretiminin biz tarafından yapılması planlanmıştı ama üretim kısmında sorunlar yaşadığımız için hazır tasarım ürüne geçmeyi uygun gördük o yüzden belirlediğimiz bütçede 5,500 TL değişiklikle neden olmuştur. Ön tasarım raporunda planlanan bütçe toplam 49.432,00 TL, kritik tasarım raporun da ise toplam harcanan bütçe 57.784,00 TL'dir. Ön tasarım raporuna göre 8.352,00 TL kadar bir bütçe aşımı gerçekleşmiştir. Yapılan değişiklikler Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1 Bütçe

Elektronik			
Ürün Adı	Malzeme Adı	Adet	Toplam Fiyatı (₺)
Motor	Sunnysky X4110S-400 Kv Drone Motor Servo Motor	8	₺5.200,00
Batarya	Leopard power Lipo Batarya 6S 22.2V 10000mAh 35C/70C	1	₺4.682,00
Elektronik Kartlar	skyWalker 60 A ESC Pixhawk 2 cube Jetson Xavier nx Emlid Power Modül	4	₺14.852,00
Hava ölçüm sensörü	Pitot Statik Tüp	1	₺950,00
Montaj Ekipmanları	Havva, Lehim Pasta, 12 AWG Kablo, Makarou	4	₺800,00
Elektronik Toplam Fiyat			₺26.484,00
Mekanik			
Ürün Adı	Malzeme Adı	Adet	Toplam Fiyatı (₺)
Kompozit	Cam elyaf, EPO(expanded polyolefin)-işleme hazır üretim şasi	2	₺13.000,00
Montaj Ekipmanları	Vida, Plastik Cırt, Çift Taraflı Bant, Somun Motor Tutucu, Aralayıcı	6	₺500,00
Mekanik Toplam Fiyat (₺)			13500
Yazılım			
Ürün Adı	Malzeme Adı	Adeti	Toplam Fiyatı (₺)
Haberleşme	Telemetri Kumanda Renç M+ RTK Seti (Renç M+(X2) +Talisman Anten (X2))+HERE3 GNSS Jetson Xavier nx Kamera Rocket SAC lite Powerbeam SAC 500 Mikrotik POE enjektör	8	₺17.800,00
Yazılım Toplam Fiyat			₺17.800,00
Genel Toplam			₺87.784,00
Yüzdelik Gider Dağılımı			Elektronik: %64,6 Mekanik: % 23 Yazılım: % 31

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Tablo 2: Zaman Akış Çizelgesi

İŞ AKIŞ ÇİZELGESİ												
İŞ PAKETLERİ VE FALİYETLERİ		Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Süre (Ay)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	İyis
1.	Kavramsal ve Taslak Tasarımın Oluşturulması	10.01.2022	25.02.2022	2								
1.1	Literatür Taranması			1								
1.2	Kavramsal Tasarım			1								
1.3	Taslak Tasarım			1								
2.	Detaylı Tasarım, Analiz ve Malzeme Seçimi	01.01.2022	10.04.2022	3								
2.1	Detaylı Tasarım			2								
2.2	Malzeme Seçimi			2								
2.3	Tasarım İyileştirme Çalışmaları ve Analiz Yapımı			3								
3.	İmalat ve Sistem Entegrasyonu	25.03.2022	25.04.2022	2								
3.1	Mekanik İmalatı ve Montajı			2								
3.2	Elektrik Elektronik Sistem Entegrasyonu			1								
4.	Yazılım ve Testler	20.01.2022	06.08.2022	8								
4.1	Yazılım Araştırmaları Yapılması			2								
4.2	Aracın Yazılımının Yüklenmesi			2								
4.3	Otonom Sistem Yazılımı			3								
4.4	Görüntü İşleme ve Haberleşme			3								
4.5	Yazılım Entegrasyonu ve İyileştirme Çalışmaları			2								
4.6	Testler			3								

Yapılanlar	
Yapılması Hedeflenenler	

3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ

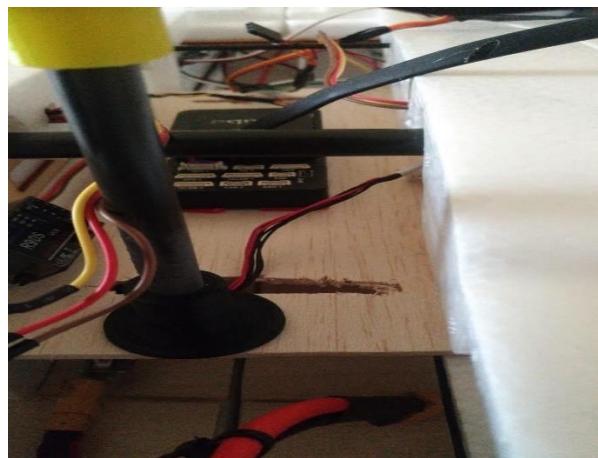
3.1. Nihai Sistem Mimarisi

Sizlere sunduğumuz Ön tasarım raporunda tasarımımızın ve imalatının kendimiz tarafından yapılacağını belirtimisti. Lakin kendi yaptığımız tasarımın imalat sürecinde istenmeyen durumlar yaşadığımız için hazır bir tasarıma geçme kararı alındı. Seçilen tasarım Talon X UAV' dir. Yapmış olduğumuz araştırmalar ve analizler sonucunda bu tasarımın bizim için daha uygun olacağı düşünüldü. İHA' nın, kanat gövde ve kuyruk kısmında karbon fiber çubuklar ile güçlendirmeler mevcuttur bu da İHA' nın dayanımını artırmaktadır. Seçilen İHA EPO strafor köpükten üretilmiştir. Bu da İHA' yı seçme nedenlerimizden biri oldu.

Seçim nedenleri;

- Su emme katsayısı düşük olduğu için yağışlı havalardan daha zor etkilenecektir.
- Darbeyi emme özelliğinden dolayı düşüşlerde zarar görme olasılığı minimuma indirildi.
- Yapısında insan sağlığını tehlkeye atan kloroflorokarbon gazı bulundurmamaktadır.
- Isı eşiği yüksek olduğundan dolayı yanın riski minimuma indirildi.

Hazır tasarım olduğundan dolayı kullandığımız ekipmanlarımızın montajında bazı sorunlar yaşandı, bu sorunlar balsa ağacı ile İHA'ının iç bölümünü kademeler açarak giderildi. Bu oluşturduğumuz kademeler strafotur zarar görmesini de engellemiş bulunmaktadır. Şekil 5' de örnek verilmiştir.



Şekil 5 İHA Montaj Kademesi

3.1.1. UÇUŞ KONTROL KARTI: Uçuş kontrol kartı olarak Pixhawk 2 Cube seçildi.

Tablo 3: Pixhawk Özellik Tablosu

TEKNİK ÖZELLİKLER		GÖRSEL
İşlemci	FPU'lu 32-bir ARM Cortex M4 Çekirdeği.	
Ram	256 KB, 168 Mhz	
Yazılım	Ardupilot AutoPilot Açık kaynak yazılımı	
Sensörler	Üçlü IMU (ivme, jiroskop ve manyetometre) sensör seti	
Barometre	İki adet MS5611	
Güç	Otomatik yük devretme özellikli yedek güç kaynağı	
Bağlantı Portları	14x PWM servo çıkışı, S-Bus servo çıkışı, Analog / PWM RSSI girişi, 5 adet genel amaçlı seri port (UART), 2 adet I2C bağlantı noktası, 2 adet CAN Bus bağlantı noktası	
Boyut ve Ağırlık	50 x 81,5 x 15,5 mm / 38 g	

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

3.1.2. TELEMETRİ: Telemetri olarak RFD 868x seçildi.

Tablo 4: Telemetri Özellik Tablosu

TEKNİK ÖZELLİKLER		GÖRSEL
İşlemci	ARM 32 bit Çekirdek	
Hava veri hızı	Max 750kbit/sn. (kullanıcı tarafından ayarlanabilir)	
Frekans Aralığı	865-870 MHz	
Menzil	>40 Km	
İletim Gücü	1 Watt(+30dBm)	
Yazılım	“SiK” adlı açık kaynak yazılımı	
Montaj	3 x M2.5 vida, 3 x başlık pimi lehim noktaları	
Boyut ve Ağırlık	33 x 57 x 12,8 mm / 14.5 g	

3.1.3. GÖRÜNTÜ İŞLEME BİLGİSAYARI: NVIDIA Jetson Xavier NX Geliştirici Kiti seçildi.

Tablo 5: Jetson NX Özellik Tablosu

TEKNİK ÖZELLİKLER		GÖRSEL
GPU	384 NVIDIA CUDA ve 48 Tensor Çekirdekli	
İşlemci	6 Çekirdekli, NVIDIA Carmel ARM 64-bit	
Görüntü İşlemcisi	7 yönlü VLIW	
RAM	8 GB 128 bit LPDDR4x, 51.2 GB/sn	
Video Kodlama	2x 4K 30fps 6x 1080p 60fps 14x 1080p 30fps (H.265)	
Video Kod Çözme	2x 4K 60fps 4x 4K 30fps 12x 1080p 60fps 32x 1080p 30fps (H.265), 2x 4K 30fps 6x 1080p 60fps 16x 1080p 30fps (H.264)	
Depolama	128 GB SSD Hafıza Kartı	
Bağlantı	Gigabit Ethernet, M.2 Key E (WiFi)	
Bağlantı Portları	HDMI ve ekran bağlantı noktası, 4x USB 3.1, USB 2.0 Mikro-B, GPIO, I2C, I2S, SPI, UART	
Güç	19v	
Boyut ve Ağırlık	103 x 90,5 x 34,66 mm / 172 g	

3.1.4. RASPBERRY PI 4:

Tablo 6: Raspberry Pi 4 Özellik Tablosu

TEKNİK ÖZELLİKLER		GÖRSEL
İşlemci	4 Çekirdekli, Cortex-A72 64-bit 1.5GHz	
RAM	8 GB LPDDR4-3200	
Video ve Ses	4K 60FPS destekli	
Depolama	128 GB SSD Hafıza Kartı	
Bağlantı	Gigabit Ethernet, 2.4/5.0GHz (WiFi), 5.0 Bluetooth	
Bağlantı Portları	HDMI ve ekran bağlantı noktası, 2x USB 2.0, 2x USB 3.0	
Güç	5V, 3A (PoE desteği)	
Boyut ve Ağırlık	103 x 90.5 x 34.66 mm / 46 g	

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

3.1.5. GNSS SENSÖRÜ: Emlid Reach M+ GNSS RTK Modülü seçildi.

Tablo 7: RTK Özellik Tablosu

TEKNİK ÖZELLİKLER		GÖRSEL
Konumlandırma Doğruluğu	RTK: 0,025 m	
Bağlantıları	USB, UART, WiFi & Bluetooth	
LNA Kazancı	26dB minimum	
Uydu Takım Yıldızı	GPS, GLONASS, BeiDou & Galileo	
Çalışma Voltajı	1.8-16 -VDC nominal	
Çalışma Akımı	10 mA normal, 15mA maksimum	
Boyut ve Ağırlık	38 x 38 x 14 mm / 50 g	

3.1.6. PİTOT STATİK TÜP: Pixhawk PX4 Diferansiyel Airspeed Sensör Seti seçildi.

Tablo 8: Pitot Statik Tüpü özellik Tablosu

TEKNİK ÖZELLİKLER		GÖRSEL
Basınç Sensörü	4525DO	
İletişim Protokolü	I2C	
Maksimum Basınç	300 psi	
Hassasiyet	± %0,25	
Çalışma Voltajı	5V	

3.1.7. KAMERA: Jetson Xavier NX IMX219 Balık gözü kamera seçildi.

Tablo 9: Jetson Kamera Özellik Tablosu

TEKNİK ÖZELLİKLER		GÖRSEL
İşığa Duyarlı Çip	IMX219	
Piksel	8.000.000	
Çözünürlük	3280 x 2464	
Diyafram (F)	2.35	
Görüş Alanı	Balık Gözü (160 derece)	
Güç	3,3V	
Boyut ve Ağırlık	25 x 24 mm	

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

3.1.8. KUMANDA: Radiolink AT9S 2.4GHz kumanda seçildi. ÖTR’ de seçilen FlySky FS-I6X kumanda bozulduğundan dolayı elimizde bulunan at9s kumandaya geçilmiştir.

Tablo 10: AT9S Kumanda Özellik Tablosu

TEKNİK ÖZELLİKLER		GÖRSEL
Kanal Sayısı	10	
Frekans Bandı	2.4GHz ISM Band (2.400-2.485 MHz)	
Yayılmış Spektrum	DSSS ve FHSS/CRSF	
Bant Genişliği	5 MHz	
Menzil	1,5 km	
Çalışma Akımı	<90mA	
Besleme	7,4 -18V DC AA x 8 Adet	
Boyut ve Ağırlık	183 x 193 x 100 mm / 880 g	

3.1.9. KUMANDA ALICISI: Kumanda ile uyumlu Radiolink R9DS alıcısı seçildi. Kumandanın değişiminden dolayı kumanda alıcısında da değişiklikle gidilmiştir.

Tablo 11: RD9S Özellik Tablosu

TEKNİK ÖZELLİKLER		GÖRSEL
Kanal Sayısı	9	
Kontrol Mesafesi	4 km	
Sinyaller	SBUS ve PWM	
Çalışma Akımı	38-45mA	
Çalışma Gerilimi	3 – 10V	
Boyut ve Ağırlık	43 x 24 x 15 mm / 10,5 g	

3.1.10. GÖRÜNTÜ ALICISI: Ubiquiti Powerbeam 5AC 500 görüntü alıcısı seçildi.

Tablo 12: Powerveam 5AC Özellik Tablosu

TEKNİK ÖZELLİKLER		GÖRSEL
CPU Frekansı	720 MHz	
RAM	128 MB	
Çalışma Frekansı	5150 – 5875 MHz	
Polarizasyon	Dual Linear	
RoHS Uyumluluğu	Var	
Sertifikasyon	FCC, IC, CE	
Titreşim Testi	IEC 68-2-6	
Anten Kazancı	27 dB _i	
Maksimum Güç	8,5 W	
Boyut ve Ağırlık	520 x 520 x 308 mm / 2350 g	

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

3.1.11. GÖRÜNTÜ VERİCİSİ: Görüntü vericisi olarak Ubiquiti Rocket R5AC Lite seçildi.

Tablo 13: Roket R5AC Özellik Tablosu

TEKNİK ÖZELLİKLER		GÖRSEL
CPU	Atheros MIPS 74Kc	
RAM	128 MB	
Çalışma Frekansı	5150 – 5875 MHz	
Polarizasyon	Dual Linear	
RoHS Uyumluluğu	Var	
Sertifikasyon	FCC, IC, CE	
PoE Giriş	Passive PoE	
Anten Giriş Tipi	RP-SMA	
PoE Giriş Voltajı	27V, 0,5A	
Maksimum Güç	8,5 W	
Boyut ve Ağırlık	162 x 84 x 37 mm / 250 g	

3.1.12. KARBON FİBER BORULAR: Sistemin yapısal sağlamlığını geliştirmek için karbon fiber borular seçildi.

Tablo 14: Karbon Fiber Boru Özellik Tablosu

TEKNİK ÖZELLİKLER		GÖRSEL
Malzeme	3K Karbon Fiber	
Özellikleri	Dengeli lif dağılımı, yüksek darbe dayanımı, yüksek mukavemet	
Kanatta kullanılan boru ölçütleri	4mm x 880mm - 10mm x 530mm	
Gövdede kullanılan boru ölçütleri	12mm x 530mm - 6mm x 770mm - 4mm x 880mm	
Kuyrukta kullanılan boru ölçütleri	6mm x 200mm	

3.1.13. BATARYA: Leopard Power 10000mAh 22.2V 6S 40C batarya seçildi.

Tablo 15: Batarya Özellik Tablosu

Teknik Özellikleri		Görsel
Konfigürasyon	6S / 22.2V / 40 Hücre	
Sürekli Deşarj Akımı	40C (400A)	
Patlamaya Karşı Akım (10 sn.)	80C (800A)	
Şarj Hızı	1-2C (maks.5C)	
Şarj Konnektörü	JST-XHR	
Boyut ve Ağırlık	170mm x 59mm x 65mm 1315g	

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

3.1.14. GÜÇ MODÜLÜ: Emlid Navio XT60 güç modülü seçildi.

Tablo 16: Güç Modülü Özellik tablosu

Teknik Özellikleri		Görsel
Maksimum Akım <u>Algılama</u>	60 A	
Anahtarlama Regülatörü <u>Çıkışı</u>	5.3 V 2.25 A	
Navio2 güç bağlantı soketi için 6 pinli DF13 kablosu		
6S'e kadar olan bataryaları destekler		
Boyut ve Ağırlık	51mm × 51mm × 13mm 0.05kg	

3.1.15. SERVO: Tower pro MG90S ve Tower pro MG16R servo motorları seçildi.

Tablo 17: Servo Motor Özellik Tablosu

Teknik Özellikleri		Görsel
Çalışma Torku	2kg / cm	
Reaksiyon Hızı	0.11 saniye / 60 derece (4.8V)	
Çalışma Sıcaklığı	0-55°C	
Ölü bant Ayarı	5 mikrosaniye	
Dönme Açısı	180 derece	
Çalışma Gerilimi	4.8V	
Boyut ve Ağırlık	23mm x 12mm x 29mm 13.4gr	

Teknik Özellikleri		Görsel
Çalışma Torku	2.7kg/cm	
Reaksiyon Hızı	0.10sec/60degree (4.8v)	
Çalışma Sıcaklığı	0-55°C	
Ölü Bant Ayarı	1 mikrosaniye 4.8-6.0V	
Dönme Açısı	180 derece	
Çalışma Gerilimi	4.8-6.0V	
Boyut ve Ağırlık	29mm x 11mm x 29mm 18.8g	

3.1.16. ESC: SkyWalker 60A ESC seçildi. Değiştirilen motor 100 A uygun olmadığından dolayı ESC de değişikliğe gidilmiştir.

