

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

**TAKIM ADI: VEGA**

**YAZARLAR: UĞUR ÇAĞLAR ÇALIŞKAN, FAİK VURAL,**  
**BÜŞRANUR ŞAHİN, FATMA BEYZA GÜNGÖR**

**TEKNOFEST**  
İSTANBUL HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

## İÇİNDEKİLER

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ .....	3
1.1. Sistem Tanımı .....	3
1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri .....	3
2. ORGANİZASYON ÖZETİ .....	4
2.1. Takım Organizasyonu .....	4
2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe .....	5
3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ.....	7
3.1. Nihai Sistem Mimarisi .....	7
3.2. Alt Sistemler Özeti.....	9
3.2.1. İtki Sistemi .....	9
3.2.2. Güç Kaynağı.....	10
3.2.3. Görev bilgisayarı .....	10
3.2.4. Uçuş Kontrol kartı .....	10
3.3. Hava Aracı Performans Özeti .....	11
3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı .....	12
3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı .....	14
4. OTONOM GÖREVLER.....	15
4.1. Otonom Kilitlenme .....	15
4.1.1. İHA Tespit Modülü .....	15
4.1.1.1. YOLO ve KCF'nin birlikte kullanımı.....	16
4.1.2. Rota Tespit Modülü.....	17
4.1.3. Otonom Takip ve Kilitlenme Modülü.....	19
4.2. Kamikaze Görevi .....	22
5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME .....	24
5.1. Hava Aracı – Yer İstasyonu Haberleşmesi .....	24
5.2. Pixhawk – NVIDIA Jetson Nano Haberleşmesi .....	28
5.3. Yer İstasyonu – Yarışma Sunucusu Haberleşmesi .....	28
6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI .....	28
7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU .....	30
7.1. Yapısal Entegrasyon .....	30
7.2. Mekanik Entegrasyon .....	31
7.3. Elektronik Entegrasyon.....	32
8. TEST VE SİMÜLASYON .....	34
8.1. Alt Sistem Testleri .....	34
8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi .....	38
9. GÜVENLİK.....	39
10. REFERANSLAR .....	40

## 1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ

### 1.1. Sistem Tanımı

Yarışma kapsamında tasarlanacak hava aracı otonom kalkış, otonom uçuş ve otonom iniş özelliklerine sahip olacaktır. Hava aracı, kamera ve görev bilgisayarını kullanarak yarışma alanındaki diğer hava araçlarını algılayarak kilitlenecek ve takip edecektir. Burada amaç düşman hava aracını 4 saniye boyunca kamerada belirlenen Hedef Vuruş Alanı içerisinde tutmaktır. Algılanan hava aracının bu bölgede tutulabilmesi için sürekli manevralar yapılacaktır. 4 saniyenin sonunda hava aracı farklı bir hedefi algılayarak aynı işlemleri tekrar edecektir. Bu göreve ek olarak bu sene yarışmaya eklenen, yerde belirlenen bir hedefe kilitlenmeyi içeren kamikaze İHA görevi de yapılacaktır.

Aynı zamanda yarışma boyunca kamera görüntüsü, kilitlenme verileri ve telemetri verileri periyodik olarak yer istasyonuna aktarılacaktır. Hava aracının çoğunlukla otonom uçuş yapması planlanırken, gerektiğinde yer istasyonu ve kumanda ile de kontrol edilebilecektir.

### 1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri

Hava aracının performans değerleri 3. bölümde bahsedilen bileşenler ve mimari referans alınarak hesaplanmıştır. Uçuş süresi ücretli bir internet sitesi olan [www.ecalc.ch](http://www.ecalc.ch) kullanılarak hesaplanmış ve 22.2V 6S 10000 mAh batarya ile yaklaşık 30 dakika havada asılı kalma süresi elde edilmiştir. Karma uçuşta ise hava aracının yapacağı manevralar göz önünde bulundurularak 20 dakika olarak hesaplanmaktadır. Tahmini maksimum hızı ise 94 km/h olarak hesaplanmıştır. Motorların ürettiği itkinin hava aracının ağırlığına oranı ise 1.22'tür [1].

Toplam Ağırlık:	3164 g
Uzunluk:	1000 mm
Kanat Açıklığı:	1718 mm
Tahmini Tutunma Hızı:	37 km/h
Kanat Yüğü:	59g/dm <sup>2</sup>
Tahmini Hız (Yatay):	94 km/h
Tahmini Hız (Dikey):	22 km/h
Tahmini Tırmanma Oranı:	9.9 m/s
Pervaneden Oluşan İtki:	3857 g

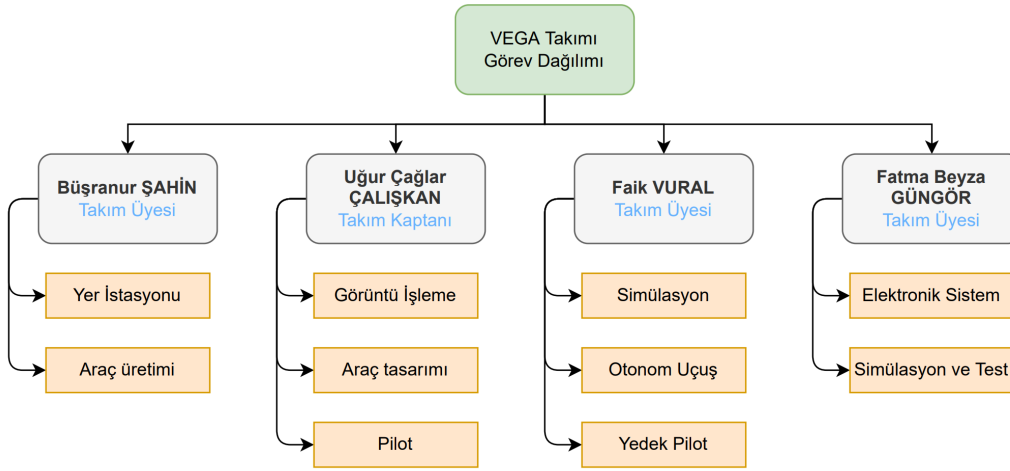
Tablo 1.1. Nihai Performans Özellikleri

Tasarlanan araçta NVIDIA Jetson Nano kullanılması planlanmaktadır. Jetson Nano, görüntü işleme ve yapay zeka işlemleri için 128 GPU çekirdeği barındırmakta ve bu mimari ile 512 GOPS'a kadar işlem yapabilme yeteneği sağlamaktadır. Bu sayede düşman hava araçlarını algılamak için gerçek zamanlı ve yüksek doğrulukla nesne algılama algoritmaları çalıştırılabilecektir [2].

Hava aracından görüntüleri almak için Jetson geliştirici kartı üzerine Raspberry Pi V2 kamera yerleştirilecektir. Bu kamera 8 megapiksel olup 1920x1080 çözünürlükte görüntü vermektedir. Bu kameranın seçilme nedeni CSI porta sahip bir kamera olmasıdır. Bu sayede kameranın sensöründen alınan görüntü işlemciye uğramadan direkt olarak belleğe ulaşmaktadır. Bu da hem performansı arttırmakta hem de gecikmeyi azaltmaktadır. Uçuş kontrol kartı olarak seçilen Pixhawk PX4, 32-bit işlemcisi sayesinde daha hassas ve hızlı işlem yapabilmektedir. Bu sayede hava aracının yaptığı manevralar daha kontrollü ve doğru olmaktadır.

## 2. ORGANİZASYON ÖZETİ

### 2.1. Takım Organizasyonu



Şekil 2.1. Takım organizasyon şeması

**Uğur Çağlar ÇALIŞKAN:** Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği mezunudur (GPA:3.31). Şu an Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Vestel'in yapay zeka yarışmasında da ikincilik elde etmiştir. Lisans bitirme projesinde yapay zeka destekli otonom araba geliştirmiştir. Şu an AYESAŞ'ta yazılım mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir. 2021 Teknofest Savaşan İHA Yarışması'nda Döner Kanat kategorisinde altıncı olmuştur. Yarışma kapsamında takım kaptanlığını ve nesne algılama görevlerini üstlenecektir.

**Faik VURAL:** Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur (GPA:3.20). Türk Hava Kurumu ile birlikte sabit kanatlı insansız hava aracı yaparak bu aracın uçuş kontrol kartı ve yer istasyonunu yazılımını geliştirmiştir. Bitirme projesinde döner kanat İHA ile 3D haritalandırma ve nesne tespiti projesini gerçekleştirmiştir. Şu an HAVELSAN'da eğitim-simülasyon biriminde yazılım mühendisi olarak çalışmaktadır. 2021 Teknofest Savaşan İHA Yarışması'nda Döner Kanat kategorisinde altıncı olmuştur. Yarışma kapsamında simülasyon ve hava aracı ile haberleşme görevlerini üstlenecektir.

## SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

**Büşranur ŞAHİN:** Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliğinden mezundur (GPA:2.96). Şu an Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Yapay zeka ile nesne sınıflandırma üzerine çalışmalar yapmıştır. Şu anda Simsoft Bilgi Teknolojileri'nde yazılım mühendisi olarak çalışmaktadır. 2021 Teknofest Savaşan İHA Yarışması'nda Döner Kanat kategorisinde altıncı olmuştur. Yarışma kapsamında yer istasyonu yazılımını ve hava aracının üretim görevlerini üstlenecektir.

**Fatma Beyza GÜNGÖR:** Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliğinden 2021 yılı haziran ayında mezun oldu (GPA:3.14). Aviyonik yazılım, yapay zeka, görüntü işleme alanlarına ilgi duymaktadır. 2018 yılında Turkcell Geleceği Yazan Kadınlar projesi kapsamında Android mobil yazılım geliştirme eğitimine katıldı. Eğitim ve yarışma sürecinin ardından Turkcell Global Bilgi'de 1.5 sene yarı zamanlı olarak yazılım testi alanında çalıştı. Şu anda BİTES Savunma, Uzay ve Havacılık Teknolojileri firmasında Aviyonik Yazılım Test Mühendisi olarak çalışmaktadır. Yarışma kapsamında elektronik sistem geliştirme ve test görevlerini üstlenecektir.

### 2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe

AŞAMA	Ana İş Paketleri	Alt İş Paketleri	MART				NISAN				MAYIS				HAZİRAN				TEMMUZ				AĞUSTOS			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	
1	Literatür Taraması	IHA Üretimi ve Tasarımı Araştırması	X	X																						
		Nesne Algılama Algoritmalarının Araştırması			X	X	X																			
		Haberleşme İle İlgili Araştırma					X	X																		
		Veri Seti Oluşturulması					X	X																		
2	Nesne Algılama	Veri Setinin Etiketlenmesi					X	X																		
		Modelin Eğitimi için Hazırlanılması							X	X																
		Nesne Algılama Modelinin Eğitilmesi								X	X	X														
		Modelin Test Edilmesi									X	X														
		Geliştirici Kartının Hazırlanması												X												
		Geliştirici Kartı üzerinde Test													X											
		Yarışmaya Uygun Parçaların Temini													X											
3	Montaj	Mevcut İHA üzerinde Parça Değişimi												X												
		Kamera ve Geliştirici Kartı Montajı												X												
		Otonom Kalkış Ve İniş Testi												X	X											
4	Otonom Uçuş	Jetson ile Pixhawk Haberleşme													X											
		MAVLink ile Pixhawk'a Komut Gönderme														X										
		GPS Kullanılarak Belirli Noktalara Gitme														X										
		Havada Araç Algılama Ve Takibi														X	X	X								
5	Görevlere Hazırlık	Sunucuyla Haberleşme Altyapısı															X	X	X							
		Son Testler																			X	X				
																					X	X				

Şekil 2.2. Zaman Akış Çizelgesi

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Bileşen	Açıklama	Maliyet
Gövde	X-UAV Talon 1718mm	4982 TL
Pil	6S 10000mAh	Mevcut
ESC x1 (+1 Yedek)	Skywalker 80A	1200 TL
Motor x1 (+1 Yedek)	Sunnysky X3525 520kV	1900 TL
NVIDIA Jetson Nano		Mevcut
Pixhawk Orange Cube + GPS		9200 TL
Kamera	Raspberry Pi V2 CSI	Mevcut
WiFi AccessPoint x2	Ubiquiti Bullet M5	3000 TL
WiFi Anten	Ubiquiti PowerBeam M5	1810 TL
LİDAR	TF-Mini Plus	900 TL
<b>TOPLAM</b>		22992 TL

Tablo 2.1. Tahmini bütçe

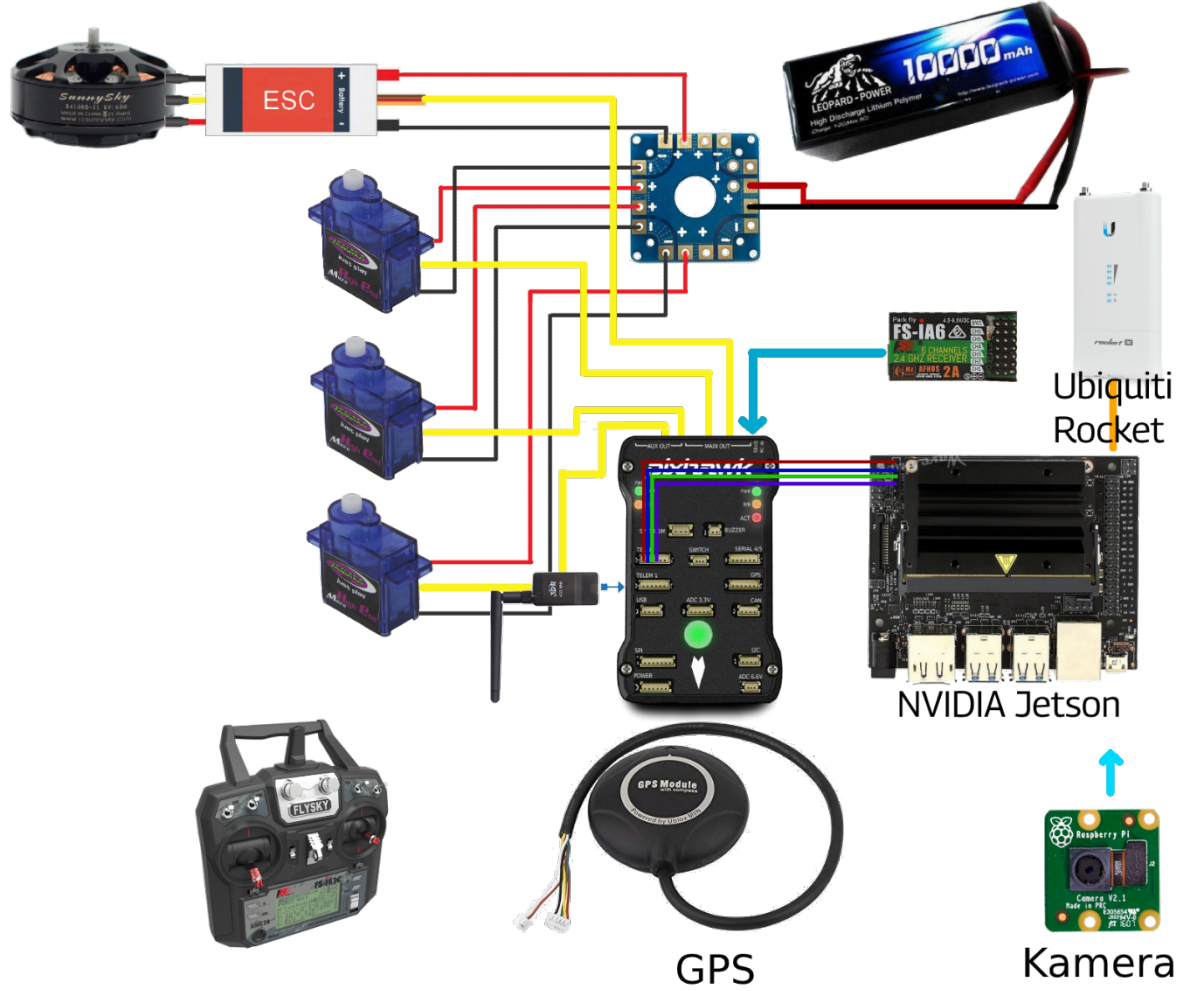
Ön tasarım raporunda yer alan malzeme ve bütçe planlamasına göre birkaç değişiklik yapılmıştır. ÖTR’de belirtilen Pixhawk Orange Cube ve Here GPS yerine takımımızda bulunan Holybro Pixhawk PX4 ve Holybro GPS kullanılmasına karar verilmiştir. Hava aracında kullanılması planlanan ve yer istasyonu ile haberleşmeyi sağlayacak Ubiquiti Bullet M5’in piyasada ulaşılabılır olmaması nedeniyle bunun yerine yine kompakt yapıda olan Ubiquiti Rocket R5AC-Lite kullanılmasına karar verilmiştir. Yer istasyonunda ise AC uyumlu olan Ubiquiti LiteBeam 5AC Gen2 kullanılarak daha yüksek bant genişliği elde edilecektir. Hava aracında kullanılacak WiFi modülüne bütçeye eklenen 12V UBEC ile güç sağlanacaktır. Ayrıca yarışma alanında oluşan gürültü nedeniyle standart telemetri cihazlarının yetersiz olduğu gözlemlenmiş ve uzun mesafe aktarım imkanı sağlayan RFD868x telemetri seti alınmasına karar verilmiştir.