Tablo 18: ESC Özellik Tablosu

Teknik Özellikleri		Görsel
Sürekli Akım	60A	
Anlık Akım	80A	
Giriş Voltajı	2-6S LiPo, 5-18s Ni-MH	
BEC Çıkışı	Switch Mode--5V, 5A	
Boyut ve Ağırlık	77mm x 35mm x 14mm 63g	

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

3.1.17. MOTOR: Sunnysky X3525 520KV motor seçildi. ÖTR de belirtilen Sunnysky X4110s motor temin edilemediği için motorda değişikliğe gidilmiştir.

Tablo 19: Motor Özellik Tablosu

Teknik Özellikleri		Görsel
Normal Akım	1.3A/10V	
Motor Direnci	22mΩ	
Maksimum Akım	76A/10s	
Maksimum Güç	1918W	
ESC	60-80A	
Maksimum Lipo Hücresi	6-8S	
Boyut ve Ağırlık	69mm x 42mm x 35mm 243g	

3.1.18. GÜC DAĞITIM KARTI: Matek PDB-XT60 güç dağıtım kartı seçildi.

Tablo 20: Güç Dağıtım Kartı Özellik Tablosu

Teknik Özellikleri		Görsel
Giriş Voltajı Aralığı	9- 18V DC	
Sürekli Çıkış Akımı	25Ax4 veya 15Ax6	
Çıkış Tepe Akımı (10 saniye / dakika)	30Ax4 veya 20Ax6	
Çıkış Dalgalanma	40mV	
Kısa Devre Toleransı	5 saniye /dakika	
Boyut ve Ağırlık	36mm x 50mm x 4mm 7.5g	

3.1.19. REGÜLATÖR: LM2596 regülatör tercih edildi.

Tablo 21: Regülatör Özellik Tablosu

Teknik Özellikleri		Görsel
Giriş Gerilimi	4-35V	
Çıkış Gerilimi	1.25-30V	
Çıkış Akımı	3A	
Boyut ve Ağırlık	43mm x 21mm x 13mm 11.23gr	

3.1.20. BİÇAK SİGORTA: 60A'lık bıçak sigorta tercih edildi. Yeni seçilen ESC 60 A olduğundan dolayı, 100 A seçilen sigorta 60 A düşürülmüştür.

Tablo 22: Sigorta özellik Tablosu

Teknik Özellikleri		Görsel
Akım Değeri	60A	

3.1.21. START-STOP ANAHTARI: Emas D102YE30K start-stop anahtarı tercih edildi.

Tablo 23: Anahtar Özellik Tablosu

Teknik Özellikleri		Görsel
Çap/Kafa Çapı	16 mm/30 mm	
Kontak Akımı	1,5 A (240V AC)	
Yalıtım Gerilimi	250V	
Darbe Dayanım Gerilimi	2.5 kV	
İzolasyon Direnci	10 MΩ min. (500V DC)	
Çalışma Sıcaklığı	-15 / + 80 °C	
Kısa Devre Kesme Kapasitesi	1 kA	

3.2. Alt Sistemler Özeti

3.2.1. Motor (Sunnysky X3525 520 KV)

Motor tercihi yapılmırken ağırlığı 4000gram olan İHA'nın gerekli itki kuvvetini elde edebilmesi için 243gram ağırlığındaki Sunnysky X3525 520 KV fırçasız motor tercih edilmiştir. Motordaki KV değeri bir dakikada voltaj başına tur sayısını temsil ettiği için 22.2V değerinde motor 11,544 devir/dakika çalışmaktadır. Maksimum sürekli akım değeri 76A/ 10s olup yüksüz akım değeri 1.3A(520KV)'dır.

$$520 \text{ Kv} \times 22.2 \text{ V} = 11,544 \text{ devir/dakika}$$

3.2.2. Pervane (Sunnysky APC13*6.5)

Motora uyumlu olan pervaneler sırasıyla: APC12*6 / APC12*8 / APC13*6.5 / APC13*8 / DXL14*8 modelleridir. Bu pervaneler arasından itki sistemi için en verimli olan APC13*6.5 seçilmiştir. Pervane kodu olan 13*6.5'in anlamı ise; ilk iki hane (13) inch cinsinden pervane çapını, son hane ise hatveyi (6.5) yani her bir turda alınan yolu temsil eder. Kullanacağımız 13 inchlik pervanenin materyali karbon fiber olup diğer materyaldeki pervanelere göre daha dirençli, daha iyi bir dengeye sahip ve daha hafiftir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

*Tablo 24: 12*6 Pervane Verileri*

Gerilim (V)	Amper(A)	İtme(gf)	Watt (W)	Verimlilik (g/W)	%100 gazda yük sıcaklığı
22,2	2.8	500	62.16	8.043758044	53°C
	4.6	750	102.12	7.344300823	
	6.6	1000	146.52	6.825006825	
	9	1250	199.8	6.256256256	
	11.7	1500	259.74	5.775005775	
	14.4	1750	319.68	5.474224224	
	17.5	2000	388.5	5.148005148	
	22.3	2300	495.06	4.645901507	
	26	2600	577.2	4.504504505	
	33.3	3000	739.26	4.058112166	
	36.9	3310	819.18	4.040625992	

*Tablo 25: 12*8 Pervane Verileri*

22,2	2.9	500	64.38	7.766387077	73°C
	4.9	750	108.78	6.894649752	
	7.1	1000	157.62	6.344372542	
	9.8	1250	217.56	5.74554146	
	12.3	1500	273.06	5.493298176	
	15.9	1750	352.98	4.957787977	
	19.3	2000	428.46	4.667880316	
	24.4	2300	541.68	4.246049328	
	30.7	2600	681.54	3.814889808	
	45	3180	999	3.183183183	

*Tablo 26: 13*6.5 Pervane Verileri*

22,2	2.4	500	53.28	9.384384384	77°C
	4.2	750	93.24	8.043758044	
	6	1000	133.2	7.507507508	
	8.3	1250	184.26	6.783892326	
	10.6	1500	235.32	6.374298827	
	13.3	1750	295.26	5.926979611	
	16.4	2000	364.08	5.493298176	
	19.6	2300	435.12	5.285898143	
	24.7	2600	548.34	4.741583689	
	29.7	3000	659.34	4.55000455	
	37.8	3500	839.16	4.170837504	
	45.9	3950	1018.98	3.876425445	

*Tablo 27: 13*8 Pervane Verileri*

22,2	9.1	1250	202.02	6.187506188	3dk 89°C
	11.4	1500	253.08	5.926979611	
	14.5	1750	321.9	5.436470954	
	17.2	2000	381.84	5.237795935	
	21	2300	466.2	4.933504934	
	26.6	2600	590.52	4.40289914	
	33	3000	732,6	4.095004095	
	42	3500	932.4	3.753753754	
	52.4	4040	1163.28	3.472938587	

Sistemde kullanılan motora uygun pervaneler arasından seçilen APC13*6.5 pervanenin seçilme sebebi yukarıda verilen pervane veri tablolarından [Tablo 26] da görülebileceği üzere

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

motora uyumlu diğer pervanelerden aynı şartlar altında daha verimli ve İHA'nın kalkış ağırlığını karşılayacak itkiyi sağladığı için tercih edildi.

3.2.3. ESC (SkyWalker 60A ESC)

Tasarlanan İHA için 63 gram ağırlığında “SkyWalker 60A ESC” tercih edilmiştir. Bu ESC ile motor güvenli bir şekilde çalışmaktadır. Normal akım değeri 60A olup maksimum akım değeri ise 80A. Sürücü kartı çıkışları 5V/5A'dır. Maksimum hızı, 2 kutuplu fırçasız motorlar için 210000 rpm, 6 kutuplu fırçasız motorlar için 70000 rpm, 12 kutuplu fırçasız motorlar için 35000 rpm dir.

3.2.4. Batarya (Leopard Power 10000mAh 22.2V 6S 40C)

Kullanılacak motor yüksek devirlere ulaşabildiği için uygun bir enerji beslemesi sağlanması gerekmektedir. Bataryanın S sayısı kaç adet hücreye sahip olduğunu gösterir. Her bir hücre 3.7V'luk gerilime sahiptir. Sistemin bütün elektronik aksamlarına güç sağlamaası için Leopard Power 10000mAh 22.2V 6S 40C batarya seçilmiştir. C kat sayısı pilin deşarj olma kabiliyetini belirten katsayıdır. Hızlı deşarj olabilmesi için uygun C kat sayısı değerine sahip olan pil seçildi.

$10000 \text{ mAh} \times 40C = 400000 \text{ mAh}$ Değerinde akım verebilir.

Güvenlik amacıyla bataryanın kapasitesinin %80'ini kullanması gerekmektedir. Motorların verimli çalışma için ihtiyacı olan ve ESC'nin nominal akım değerleri toplamından daha fazla anlık akım verebilen bir batarya tercih edilmiştir. Bataryanın temini güvenilir bir markadan sağlanmış ve olası kazaların önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

3.2.5. Servo Motorlar (Tower pro mg90s- Tower pro mg16r)

İHA sisteminde kanatçıklar, rudderlar ve elevatorların hareketini sağlayabilmek için Tower pro mg90s ve Tower pro mg16r servo motorları tercih edilmiştir.

Tower pro mg90s: Çalışma voltajı 4.8V-6V. Çalışma hızı 0.1s/60derece. Çalışma sıcaklık aralığı 0°C – 55°C.

Tower pro mg16r: Çalışma voltajı 4.8V-6V. Çalışma hızı 0.08s/60derece(6V). Çalışma sıcaklık aralığı 0°C – 55°C.

3.2.6. Güç modülü (Emlid Navio XT60)

Güç modülü yüksek akım ve güç ihtiyacı duyulan yerlerde yüksek akımı düşürmek amacıyla kullanılmaktadır. İHA sisteminde gücü alt birimlere dağıtarak güç aktarımı sağlar. Güç modülü olarak Emlid Navio XT60 seçilmiştir. Seçim yapılırken; algıladığı Amper değeri ve Li-Po bataryanın sahip olduğu S değeri (6S) dikkate alınmıştır.

3.2.7. Güç Dağıtım Kartı (Matek PDB XT60)

PCB (Baskılı devre kartı)'de mümkün olan en yüksek performans ve güvenliği sağlayacak şekilde tasarlanan bu güç dağıtım kartı 36x50mm boyutlarında olup Li-Po pillere

kolay bağlanabilmesi için XT60 soket yuvasına sahiptir. Bataryadan aldığı gücü ESC'ye dağıtırken, RC alıcıları, uçuş kontrolörleri, OSD ve Servo motorlar için senkronize ve regüle edilmiş DC 5V çıkışları mevcuttur. Kameralara, video vericileri, uçuş kontrol cihazlarına ve LED'lere güç vermek için ise doğrusal ayarlı DC 12V sağlamaktadır. Ayrıca kısa devre toleransı da bulunmaktadır.

3.2.8. Uçuş Kontrol Kartı (Pixhawk 2 Cube)

Raspberry Pi 4 kartı ile uyumlu olan İHA'nın otonom uçuş, kalkış ve iniş görevlerinin gerçekleşmesi ve desteklenmesini sağlayan Pixhawk 2 Cube kartı seçildi. Piyasada bulunan muadillerine göre işlem gücü yüksek olması sayesinde daha iyi performans sergilemektedir. (Teknik özelliklerine **3.1** kısmında yer verildi.) Üzerinde bulunan üçlü sensör seti (ivmeölçer, jiroskop ve manyetometre) ve ek barometreleri sayesinde hava aracının rüzgâr ve hava basıncı gibi dış etkenlerden etkilenmesini minimuma indirip stabil bir şekilde uçuşunun gerçekleştirmesini sağlar. Harici olarak takılacak sensör sistemleriyle uyumlu bir şekilde çalışmaktadır. İçerisinde bulunan otopilot yazılımı olan “Ardupilot” açık kaynak kodlu olması sayesinde geliştirilmeye açık olması da seçilmesinde önemli rol oynadı.

3.2.9. Telemetri (RFD 868x)

Uçuş kontrol kartı (Pixhawk 2 Cube) ile uyumlu olan ve İHA'nın hız, konum, hareket açıları vs. gibi verilerin YKİ'ye (yer kontrol istasyonu) kesintisiz bir şekilde iletan uca şifrelenmiş olan ve uygun şartlarda 40 Km kadar menzile sahip RFD 868 x telemetri seçildi. (Teknik özelliklerine **3.1** kısmında yer verildi.) Frekans atlamalı geniş spektrum (FHSS) özelliği sayesinde frekans karışması engellendi.

3.2.10. Görüntü İşleme Bilgisayar (Jetson Xavier NX Geliştirici Kiti)

Kameradan alınan görüntülerin yazılım ekibi tarafından seçilen YOLOv5x algoritmasıyla GPU destekli bir şekilde işlenip hedeflerin tespitinde en önemli rolü olan, özellikle yapay zekâ uygulamaları için geliştirilen ve paralel olarak birden fazla sinir ağını çalıştırabilen “Jetson Xavier NX Geliştirme Kiti” seçildi. (Teknik özelliklerine **3.1** kısmında yer verildi.)

3.2.11. Raspberry Pi 4

Ön Tasarım Raporu sonrası araştırmalarında “Pixhawk 2 Cube” ile “Jetson Xavier NX” kartlarının birbirlerine uyumlu olmadıkları tespit edildi, bu sorunun giderilmesi ve görüntü işleme bilgisayar ile uçuş kontrol kartı arasındaki haberleşmeyi sağlaması için “Raspberry Pi 4” kartı seçildi. Bir bilgisayara ait birçok özelliği sahip olup dahili Wi-Fi desteği, Python dil desteği gibi özellikleriyle muadillerine göre öne çıkmaktadır. (Teknik özelliklerine **3.1** kısmında yer verildi.)

3.2.12. Görüntü Aktarımı (Powerbeam 5AC 500 Alıcı, ROKET R5AC Lite verici)

Hava aracından yer kontrol istasyonuna görüntüyü gerçek zamanlı, kesintisiz ve hızlı bir şekilde aktarılması için “ROKET R5AC Lite verici” ile “Powerbeam 5AC 500 alıcı” kullanıldı. Alıcı ile verici arasındaki haberleşme UDP (User Datagram Protocol) ile sağlandı, böylelikle görüntü aktarımı sırasında yaşanılacak gecikme ve kesintilerin önüne geçildi. (Teknik özelliklerine 3.1 kısmında yer verildi.)

3.2.13. Kumanda Sistemi (AT9S 2.4GHz kumanda, R9DS alıcı)

Güvenlik pilotu tarafından gerekiğinde kontrol edilmesi için kullanılan ve alıcı sistemidir. Ön Tasarım Raporunda kullanılması planlanan “FlySky FS-I6X” kumandanın bozulması sonucunda çalışmaların aksamaması için çok yüksek oranda önceki modelle benzer özelliklere sahip elde hazır bulunan “Radiolink AT9S 2.4GHz” kumanda kullanılması uygun görüldü. Kullanılan yeni kumandaya uyumlu olması için ise “R9DS” alıcısı tercih edildi. (Teknik özelliklerine 3.1 kısmında yer verildi.)

3.3. Hava Aracı Performans Özeti

Tunga insansız hava aracında, tespit ve takip kamerasının bulunduğu konum nedeni ile itici motor konfigürasyonu tercih edilmiştir. İHA'nın itki kuvvetini sağlayan itki sistemi elektrik motoru, elektronik hız kontrolcüsü, pervaneden oluşmaktadır. İHA'nın ağırlığı olan 4 kilogramı sorunsuz bir şekilde kaldırılmasını sağlayan Sunnysky X3525 520 KW tercih edilmiştir. 6S LiPo batarya ile kullanılabilen bir ESC seçilmesi gerektiğinden 60 amperlik SkyWalker 60A ESC seçilmiştir.

3.3.1. UÇUŞ SÜRESİ:

Batarya	
Yükle:	3.95 C
Gerilim:	20.49 V
Anma Gerilimi:	22.20 V
Enerji:	222 Wh
Toplam Kapasite:	10000 mAh
Kullanılan Kapasite:	8500 mAh
Min. Uçuş Süresi:	12.9 dakika
Sabit Uçuş Süresi:	18.6 dakika
Ağırlık:	1542 g 54.4 oz

Şekil 6: Ecalc Batarya Tüketim testi

Yarışma kriterleri içerisinde olan 15 dakikalık uçuş süresi için kurmuş olduğumuz sistem 18,6 dakikalık uçuşa sahiptir.

Pervane İtki Hesabı

Pervane özelliklerini tablo 26 da verilmiştir.

$$T = Ct \times \rho \times n^2 \times D^4 \Rightarrow 0,0865 \times 1,225 \times 109,2^2 \times 0,3302^4 = 15,02 N$$

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

$$n = \frac{Kv \times V}{60 \times 2} = \frac{(520 \times 25,2)}{120} = 109,2 \text{ RPS}$$

$$Ct \text{ için; } Devir = Kv \times V^2 \Rightarrow 520 \times 25,2^2 = 330,22 \text{ N}$$

Tablo 28: Pervane İtki Verileri

PROP RPM	=	6000						
V (mph)	J (Adv Ratio)	Pe	Ct	Cp	PWR (Hp)	Torque (In-Lbf)	Thrust (Lbf)	
0.0	0.00	0.0000	0.0955	0.0338	0.214	2.246	3.079	
1.8	0.02	0.0664	0.0944	0.0343	0.217	2.278	3.044	
3.5	0.05	0.1294	0.0931	0.0347	0.220	2.307	3.004	
5.3	0.07	0.1891	0.0917	0.0351	0.222	2.332	2.958	
7.1	0.10	0.2454	0.0902	0.0354	0.224	2.355	2.908	
8.9	0.12	0.2985	0.0884	0.0357	0.226	2.373	2.852	
10.6	0.14	0.3486	0.0865	0.0359	0.227	2.387	2.791	
12.4	0.17	0.3958	0.0845	0.0360	0.228	2.394	2.724	
14.2	0.19	0.4400	0.0822	0.0360	0.228	2.395	2.652	
16.0	0.22	0.4814	0.0798	0.0359	0.228	2.390	2.573	
17.7	0.24	0.5200	0.0772	0.0358	0.226	2.378	2.489	
19.5	0.27	0.5558	0.0744	0.0355	0.225	2.358	2.399	
21.3	0.29	0.5890	0.0714	0.0350	0.222	2.330	2.302	

Not: İnsansız hava aracının 10.6 mph (17,05 km/h) hızda ilerlediği varsayılarak $Ct = 0.0865$ olarak tablo 28'den bulundu.

$CT = \text{Pervane itki sabiti}$

$\rho = \text{Havanın yoğunluğu (deniz seviyesinde } 1.225 \text{ kg/m}^3 \text{ olarak alındı)}$

$D = \text{Pervane yarıçapı}$

$n = 1 \text{ saniyedeki dönüş sayısı}$

$V = 6S \text{ lipo pil için toplam volt değeri}$

3.3.2. Taşıma Kuvveti Hesabı

$L = W (\text{Seyir Uçuşunda})$

$$W = m \times g = 4 \times 9.807 = 39.22 \text{ N}$$

$$L = 0,5 \times \rho \times V^2 \times S \times Cl$$

$$L = 0,5 \times 1,225 \times 15^2 \times 0,6 \times Cl$$

$$39,22 = 82,6875 \times Cl$$

$Cl = 0,4743$ olarak belirlenmiştir.

$L = \text{Taşıma kuvveti}$

$W = \text{Ağırlık}$

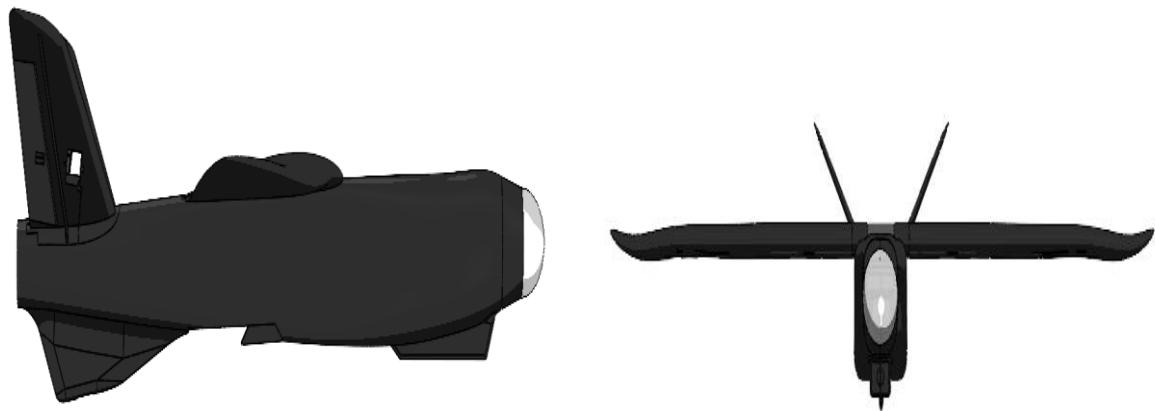
$V = \text{Havanın Hızı (15 m/s olarak alınmıştır)}$

$\rho = \text{Havanın Yoğunluğu (Deniz seviyesinde } 1,225 \text{ kg/m}^3 \text{ olarak alınmıştır)}$

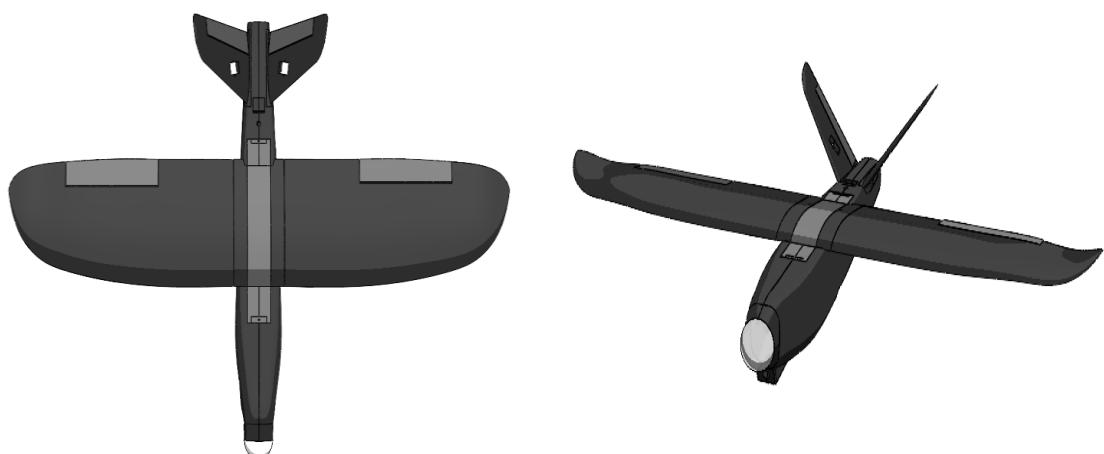
$S = \text{Kanat Yüzey Alanı}$

$Cl = \text{Taşıma Katsayı}$

3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı

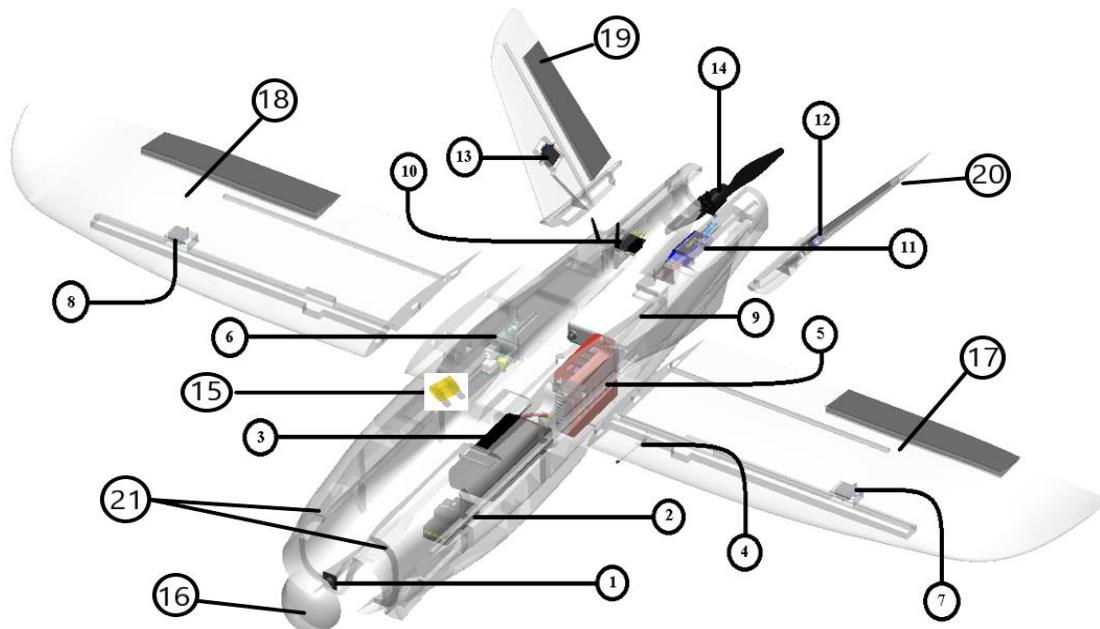


Şekil 7: İHA' nin Yandan ve önden görünüşü



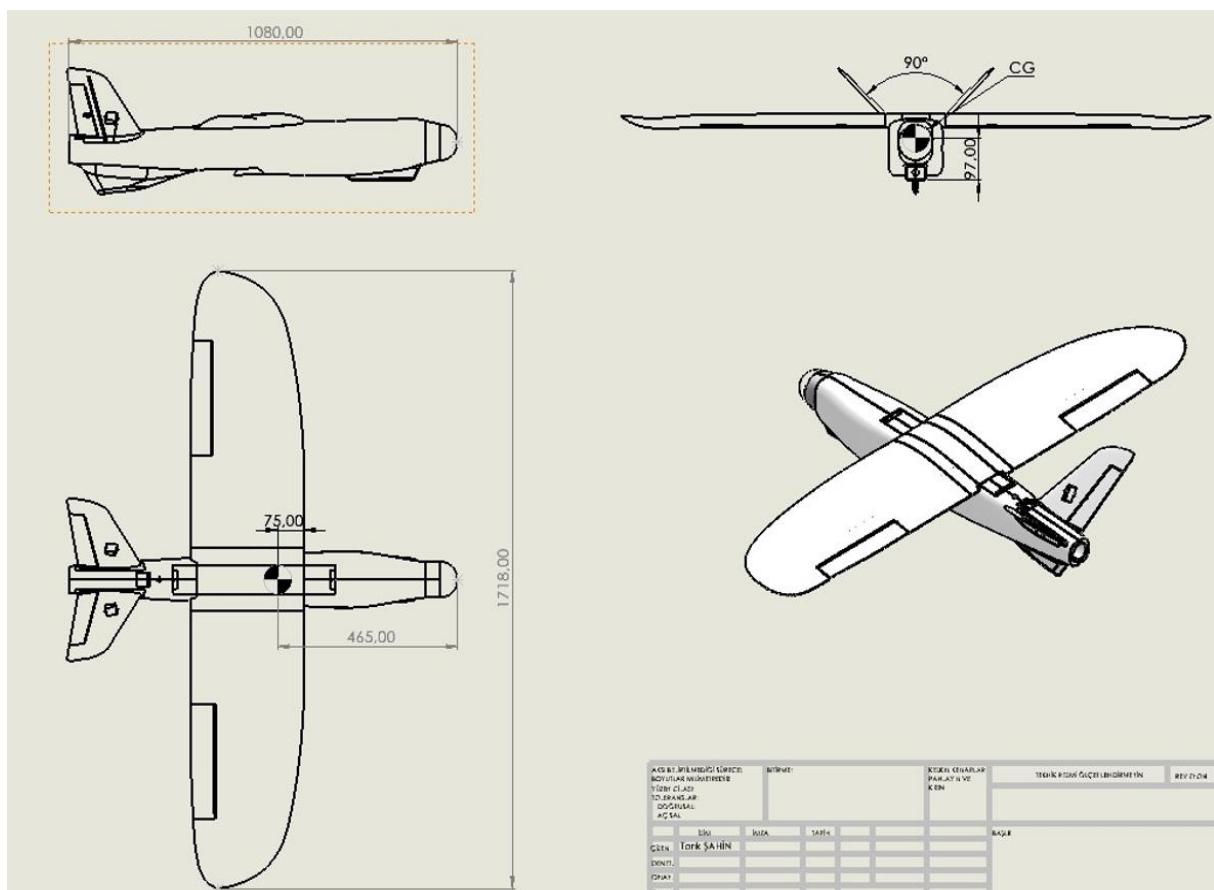
Şekil 8: İHA' nin Üstten ve Perspektif Görünüşü

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 9: İHA Malzeme Dağılımı

Malzeme isimleri, ağırlıkları ve adetleri tablo 29'da ayrıntılı bir şekilde verilmektedir.



Şekil 10: İHA Teknik Resmi

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

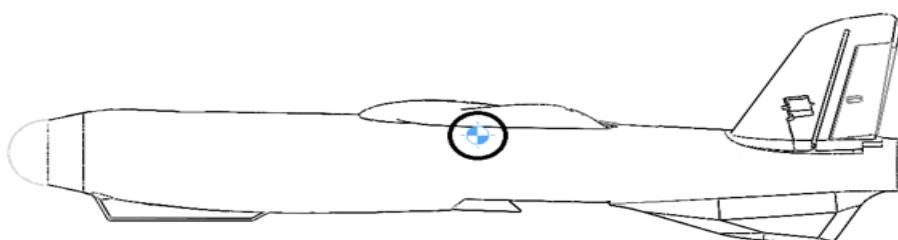
3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı

Tablo 29: İHA Malzeme Yerleşim Planı ve Ağırlık Tablosu

NO	PARÇA ADI	Ağırlık (gram)	ADET	Toplam Ağırlık (gram)
17-18	<u>kanat</u>	186	2	372
21	Gövde	200	2	400
19-20	Kuyruk	23	2	46
	Karbon Fiber Borular	100	1	100
16	Burun	47	1	47
11	ESC	59	1	59
	Bağlantı aparatları + iniş takımı	94	1	94
14	Motor	260	1	260
14	13'' Pervane	15	1	15
10	Telemetri	50	1	50
9	Roket R5AC	120	1	120
4	Pitot tüpü	12	1	12
3	Batarya	1320	1	1320
2-6	Raspberry pi 4+pixhawk	23	1	23
	Emlid RTK +ANTEN	75	1	75
15	Sigorta + anahtar	24	1	24
5-1	Jetson nx + kamера	178	1	178
	Kumanda Alıcı	13	1	13
7-8	Servo Motorlar MG90S	13	2	26
12-13	Servo Motorlar MG16R	12	2	24
	TOPLAM	2824	24	3258 gram

Malzemelerin numaralandırılması şekil 9 baz alınarak yapılmıştır.