Bileşen	Açıklama	Maliyet
Gövde	X-UAV Talon 1718mm	5581 TL
Pil	6S 10000mAh	Mevcut
ESC x1 (+1 Yedek)	Skywalker 80A	1634 TL
Motor x1 (+1 Yedek)	Sunnysky X3525 520kV	2662 TL
NVIDIA Jetson Nano		Mevcut
Pixhawk Orange Cube + GPS	Mevcut Pixhawk kullanılacaktır.	Mevcut
Kamera	Raspberry Pi V2 CSI	Mevcut
WiFi AccessPoint	Ubiquiti Rocket R5AC-Lite	2760 TL
WiFi Anten	Ubiquiti Litebeam 5AC Gen2	1257 TL
LİDAR	TF-Mini Plus	1150 TL
UBEC	Matek 12V 4A	373 TL
Telemetri Seti	RFD868x	8000 TL
<b>TOPLAM</b>		23417 TL

Tablo 2.2. Kritik tasarım raporu tahmini bütçe

### 3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ

#### 3.1. Nihai Sistem Mimarisi



Şekil 3.1. Kavramsal sistem şeması

**Motor:** Tasarlanan aracın havalandırması için gereken itki Sunnysky X3525 520kV motor tarafından sağlanacaktır. Bu motor hava aracının ağırlığından fazla itki üretebilirken aynı zamanda verimliliği ile uzun uçuş süresi sağlayacaktır.

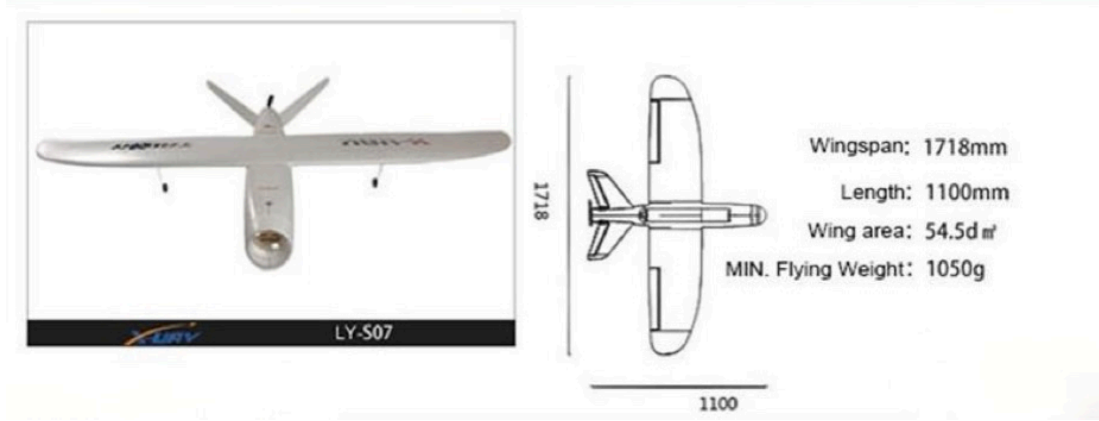
**ESC:** Uçuş kontrol kartından aldığı veriye göre motorların hızını ayarlama için 2-6S Skywalker 80A ESC kullanılacaktır. ESC seçiminde pilin hücre sayısına ve motor tarafından çekilen maksimum akım göz önünde bulundurulmuştur. Benzer değerlerdeki herhangi bir ESC de başarılı bir şekilde çalışabilirken kalitesinden dolayı Skywalker markası seçilmiştir.

**Uçuş Kontrol Kartı (Pixhawk):** Görev bilgisayarından aldığı komuta göre motorlara yön vermede ve sensörleri vasıtasıyla aracın havadaki kontrolünü sağlamada Pixhawk PX4 kullanılacaktır. Maliyet nedeniyle Ön Tasarım Raporu'nda yazılan Pixhawk Cube yerine takımda mevcut bulunan benzer özelliklerdeki Pixhawk PX4 kullanılmasına karar verilmiştir.

**GPS:** Uydu vasıtasıyla, görevlerde hava aracının coğrafi konumunu hesaplama için Holybro GPS kullanılacaktır.

**Frame:** Hava aracı yapısal tasarımının takım tarafından yapılması ile hazır ürün kullanılmasının avantajları ve dezavantajları araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda, aerodinamik ve yapısal açıdan oluşabilecek problemleri en aza indirmek için kanat ve gövdesi hazır bir model seçilerek bunun üzerinde yarışmadaki görevlere uygun geliştirmeler yapılmasına karar verilmiştir. Bu sayede alt seviye sorunlar azaltılarak daha üst seviye geliştirmelere yoğunlaşmak daha kolay olacaktır.

Araştırmalar sonucu yarışma kapsamında X-UAV Talon modeli kullanılması kararlaştırılmıştır. X-UAV Talon, 1718 mm kanat genişliğine sahip arkadan motorlu, üstten kanatlı, V kuyruklu bir uçaktır. Yarışmanın önemli bir parçası olan dog fight (it dalaşı) görevini yapabilmek için kilitlenme kamerasının önde olması gerektiğinden uçağın arkadan motorlu olması önemlidir.



Şekil 3.2. Hava aracının teknik bilgileri

**Kumanda Alıcısı:** Manuel uçuşlarda kumandadan gelen verileri uçuş kontrol kartına aktarmak için FlySky FS-iA10B alıcısı kullanılacaktır.

**Kumanda:** Acil durumlarda pilotun aracı yönlendirmesi için FlySky FS-i6X kumanda kullanılacaktır.

**Kamera:** Düşman hava araçlarını algılamak amacıyla görev bilgisayarına görüntü sağlamak için 1080p video çözünürlüğüne sahip Raspberry Pi V2 kamera kullanılacaktır.

**Görev Bilgisayarı (NVIDIA Jetson Nano):** Düşman hava araçlarına ve kamikaze görevindeki QR koda kilitlenmek için otonom kilitlenme algoritmasını çalıştırmak ve hava aracını yönlendirmek için uçuş kontrol kartının kontrolü NVIDIA Jetson Nano üzerinden yapılacaktır.

**Pil:** Pil seçiminde verimliliğin yüksek olması için hücre sayısının yüksek olması tercih edilmiştir. [www.ecalc.ch](http://www.ecalc.ch) üzerinden hesaplamalara göre müsabaka süresince uçuş sağlamak için 6S 10000mah LiPO batarya seçilmesi uygun görülmüştür. Takımımız tarafından Teknofest 2021 Savaşan İHA yarışması'nda kullanılan pil kullanılacaktır.

**WiFi:** Hava aracı ile yer istasyonu arasında görüntü ve kilitlenme verilerinin aktarımı için 5 GHz frekansında Ubiquiti WiFi cihazları kullanılacaktır. Yer istasyonunda uzun mesafe yayın yapabilen Ubiquiti Litebeam 5AC Gen2 kullanılırken; hava aracında ise hafif ve kompakt yapısından dolayı Ubiquiti Rocket R5AC-Lite kullanılacaktır. Ön Tasarım Raporu'nda hava



aracı üzerinde Ubiquiti Bullet M5 kullanılması planlanırken stoklarının olmaması ve Rocket modelinin AC desteğiyle daha yüksek bant genişliği sunması nedeniyle bu modelin kullanılması tercih edilmiştir.

**LİDAR:** Otonom iniş ve otonom kalkış görevlerinde hava aracının yere olan uzaklığını daha hassas ölçmek ve yumuşak bir iniş yapmak için hava aracında TF-Mini Plus LİDAR kullanılmasına karar verilmiştir. Bu modelin seçilmesinin nedeni uygun fiyatlı olması ve ışık hassasiyetinin daha yüksek olmasıdır.

**Telemetri Sistemi:** Yarışma alanında diğer takımların kullandığı cihazların oluşturduğu gürültü nedeniyle veri aktarımında sinyal ve mesafe kaybı yaşanmaktadır. Bunun önüne geçmek için ÖTR’de kullanılması planlanan 433 MHz telemetri modülleri yerine uzun mesafe RFD868x telemetri seti kullanılmasına karar verilmiştir.

### 3.2. Alt Sistemler Özeti

#### 3.2.1. İtki Sistemi

Tasarlanan hava aracı için motor seçimi yapılırken 3 kriter uygulanmıştır. Bunlar uzun süre havada kalması için verimli bir motor olması, gerektiğinde hava aracına manevra kabiliyeti sağlayabilmesi ve aracı rahatça havalandırabilecek itki gücüne sahip olmasıdır. İlk olarak hava aracının müsabaka boyunca yani 15 dakikadan fazla havada kalması gerektiğinden daha verimli olan düşük kV değerli motor ve buna uygun büyük pervane tercihi öne çıkmıştır.

İkinci olarak hava aracının yaklaşık ağırlığı hesaplanarak buna uygun motorlar araştırılmıştır. Aracın tahmini ağırlığı 3164g olarak hesaplanmıştır. Motorun oluşturduğu itkinin, İHA’nın ağırlığından fazla olacak şekilde belirlenmesine özen gösterilmiştir. Seçilen motor %100 gazda aracın 1.2 katından fazla itki üreterek düşman hava araçlarını takip ederken gerektiğinde yüksek manevra yapabilmesini sağlayacaktır. Bu kapsamda, olabilecek birkaç motor ve özellikleri Tablo 3.1’de karşılaştırılmıştır.

Motor	Voltaaj (Hücre)	Maks. İtki (g)	Pervane	Maksimum Akım (A)
Turnigy Propdrive V2 3536 910kV	3-4S	2160	11x5	38
<b>Sunnysky X3525 520kV</b>	<b>4-6S</b>	<b>4001</b>	<b>13x6.5</b>	<b>48</b>
Sunnysky X3525 720kV	4-5S	5050	13x6.5	69

Tablo 3.1. Motorların karşılaştırılması

İtki ve çektiği akım hesaba katıldığında Sunnysky X3525 520kV motorunun kullanımı planlanmaktadır. Seçilen motora ait veriler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Pervane	Voltaj(V)	Akım(A)	İtki(g)	Güç(W)	g/W	Sıcaklık
APC13*6.5	22.2	2.4	500	53.28	9.384384384	77°C
		6	1000	133.2	7.507507508	
		10.6	1500	235.32	6.374298827	
		16.4	2000	364.08	5.493298176	
		24.7	2600	548.34	4.741583689	
		37.8	3500	839.16	4.170837504	
		45.9	3950	1018.98	3.876425445	

Tablo 3.2. Sunnysky X3525 520kV test verileri

### 3.2.2. Güç Kaynağı

Pil seçiminde hem kapasite hem voltaj önemlidir. Pil voltajının motor voltajıyla uyumlu olması gerekmektedir. Ayrıca voltaj yani “S” arttıkça daha motorlar daha çok itki üretebilirken ve verimlilik artarken diğer taraftan pilin ağırlığı da artmaktadır. Bu unsurlar göz önünde bulundurularak pilin 22.2V (6S) olması uygun görülmüştür. Motorların gücü ve İHA'nın ağırlığı hesap edildiğinde 10000 mAh kapasiteli batarya yaklaşık 25 dakikalık uçuş süresi sağlayarak görevlere uygun olmaktadır.

### 3.2.3. Görev bilgisayarı

Tasarlanan hava aracında otonom kilitlenmeyi gerçekleştirmesi için NVIDIA Jetson Nano geliştirici kartı kullanılması planlanmaktadır. Bu kart 4 çekirdekli ARM işlemciye ve 128 Maxwell çekirdeği içeren bir GPU'ya sahiptir. Bu özellikleri sayesinde gerçek zamanlı nesne algılama algoritmalarını başarılı bir şekilde çalıştırabilmektedir. Ayrıca 4 GB RAM bulundurmaktadır. Geliştirici kartı üzerinde kilitlenme görevlerinde kullanılacak kamera bağlantısı için CSI portu bulunmaktadır.

### 3.2.4. Uçuş Kontrol kartı

Uçuş kontrol kartı olarak Pixhawk kullanımı tercih edilecektir. Pixhawk, açık kaynak kodlu olan ArduPilot yazılımını içerir ve yer istasyonu yazılımı olarak Mission Planner kullanımına imkan tanır. 32-bit mikro denetleyici sayesinde yüksek işlem gücüne sahiptir. 3 eksen jireskop, 3 eksen ivmeölçer ve barometre gibi sensörleri hâlihazırda bulundurur. Bu sayede daha stabil uçuşlar gerçekleştirmeye olanak tanır. Tasarlanacak uçak için stabil ve dengeli uçuş sağlaması sayesinde en iyi uçuş kontrol kartıdır. Telemetri ve harici sensörlerle uyumludur. Motorların kontrolü için ESC'lere bilgi sağlar. Ayrıca Jetson Nano ile kolay bağlantı kurulması sayesinde otonom uçuşun planlanması, görevler için nesne tanıma gibi işlemler Jetson Nano üzerinden gerçekleştirilerek Pixhawk'a komut gönderilebilir. Jetson ile Pixhawk arasındaki bağlantı telemetri portu üzerinden kurulacaktır. İki cihaz arasında MAVLink protokolü kullanılarak iki yönlü haberleşme olacaktır.

### 3.3. Hava Aracı Performans Özeti

Hava aracının genel performansını hesaplamak için, ücretli bir site olan [www.ecalc.ch](http://www.ecalc.ch)'dan faydalanılmıştır. Bu site, çoğu motor, pervane verilerini içermekte ve seçilen özelliklere göre performans hesaplaması yapmaktadır.



Şekil 3.3. Hava aracının genel performansı

Şekil 3.1'de hava aracının uçuş süresi, motorların tahmini sıcaklığı, itki-ağırlık oranı gibi bilgiler gözükmemektedir. Bu hesaplamalara göre hava aracı ideal koşullarda ve sakin sürüşte 20 dakikaya kadar havada kalabilecek performansa sahiptir. Ancak araç yarışma boyunca sabit şekilde havada kalmayacağı için bu süre biraz daha düşecektir. Daha detaylı hesaplamalar Şekil 3.2'de verilmiştir. Ayrıca motorların sıcaklığı ve itki-ağırlık oranı ideal gözükmemektedir.

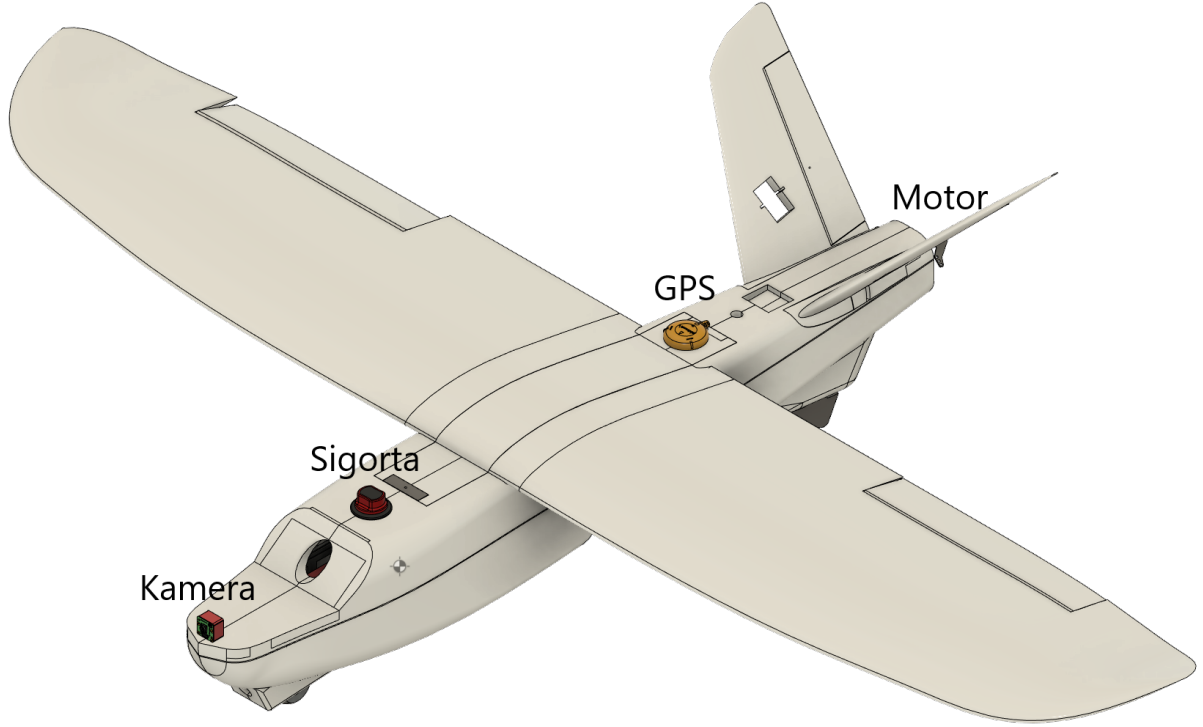
Batarya		Motor @ Maks.		Pervane		Uçak	
Yükle:	4.62 C	Akım:	46.20 A	Statik İtki:	3857 g	Toplam Ağırlık:	3162 g
Gerilim:	21.62 V	Gerilim:	21.46 V		136 oz		111.5 oz
Anma Gerilimi:	22.20 V	Devir*:	10018 dev/dak	Devir*:	10018 dev/dak	Kanat Yükü:	59 g/dm <sup>2</sup>
Enerji:	222 Wh	Elektriksel Güç:	991.2 W	Tutunma İtkisi:	- g		19.3 oz/ft <sup>2</sup>
Toplam Kapasite:	10000 mAh	Mekanik Güç:	884.0 W		- oz	Cubik Kanat Yükü:	8.0
Kullanılan Kapasite:	8500 mAh	Verim:	89.2 %	Kullanılabilir İtki @ 0 km/h:	3857 g	Tahmini Tutunma Hızı:	37 km/h
Min. Uçuş Süresi:	11.0 dakika	Tahmini Sıcaklık:	56 °C	Kullanılabilir İtki @ 0 mph:	136 oz		23 mph
Sabit Uçuş Süresi:	20.1 dakika		133 °F	Yunuslama Hızı:	99 km/h	Tahmini Hız (yatay):	94 km/h
Ağırlık:	1482 g				61 mph		58 mph
	52.3 oz	<b>Wattmetre</b>		Tip Hızı:	624 km/h	Tahmini Hız (dikey):	22 km/h
		Akım:	46.2 A		388 mph		14 mph
		Gerilim:	21.62 V	İtki:	3.89 g/W	Tahmini tırmanma oranı:	9.9 m/s
		Güç:	998.8 W		0.14 oz/W		1953 ft/min

Şekil 3.4. Hava aracının detaylı performansı

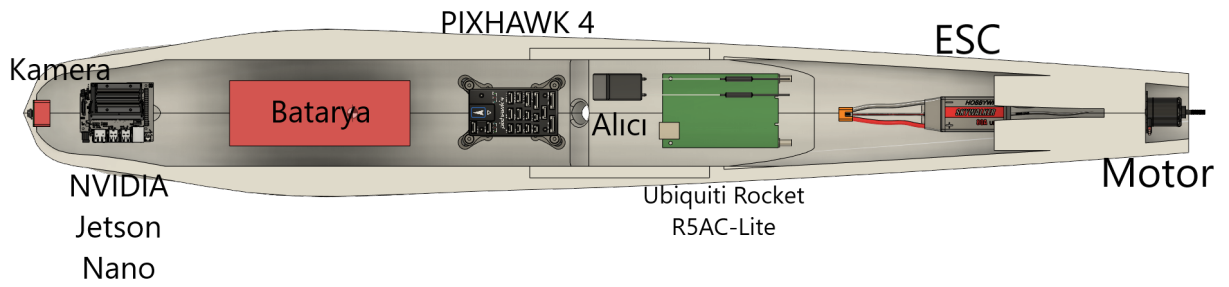
Şekil 3.2'de hava aracıyla ilgili daha detaylı bir incelemeye yer verilmiştir. Buna göre en optimum uçuşta (aracın havada asılı durması) motor tarafından 33 amper akım çekilmekte ve çok verimli bir uçuşa 20 dakika uçuş süresi elde edilmektedir. Maksimum güçte ise motor tarafından çekilen akım 46 ampere kadar ulaşmakta ve uçuş süresi yaklaşık 13 dakika olarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar ışığında hava aracı, müsabakayı tamamlamak için yeterli gözükmemektedir. Bu hesaplamaların tümüne uçuş bilgisayarı gibi tüm elektronik bileşenlerin çekeceği akım da dahildir.

Uçuş süresi hesaplamalarda yeterli gözükse de her olasılığa karşı batarya seviyesi otomatik olarak izlenecektir. Batarya doluluk oranı yaklaşık %30-40 seviyesine indiğinde uçuş bilgisayarı tarafından uçuş süresinin yetmeyeceği hesaplanırsa, hava aracının agresifliği azaltılacak ve daha küçük hareketler yapması sağlanacaktır. Böylelikle otonom kilitlenme görevine devam edilebilirken gerekli uçuş süresi de garanti altına alınmış olacaktır.

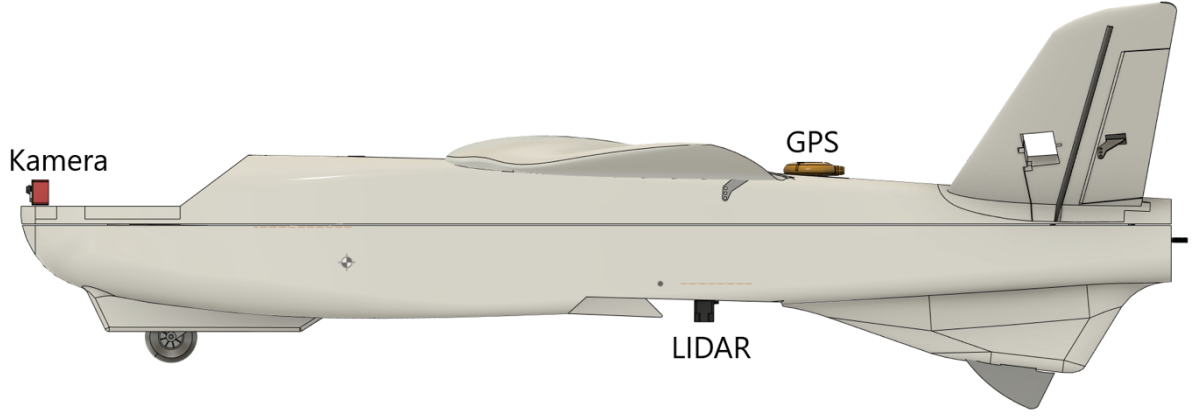
### 3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı



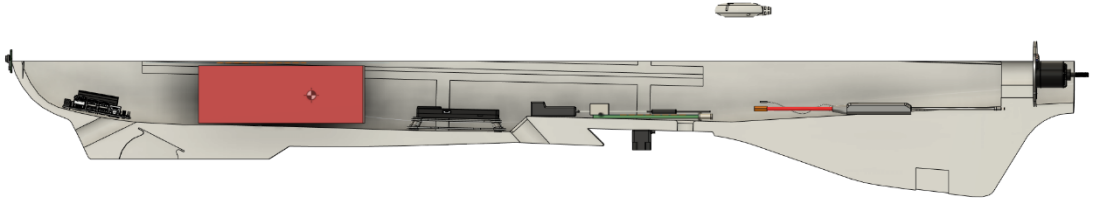
Şekil 3.5. Hava aracının 3 boyutlu modelinin dış görünümü



Şekil 3.6. Gövdenin 3 boyutlu üstten kesiti



Şekil 3.7. Hava aracının 3 boyutlu modelinin yandan görünümü



Şekil 3.8. Gövdenin 3 boyutlu yandan kesiti

### 3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı

Hava aracı tasarlanırken alt sistemlerin konumları; ağırlık merkezi, ön taraftan bakıldığında kanatların başlangıç noktasının 5-6 cm ilerisinde olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu nokta, X-UAV Talon modelinin olması gereken ağırlık merkezidir. Motor arkaya yerleştirilirken, kamera önde olacağı için buna bağlı olan NVIDIA Jetson Nano görev bilgisayarının da öne yerleştirilmesi tercih edilmiştir. TF-Mini Plus Lidar ise yere olan uzaklığı algılayabilmesi için hava aracının orta-alt konumuna yerleştirilmiştir.

Bileşen	Açıklama	Ağırlık (g)
Frame	X-UAV Talon	1050
Pil	6S 10000mah	1250
ESC	Skywalker 80A	82
Motor	Sunnysky X3525 520kV	243
9g Servo x2		20
17g Servo x2		40
NVIDIA Jetson Nano		77
Pixhawk		50
Ubiquiti Rocket R5AC-Lite		250
Diğer bileşenler	Veri Link cihazları, GPS...	100
<b>TOPLAM</b>		<b>3162</b>

Tablo 3.3. Hava aracındaki bileşenlerin ağırlıkları

Sistemdeki en ağır bileşen pil olduğu için pilin konumu ağırlık merkezi açısından büyük önem arz etmektedir. Pilin birkaç milimlik ileri veya geri gitmesi ağırlık merkezini büyük oranda değiştirebilmektedir. Bu nedenle, her ne kadar üç boyutlu tasarımda ağırlık merkezi hesaplanarak yerleştirilse de hava aracının entegrasyonunda hava aracı bir düzeneğe ile kanat bölgesinden askıya alınacak ve ağırlık merkezi istenilen noktaya kadar pil ileri geri hareket ettirilecektir.

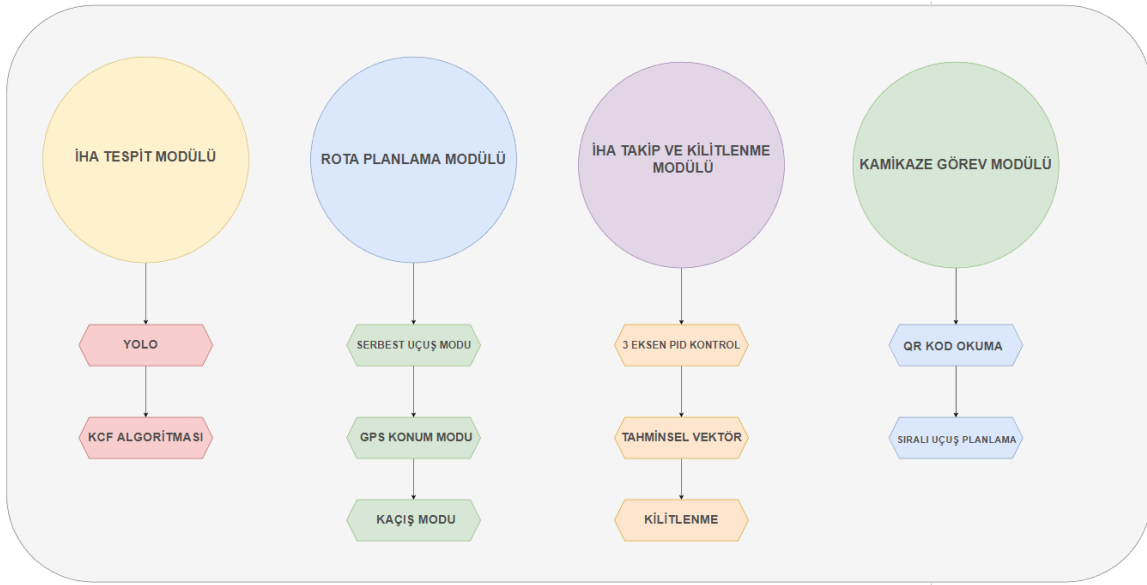
Bileşen	Ağırlık (g)	Ağırlık Merkezine Dikey Uzaklık	Ağırlık Merkezine Yatay Uzaklık (mm)
Pixhawk	50	9 mm	0 mm
Jetson Nano	77	375 mm	0 mm
Kamera	3	474 mm	0 mm
Ubiquiti Rocket R5AC-Lite	250	-185 mm	0 mm
ESC	82	-424 mm	0 mm
Motor	243	-590 mm	0 mm
Pil	1250	195 mm	0 mm
LIDAR	11	168 mm	0 mm
GPS	68	-278 mm	0 mm
Alıcı	15	-75 mm	24 mm

Tablo 3.4. Hava aracındaki bileşenlerin ağırlık dağılımları

## 4. OTONOM GÖREVLER

### 4.1. Otonom Kilitlenme

Otonom kilitlenme, Savaşan İHA yarışmasının en zor ve kritik görevlerinden biridir. Otonom kilitlenme için geliştirilen algoritmalar takımlara özgüdür. Yarışmadaki görevleri gerçekleştirebilmek için geliştirilen yazılım, İHA tespit, Rota Planlama, Otonom kilitlenme ve Kamikaze Görevi olarak 4 bölümde ele alınmıştır. İlk bölümde; YOLOv5 kullanılarak eğitilen yapay zeka modeli ile İHA tespiti yapılmıştır. Ayrıca OpenCV KCF algoritması kullanarak tespit algoritması geliştirilmiştir. Rota planlama modülü ile serbest uçuş modu, GPS konumuna gitme modu ve kaçış modu modellenmiştir. İHA takip ve kilitlenme modülünde; İHA tespit modülünden gelen görüntü işleme verisine göre 3 eksenli (Yaw, Pitch ve mesafe) PID kontrol mekanizması çalıştırılarak hedef İHA'nın takip edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca hedef uçağın gideceği vektör tahmini olarak hesaplanarak modülün başarı oranı arttırılmaya çalışılmıştır. Son modül olan Kamikaze görev modülü diğer üç modülden farklı çalışmakta ve özelleştirilmiş bir modüldür. QR kodun bulunduğu konuma gidilerek 30 metreye kadar dalış gerçekleştirilecek ve QR kod okunarak, içeriği sunuculara gönderilecektir.