NO	PARÇA ADI	Ağırlık (gram)	X uzaklı ğı (Mm)	Y uzaklı ğı (Mm)	Z uzaklı ğı (Mm)
1	ANTEN	50	0	0	80 mm
2	İniş takımı	165	0	0	- 58 mm



Şekil 11: İHA Ağırlık Merkezi

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Kütle = 15486.67 gram

Toplam kaynak kütlesi = 0.00 gram

Hacim = 17197397.88 milimetre küp

Yüzey alanı = 2453363.95 milimetrekare

Kütle merkezi: (milimetre)

X = -91.09

Y = 139.76

Z = 1045.46

Birincil atalet eksenleri ve birincil eylemsizlik momentleri: (gram * milimetrekare)

Kütle merkezinden alınmış.

I_x = (0.00, 0.00, 1.00) P_x = 741547720.46

I_y = (1.00, 0.02, 0.00) P_y = 1786797750.26

I_z = (-0.02, 1.00, 0.00) P_z = 2444268505.47

Atalet momenti: (gram * milimetrekare)

Kütle merkezinden alınmış ve çıktı koordinat sistemi ile hizalanmış.

I_{xx} = 1787182348.89 I_{xy} = 15897319.32 I_{xz} = -132127.81

I_{yx} = 15897319.32 I_{yy} = 2443883875.23 I_{yz} = 161361.51

I_{zx} = -132127.81 I_{zy} = 161361.51 I_{zz} = 741547752.08

Atalet momenti: (gram * milimetrekare)

Çıktı koordinat sisteminden alınmış.

I_{xx} = 19016504182.67 I_{xy} = -181255977.30 I_{xz} = -1474868863.58

I_{yx} = -181255977.30 I_{yy} = 19499171262.57 I_{yz} = 2263056639.20

I_{zx} = -1474868863.58 I_{zy} = 2263056639.20 I_{zz} = 1172553178.97

Sekil 12 solidworks üzerinden alınan İHA verileri

4. OTONOM KİLİTLENME (15 PUAN)

○ 4.1. Otonom Kilitlenme

Savaşan İHA yarışmasının temel görev isterleri baz alınıp incelendiğinde takımın yazılım üyeleri tarafından otonom kilitleme görevinin temelde 3 aşamada gerçekleştirilmesi kararlaştırıldı. Bunların ilki İHA'nın önüne sabitlenmiş olan kamera görüntüleri Jetson Kartı yardımıyla işlenerek rakip İHA'ların otonom tespitinin yapılması, hemen ardından otonom takibe başlanması ve en son olarak 4 saniye boyunca takibi gerçekleşen başarılı vuruş paketin yarışma sunucusuna gönderilmesi şeklinde olmasına karar verildi.

4.1.1. Otonom Tespit

Uçuş sırasında kameradan gelen görüntülerin İHA üzerinde bulunan Jetson Xavier NX görüntü işleme bilgisayarında işlenmesi ve rakip İHA'ların tespit edilebilmesi için takımın yazılım ekibi olarak görüntü işlem kütüphaneleri ve algoritmaların araştırılmalarına başlandı. Araştırmalar sırasında görüntü işleme uygulamaların çoğunda tercih edilen OpenCV kütüphanesinin kullanılmasına karar verildi. OpenCV kütüphanesinin birçok programlama dilinde implementasyonları mevcuttur, bu diller arasında diğerlerine göre hızlı olmasından dolayı C++ dili kullanılmasına karar verildi. Yarışma boyunca rakip İHA'ları tespit etmenin birçok farklı yöntemi bulunmaktadır ancak bütün İHA'ların havada hareket halinde olması, kamera kadrajına sürekli birçok farklı cismin girip çıkışması gibi zorluklar düşünüldüğünde iki

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

hususun önemi ortaya çıkmaktadır. Birincisi görüntü işleme sırasında tespit doğruluk oranı ve ikincisi çalışma hızı (saniye başına düşen kare sayısı FPS)'dır. Bu iki etken baz alınarak görüntü işleme algoritmaların araştırılmasına başlandı. Araştırmalar sırasında önceki yarışmalara katılmış birtakım olarak birçok farklı algoritmalar ve çalışma performans verimlilikleri hakkında elde bulunan veriler ışığında YOLO (You Only Look Once) algoritmasının kullanılması uygun görüldü ve daha önceki senelerde araştırılan algoritmaları tekrar araştırarak vakit kaybetmekten vazgeçilerek YOLO algoritmasının çeşitli versiyonları ve performansları araştırıldı. Önceki senelerde elde edilen bilgilere göre çeşitli algoritmaların karşılaştırması kısaca Tablo ??'de gösterilmiştir.

Kilitlenme Algoritması	Saniye başına kare sayısı (FPS)	Ortalama Hassasiyet (mAP)	Gerçek Zamanlı Hız	Çalışma Zamanı
You Only Look Once (YOLO)	45m/s	%57,9	Evet	0,84- 0,9 saniye/kare
Single Shot Detector (SSD)	59m/s	%74	Hayır	0,17-0,23 saniye/kare
Faster RCNN	1.7m/s	%58,7	Hayır	0,2 saniye/kare

Şekil 13 Araştırılan algoritmaların karşılaştırılması

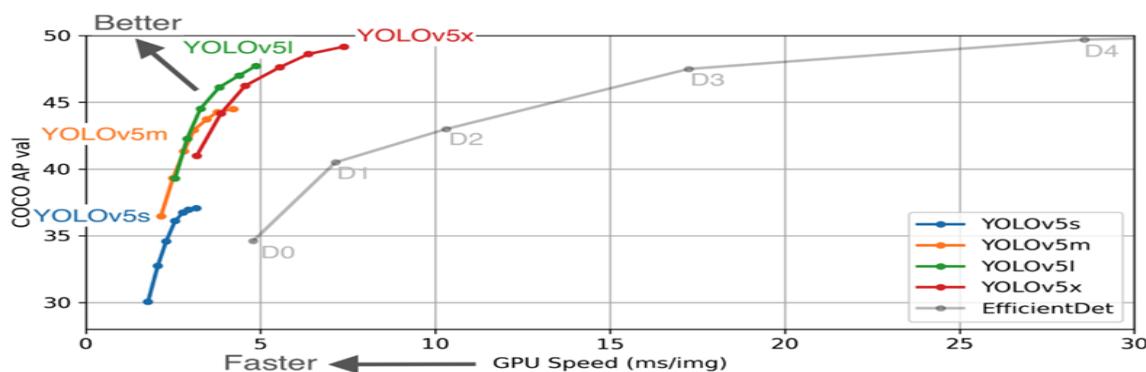
YOLO Algoritması gerçek zamanlı nesne tespiti yapabilen, GPU ile çalışabilen derin öğrenme tabanlı en gelişmiş algoritmaların biridir, en önemli özelliklerinde biri de görüntünden alınan her kareyi tek seferde işleyerek ve herhangi bir vakit kaybına sebep olmadan nesne tespiti gerçekleştirebilmektedir. YOLO tanıtıldığı ilk zamandan beri kullanıcıların gereksinimlerini karşılayabilmek adına geliştirilerek çok farklı ve gün geçtikçe daha verimli versiyonları ortaya koyulmuştur. Yazılım ekibimizin araştırmaları sonucunda YOLO algoritmasının farklı versiyonları arasında YOLOv5 geçmiş versiyonlarına göre FPS değeri konusunda çok az bir fark ile geride kalmış olmasına rağmen çok daha yüksek doğrulukta tespit gerçekleştirebilmektedir. Bu FPS değeri yarışma için yeterli olduğundan göz ardı edilerek tespit doğruluk oranı daha yüksek olan YOLOv5 kullanılmasına karar verildi. YOLOv5 eski versiyonlarının mimari yapı olarak Darknet53 (YOLOv3) ve CSPdarknet53 (YOLOv4) kullanırken bu versiyonda CSPdarknet53 yapısının yanında Focus yapısını da kullanmaktadır.

KARŞILAŞTIRMA:

- YOLOv3 0,73 puan ile hassasiyet konusunda 0,69 puanı olan YOLOv4 ve 0,707 puana sahip YOLOv5 modellerini geride bırakmaktadır.
- YOLOv5 geri çağrıma konusunda 0,611 puan ile 0,41 puanı olan YOLOv3 ve 0,57 puanı olan YOLOv4 modellerine üstünlük sağlamaktadır.
- YOLOv5 hassasiyet ve geri çağrıma değerlerin oranı ile elde edilen F1 puanı konusunda 0,655 puan ile 0,53 puanı olan YOLOv3 ve 0,63 puana sahip YOLOv4 modellerine üstünlük sağlamaktadır.

- YOLOv5 ortalama hassasiyet (mAP) değeri konusunda 0,633 puan ile 0,46 puanı olan YOLOv3 ve 0,607 puana sahip YOLOv4 modelleri geride bırakmaktadır.
- Son olarak ise FPS değer konusunda YOLOv3 63,7 FPS ile YOLOv4 (59) ve YOLOv5 (58,82) modellerine üstünlük sağlamaktadır.

YOLOv5 versiyonun kendi içinde farklı modelleri vardır, bu modeller arasında temelde ortalama hassasiyet (mAP), gecikme süreleri, FPS değer farkları ve boyut farkları bulunmaktadır, modeller arasında karşılaştırma yapılırken bu özellikler baz alınacaktır.



Sekil 14 Yolo v5 modeller karşılaştırılması

İlk başta modellerin ortalama hassasiyet değerlerinin inceleyecek olursak YOLOv5x modellerin diğerlerine göre daha yüksek ortalama hassasiyet değerine sahip olduğu görülmektedir ancak gecikme süresi konusunda bu modelin diğer modellerin gerisinde kaldığını görmekteyiz ancak YOLOv5x model diğerlerine göre çok daha yüksek FPS değerlerine sahiptir. Son olarak modellerin boyutları karşılaştırıldığında YOLOv5x modeli diğer modellere kıyasla hafızada daha fazla alan kaplamaktadır.

SONUÇ:

Tablo 30 YOLO v5 modellerin karşılaştırması

	YOLOv5s	YOLOv5m	YOLOv5l	YOLOv5x
Ortalama Hassasiyet (mAP)	37,2	44,5	48,2	50,4
Gecikme Süreleri (ms)	2,0	2,7	3,8	6,1
FPS Değeri	17,0	51,3	115,4	218,8
Boyut (MB)	14	41	90	168

Ortalama hassasiyet ve FPS değeri kıyaslamasında YOLOv5x modelin daha verimli ve iyi sonuçlar vermesi ve yarışma isterlerini karşılayabilmesi bu modelin gecikme süresinin fazla

olmasının göz ardı edilmesini sağlamaktadır, görüntü işleme bilgisayarına takılan 128 GB hafıza kartının ise bu modelin kullanması için fazlasıyla yeterli olduğuna karar verilerek nesne tespiti için YOLOv5x modelin kullanılması uygun görüldü.

4.1.2. Otonom Takip

Otonom kilitlenme sisteminin son aşaması otonom hedef takibidir. Otonom hedef takibi yapacak yazılımın en önemli özellikleri çalışma hızı ve hedefleri doğru şekilde takip edebilmesidir. Bu konuda yapılan araştırmalar sonucunda KCF, GOTURN, CSRT, MOSSE, siamMaske-E gibi birçok farklı algoritma ile karşılaşılmıştır. Bu algoritmalar hakkında bilgi edindikten sonra yarışma şartları için yetersiz olduklarına karar verilip takip algoritmasının yazılım ekibi tarafından geliştirilmesine karar verilmiştir.

İHA görevde yarışma günü belirtilecek olan alanın içinde belirli bir irtifada random olarak gezerek başlayacaktır. Bu gezi sırasında **4.1.1.** kısımda anlatılan algoritma ile hedef İHA'lar tespit edilecek ve takip algoritması tetiklenecektir. İHA'nın kamerasında alınan görüntülerin koordinat sistemine çevrilerek öncelikle hedef İHA'nın etrafına kilitlenme kutucusu getirilerek merkez noktası belirlenecektir ve görüntü ekranına girdiği andan itibaren görüntüdeki pixel farkları yardımıyla bu merkez noktanın 2 önceki konumu ve o anki konum arasındaki fark hesaplanarak hedef İHA'nın bir sonraki hareketi tahmin edilecektir. Böyle bir yöntemin seçilme sebebi ise hedef İHA'nın sadece o anki konumuna göre değil bir sonraki hareketini önceden tahmin edilerek takibinin sağlanmasına olanak vermesidir. Bu hareket tahminin yanında yine görüntü üzerindeki konum farklarını kullanarak bu değişimden ivmesi, oranı ve yönüne dair verileri de takip sırasında kullanılacaktır.

Takibin gerçekleştiği ana yöntem ise hedef İHA'nın merkez noktası ile görüntü alanın merkez noktası arasındaki fark hesaplanarak bu farkın sıfır olması yani iki merkez noktanın eşitlenmesi için uçuş kontrol kartına yunuslama, yuvarlanma ve yalpalanma açıları hesaplanarak gönderilecektir. Takip işlemi sırasında hedefin görüntü alanından çıktıığı durumda en son göründüğü konuma doğru 3 saniye boyunca hareket devam edip hedefin bulunmadığı takdirde takip sonlandırılacaktır. Hedefe uzaklık ise kilitlenme kutucusunun yatay uzunluğunun görüntü erkanına oranı hesaplanarak İHA'nın yavaşlanması hızlanması için uçuş kontrol kartına komut gönderilecektir.