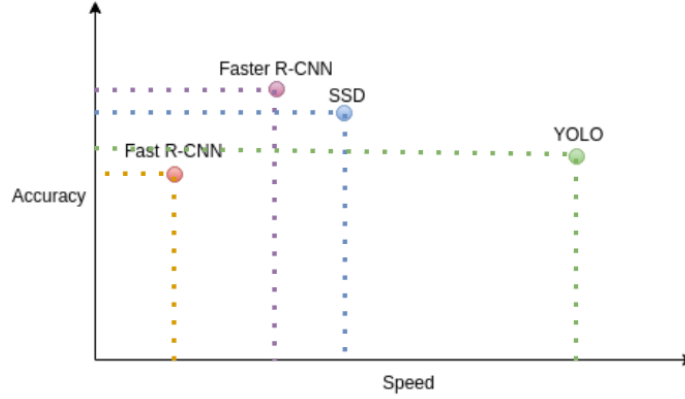


Şekil 4.1. Otonom kilitlenme için geliştirilen modüller

#### 4.1.1. İHA Tespit Modülü

Bu modül, iki alt bölüme ayrılmıştır ve farklı teknolojiler kullanılarak hedef İHA'ların yüksek doğrulukta tespit edilmesi amaçlanmıştır. İHA tespiti için en çok kullanılan nesne tespit algoritmaları araştırılmış ve test edilmiştir. Burada YOLO, SSD ve Faster R-CNN olmak üzere üç algoritma öne çıkmaktadır. YOLO ve SSD algoritmaları tek zamanlı algılama yaptığı için yüksek performanslı ve gerçek zamanlı çalışmaya uygundur. Faster R-CNN algoritması ise YOLO ve SSD algoritmasına göre daha yüksek başarı gösterirken FPS'i oldukça düşüktür. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi R-CNN algoritmaları en yüksek doğruluk oranını vermekte ancak

hız olarak diğer algoritmalara göre daha düşüktür. YOLO ise diğer algoritmalarından yaklaşık 2 kat hızlı çalışmaktadır. Çalışma hızı ve başarı oranına bakıldığında YOLO algoritmasının kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 4.2. Nesne algılama algoritmaları performans karşılaştırması

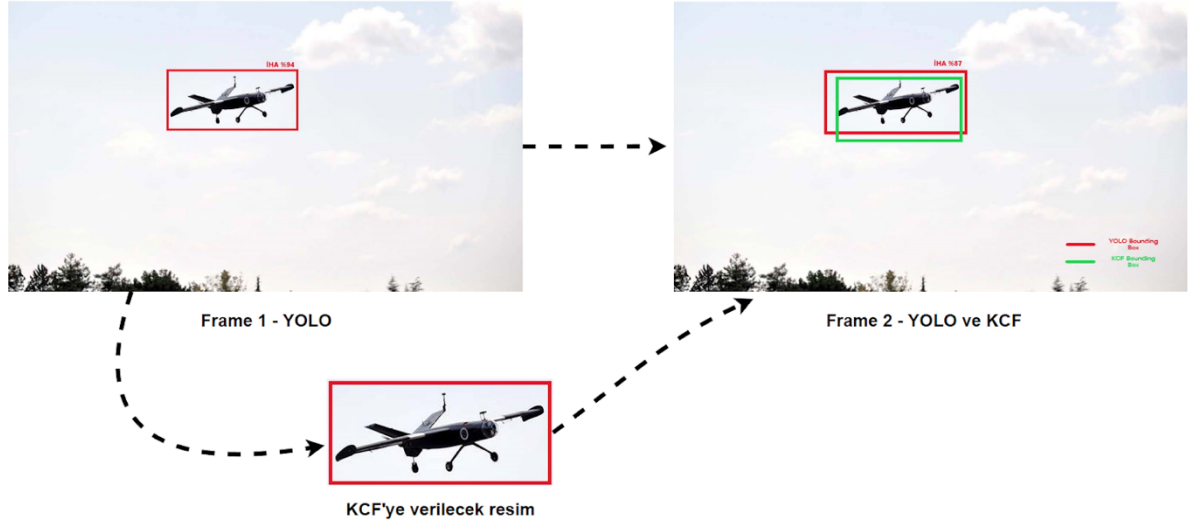
YOLO, evrimsel sinir ağlarını (CNN) kullanarak nesne tespiti yapan bir algoritmadır. CNN algoritması kendisine verilen resim setinden öğrenme yaparak nesne tespiti yapmayı amaçlar. Veri seti farklı uçak modelleri kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan veri setinin içeriği YOLO algoritmasının nesne tespit doğruluğu için oldukça önemlidir. Farklı ışıklar, farklı model uçaklar, ve veri setindeki resim sayısı başarı oranını direkt olarak etkilemektedir. Oluşturulan veri setinde bahsedilen kriterlere dikkat edilmiştir ve yüksek başarı oranı yakalanmıştır. Ancak YOLO algoritmasının tek başına kullanımı yetersizdir. Çünkü YOLO algoritması, her frame'de İHA'yı tespit edemeyip uçak olmayan nesnelere uçağa benzetebilmektedir. Bu noktada modülün başarı gücünü artırmak için OPENCV kütüphanesindeki KCF takip algoritmasının kullanımında karar kılınmıştır. KCF algoritması korelasyon filtreleme tekniğini uygulayarak nesneyi takip etmektedir. Bu algoritma, boosting ve MIL algoritmalarından yararlanarak tespit edilen nesneyi sonraki frame'lerde filtreleyerek bulma ve takip etme işlemini gerçekleştirir. KCF algoritmasının en güçlü yanı yüksek performans vermesidir. YOLO ile birlikte kullanıldığında her frame'de yüksek başarı oranı elde edilmektedir. Ancak KCF algoritmasında nesne bulunmadığında algoritma durdurulmaktadır [3, 4].

#### 4.1.1.1. YOLO ve KCF'nin birlikte kullanımı

İHA Tespit Modülünün geliştirilmesi amacı ile YOLO ve KCF algoritmaları aynı anda kullanılarak yüksek başarı elde edilmeye çalışılmıştır. KCF algoritmasının nesne takibi yapabilmesi için nesnenin resminin algoritmaya input olarak verilmesi gerekmektedir. Bu nedenle ilk olarak YOLO algoritması çalıştırılarak nesne tespiti yapılır. Bulunan nesnenin doğruluk oranı %90 üzerinde ise bulunan nesnenin sınırlayıcı kutusu(resmi) KCF algoritmasına verilir. Bir sonraki frame'de ise hem YOLO hem de KCF algoritması birlikte çalıştırılır. Aşağıdaki resimde görüldüğü üzere, kırmızı çerçeve YOLO'ya ait, yeşil çerçeve ise KCF



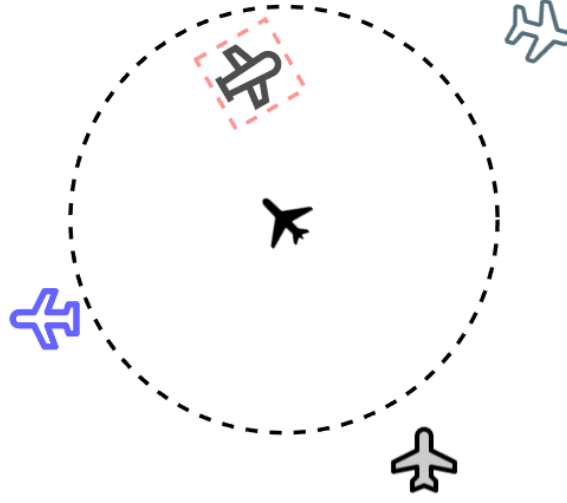
algoritmasına aittir. Bulunan bu iki çerçeve karşılaştırılıp, aynı nesne üzerinde olup olmadığına bakılır. Eğer bu iki çerçeve aynı nesne üzerinde ise takip edilmek istenen nesne başarılı bir şekilde bulunmuştur. Nesnenin resimde bulunmadığı durumlarda algoritmanın durması, KCF algoritmasının en büyük eksiğidir. KCF algoritmasının durması halinde YOLO'dan %90 üzerinde başarı oranı olan nesnenin resmi algoritmaya verilerek tekrar başlatılmaktadır. İki algoritmanın aynı anda kullanılmasıyla yüksek başarı oranına ulaşılmış ve sistem kararlılığı artırılmıştır. YOLO jetson üzerindeki GPU'yu kullanırken, KCF algoritması CPU'yu kullanmaktadır ve kaynaklar eşit şekilde kullanılarak darboğaz yapılması engellenmiştir.



Şekil 4.3. YOLO & KCF ortak çalışması

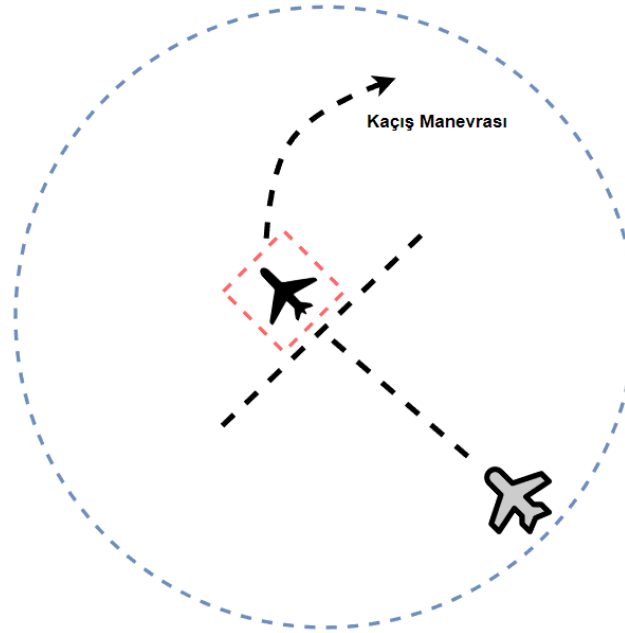
#### 4.1.2. Rota Tespit Modülü

İnsansız hava aracının kilitlenme görevini başarılı bir şekilde yapabilmesi için rakip İHA'lara, doğru açıdan yaklaşması gerekmektedir. Doğru açıdan yaklaşması için rota planlama modülü geliştirilmiştir. Rota planlama modülü serbest uçuş, GPS konumuna göre hesaplama ve kaçış modu olarak 3 ana başlıkta toplanmıştır. Serbest uçuş modunda uçağımız belirtilen uçuş alanında önceden belirlenen rotada hareket edecektir. Belirlenen rota her yarışma seansında Mission Planner üzerinden güncellenerek uçağa yüklenecektir. Bu sayede her seansta aynı rota takibi yapılmasının önüne geçilecektir.



Şekil 4.4. Telemetri verisinden en yakın İHA tespiti

GPS tabanlı konum bulma modülü uçağımızı merkez alan bir daire çizmektedir. Bu daire içine, sunucudan gelen uçakların konumları simüle edilmiştir. Bu alan içerisinde olup uçağımızın gidiş rotasındaki en yakın hedef uçak kilitlemek üzere seçilmektedir. Şekil 4.4'te uçağın çemberi ve kilitlemek üzere hedef alınan rakip İHA kırmızı alan ile işaretlenmiştir. Seçilen İHA'ya doğru rota planlaması yapılmaktadır. Uçağımız çeyrek daire çizerek hedef İHA'nın arkasına gelecektir. Rotanın tamamlanmasının ardından otonom takip modülü devreye girecektir ve uçağımız kilitlenen hedef İHA'yı takip etmeye başlayacaktır. Eğer uçağımızın algılama alanının içinde herhangi bir hedef uçak bulunmuyorsa, serbest uçuş modunda uçmaya devam edecek ve alana uçak girinceye kadar bu işlem tekrarlanacaktır.

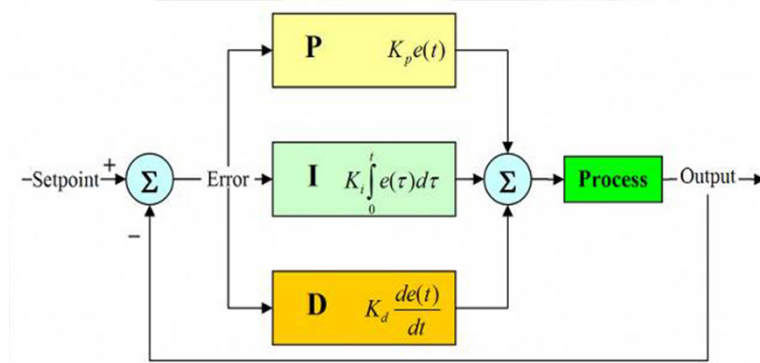


Şekil 4.5. Kaçış manevrası

Hava aracına eklenen başka bir önemli bir özellik de kaçış manevrasıdır. Bu özelliğin amacı düşman İHA'ların uçağımıza kilitlenmesini önlemektir. Kaçış modunun çalışma algoritması şu şekilde olacaktır: Hava aracının arkasına 50 metre uzunluğunda bir vektör çizilmektedir. Sunucudan alınan hedef uçakların konumları 5 sn boyunca bu vektör üzerinde ise hava aracı otomatik ve rastgele şekilde sağa veya sola manevra yapmaktadır. Şekil 4.5'te algoritma görselleştirilmiştir. Uçağımızın arkasına çizilen vektör, kaçış manevrası ve alan gözükmemektedir.

#### 4.1.3. Otonom Takip ve Kilitlenme Modülü

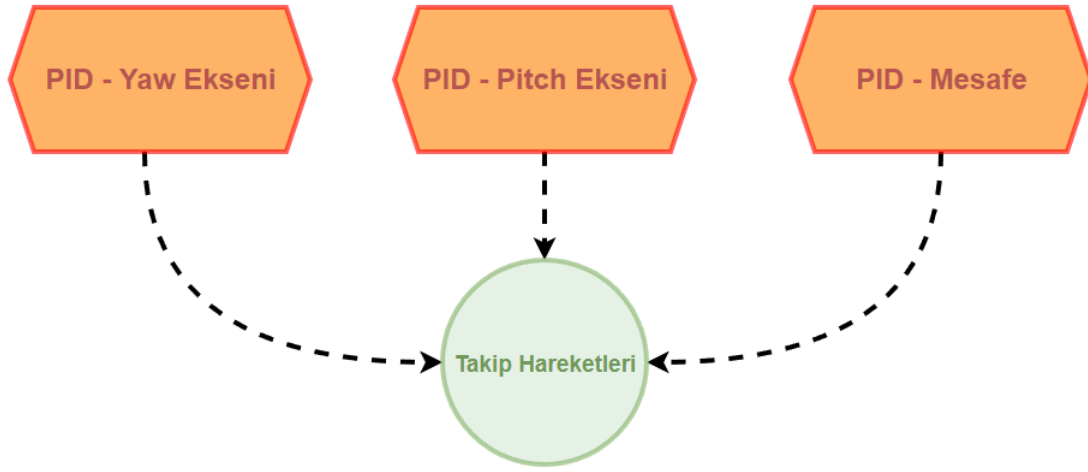
Otonom takip yarışma için en kritik alandır. Bu modülde görüntü işlemeden gelen verilere göre tespit edilen nesneyi takip ve kilitlenmesi yapılmıştır. Gerçek zamanlı nesne takibi oldukça zor bir işlemdir. Bunun için farklı teknikler geliştirilmiştir. İHA tespit modülünden gelen veriye göre tespit edilen nesnenin kameranın orta noktasına getirilmektedir. Tespit edilen nesnenin kameradaki konumu bulunup kameranın ortasına denk getirilmesi için uçağın pitch, roll ve yaw eksenlerinde hareket etmesi gerekmektedir. Örneğin, tespit edilen nesne kameranın sağında ise uçağın sağa doğru hareket etmesi gerekmektedir. Ancak bu hareketi yaparken yumuşak bir şekilde olması gerekmektedir. Bu hareketlerin yumuşak ve yüksek doğrulukta olması için geri beslemeli kontrol fonksiyonları kullanılmaktadır. Geri beslemeli fonksiyonlar geri besleme yolu ile girişe gönderilen sinyali giriş sinyaliyle karşılaştırıp elde edilen hatayı hesaplar. Bu hata değeri 0 değerine ulaşana kadar fonksiyon tekrarlanır. Hedef İHA'ya kilitlenmek ve 3 eksende hareket edebilmek için PID geri beslemeli fonksiyondan yararlanılmıştır. PID (oransal, integral, türev) denetleyici geri beslemeli fonksiyon elektronik, robotik, mekanik cihazlarda oldukça fazla kullanılır. PID fonksiyonu 3 temel kontrol yapmaktadır. Oransal, Türevsel ve İntegral kontrol yapan PID, bu üç kontrolü kullanarak çıktı sinyali oluşturmaktadır.



Şekil 4.6. PID kontrolcüsü

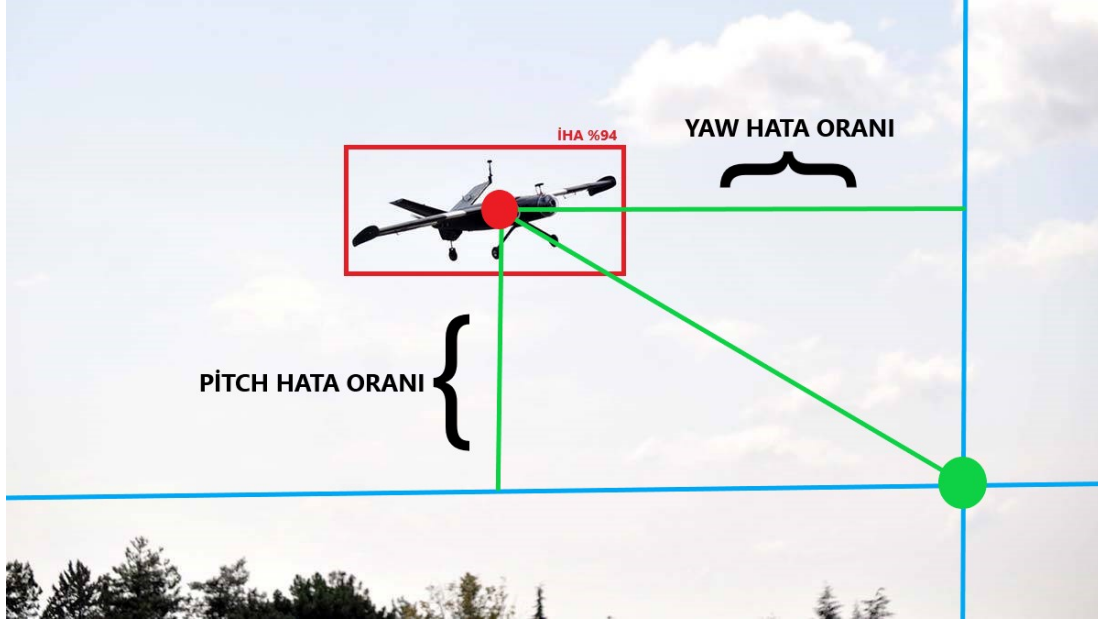
Yukarıdaki resimden de anlaşılacağı üzere sisteme gelen hata P(Oransal), I(Integral) ve D(Türev) kontrollerine girerek çıktıları toplanır ve bu çıktı sisteme sinyal olarak verilmektedir. Her bir kontrol mekanizmasının bir katsayı vardır ve uygulanan matematiksel işlemle çarpılır. Bu değerler  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$ 'dir. Bu kat sayıların değerleri sistemin kararlılığı ve stabil şekilde çalışması için doğru seçilmelidir. Oransal kontrol kolay bir geri bildirim sistemidir. Oransal kontrol, hedef noktayı gerçek değer ile karşılaştırıp elde edilen hata oranını  $K_p$  ile çarpmasıyla bir çıktı verir. Bu işlemle birlikte hata hızlıca iyileştirilir ancak çıktı değerinde salımlı görülmeye başlar. Tek başına oransal kontrol hata değerini sıfıra yaklaştıramaz. Çünkü çıktı

değeri hatanın orantısal olarak tersinin verilmesiyle yapılmaya çalışılır. İntegral işlemi ise elde edilen eski hata değerlerinin kümülatif olarak toplanmasıdır. Toplanan hata değerlerine göre bir çıkış oluşturur ve hata değerinin sıfırlanması çalışılır. Hata, sıfır değerine ulaşana kadar entegre yani toplama işlemi devam eder. Oransal ve integral kontrolleri hata değerinin gelecekteki değerini tahmin edemedikleri için bu noktada devreye türev kontrolcüsü devreye girer. Türev kontrolcüsü hatanın zamana bağlı değişimine bakarak, hata değerinin gelecekteki değişimlerini ön görür. Bu öngörüye göre çıktı oluşturur. Türev son iki hata arasındaki değişime bakarak bir değer oluşturur. Ancak son iki hata değeri arasında bir değişim yoksa çıktı olarak sıfır değerini döndürür.



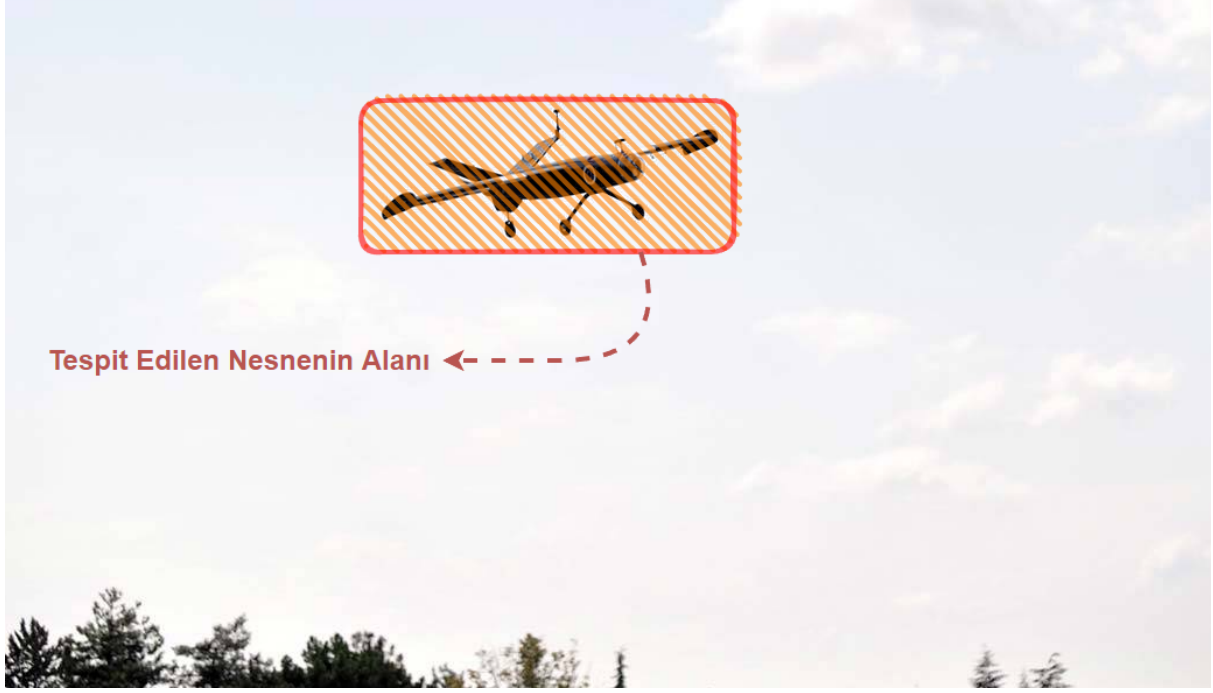
Şekil 4.7. Geliştirilecek PID kontrolcüsü

Hedef İHA takibinde 3 eksenli PID uygulaması yapılacaktır. Yaw yani uçağın sağa sola dönüş için kontrol, Pitch yani uçağın aşağı yukarı hareketi için kontrol ve son olarak hedef İHA'ya yaklaşma ve uzaklaşma için kontrolleri için PID uygulaması yapılmıştır. Yukarıda bahsedilen PID geri beslemeli fonksiyon için hata değeri gereklidir. Uçağın kameranin orta noktasına getirilmeye çalışacağımızdan, Hedef İHA'nın orta noktasının koordinatı ile kameranin orta noktasının X eksenindeki farkı bize hata oranını vermektedir. Aşağıdaki görselde de anlatıldığı üzere, yeşil nokta kameranin orta noktası, kırmızı nokta ise hedef İHA'nın orta noktasıdır. Yaw Hata Oranının ise sağa sola dönüş için uygulanacak PID için girdi hata değeridir. Diğer PID uygulaması olan aşağı yukarı hareket için Pitch hata oranı kullanılacaktır. Pitch hata oranı kamera merkezi ve hedef İHA'nın merkezinin Y eksenindeki farkıdır.



Şekil 4.8. Kontrolcü hata hesaplaması

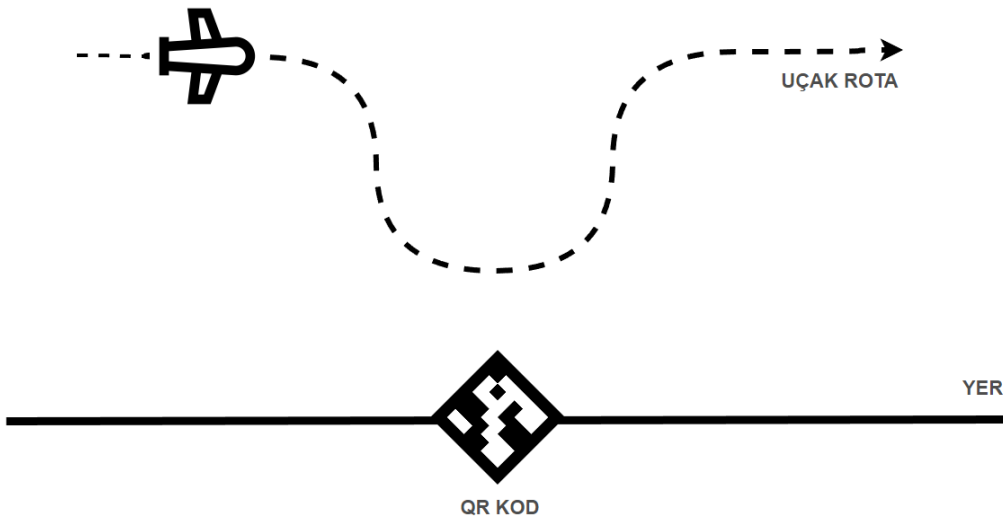
Yaw ve Pitch için yapılan PID kontrolleri hedef İHA'nın kameranın ortasına getirilmesi için uygulanmıştır. Ancak İHA'mızın hedef İHA'ya mesafe olarakta yaklaşıp, uzaklaşması gerekmektedir. Uzakta olan hedeflere yaklaşılmalı, çok yakında olan hedef İHA'lardan uzaklaşılmalıdır. Buradaki PID kontrolünde ise İHA tespit modülünden gelen, tespit edilen nesnenin bounding box kutusunun alanı hata oranı olarak kullanılmıştır. Tespit edilen nesnenin bounding box alanı ne kadar büyükse nesne bize o kadar yakındır. Alan belirlenen alana ulaşıncaya kadar İHA ileri geri yapacaktır. Aşağıdaki görselden anlaşılacağı üzere gelen görüntü içindeki bounding box'ın alanı her frame hesaplanarak, PID'ye verilecektir.



Şekil 4.9. İHA Tespiti

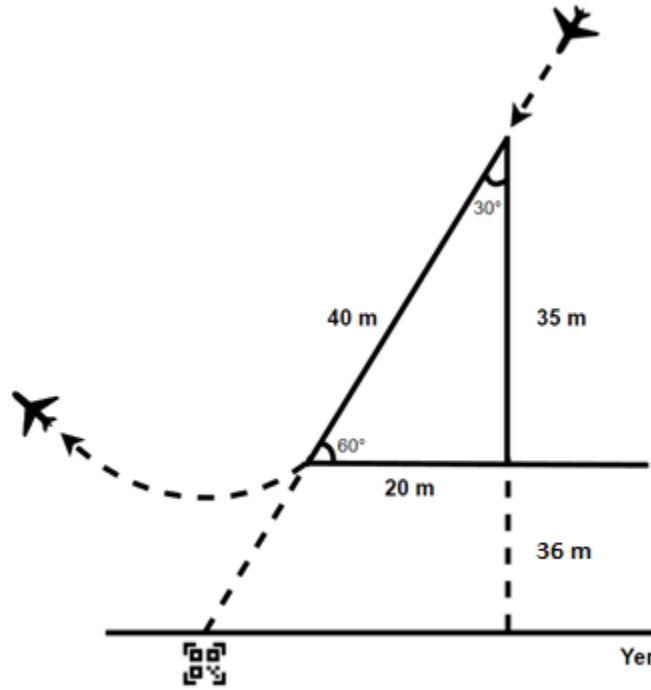
#### 4.2. Kamikaze Görevi

Kamikaze görevi savaşan İHA kategorisini kazanmak için yapılması gereken görevlerden bir tanesidir. Kaza kırma uğrama şansının yüksek olması sebebi ile zor bir görevdir. Kamikaze görevi için otonom kitlenmeden ayrı bir modül geliştirilmiştir. Bu modülün amacı sunucudan gelen QR kod konumuna gitmek ve dalış hareketi yaparak QR kodu okumak, okunan QR koddaki şifreyi sunucuya göndermek ve tekrar yükselmektir. Tabi ki tüm bu işlemler otonom olarak gerçekleşecektir. Şekil 4.10'da yapılacak olan görev anlatılmıştır.



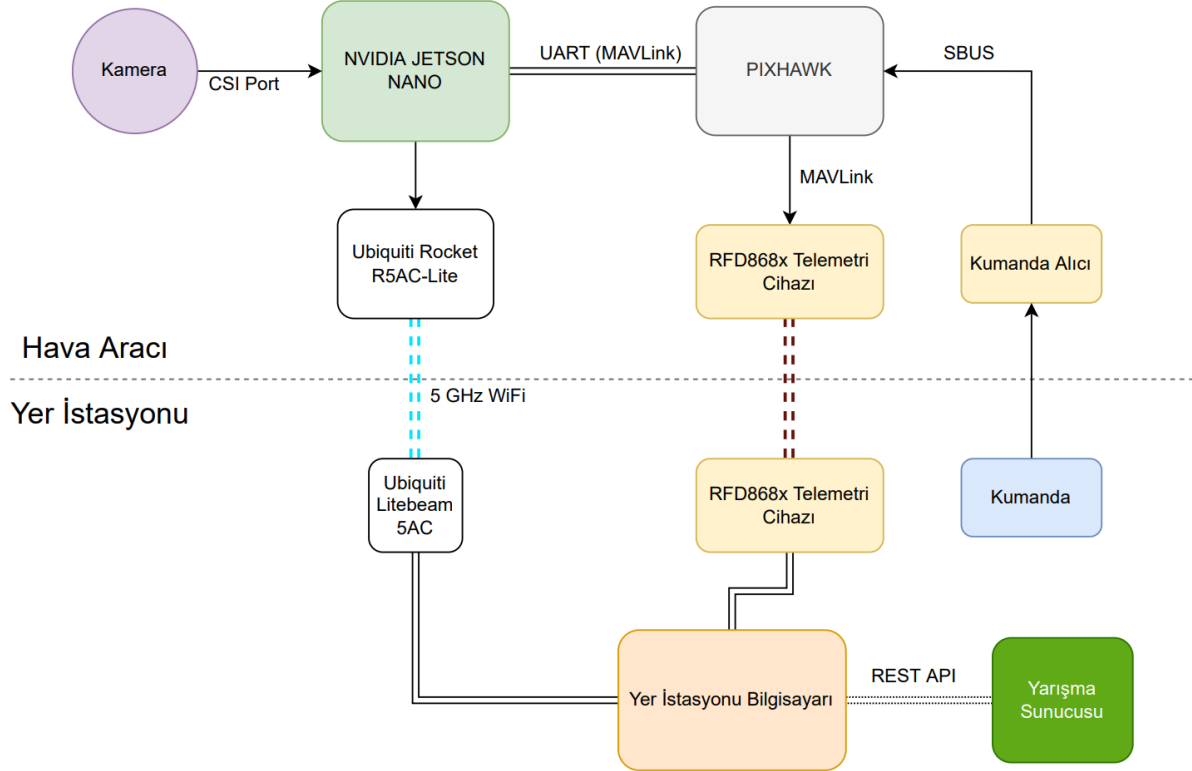
Şekil 4.10. Kamikaze görevi

Kamikaze görevi otonom olarak gerçekleştirilecektir. Hava aracı belirli bir rotada uçarken yer istasyonundan gelen “Kamikaze Görevine Başla” komutunu aldıktan sonra bulunduğu konumdan QR kodun olduğu konuma doğru ilerlemeye başlayacaktır. Konuma yaklaşık 36 metre kala uçağımız 60 derecelik bir hucüm acısı ile QR kodun bulunduğu konuma doğru ilerleyecektir. 60 derece olmasının sebebi QR kod etrafında 45 derecelik plakaların olmasıdır. Bu da görüşü oldukça engellemektedir. 60 derecelik bir açı ile geldiğinde QR kod rahatlıkla okunmaktadır. Ayrıca bu dalış sırasında uçağın uçabileceği en az hızla uçacaktır. Hızlı bir dalış yapıldığında QR kodun okunmaması gibi bir problemle karşılaşabilmektedir. Ayrıca kaza kırımı sebep vermesi muhtemeldir. Yaklaşık olarak 40 metre bir dalışın ardından, uçağımızın önünde bulunan kamera aracılığıyla QR kod okunacak, OpenCV yardımı ile içeriği okunacaktır. Okunan içerik yer istasyonuna gönderilecek oradan da sunucuya aktarılacaktır. Kaza kırım kontrol mekanizması ile uçağın irtifasının 10 metre ve aşağısında olması durumunda, uçak acil olarak yükselmeye başlayacaktır ve ona verilen rotada otonom şekilde uçacaktır. Aşağıdaki resimde yukarıdaki anlatılan uçuş algoritması anlatılmıştır. Uçağın dalış ve görüntü yakalama süresi çok az olacağından performans burada çok önemlidir. Bu sebeple OpenCV’de QR kod kütüphanesi kullanılmış ve QR kod bulunan resimde 0.045 sn gibi kısa sürede QR kodun içeriği okunmuştur. Ayrıca uçağımızın pervanesi arkasında olduğundan, kamera net bir görüntü elde etmiş başarı oranı artırılmıştır. Gazebo simülasyon ortamında yapılan bu algoritma test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca algoritma dinamik olarak yazılmış, sunucudan gelen herhangi bir konumdaki QR koda göre aksiyon alması sağlanmıştır.