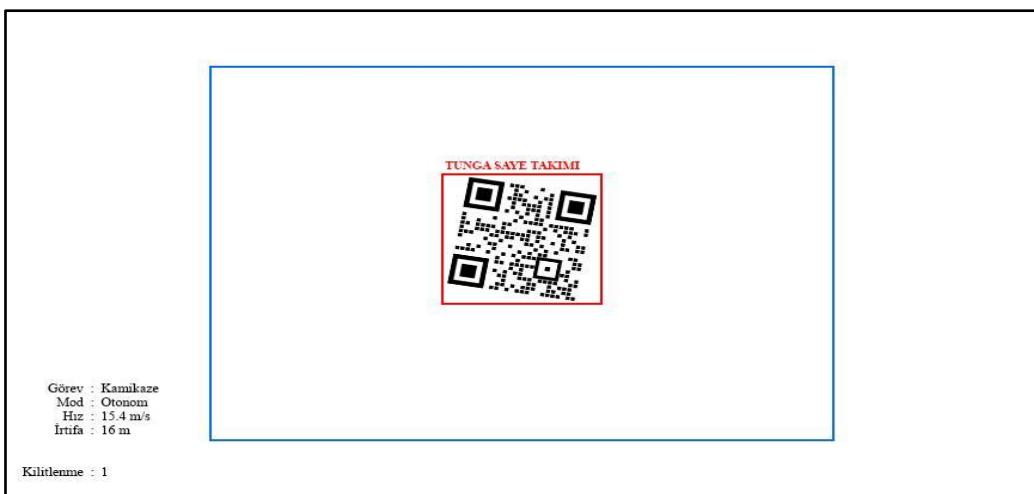
Katılımcılardan beklenen, hedef İHA'nın görüntüsünün kamerada en az %5'lik bir alanı kaplayacak şekilde takip edilmesidir. Hedef İHA'nın ani hızlanması ve uzaklaşması durumunda 4 saniyelik kilitlenme tamamlanmadan kamera görüş alanının %5'inden az bir görünürliğe sahip olması ihtimaline karşın, İHA hedef görüntüsünün kamera görüş alanının en az %8'ini en fazla %10'unu kaplayacak şekilde takip edecektir. 4 saniye boyunca kilitlenme gerçekleştirilen sonra hedef İHA'nın takibi bırakılacak ve tekrar rastgele olarak yeni hedef aramasına başlanılacaktır. Aynı İHA'ya tekrar kilitlenmemesi için ise bir sonraki kilitlenme gerçekleşene kadar kilitlenen İHA'nın takım numarası kaydedilerek tespit edilse dahi takip edilmeyecektir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

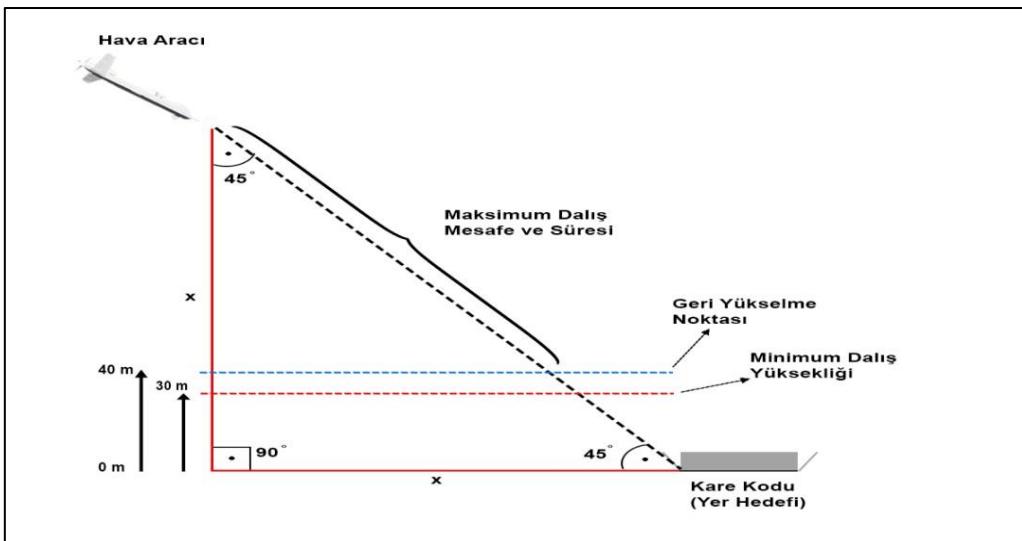
○ 4.2. Kamikaze Görevi (tasarım)

Savaşan İHA yarışmasında ilk kez bu sene girmiş olan kamikaze görevinde amaç, yerdeki 2x2 metre boyutuna sahip bir kare kodu okuyabilmek için otonom olarak dalış yapıp ve okunan kare kodun çıktısını sunucuya göndermektir. Bu görevin temelde iki zorluğu bulunmaktadır. Bunlardan ilki İHA'nın dalış sırasında yere çakılmaması için doğru bir an ve yükseklikte geri yükselmesi ikincisi ise kare kodun okunabilmesi için İHA'nın maksimum sürede doğru açı ile hedefe doğru titreşimsiz bir dalış gerçekleştirmesidir.

Bu zorluklarla başa çıkalabilmesi için öncelikle İHA'nın irtifa verilerinin en fazla birkaç cm'lik bir sapma ile hesaplanması gerekmektedir. Bu sorunun çözümü için hava aracı üzerinde bulunan 1 cm'lik sapma payına sahip RTK GNSS modülün yerden yükseklik verilerin kullanılması kararlaştırıldı, böylece İHA'nın dalış sırasında irtifası 40 metrenin altına düşüğü vakit kare kodunu pas geçip geri yükselmesi için komut verilecektir. 40 metrenin sınır olarak seçilmesindeki sebep ise uçuş sırasında 30 metrenin altına inmek yasak olduğundan dolayı 40 metrede geri yükselme komutu alan İHA 30 metrelük sınırı ihlal etmeden rahat bir şekilde yükselp hedefi pas geçebilecektir. Bu sert manevra sırasında kanatların zarar görmeyeceğinden emin olmak için ise şekil 51'te gösterilen kanat dayanım testi gerçekleştirildi ve şekil 11'de uçuş için planlana ağırlık merkezi verilmektedir. İkinci olarak ise dalış sırasında yer hedefinin etrafında 45 derecelik açılarla yerleştirilen plakaların kare kodu kapatmaması için dalış açısı da 45 derece olarak kararlaştırıldı, bu dalışın başlangıç noktası olarak ise uçuş sırasında İHA'nın irtifası ile x ekseni üzerinde hedefe olan mesafenin eşit olduğu an uygun görüldü. Bu noktanın seçilmesindeki sebep ise plaka engellerine takılmadan kare kodun okunabilmesi için en uzun dalış mesafe ve süresini vermesidir. Kare kodun okunması için de savaşan İHA görevinde kullanılan "OpenCV" kütüphanesinin kullanılması uygun görüldü, böylece farklı bir yazılım kullanarak görüntü işleme kartına ek olarak binecek yükün önüne geçirilmesi sağlandı.



Şekil 15 kamikaze görev arayüzü



Şekil 16 kamikaze görev şeması

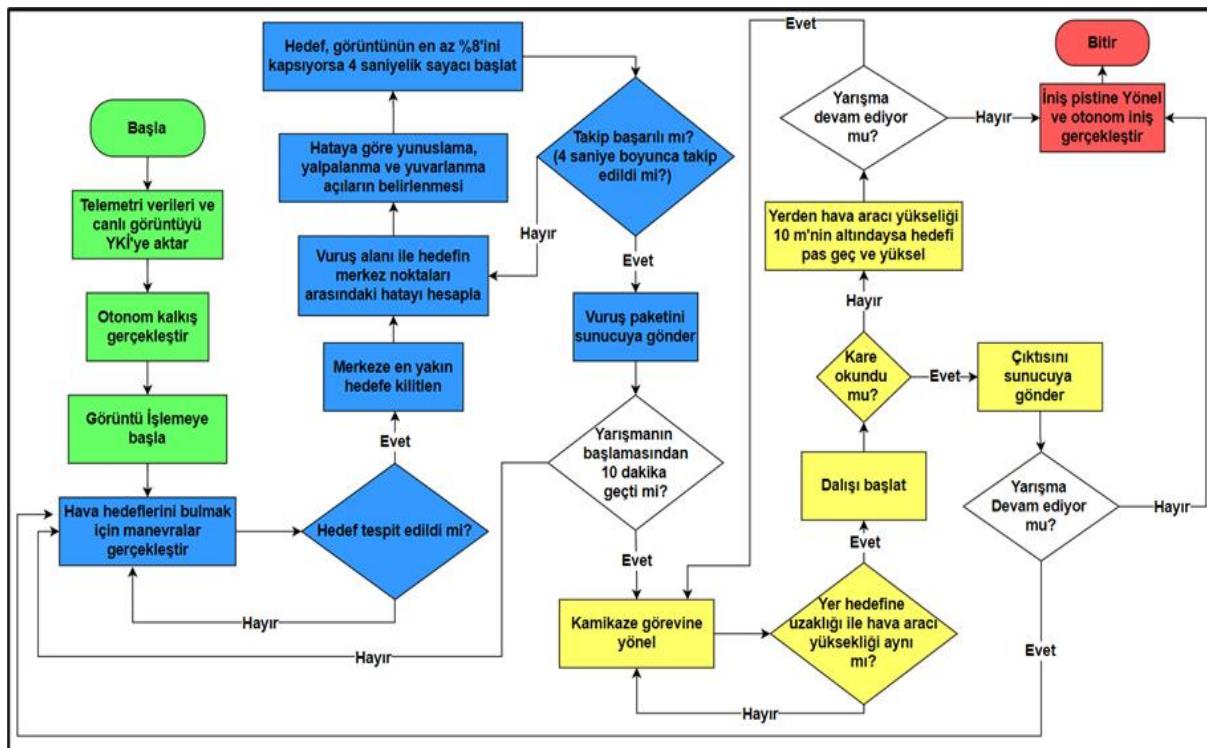
4.3. Görev Algoritması

İHA otonom bir şekilde kalkışını gerçekleştirdikten sonra güvenli bir yüksekliği ulaşana kadar yükselmeye devam edecektir. Ardından yarışma alanı koordinatlarını kullanarak sınır ihlalinin gerçekleşmemesi için sınırlarının en az 20 metre öncesi kırmızı alan olarak belirlenecektir ve bu alana girildiğinde İHA'nın manevra yaparak geri dönmesi için komut verilecektir. İlk başta yarışma sırasında hedeflere yönelmesi için iki yol düşünüldü. Bunlardan birincisi rakip İHA'ların sunucuya gönderdikleri telemetri verilerinin arasından konum verilerini kullanarak İHA'ların yoğun olduğu alana yönerek onlara kilitlenmeye çalışması, ikinci olarak ise İHA'nın kamera görüntüsünde belirli bir süre boyunca rakip İHA'lara rastlanmadığı durumunda rastgele manevralar yaparak hedef arayışına girilmesi ve onlara kilitlenmeye çalışması şeklinde olacaktır. Birinci yöntem başta kulağa hoş ve mantıklı gelse de rakip İHA'ların sunucuya göndereceği verilerin doğruluğun belirsiz olması İHA'ların verilerini sunucuya gönderilmesi ve diğer YKİ'lere dağıtılması, oradan algoritma tarafından hesaplanıp ve ona göre hedeflere yönelmesi gibi birçok aşamalardan geçmesi sırasında yaşanacak gecikmelerden dolayı sağılıklı bir karar algoritması olmadığına karar verilerek ikinci yöntem kullanıma uygun görüldü.

Kamera görüntü alanına girilen rakip İHA'lar YOLOv5x algoritması sayesinde fark edilip kare bir kutucuk içine alınması ve görüntü alanının (0,0) noktası olan merkez konumuna en yakın İHA hedef olarak seçilecektir hemen ardından takip algoritması çalıştırılacaktır (Otonom kilitlenme hakkında detaylara 4.1. kısmında yer verildi).

Vuruşun başarılı olduğundan emin olduktan sonra vuruş paketi sunucuya gönderilip diğer hedeflere yönelmesi komutu verilecektir. Yarışmanın ilk 10 dakikası hava hedeflerine yönelikken son 5 dakika boyunca kamikaze görevi için ayrılacaktır (kamikaze görevi detaylarına 4.2. kısmında yer verildi) kamikaze görevi başarılı olmasının halinde ise tekrar savaşan İHA görevine yönelmesi komut otonom bir şekilde verilecektir. Yarışma süresi tamamlanıp

sonlandığında ise kalkış yapıldığı yere otonom olarak yönelip iniş gerçekleştirilecek sonlandırılacaktır



Sekil 17 Görev algoritması akış diyagramı

5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME (15 PUAN)

5.1 Yer İstasyonu

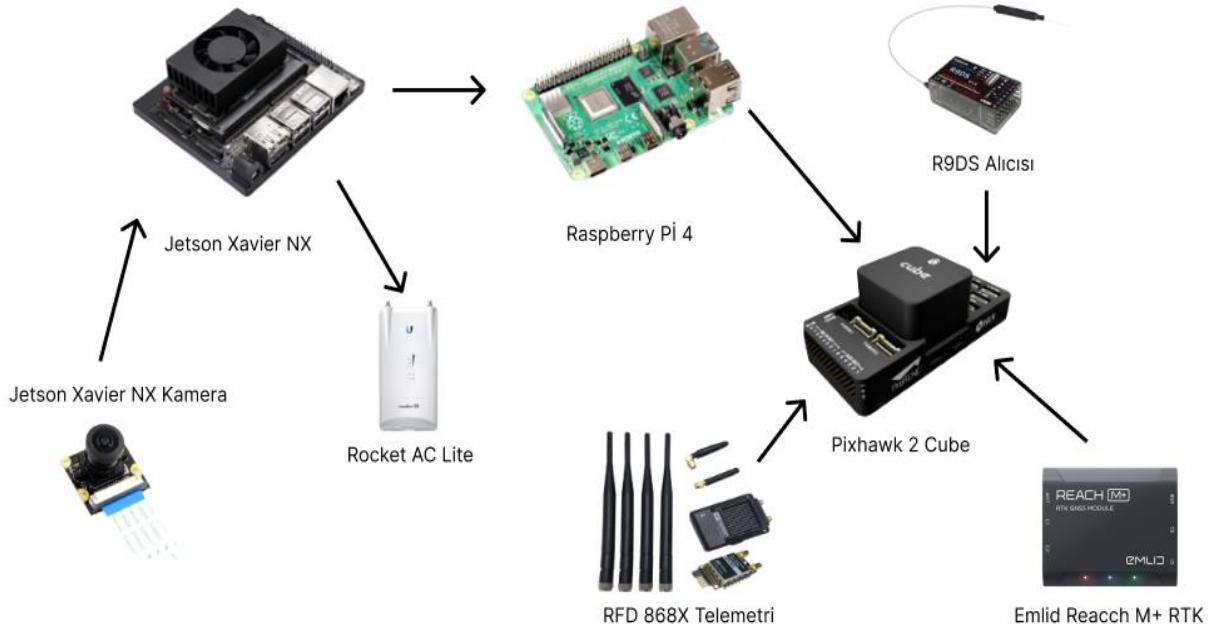
Yer kontrol istasyonu; bilgisayar, telemetri, Gps alıcısı (Emlid Reach M+ RTK), görüntü alıcısı (Powerbeam 5AC Lite) ve telemetri (RFD 868X)'den oluşmaktadır. Yer kontrol yazılımı olarak Mission Planner kullanıldı. Yer istasyonunda görüntü işleme veya kilitlenme algoritması gibi işlemler yapılmamaktadır. Yer kontrol İstasyonu sadece İHA ile haberleşme, Yarışma sunucusu ile haberleşme ve Jüri denetimi için kullanılacaktır.

5.2 Haberleşme

İHA İçi Haberleşme, İHA (İnsansız Hava Aracı) ve YKİ (Yer Kontrol İstasyonu) Arası Haberleşme, İHA İçi Haberleşme, YKİ ile Yarışma Sunucusu Arası Haberleşme olmak üzere 3 tip haberleşme vardır.

5.2.1 İHA İçi Haberleşme

Kamera ve Rocket R5AC Lite'nin Jetson ile haberleşmesi, Jetson'ın Raspberry Pi, Pixhawk'ın Raspberry Pi ile haberleşmesi ve Telemetrinin, GPS 'in ve kumandanın Pixhawk ile haberleşmesi olmak üzere 3 çeşit İHA içi haberleşme vardır.



Şekil 18 İHA içi haberleşme şeması

5.2.1.1 Kamera ve ROKET R5AC Lite'nin Jetson ile Haberleşmesi

Jetson ile uyumlu olması sebebiyle, kamera olarak “Jetson Xavier NX Kamerası” kullanıldı. Bu kamera 1100 MHz frekansında ve USB 3.1 protokolü ile haberleşmektedir. USB 3.1 protokolü sayesinde 10Gbps hızında görüntü iletimi yapılmaktadır. Jetson gelen görüntüyü Ethernet kablosu ile ROKET R5AC Lite’ ye gönderecektir.

5.2.1.2 Jetson’ın Raspberry Pi ve Pixhawk’ın Haberleşmesi

Jetson (algoritmayı kullanarak) uçuş kontrol kartına komutları iletmek gerekiyor. Bu komutları da Raspberry pi aracılığı ile iletilecek. Jetson ile Raspberry Pi USB protokolü ile haberleşirken, Raspberry Pi ile Pixhawk UART aracılığı ile haberleşmektedir.