Şekil 4.11. Kamikaze görevi dalışı ve pas geçme

## 5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME



Şekil 5.1. Haberleşme sisteminin genel şeması

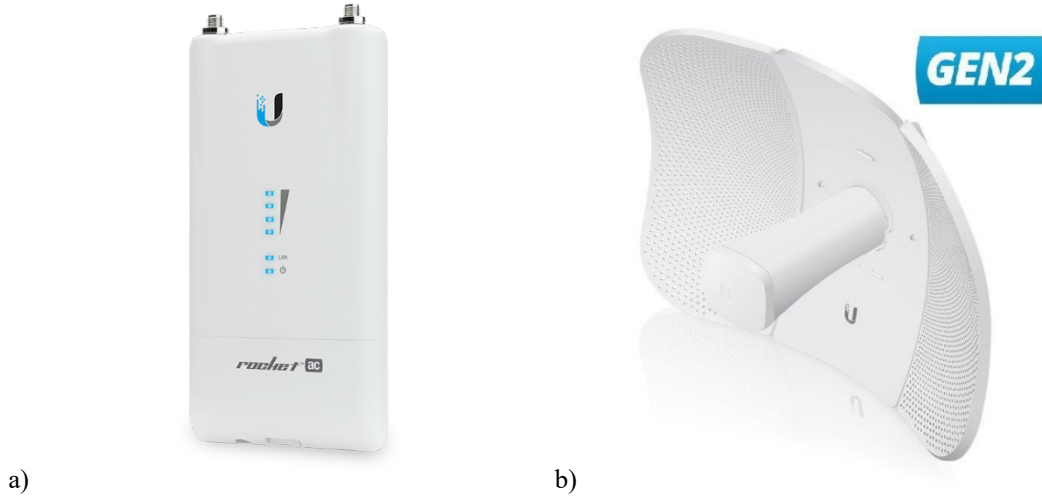
### 5.1. Hava Aracı – Yer İstasyonu Haberleşmesi

Yarışma boyunca kamera görüntüsü, kilitleme bilgisi, telemetri bilgisi gibi verilerin aktarımı için hava aracı ile yer istasyonu arasında sürekli bir bağlantı olma ihtiyacı bulunmaktadır. Bu iki yönlü bağlantıyı sağlamak için birden fazla veri yolu kullanılacaktır. Hava aracı üzerindeki kameradan alınan görüntünün bant genişliği yüksek olduğu için WiFi bağlantısı aracılığıyla yer istasyonuna aktarılacaktır. Kilitleme verisi de bu WiFi bağlantısı kullanılarak farklı bir port üzerinden aktarılacaktır. Telemetri verileri ise telemetri modülleri aracılığıyla aktarılacaktır.

Teknofest 2021 Savaşan İHA yarışmasında bu iletişim için takımımız tarafından 2.4 GHz standart WiFi cihazları kullanılmış ve görüntü iletiminde ciddi sorunlar olduğu gözlemlenmiştir. WiFi, Bluetooth ve 4G şebekesi gibi birçok cihaz ve bağlantının 2.4 GHz frekansında çalışması gürültü yaratarak bu probleme neden olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca çok sayıda takımın aynı yarışmasından dolayı oluşan gürültüde standart WiFi cihazlarının yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir.

Araştırmalar sonucunda tüm bu problemleri gidermek ve stabil bir WiFi bağlantısı sağlamak için 5 GHz frekansında Ubiqiti marka cihazlar kullanılmasına karar verilmiştir. Bu cihazlar yüksek anten kazancına ve çıkış gücüne sahiptir. Bu sayede uzun mesafelerde kesintisiz bir sinyal iletimi sağlayabilmektedir.





Şekil 5.2. a) Ubiquiti Rocket R5AC-Lite b) Ubiquiti Litebeam 5AC

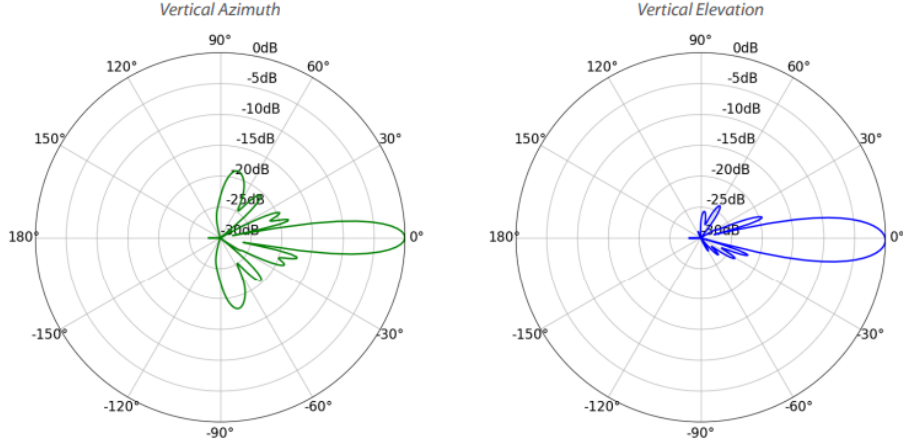
Hava aracında Ubiquiti'nin daha kompakt yapıda olan Ubiquiti Rocket R5AC-Lite modeli kullanılacaktır. Rocket R5AC-Lite, 250g ağırlığında ve 162x84x37 mm boyutlarına sahip, iki anten çıkışı bulunan bir access-point'tir. 5-5.8 GHz arasındaki frekanslarda kanal seçimine olanak tanıyan Rocket R5AC-Lite, antenleri üzerinden 27 dBm'ye kadar çıkış gücü üretebilmektedir. Ayrıca airMAX AC desteği sayesinde 500Mbps'ye kadar bant genişliği imkanı tanımaktadır.

R5AC-Lite Output Power: 27 dBm							
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
airMAX ac	1x BPSK (1/2)	27 dBm	± 2 dB	airMAX ac	1x BPSK (1/2)	-96 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (1/2)	27 dBm	± 2 dB		2x QPSK (1/2)	-95 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (3/4)	27 dBm	± 2 dB		2x QPSK (3/4)	-92 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (1/2)	27 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (1/2)	-90 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (3/4)	27 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (3/4)	-86 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (2/3)	27 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (2/3)	-83 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (3/4)	26 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (3/4)	-77 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (5/6)	25 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (5/6)	-74 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (3/4)	23 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (3/4)	-69 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (5/6)	22 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (5/6)	-65 dBm	± 2 dB

Şekil 5.3. Ubiquiti R5AC-Lite çıkış gücü

Yer istasyonunda ise doğrusal antene sahip olan Ubiquiti Litebeam 5AC Gen2 modeli kullanılmasına karar verilmiştir. Litebeam 5AC, 5-5.8 GHz arasındaki frekanslarda çalışabilen ve 25 dBm çıkış gücü sağlayabilen bir access-point'tir. Yapısına entegre edilmiş yönlü anten sayesinde 23 dBi kazanç sağlayabilmektedir.

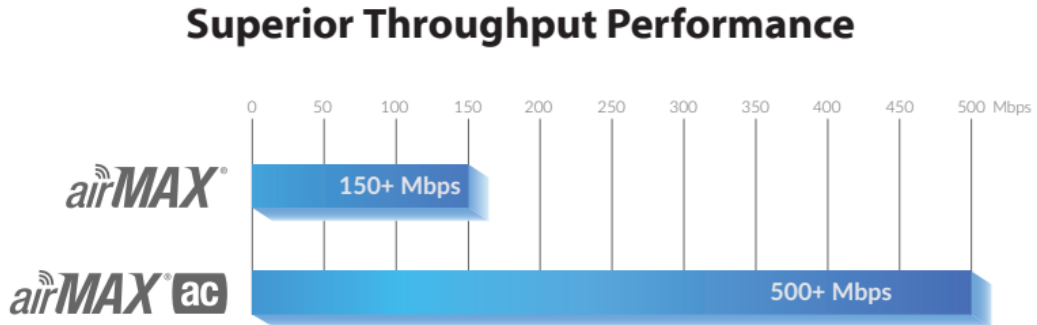
## SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 5.4. Ubiquiti Litebeam 5AC antenin radyasyon örüntüsü

Şekilde Litebeam 5AC'nin yönlü anteni tarafından üretilen radyasyon örüntüsü (radiation pattern) gösterilmiştir. Yönlü anten olmasından dolayı oluşturulan sinyalin açısının çok yüksek olmadığı görülmektedir. Bu yüzden yer istasyonu anteninin sürekli olarak hava aracına doğru bakması gerekmektedir. Bu problemi çözmek için yer istasyonunda anten-tracker kullanılması planlanmıştır. Fusion 360 programında tasarlanan parçalar 3D yazıcı kullanılarak basılacak ve servo motorlar ile birleştirilerek anten-tracker oluşturulacaktır. Hava aracını sürekli olarak izleme işleminin arduino kullanılarak yapılması planlanmıştır. Yer istasyonunda kullanılacak Mission Planner yazılımından hava aracının anlık konum bilgisi alınarak seri port üzerinden anten-tracker üzerindeki arduino'ya iletilecektir. Arduino, antenin hangi yöne bakması gerektiğini hesaplayarak motor sürücüler vasıtasıyla motorları döndürecektir.

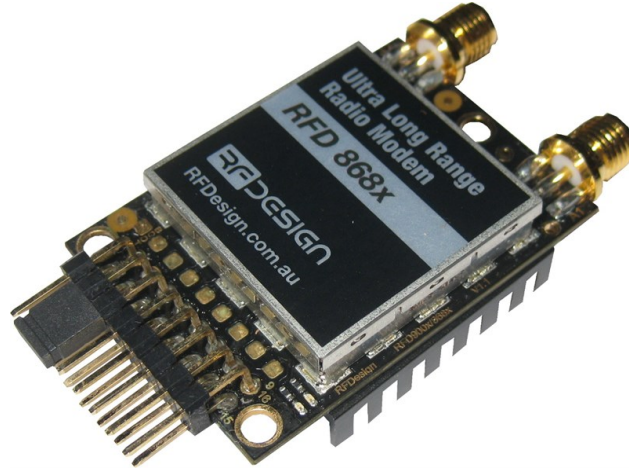
Hava aracında ve yer istasyonunda WiFi haberleşmesi için kullanılacak cihazlar seçilirken airMAX AC özelliğine sahip olmasına dikkat edilmiştir. Her iki cihazın da airMAX AC özelliğini desteklemesi sayesinde bant genişliği standart donanımların 3 katına çıkmaktadır. Bu sayede yer istasyonuna görüntü aktarımı çok daha kolay ve stabil bir şekilde yapılabilecektir. Şekilde airMAX ve airMAX AC özellikli Ubiquiti cihazlarının throughput performansına (aktarım verimi) yer verilmiştir.



Şekil 5.5. Ubiquiti airMAX ve airMAX AC karşılaştırması

Hava aracının ön tarafında bulunan kameradan alınan ve Jetson üzerinde işlenen görüntüler WiFi bağlantısı kullanılarak yer istasyonuna gerçek zamanlı olarak gönderilecektir. Kameradan CSI portu kullanılarak alınan frame'ler Jetson üzerinde bulunan ROS yazılımına verilerek diğer yazılımların kullanımına açılmaktadır. Burada paylaşımına açılan frame'ler hem otonom kilitlenme algoritmasına verilmekte hem de hava aracı ve yer istasyonu arasında oluşturulan UDP Server aracılığıyla yer istasyonuna gerçek zamanlı olarak iletilmektedir.

Mission Planner yer istasyonu yazılımında görüntü aktarımına dair değişiklikler yapılmış ve WiFi cihazından gelen verilerin Mission Planner'da gösterilmesi sağlanmıştır. Kamera verileri, Mission Planner'da bulunan HUD ekranına yansıtılırken; otonom kilitlenme verileri 6. Bölümde detaylı olarak bahsedilen arayüze aktarılmaktadır.



Şekil 5.6. RFD868x telemetri modülü

Uçuş sürecince hız, yükseklik, konum, yön, uçuş modu gibi veriler MAVLink protokolü kullanılarak **RFD868x** telemetri cihazları üzerinden yer istasyonuna aktarılacaktır. Bu veriler direkt olarak Mission Planner arayüzüne yansıtılabilir. Hava aracındaki telemetri cihazında omni-directional anten tercih edilecekken, yer istasyonunda çekimi arttırmak için yönlü yagi anten tercih edilecektir. Ayrıca bu anten de tasarlanan anten tracker modülüne monte edilerek hava aracının mevcut konumuna yönelmesi sağlanacaktır. Telemetri verileri alternatif olarak WiFi-broadcast tekniği ile iletilebilir. Bu durumun başarılabilmesi durumunda telemetri cihazları ortadan kaldırılarak sadece tek bir cihaz üzerinden hem video hem kilitlenme hem de telemetri verileri iletilmiş olacaktır.

Her ne kadar uçuşun büyük çoğunluğunun otonom olması amaçlansa da acil durumlarda manuel kontrol gerekebilir. Bu gibi durumlarda pilot kontrolü ele alarak manuel kontrol sağlayacaktır. Bunu gerçekleştirmek için 10 kanallı **FlySky FS-i6X** kumanda ve 10 kanallı FlySky FS-iA10B alıcı tercih edilmiştir. Alıcı, SBus veri yolu sistemi kullanılarak Pixhawk'ın RCIN pinine bağlanmıştır. Bu sayede tek kablo üzerinden tüm kanallara ait veriler gönderilmekte ve araç kontrol edilebilmektedir.

### 5.2. Pixhawk – NVIDIA Jetson Nano Haberleşmesi

Yarışma sürecince Xavier NX kullanılarak yapılan otonom kilitlenmeler esnasında İHA'nın da hareket etmesi gerekmektedir. Bu nedenle NVIDIA Jetson Xavier NX ile Pixhawk arasında UART protokolü kullanılarak haberleşme sağlanacaktır. Pixhawk'ın telem2 portuna Jetson üzerindeki J8 ve J10 pinlerine takılı kablo ile haberleşme sağlanacaktır.

Gönderilen veriler MAVLink protokolüne uygun olarak gönderilecektir. İHA'nın mevcut konumu Pixhawk'tan alınarak otonom kilitlenme algoritmasına göre yeni koordinat hesaplanacaktır. Örneğin algılanan düşman İHA bir yöne doğru ilerliyorsa hava aracına da o yöne hareket edilecek şekilde MAVLink paketi gönderilecektir. Bu işlem otonom kilitlenme algoritması çalıştığı sürece devam edecektir. Aynı zamanda herhangi bir hava aracı algılanmadığı durumlarda hava aracı bulmak için yer istasyonundan gelen telemetri verilerine göre yeni koordinat hesaplanacaktır.

### 5.3. Yer İstasyonu – Yarışma Sunucusu Haberleşmesi

Açık kaynak kodlu Mission Planner yazılımı takımımız tarafından geliştirilmiş ve yarışma sunucusuyla haberleşecek şekilde yeniden kodlanmıştır. Bu sayede yarışma süresince yer istasyonu bilgisayarı ile yarışma sunucusu arasında iki yönlü haberleşme olacaktır. Bu haberleşme, yarışma sunucusuna gönderilen GET ve POST istekleri aracılığıyla sağlanacaktır.