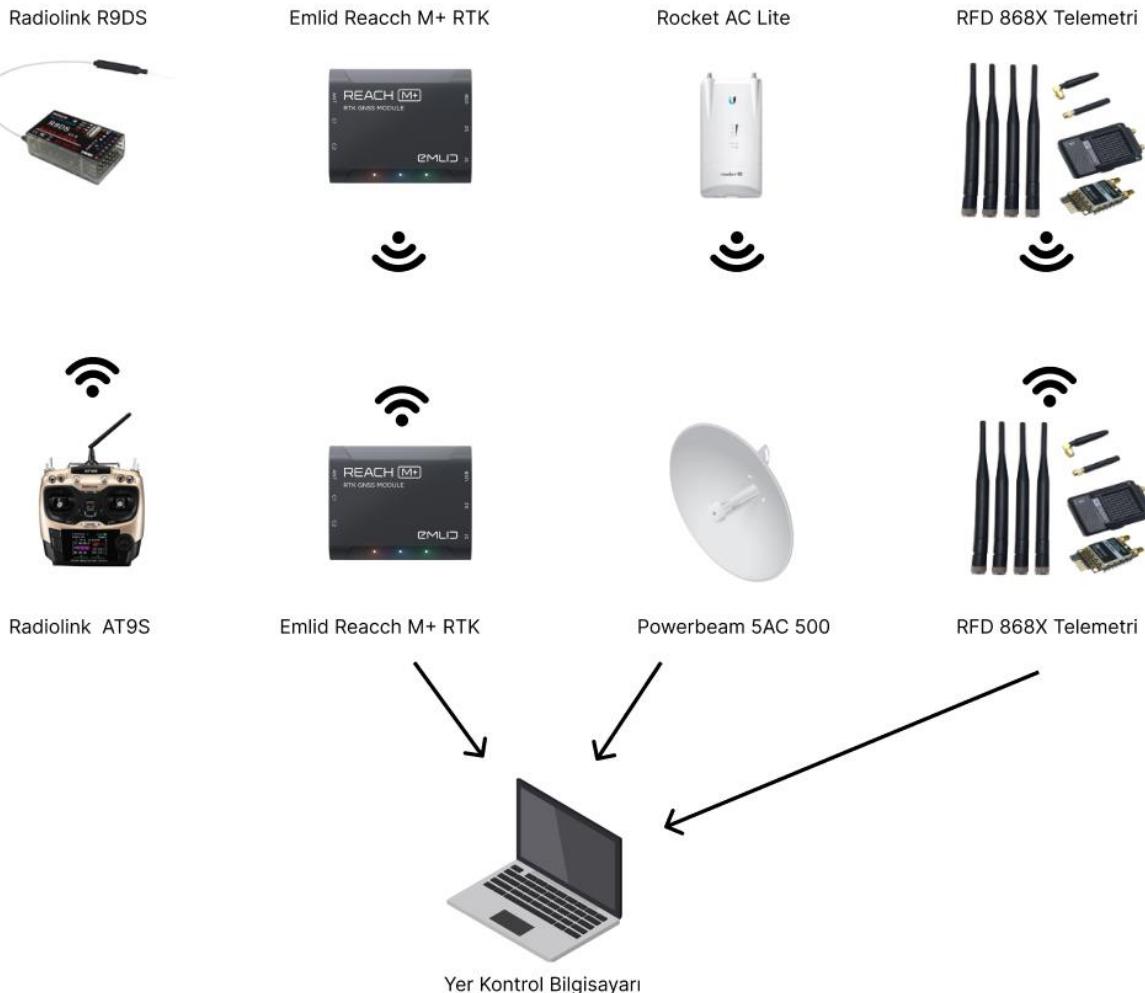
5.2.1.3 Telemetrinin, GPS ‘in, Manuel Pilotun Pixhawk ile haberleşmesi

Pixhawk’ın GPS ile haberleşmesi için Pixhawk üzerinde bulunan GPS portu kullanılmaktadır. Manuel kumanda alıcısı için R9DS alıcısını, Pixhawk’ın üzerinde bulunan RCIN portu kullanılmaktadır. İHA verilerini YKİ’ye iletilmesi için Pixhawk’ın “Telem” portu kullanılarak haberleşme gerçekleştirilmektedir.

5.2.2 İHA ve YKİ Arası Haberleşme

Bilgi Haberleşmesi, Görüntü Haberleşmesi, GPS Haberleşmesi ve Manuel Pilot Haberleşmesi olmak üzere 4 çeşit İHA ve YKİ arası haberleşme vardır.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Sekil 19 İHA ve YKİ arası haberleşme şeması

5.2.2.1 Bilgi haberleşmesi

İHA ve YKİ arasında gerçekleşecek olan konum, GPS, kalibrasyon verileri, varış noktası tanımlama, irtifasını değiştirme, seyir hızını değiştirme, iniş komutu verme gibi otonomiyi bozmayacak haberleşmeler için İHA ve YKİ de bulunan Telemetrliler aracılığı ile yapılmıştır. Telemetri olarak “RFD 868X” kullanıldı. Kanal olarak 868-869 MHz bandında çalışıldı. Aynı frekansta çalışan diğer cihazlarla olası karışıklığını engellemek ve veri kaybı yaşamamak için, telemetrimizin bize sunduğu “frekans atlamalı geniş spektrum” özelliğinden yararlanıldı. (FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum) Bilgiler TCP protokolü üzerinden aktarılmaktadır. UDP yerine TCP protokolü kullanılmasının temel sebebi, verilerin büyük boyutlarda olmaması ve veri güvenliğini ön planda olmasıdır. TCP protokolü hızdan ödün vererek bilginin karşı tarafa başarıyla ulaşıp ulaşmadığını kontrol eder ve veri karşı tarafa başarıyla ulaşmadıysa veriyi tekrardan gönderir. Bundan dolayı bilgi haberleşmesi için TCP protokolü kullanıldı. İHA dan aldığımız ve telemetride bulunan veriler ise USB protokolü aracılığı ile yer kontrol bilgisayarına gönderilir.

5.2.2.2 Görüntü Haberleşmesi

Kameradan alınan görüntüler Jetson kartına gönderilir. (Bu haberleşme işlemi 5.2.1.1 de anlatılmıştır.) Jetson'a gelen görüntüler Raspberry Pi aracılığı ile Pixhawk'a gönderilir ve

buradan da ROKET R5AC Lite'e aktarılır. (Bu haberleşme işlemi 5.2.1.2- 5.2.1.3 de anlatılmıştır.) İHA üzerinde bulunan ROKET R5AC Lite kartı görüntüleri YKİ da bulunan Powerbeam 5AC 500'e göndermektedir. Haberleşme için Powerbeam 5AC 500, 5150- 5875 MHz aralığını, ROKET R5AC Lite ise 900 MHz, 2.4 GHz, 3/3.65 GHz ve 5 GHz frekanslarını desteklemektedir. Ortak frekans sadece 5 GHz olduğundan haberleşme 5 GHz frekansı üzerinden olacaktır. Kanal olarak ise her iki cihazın 5,8,10,20,30 ve 40 MHz kanallarını desteklemektedir. Görüntü haberleşmesi için 30 MHz kanalı seçildi. Görüntü haberleşmesi için UDP protokolü kullanımı uygun görüldü. TCP yerine UDP kullanılmasının asıl sebebi görüntülerin çok büyük veriler olması ve görüntülerin anlık olarak aktarılması istenilmesidir. TCP protokolün kullanılmamasındaki ana sebep verilerin aktarımında yaşanılacak gecikmelerin engellenmesidir. UDP protokolünde göze alınan veri kaybının toplam veriye oranla az olması ve görüntü transferinde hızın daha önemli olması sebebiyle UDP protokolü kullanıldı. İHA dan alınan ve Powerbeam 5AC 500 de bulunan veriler ise Ethernet kablosu aracılığı ile yer kontrol bilgisayarına gönderilir.

5.2.3 GPS Haberleşmesi

GPS haberleşmesi için hem İHA da hem de YKİ'da bulunan Emlid Reach M+ RTK ile gerçekleşmektedir. Emlid Reach M+ RTK modülü 868-919 MHz frekans aralığını desteklediğinden iletişim bu frekans aralığında olacaktır. İletişim Wi-Fi ile gerçekleşecektir. İHA dan alınan ve Emlid Reach M+ RTK da bulunan veriler ise Wi-Fi aracılığı ile yer kontrol bilgisayarına gönderilir.

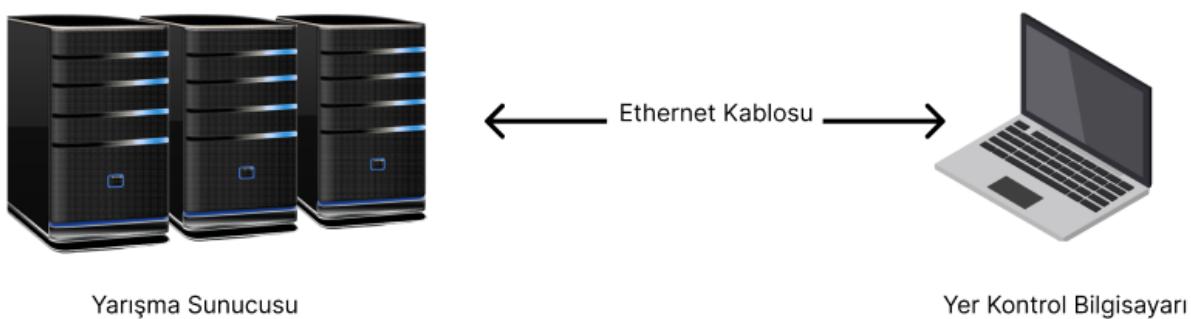
5.2.3.1 Manuel Pilot Haberleşmesi

İHA da bulunan Radiolink R9DS model RC alıcısı ile YKİ de bulunan Radiolink AT9S model kumanda arasında gerçek zamanlı görüntü haberleşmesi gerçekleşmektedir. Kumanda da bulunan kanal sayısı arttıkça İHA ya verilecek komut sayısı da artar. Kumandada 10 kanal bulunmaktadır. Sinyal karışıklığının önüne geçmek için 2.4GHz frekansı ile haberleştirildi.

5.2.3.2 YKİ ile Yarışma Sunucusu Arası Haberleşme

YKİ ile Yarışma sunucusu arasındaki iletişim Ethernet kablosu ile gerçekleşecek. Bağlantı haberleşme dokümanında verilecek olan IP adresine yapılacak. Haberleşme API mantığı ile gerçekleşecek ve kullanılan format JSON formatında olacaktır. Kullanılan metot ise POST olacaktır. Api / giriş adresinden kimlik doğrulama (kullanıcı adı ve şifre kontrolü) yapıldıktan sonra yükseklik, hız, konum, irtifa yönelim vb. Veriler sunucuya POST / api / telemetri- Adresi ile gönderilecektir. POST / api / telemetri- al adresi ile de yarışma sunucusundan veriler alınacaktır.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 20 YKI ile Yarışma Sunucusu Arası Haberleşme Şeması

6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI (10 PUAN)



Şekil 21 Mission Planner Arayüzü

Kullanıcı arayüz tasarımı olarak hem açık kaynak kodlu olması hem de Pixhawk uçuş kontrol kartı ile uyumlu olması sebebi ile Mission Planner programı kullanıldı. Ayrıca takım üyelerinin Mission Planner kullanımı konusunda tecrübeli olması bir başka tercibidir.

6.1. Mission Planner'in Avantajları ve Kullanımı

Mission Planner takıma birçok konuda avantaj sağlamaktadır. Bunları şu şekilde sıralanabilir;

- 1- Mission Planner gelişmiş bir simülasyon sistemine sahiptir. Simülasyon sayesinde gerçek uçuş yapılmadan, gerçek uçuşa yakın seviyede bir uçuş simüle edilir ve olası problemler için erkenden önlem alınır. Böylelikle gerçek uçuş daha sağlıklı şekilde yapılır.
- 2- Mission Planner açık kaynaklı bir program olduğundan, yarışma isterlerini karşılaması için gerekli eklemeler yapılabilir.
- 3- İHA tarafından toplanan anlık veriler (hız, yükseklik, yalpalanma açısı, yuvarlanma açısı, yunuslama açısı, konum vb.) arayüzde gösterilir. Uçağa anlık komutlar iletебilir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

- 4- Google Haritalar, Yandex Haritalar, Bing Haritalar gibi çeşitli harita servisleri desteklediğinden dolayı, olası bir harita sorununda diğer harita servislerinden kullanılabilir.
 - 5- Muadili olan programlara göre daha eski olmasından ve birçok kullanıcı olduğundan dolayı geniş bir komünitesi vardır. Gelişmiş ve düzenli bir dokümantasyonu vardır.
 - 6- Mission Planner uçuş sırasında tuttuğu kapsamlı analizlerini, log dosyalarını ve araca ait alt sistemlerin parametrelerini uçuş sonrasında kullanıcı arayüzü ile göstermektedir. Mission Planner programının ilk arayüzü 4 temel bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgeler şekil 19'da gösterilmiştir.



Şekil 22 Mission Planner Bölgeleri

- 1. Bölge:** Menülerin bulunduğu alandır. Buradan Uçuş Verileri, Uçuş Planlı, Kurulum, Ayarlar, Simülasyon ve Yardım gibi pencere'lere geçilir.
 - 2. Bölge:** Bu bölgede İHA hakkında hava hızı, irtifa, dönüş hızı gibi çeşitli parametreler bulunmaktadır. Şekil 22' de bölgeler gösterildi.
 - 3. Bölge:** Bu bölgede İHA 'ya çeşitli komutlar verebilir, İHA 'nın durumu hakkında bilgiler yer alır.
 - 4. Bölge:** Bu bölgede İHA 'ya çeşitli komutlar verebilir, İHA 'nın durumu hakkında bilgiler yer alır.



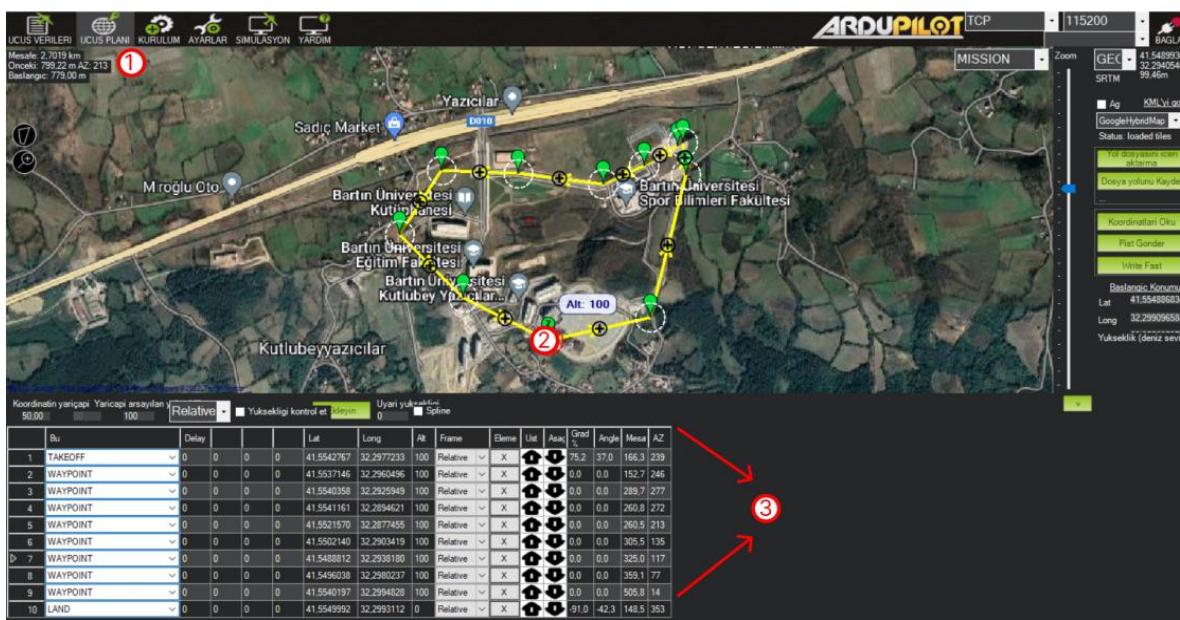
Sekil 23 Mission Planner 2. Bölgenin Detayları

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Tablo 31: Mission Planner Tanıtım Tablosu

Bölge	Açıklama
1	Rotadan kaçma hatası ve dönüş hızı (T)
2	Rotadan kaçma hatası ve dönüş hızı (T)
3	Hava hızı (Hava hızı sensörü takılı değilse yer hızı)
4	Hava Hızı
5	Yer Hızı
6	Telemetri bağlantı kalitesi (Yüzdelik değeri ile)
7	Araç burnunun istikamet yönü
8	Aracın toplam irtifası
9	Uçuş modu
10	Belirlenen konuma <u>uzaklık</u> > mevcut konum
11	Hava aracının duruşu (yataya göre açılı)
12	İHA ’nın mevcut elektronik ekipmanının kullandığı akım miktarı

Mission Planner Uçuş Planı Oluşturma

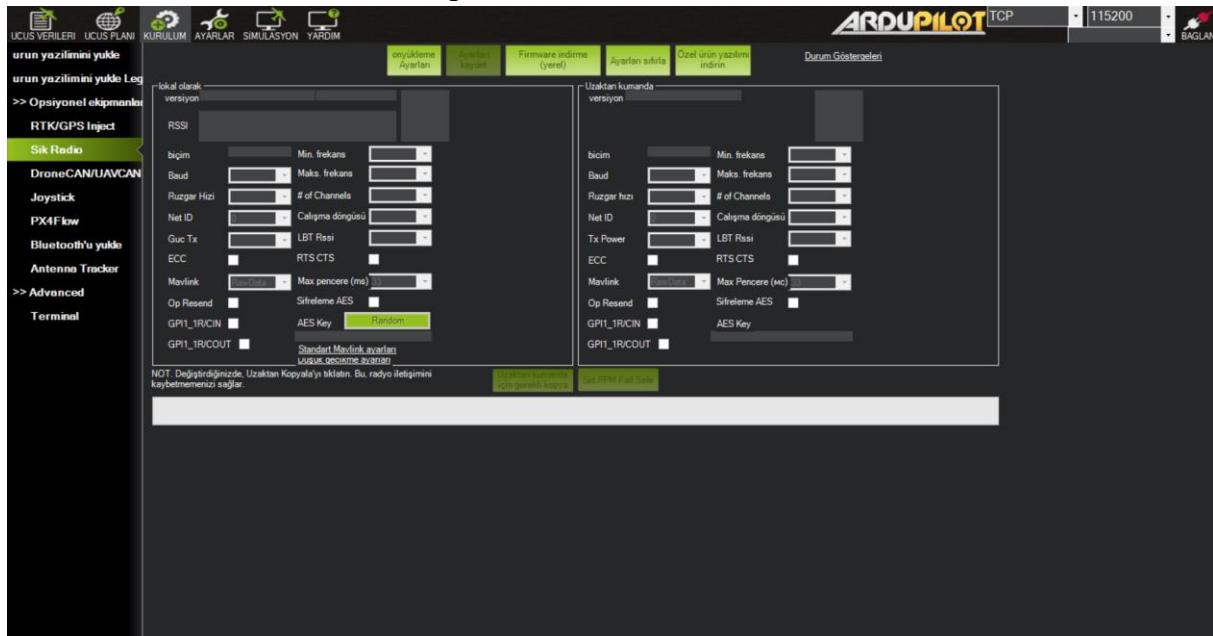


Şekil 24 Mission Planner ile Uçuş Planı Oluşturma

- 1- Şekil 24’ de gösterilen 1. bölgeden “Uçuş Planı” kısmına gelinir.
- 2- Şekil 24’ de 2. bölge olarak gösterilen haritadan uçuşun rotası ayarlanır.
- 3- 2. bölgeden ayarlanan rotayı Şekil 24’ de bulunan 3. bölge de görev atamaları (iniş, kalkış, enlem, boylam, irtifa vb.) yapılır.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

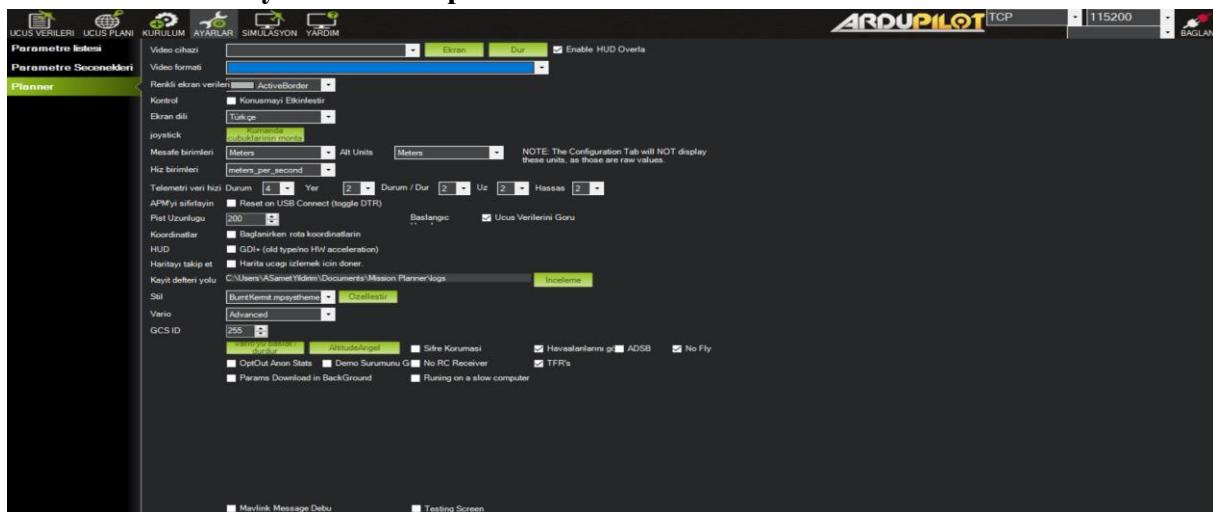
Mission Planner Kurulumun Yapılması



Şekil 25: Mission Planner Kurulum

Şekil 22' da gösterilen 1. bölgeden “Kurulum” bölümüne girilir. Buradan İHA üzerinde bulunan Pixhawk uçuş kontrol kartına uygun firmware yüklemesi yapılır. Ayrıca Pixhawk'a bağlı olan telemetri, GPS, kumanda gibi ekipmanların kurulumu bu kısımda gerçekleşir.

Mission Planner Ayarlarının Yapılması



Şekil 26: Mission Planner Ayarlamaları

Şekil 22' da gösterilen 1. bölgeden “Ayarlar” kısmı seçilir. Bu kısımda uçuş için gerekli olan parametrelerin ayarlanması, logların tutulduğu yerin belirlenmesi veya Mission Planner arayüzün de genel düzenlemeler yapılır.

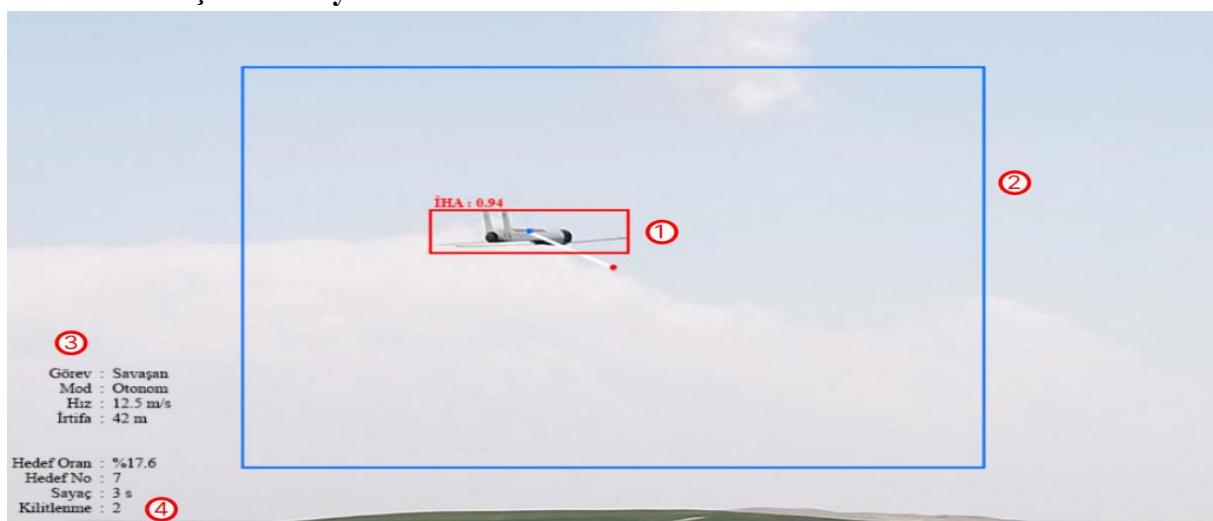
Mission Planner Simülasyon Yapılması



Şekil 27 Mission Planner Simülasyon

Şekil 22’ da gösterilen 1. bölgeden “Simülasyon” kısmına girilir. Bu kısımda İHAımız riske atmadan gerçeğe yakın uçuş testleri yapabilir, olası problemleri önceden tespit edebiliriz.

6.2 Görüntü İşleme Arayüzü



Şekil 28: Görüntü İşleme Arayüzü

Yarışma için özel olarak geliştirilmiş görüntü işleme arayüzü 4 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler Şekil 28’ de gösterilmiştir.

1. Bölüm: kilitlenme dörtgenini göstermektedir.
2. Bölüm: hedef vuruş alanı göstermektedir.
3. Bölüm: İHA hakkında bilgileri içermektedir.
4. Bölüm: Hedef ve görev hakkında bilgiler içermektedir.

7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU (10 PUAN)

7.1. Yapısal Entegrasyon

- Montaj öncesi ekipmanların sağlamlıklarını ve boyutsal parametreleri kontrol edilmiştir.
- Hazır tasarım alındığı için montajda yer açılması için İHA'nın içine 4 mm balsa ağacından kademe yapıldı.
- Motor kısmının ve burun konisi kısmına bant çekilerek sağlamlıklarını arttırdı.
- Montaj kolaylığı olması için delikler açıldı.
- Kanatlar ana gövdeye karbon çubuklar ile sabitlendi. Kanatlar tamir bandı ile gövdeye bağlantısı desteklendi.
- İniş takımının montajı gövdeye içine açılan yuvaya montajlandı.
- Kuyruk kısmı gövdeye yapıştırılarak bağlantısı arttırdı.
- Kuyruk kısmındaki parçaların dayanımının artırılması için karbon çubuk yerleştirildi.
- Karbon çubuklar kuyruğa yapıştırıcı ile yapıştırdı.
- Vidalar standart tork değerlerine göre torklandı. Torklanan vidalar ve somunlar işaretlendi.
- Motor gövde içerisindeki bağlantı aparatına vidalanarak montajlandı.
- İHA tasarımda motorun ve elektronik bileşenlerin soğutulması için bölme mevcuttur.



Şekil 29 İHA Ana Gövde Montaj



Şekil 30 İHA Bağlantı Aparatları



Şekil 31 İHA Şasi Malzemeleri



Şekil 32 İHA Gövde Ekipmanları



Şekil 33 İHA Kanat- Gövde Montaj Aşaması



7.2. Mekanik Entegrasyon

7.2.1. Şasiye bağlantı şekilleri

- Kontrolden geçtikten sonra parçalara testler yapılarak sağlamlıklar kontrol edilmiştir. Örneğin; motor, ESC, bataryanın bağlantıları dışarda montajlanarak çalışma durumları kontrol edildi.
- ESC ve motorun montajı soket ile yapıldı.
- Şasi içerisindeki kablo düzeni çirt kelepçe ve çift taraflı bant ile sağlandı.
- Elektronik parçalar çift taraflı bant ile İHA içerisinde montajlandı.
- Lipo pilin hareket etmemesi için lipo pil tutucu çirt bantlar kullanıldı.
- Kamera için tutucu tasarlanarak İHA 'nın ön kısmına yerleştirildi. (Şekil 33 'de verildi)
- Servolar kanat ve kuyruk kısımlarında açılan yuvalara montajlandı. (Şekil 34'de verildi)
- Servo motorlarının sağlamlıklarını yaptırlarak arttırdı.
- Gps anteni için İHA 'nın üst kapağındaki yuva açıldı
- Servoların, flapları hareket ettirip ettirmemiği kontrol edildi.
- Kamera ön taraftaki kamera tutucuya montajlanmıştır. Dış etkilerden korunmak için önüne fanus yerleştirildi. (Şekil 33 'de verildi)

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 34: Sigorta ve Anahtar Yerleşimi



Şekil 35 Motor Montaj Yeri



Şekil 36 Kamera Montaj



Şekil 37 Kuyruk Servo Montaj



Şekil 38 Elektronik Parça Montaj Aşaması

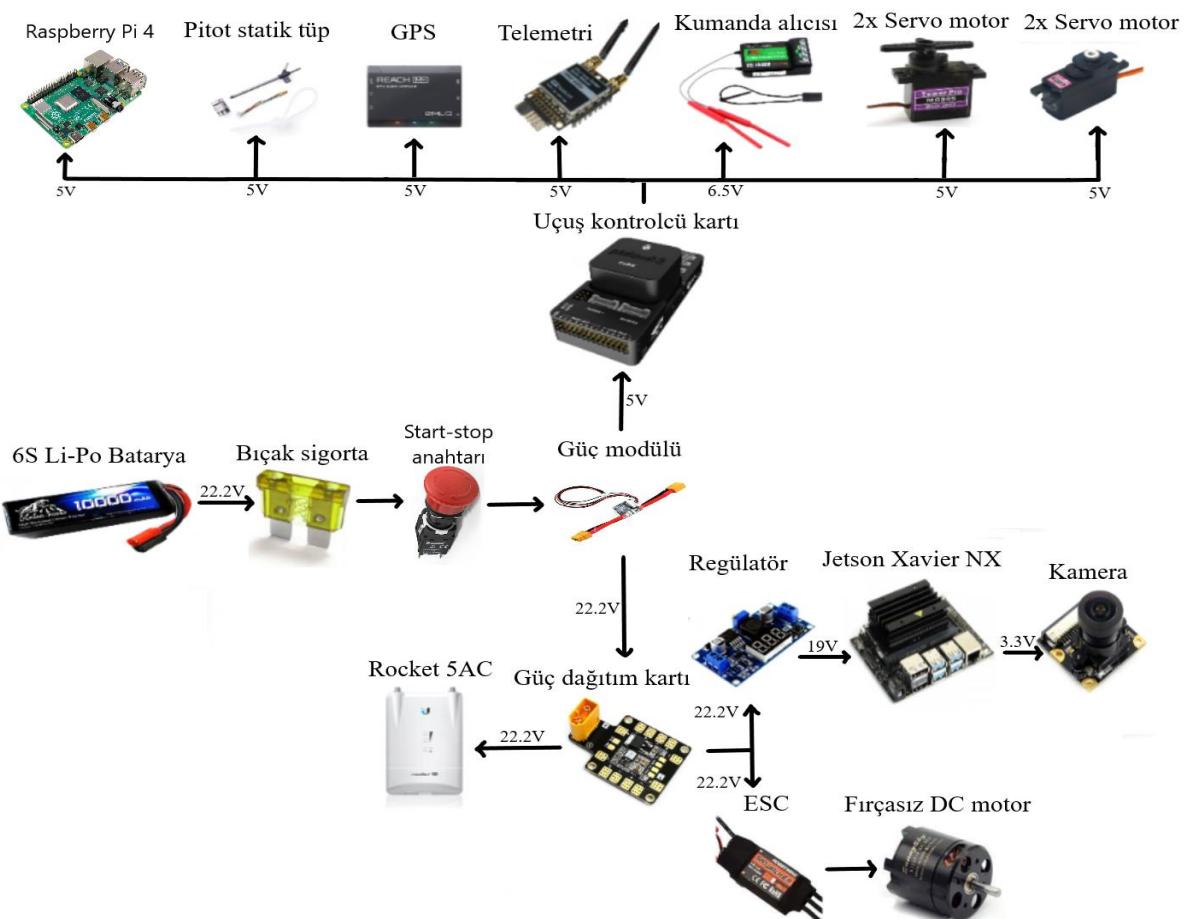


Şekil 39 GPS ve Telemetri Montaj Yerleri

7.3. Elektronik Entegrasyon

Tablo 32: Bileşenlerin Güç Tüketim Dağılımı

Güç Dağılımı	
Fırçasız DC Motor	1918W
Uçuş Kontrol Kartı	7W
Telemetri	1W
Görüntü İşleme Bilgisayarı	15W
GPS	5,5W
Pitot Statik Tüp	5W
Kamera	3,3W
Kumanda Alıcısı	6,5W
Görüntü Vericisi	8,5W
Servo Motorlar	6W



Şekil 40: İHA' nin Güç Dağılım Şeması

7.3.1. Elektrik entegrasyon hareket listesi:

Elektronik bağlantılar, İHA sisteminin güç dağılım şemasına göre monte edilmiştir. Her elektronik cihazı gerçekleştirmeden önce gerekli testlere tabi tutulmuş ve başarı ile geçmiştir.