Müsabaka başlamadan önce yarışma sunucusunda oturum açılacak ve telemetri bilgileri periyodik olarak yer istasyonundan yarışma sunucusuna gönderilecektir. Hava aracı üzerindeki görev bilgisayarında otonom kilitlenme gerçekleştiği durumda yer istasyonu aracılığıyla yarışma sunucusuna aktarılacaktır.

Ek olarak yarışma sunucusundan rakip hava araçlarının telemetri verileri sorgulanarak yer istasyonunda en yakın hedefi belirlemek için kullanılacaktır.

## 6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

Uçuş süresi boyunca hava aracının kontrolünü sağlamak için Mission Planner yer istasyonu yazılımı kullanılacaktır. Mission Planner, yer istasyonları için en çok kullanılan yazılımlardan biridir. Bu yazılıma alternatif olarak QGroundControl gibi yazılımlar bulunmaktadır. Bu yazılımlar arasında çok fazla benzerlik olmasına rağmen Mission Planner seçilmesinin nedeni C# programlama dili ile geliştirilmesidir. Bu sayede yeni özellikler eklenmesi daha kolaydır. Mission Planner yazılımı, hava aracıyla ilgili; hız, yön, harita üzerindeki konum, yükseklik gibi bilgileri kullanıcıya halihazırda sunmaktadır. Bu yazılıma Savaşan İHA Yarışması kapsamındaki görevleri gerçekleştirmek için yeni fonksiyonlar eklenmiştir.

Açık kaynak kodlu bir yazılım olan Mission Planner'ın arayüzüne yarışma kapsamındaki verilerin kullanıcıya sunulabilmesi için Teknofest isimli yeni bir panel eklenmiştir. İlk olarak yarışma sunucusunun IP adresinin girilebilmesi için bir textbox ve oturum açma kapatma işlemleri için iki adet buton yerleştirilmiştir. Kullanıcıdan alınan IP adresi sonrası oturum açma butonuna basılması durumunda yarışma komitesi tarafından verilen takım adı ve şifre /api/giris adresine POST isteği gönderilecektir. Sunucuya veri gönderme ve sunucudan veri alma işlemlerinin gerçekleştirilmesi için oturum açılma şartı aranmaktadır.

## SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 6.1. Mission Planner'ın yarışmaya uyarlanan arayüzü

Eklenen panelin sağında otonom kilitlenme için kurulan algoritmayı başlatacak ve durduracak olan iki buton mevcuttur. Bir araç kamera görüntüsünde kilitlenme dörtgeninin içine girdiğinde 10'dan geriye sayım başlayacak olup arayüz ekranından eş zamanlı olarak takım ve hakemler tarafından takip edilebilecektir. Kilitlenen araç sayısı ve uçuş modu da aynı şekilde ekranda gösterilecektir. İHA'nın kalkışından itibaren kronometre başlatılacak ve eklenen panelin sol alt köşesinde aracın havada kalma süresi eş zamanlı sunulacaktır.



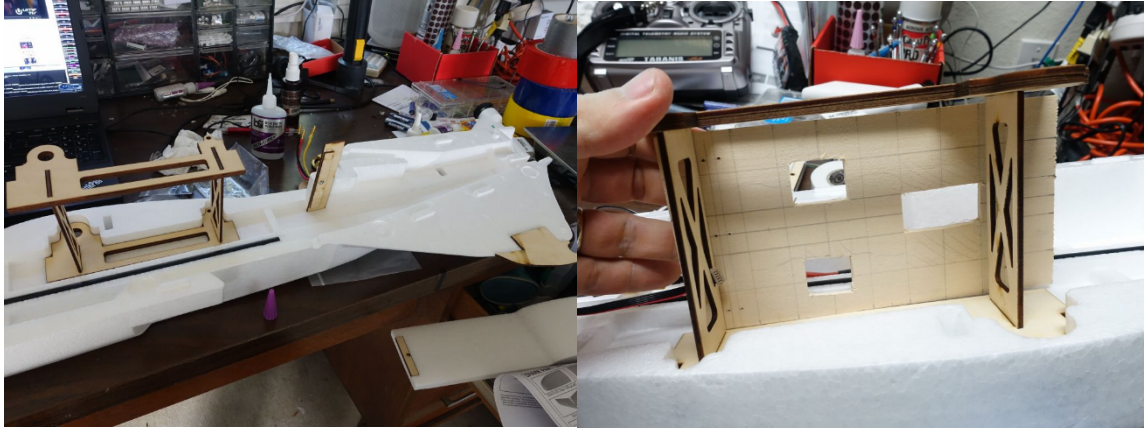
Şekil 6.2. Mission Planner oto mod uçuş planlama arayüzü

5.1 bölümünde bahsedilen, hava aracından WiFi-Broadcast tekniğiyle aktarılan video görüntüsünün yer istasyonunda gözükebilmesi için Mission Planner üzerinde geliştirme yapılmıştır. Bu sayede, gelen görüntü Head Up Display (HUD) paneline aktarılacaktır. Harita üzerinde de geliştirme yapılarak diğer hava araçlarının harita üzerinde gösterilmesi amaçlanmıştır. Bunu yaparken, yarışma sunucusundan gelen telemetri verilerinden faydalanılacaktır. Ayrıca, Mission Planner yazılımındaki uçuş planı sekmesi, yarışma boyunca yapılacak otonom manevraların gözlemlenmesi ve planlanması için kullanılacaktır.

## 7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU

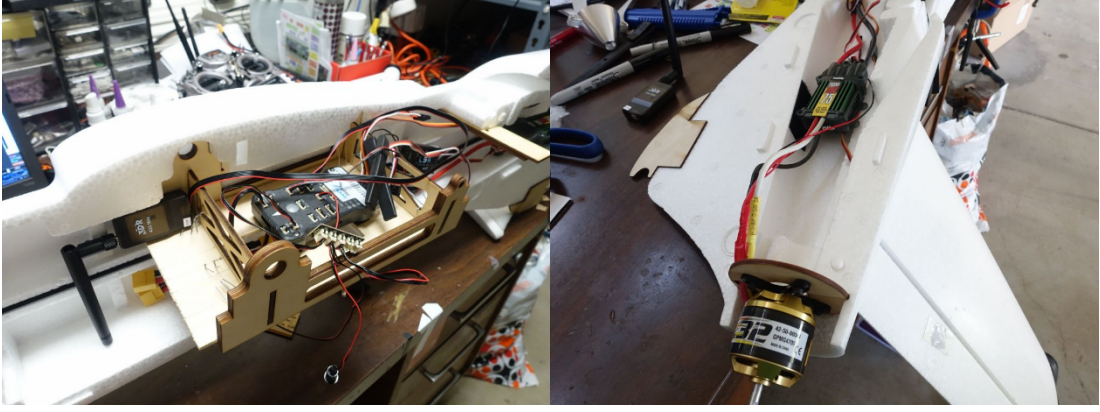
### 7.1. Yapısal Entegrasyon

X-UAV TALON insansız hava aracımızın yapısal entegrasyonu kanat, kuyruk ve gövde olarak 3'e ayrılmıştır. Gövde iki ana parçadan oluşmaktadır. Gövdenin orta kısmında ahşaptan plakalar bulunmaktadır. Ahşap Parça 5 kısımdan oluşmaktadır. Aşağıdaki görselde birleştirilmiş hali görülmektedir. Bu ahşap plaka hem kanatları birleştirmeye hem de ortasına elektronik aksamların kolayca koyulmasına olanak sağlamaktadır. Gövdenin tam ortasına yerleştirilmiştir.



Şekil 7.1. Hava aracı gövde entegrasyonu

Uçuş kontrol kartı, telemetri sensörü, güç dağıtım devresi vb. gibi elektronik parçalar bu plakanın ortasına yerleştirilmiştir. Bu sayede hem uçuş kontrol kartı düz bir zemine yerleştirilmiştir. Aşağıdaki görselde Pixhawk ahşap plakaya koyulduğu görülmektedir.



Şekil 7.2. Uçuş kontrol kartı ve motor montajı

Talon İHA'da motor arkasına konumlandırılmıştır. Motor, ahşap plaka yardımı ile uçağın arkasına sabitlenmiştir. Kuruk kısmı ile pixhawk arasındaki boşluğa ESC yerleştirilmiştir. Son olarak uçağın ağırlık noktası da hesaba katılarak Li-Po pilimiz gövdeye yerleştirilmiştir. Gerekli kablolama işlemleri yapılmıştır.



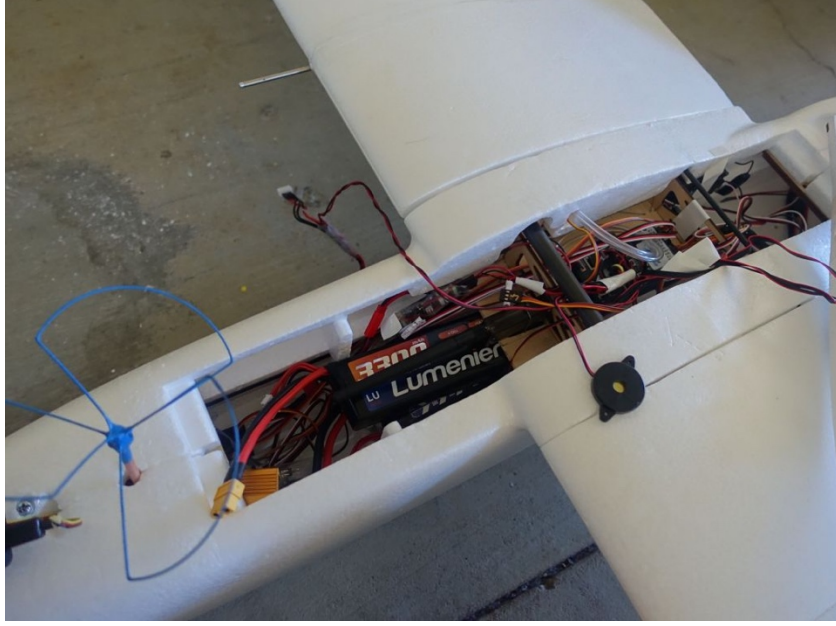
Şekil 7.3. Güç kabloları

Kanatlar güçlendirilmek için ortasına karbon fiber çubuklar konulmuştur ve gövdenin ortasındaki ahşap plakanın uygun yerlerine yerleştirilmiştir. Tüm aksamın yapışkanlarının kuruması için beklemeye bırakılmıştır.

## 7.2. Mekanik Entegrasyon

X-UAV Talon hava aracının mekanik entegrasyonunu yaparken modülerliğe dikkat edilmiştir. sensörlerin, mekanik parçaların, pilin ve diğer parçaların yerleri konumlandırılırken hem merkez ağırlık noktası hesaba katılmış hem de parçaların kolay sökülüp takılması için planlama yapılmıştır. Uçağın ortasındaki ahşap bölgeye uçuş kontrol kartı konulmuştur. Ayrıca uçuş kontrol kartı titreşim engelleyici damper üzerine yerleştirilerek sensörlerden doğru şekilde veri alınması sağlanmıştır.

Uçuş kontrol kartının sensörlerinin elektromanyetik gürültüden etkilenmemesi için kartının yanına herhangi bir elektronik parça konulmamıştır. Uçağın ön kısmına kamera yerleştirilmiştir. Kamera ile uçuş kontrol kartı arasına ise Jetson Nano görev bilgisayarı konulmuş, hem kameraya hem de uçuş kontrol kartına kolayca bağlantı yapılmıştır. Jetson Nano'nun yanına ise Ubiquiti alıcı-verici Wifi adaptörü koyulmuştur. Ubiquiti Wifi adaptörü Jetson Nano'ya olan bağlantısı yapılmıştır. Telemetri adaptörü ise Pixhawk uçuş kontrol kartına yakın konumlandırılmış, antenleri uçağın üst kısmına doğru çıkarılmıştır. Air speed sensörü sağ kanadın altına yerleştirilmiştir. LIDAR ise uçağın alt kısmına yerleştirilmiştir. GPS ise gövdenin üstüne konulmuştur.

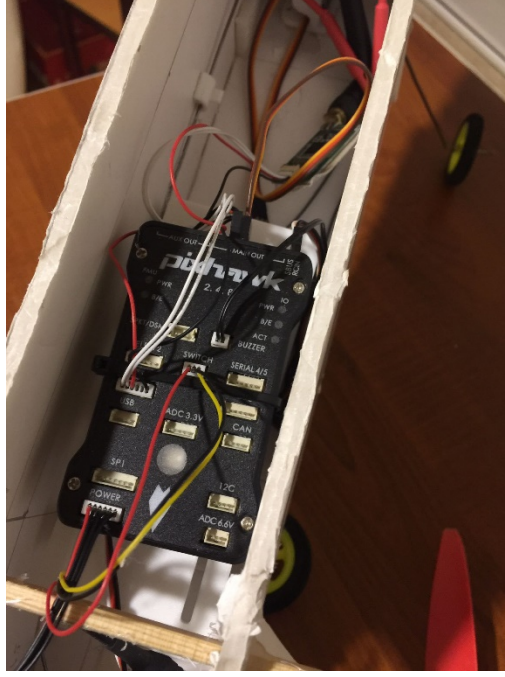


Şekil 7.4. Hava aracının mekanik entegrasyonu

### 7.3. Elektronik Entegrasyon

Elektronik bileşenlerin uçak üzerinde en doğru şekilde konumlanması, sistemin güvenilirliği açısından çok önemlidir. Bunun için bileşenler arasındaki kablolar dış etkenlere karşı korumalı olup; birbirlerinden izole şekilde konumlandırılmıştır. Aynı zamanda, olası bir arıza durumunda ilgili parçanın yedek parçayla değiştirilmesini kolaylaştırmak amacıyla kabloların düzenli bir şekilde yapılmasına dikkat edilmiştir.





Şekil 7.5. Hava aracının elektronik entegrasyonu

Pil, hava aracının gövdesine çift taraflı bant ile sabitlenmiştir. Pilin eksi (-) kutbu direkt olarak; artı (+) kutbu ise sigorta üzerinden güç modülüne bağlanmıştır. Güç modülü vasıtasıyla ESC ve Pixhawk'a enerji sağlanmıştır. Pixhawk ile Jetson arasında telemetri portundan UART protokolü kullanılarak çift yönlü bağlantı oluşturulmuştur. Jetson üzerinde çalışan otonom kilitlenme algoritmasının çıktısına göre; yapılacak manevranın ne olduğu, hava aracına bu port üzerinden bildirilecektir. Servo motorların sinyal girişleri Pixhawk üzerinden verilmiştir ancak servolar fazla elektrik çektiği ve bu elektriği Pixhawk karşılayamadığı için; güç girişi, oluşturulan bir elektrik hattı üzerinden UBEC'ten 5V olarak verilmiştir. Aynı zamanda, Jetson'a 5V UBEC tarafından elektrik verilmiştir. Nesne algılamada kullanılacak kamera ise csi portu üzerinden Jetson'a bağlanmıştır.