- ESC'nin eksisi(siyah) ve artısı(kırmızı) ucuna erkek soketler lehimlenmiştir.
- Tercih edilen 16 AWG kablolar elektriksel bağlantı kısımlarında kullanılmıştır.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

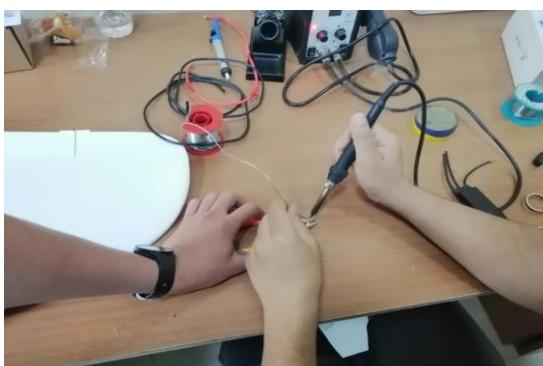
- Çeşitli güvenlik önlemleri nedeniyle lehimlenen kısımlar makaron yardımıyla kapatılmıştır.
- Kablo bağlantıları lehim ile yapıldı. (Şekil 43' da verildi)
- Lehimleme işleminin ardından elektronik aksam bağlantıları yapılmaya başlanmıştır.
- 1 adet 60A'lık bıçak sigorta batarya ve anahtar arasına lehimlendi. (Şekil 45' da verildi)
- Sigortanın artı çıkışı elektronik aksamların artı girişlerine bağlanmıştır. (Şekil 42' da verildi)
- Seri bağlı olan yerler kısa devre veya şase yapmaması için silikon ve elektrik bandı ile gerekli şekilde kapatılmıştır.
- Kurulum gerekli tecrübe sahip kişiler tarafından yapılarak gerekli önlemler alınır.



Şekil 41: ESC 'ye Soket Takılması



Şekil 42: Anahtarın Lehimlenmesi



Şekil 43: Lehimle Bağlantı Yapılması



Şekil 44: Elektronik Bileşenler

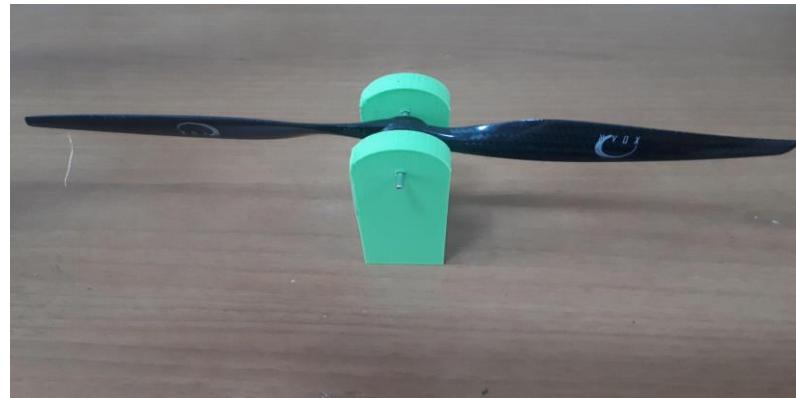


Şekil 45: Anahtar Sigorta Bağlantısı

8. TEST VE SİMÜLASYON (15 PUAN)

8.1. Alt Sistem Testleri

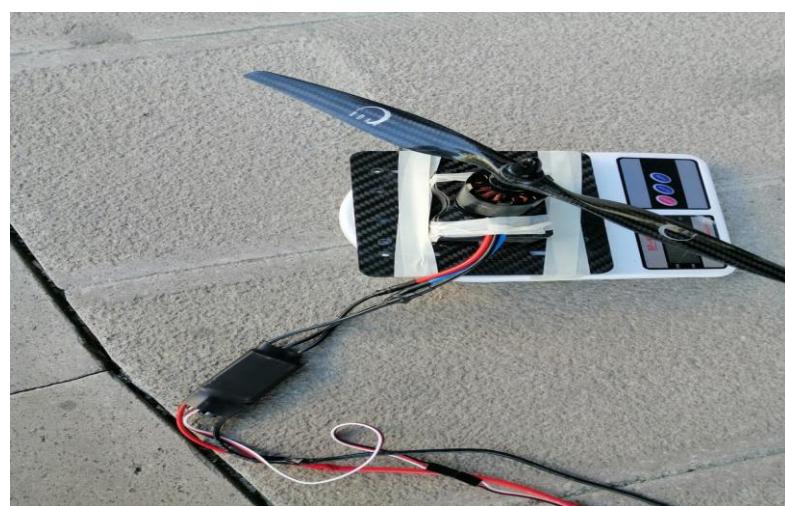
8.1.1 Pervane Balans Testi



Şekil 46: Pervane Balans Testi

Yapılan test sonucunda pervanenin balanslı oldu görülmektedir.

8.1.2 İtki Testi



Şekil 47: Motor İtki Testi

Motor itki sistemi sonucunda motorların İHA' nın kalkış ağırlığını kaldıracak itkiye sahip oldu görüldü.

8.1.3 Yapısal Analizler

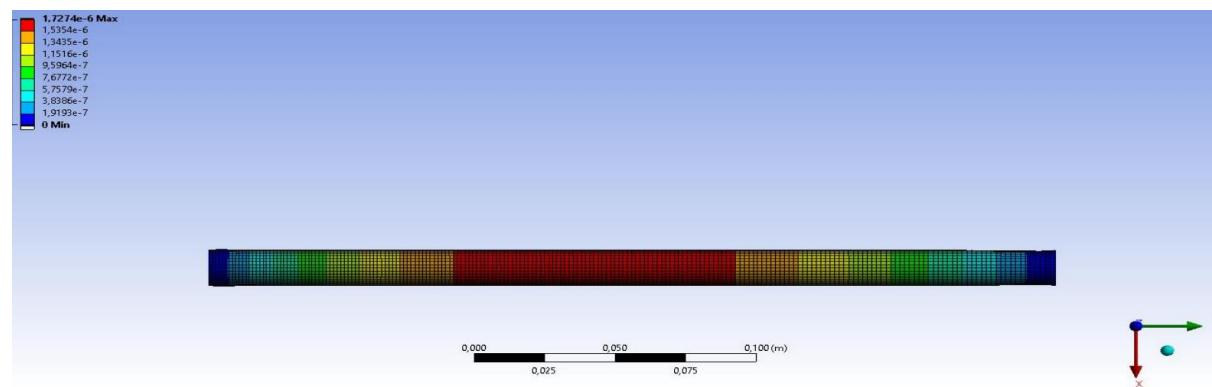


Şekil 48: İHA Yapısal Analiz

İHA'nın görev sırasındaki hareketleri göz önüne alınarak İHA'ya yapısal analiz uygulanmıştır. Yapısal analizin sonucunda İHA'da yapısal olarak bir sorunla karşılaşılmamıştır. Uçuş için seçilen İHA uygundur.

8.1.3.1. Karbon Fiber Borular

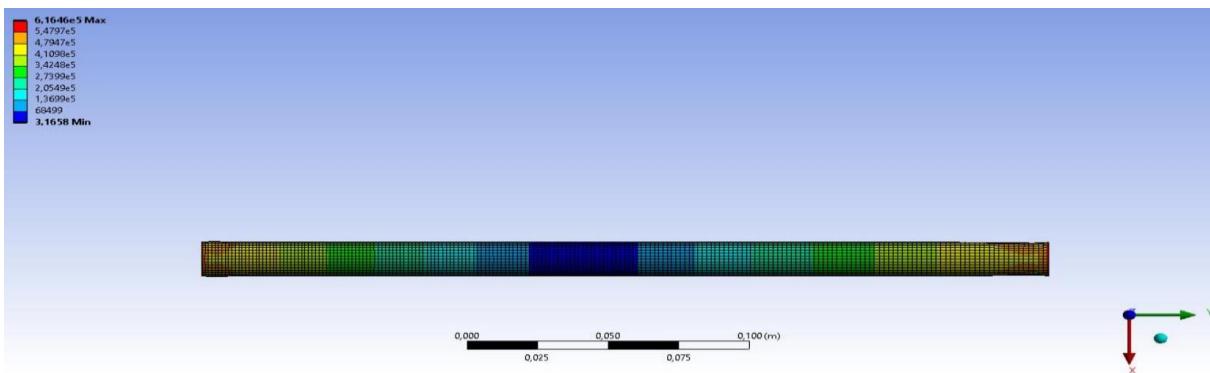
Karbon Fiber Borular Kanatlarda kullanılmak üzere planlanan malzememiz aşağıda gösterilen analiz sonuçları üretici firmadan alınan malzemenin teknik özelliklerine göre uygulanmıştır.



Şekil 49: Karbon Fiber Boru Analiz Sonucu

Karbon fiber boruların iki ucu destek noktası olarak sabitlendiğinde, kalkış ağırlığı 4000 gram olan İHA için deformasyon analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda karbon fiber borunun İHA'nın kalkış ağırlığına dayandığı görülmektedir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 50: Karbon Fiber Boru Eşdeğer Gerilme Sonuçları

Destek noktası olarak iki uç kısmından sabitlenen borumuz eş değer gerilmeler için statik analize sokulmuştur. Analiz sonucunda kalkış ağırlığı 4 kilogram olan İHA için maksimum gerilme miktarını karşıladığı görülmektedir.



Şekil 51: İHA Kanat Yükleme Testi

Yapılan kanat yükleme testinde kanatlara konulan ağırlıklar sonucunda kanatlarda deformasyon olmadığı görülmektedir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

8.1.4 kilitlenme testi



Şekil 52: Kilitlenme Testi

8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi

Tablo 33: Uçuş testi Planlaması

TEST ADI	TEST TARİHİ	SICAKLIK	RAKIM	MAKSİMUM UÇUŞ YÜKEKLİĞİ	TEST SONUCU VE UÇUŞ SÜRESİ
MANUEL UÇUŞ TESTİ	20.06.2022				
MANUEL UÇUŞ TESTİ	22.06.2022				
OTONOM UÇUŞ TESTİ	25.06.2022				
OTONOM UÇUŞ TESTİ	26.06.2022				
OTONOM UÇUŞ TESTİ	01.07.2022				
BATARYA TÜKETİM TESTİ	03.07.2022				
BATARYA TÜKETİM TESTİ	05.07.2022				
YARIŞMA PARKUR TESTLERİ	15.07.2022				
YARIŞMA PARKUR TESTLERİ	19.07.2022				

ÖTR' de tasarlanan sabit kanat İHA nın üretim aşamasında sorunlar çıkması nedeni ile hazır tasarım olan X-UAV Talon' a geçildi. Bu süreçte vakit bulunmamasından dolayı uçuş yapılamamıştır. Şekil tablo 33'te uçuş testi plan tablosu verilmektedir.

8.2.1. UÇUŞ TESTLERİNDEN BEKLENTİLER:

Uçuş ve manevra kabiliyetlerinin incelenmesi.

- Uçuş süresinin hesaplanması
- Kamera görüş alanının tespit edilmesi
- Dalış sırasında İHA'nın hareket kabiliyetlerinin tespit edilmesi
- Kullanılacak algoritmanın çalışma durumunun gözlemlenmesi
- Gps verilerinin hassaslığının belirlenmesi
- Uçuş sırasında 2 İHA uçurarak algılama-tespit ve kilitlenme test sonuçlarının incelenmesi
- Hava aracının iniş sırasında oluşabilecek hasarların incelenmesi

8.2.1.2. UÇUŞ ÖNCESİ KONTROLLER:

- Uçuş öncesi kontrol listesi oluşturarak her uçuş öncesi listenin kontrol edilmesi
- İHA montajının kontrol edilmesi
- Flapların çalışır durumda olduğunun kontrol edilmesi
- Kumanda pilinin ve lipo bataryanın doluluk oranının kontrol edilmesi.
- Lipo bataryanın İHA ile bağlantısının yapılması.
- Batarya konumunun sabit olduğunun test edilmesi.
- Pervane için sağlamlık testinin yapılması
- Eksik veya gevşek vidaların kontrol edilmesi
- İHA' nın dengesinin kontrol edilmesi.
- İHA' nın kalibrasyonunun ve GPS kontrollerinin yapılması.
- Uçuş için çevre kontrollerinin alınması.
- Vericinin açılması.
- Pervanesiz bir şekilde motorun çalıştırılması.
- Flapların kontrol edilmesi.
- Pervanenin kontrol edilip uçuşa başlanması.
- Uçuş sırasında İHA'nın gözden kaybolmasına izin verilmemesi. Sürekli pilotun göz kontrolünde olmasına dikkat edilmesi.

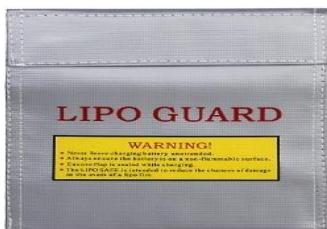
9. GÜVENLİK

9.1. Montaj sırasında alınması gereken güvenlik tedbirleri bu kısımda belirtilmelidir.

- Montaj başlamadan önce çevrenin düzenli olmasına dikkat edilmelidir. Kendimizin ve etrafımızdaki kişilerin güvenli için önlemler alınmalıdır.

- Kontrolcünün yki ve kumandalı bağlantısını kaybetmesi durumunda veya bataryanın güvenli seviye olan %20' nin altına inmesi durumunda fail-safe uçuş moduna girerek kendini indirmesi.
- Delici kesici alet kullanımında koruyucu materyaller (gözlük eldiven) tercih edilmelidir.
- Delici kesici aletler elden ele verilirken dikkat edilmelidir.
- Montaj sırasında kablolarda kopukluk olup olmadığı kontrol edilmelidir.
- Elektrik kaçağı riskini göze alarak sıvı ürünler yakında tutulmamalıdır.
- Lehim ve sıcak silikon tarzı ürünler kullanırken yanmalara karşı eldiven kullanılmalıdır.
- Lehim yapılan ortam sürekli olarak havalandırılmalıdır.
- Atölyede ilk yardım çantası ve yangın söndürme tüpü bulunmalıdır. (Şekil 55-56 'de verildi)
- Atölyede içerisinde yüz maskesi bulunmalıdır. (Şekil 54' de verildi)
- Lipo batarya kullanılmadığı zamanlarda çantasında muhafaza edilmelidir. (Şekil 50' de verildi)

9.2. Atölye Güvenlik Ekipmanları



Şekil 53: Lipo Batarya Çantası



Şekil 54: Siperlik



Şekil 55: İlk Yardım Seti



Şekil 56: Yangın Söndürme Tüpü

10. REFERANSLAR

<https://ardupilot.org/copter/docs/common-thecube-overview.html>

<https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-xavier-nx-devkit>

<https://wandb.ai/cayush/yoloV5/reports/How-are-Your-YOLOv5-Models-Doing---VmlldzoyNjM3MTY>

<https://towardsdatascience.com/how-to-train-a-custom-object-detection-model-with-yolo-v5-917e9ce13208>

<https://store.rfdesign.com.au/rfd-868x-modem/>

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

<https://realpython.com/python-timer/>

U. Nepal, H. Eslamiat “Comparing YOLOv3, YOLOv4 and YOLOv5 for Autonomous Landing Spot Detection in Faulty UAVs”, 2022

S. Grigorescu, Bogdan Trasnea, Tiberiu T. Cocias, G. Macesanu, “A Survey of Deep Learning Techniques for Autonomous Driving”, 2019

<https://sunnyskyusa.com/products/sunnysky-x3525-brushless-motors-520kv-880kv>

https://www.apcprop.com/files/PER3_13x65E.dat

<https://www.towerpro.com.tw/product/mg90s-3/>

<https://www.towerpro.com.tw/product/mg16r-2/>

<http://www.mateksys.com/?portfolio=pdb-xt60#tab-id-13>

https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/problems/George_Curcic/Lift_ans.htm

<https://web.itu.edu.tr/yukseLEN/UCK111/B%F6l%FCm%205-%20U%E7u%FEun%20Esaslar%FD.pdf>