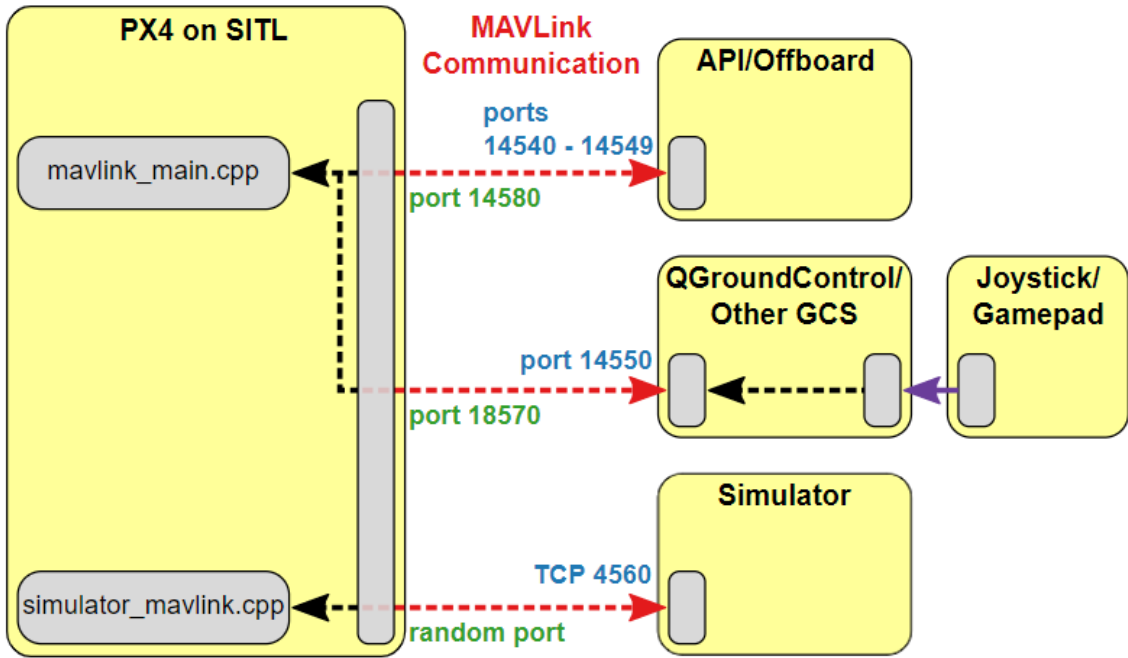
## 8. TEST VE SİMÜLASYON

### 8.1. Alt Sistem Testleri

#### 8.1.1. Simülasyon Testi

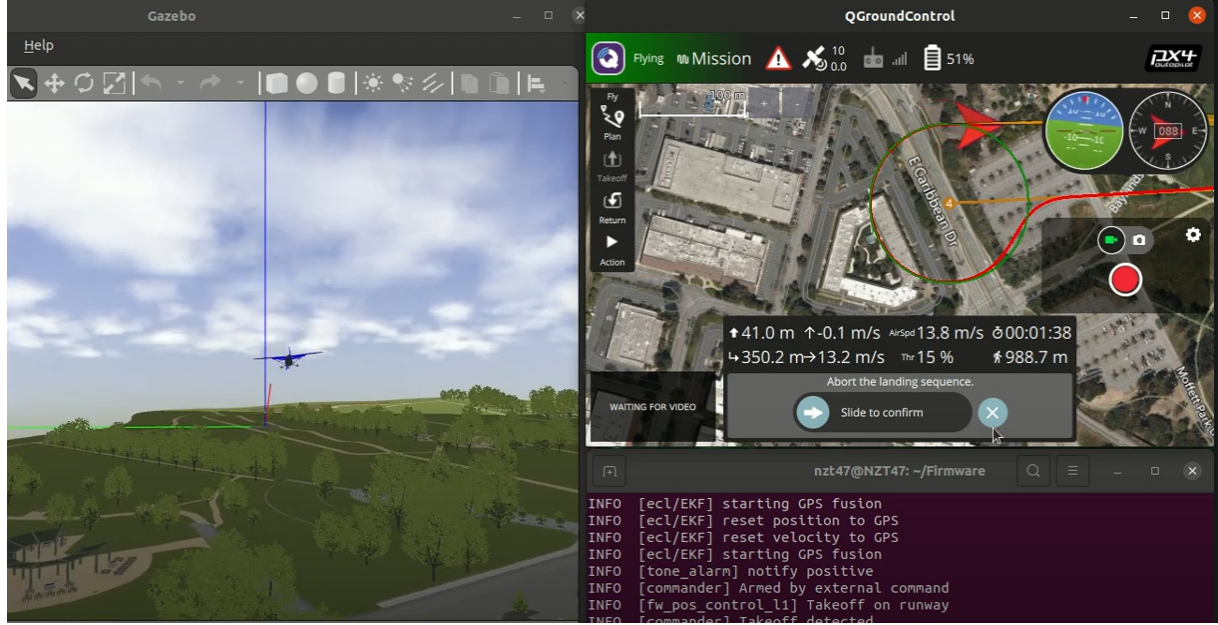
Tasarlanan insansız hava aracında Pixhawk uçuş kontrol kartı kullanılması kararlaştırılmıştır. Pixhawk'in en önemli özelliklerinden biri, sunmuş olduğu software-in-the-loop (SITL) yazılımıdır. SITL sayesinde pixhawk yazılımsal olarak modellenir ve sistem üzerinde çalıştırılır. Bu model kullanılarak geliştirilen hareket, kontrol ve planlama algoritmaları simülasyon üzerinde test edilebilmektedir [5].

Simülasyon testi için JMavSim programı kullanılmıştır. JMavSim, MAVLink protokolünü kullanmaktadır. Alınan MAVLink paketleri simülasyon içerisindeki hava aracı üzerinde işlenmekte ve aksiyon alınmaktadır. Şekil 8.1 de Pixhawk uçuş kontrolcüsü ile simülatör arasındaki veri akışı görülmektedir.



Şekil 8.1. Pixhawk - Simülatör bağlantısı

JMavSim programı farklı programlama dillerini desteklemektedir (C++, Python, Java). Yerel ağ üzerinden sisteme bağlanılır. Sistemler arası iletişim MAVLink protokolü üzerinden olur. Çift yönlü olan bu iletişim ile Pixhawk uçuş kontrolcüsü ile simülasyon haberleşebilir. Aynı zamanda yer kontrol yazılımları da bu sisteme dahil olabilir. Şekil 8.2'de SITL üzerinde ayağa kaldırılan pixhawk uçuş kontrol kartının hem simülasyona hem de QGroundControl uygulamasına bağlantısı görülmektedir.



Şekil 8.2. Gazebo üzerinde simülasyon testi

Simülasyon testi kapsamında oluşturulan MAVLink komutları insansız hava aracına gönderilmiş ve sistemin verdiği tepkiler ölçülmüştür. Ayrıca otonom kilitlenme sonrasında oluşturulan hareket komutları sisteme aktarılmış, gözlemler yapılmış ve hareket algoritmalarının geliştirilmesi, güncellenmesi ve hata ayıklamaları yapılmıştır.

### 8.1.2. Kilitlenme Testi

Kilitlenme testi görüntü işleme modülü ve otonom hareket planlama modülü üzerinde gerçekleştirilmiştir. Görüntü işleme modülünde 4 farklı model kullanılmıştır ve aralarında performans farkları, kullandıkları kaynak, tespit etme başarımları karşılaştırılmıştır.

Metrik / Model	SSD	Faster R CNN	YOLO	YOLO + KCF
FPS	3.7 FPS	0.5 FPS	4 FPS	30 FPS
Başarım Oranı (%)	%97	%99	%96	%95
Kaynak Kullanımı (CPU)	%75	%95	%65	%50

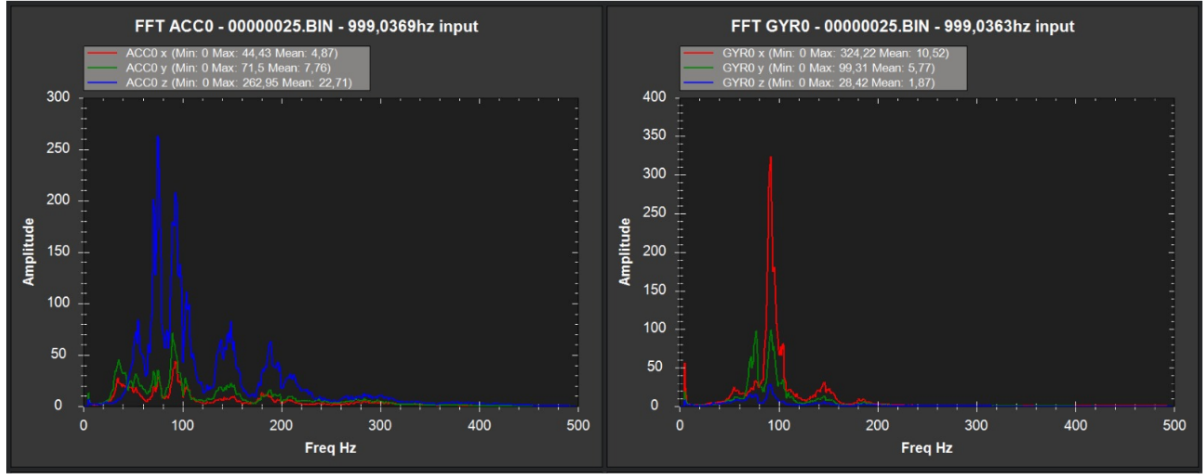
Tablo 8.1. Algoritma karşılaştırması

Görüntü işleme modülünde kullanılmak üzere YOLO ve KCF algoritmasının birlikte kullanılması kararlaştırılmıştır. Jetson Nano üzerinde yüksek başarım oranı ve yüksek FPS alınmıştır. Görüntü işleme modülünden gelen veriler ile birlikte otonom hareket planlama modülü tespit edilen hava aracını takip etmek üzere uçuş kontrolcüsüne MAVLink üzerinden komutlar göndermektedir. Bu komutlar sayesinde insansız hava aracımız kilitlenen hava

aracını takip etmektedir. Otonom takip etme testi simülasyon üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler ışında kontrol değişkenleri güncellenmiş (PID değişkenlerinin değiştirilmesi), takip algoritmasının güçlendirilmesi yapılmıştır.

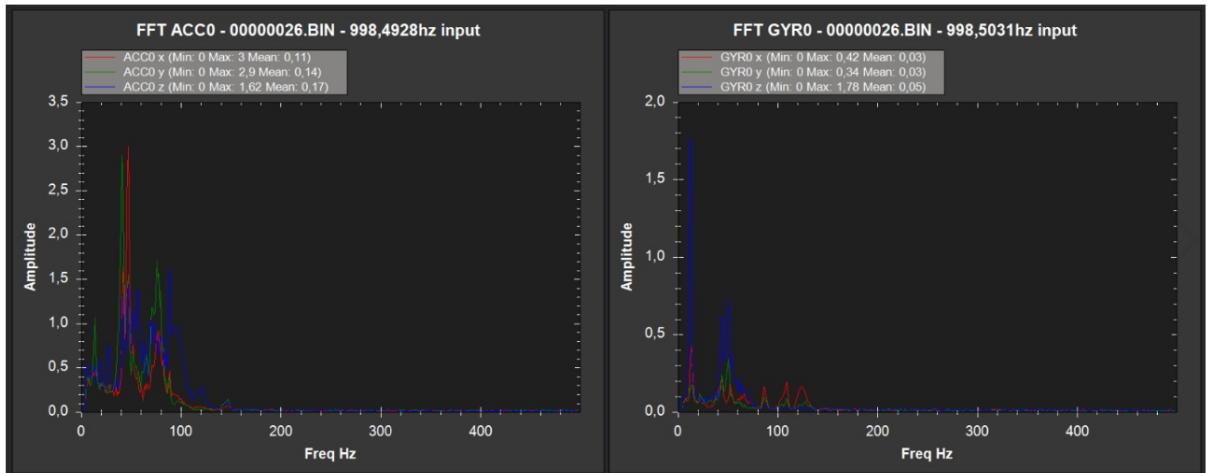
### 8.1.3. Titreşim Testi

İnsansız hava aracının uçuş testlerinde yapılan kontroller sonucu aracın gereğinden fazla titreştiği ve bu durumun sensörleri etkilediği görülmüştür. Titreşimin ise motorlardan kaynaklandığı tespit edilmiştir.



Şekil 8.3. İlk uçuşa ait titreşim verileri

Şekil 8.3’de titreşim seviyesinin yaklaşık 250 görülmektedir. Başarılı ve stabil bir uçuş için bu seviyenin 60’ın altında olması gerekmektedir. Titreşim seviyesi sensörlerin sağlıklı veri okumasını engellemektedir. Sensörlerin sağlıklı veri okuması için filtreleme yapılmıştır. Filtreleme ile birlikte sensörlerin belirli titreşim seviyesinin absorbe edilmesi sağlanmıştır. Filtreleme sonrasında aşağıdaki şekilde okunan titreşim seviyesi görülmektedir. Sensörleri etkileyen titreşim büyük oranda giderilmiş ve stabil bir uçuş sağlanmıştır.

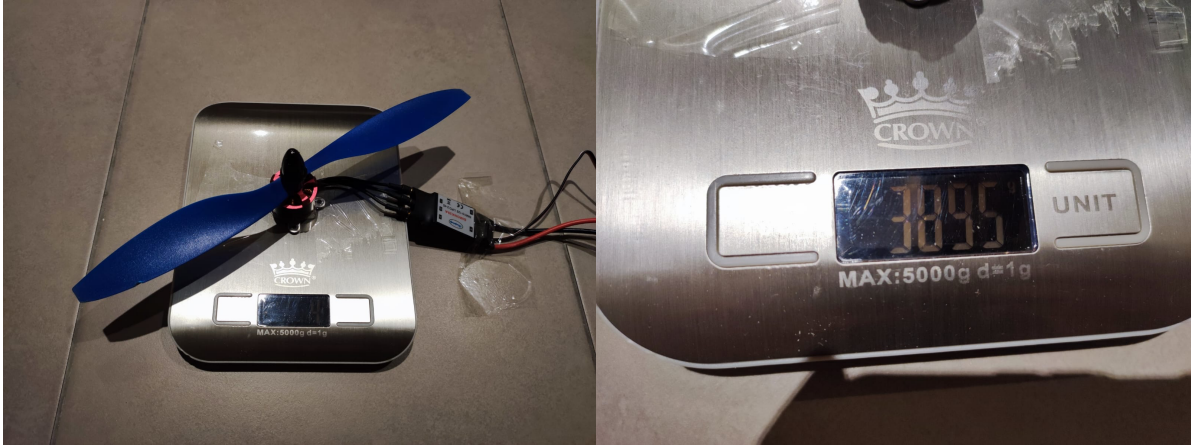


Şekil 8.4. ‘‘Harmonik Notch Filtresi’’ sonrası uçuşa ait titreşim verileri

#### 8.1.4. İtki Testi

Bu test, motorların ne kadar itki oluşturduğunu hesaplamak amacıyla yapılmış olup, test yapılırken gövdenin etkisi göz önünde bulundurulmamıştır. Test ön hazırlığı olarak hassas bir tartıya motor sabitlenmiştir.

Motorların oluşturduğu itkiyi ölçebilmek için pervane ters olacak şekilde motora takılmıştır. Ön hazırlık tamamlandıktan sonra motora %100 gaz verilmiştir ve motorun gövde etkisinden bağımsız olarak **3950 gr** itki oluşturduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 8.5. İtki testi

## 8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi



Şekil 8.6. Prototip uçak uçuş testi

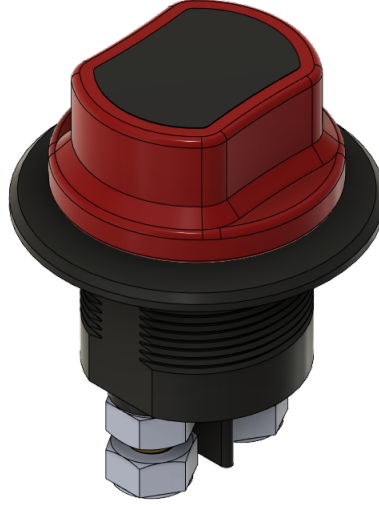
Yapılan uçuş testleri başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. 4S 6000 mAh kapasiteli pil ile yaklaşık olarak 15 dakika hava kalınmıştır. Kumanda ile gönderilen her komut başarılı şekilde iletilmiş ve hareketler (pitch, roll, yaw) hava aracımız tarafından başarılı şekilde gerçekleştirilmiştir. Yer istasyonu ile bağlantı başarılı şekilde sağlanmış, Mission Planner ve QgroundControl yazılımları ile hava aracının sensör bilgileri, konumu vs. bilgiler takip edilmiştir. Ayrıca yer istasyon programları tarafından gönderilen komutlar başarı şekilde icra edilmiştir.

Uçuş Kontrol Listesi
GPS bağlantısı kontrolü
Pil doluluk oranı kontrolü
Kumanda bağlantı kontrolü
Yer istasyonu bağlantı kontrolü
Buzzer kontrolü
Motor pervaneleri kontrolü
Motor vidalarının sıkılma kontrolü
Pilin güvenlik bantlarının sıkılığı kontrolü

Tablo 8.2. Uçuş kontrol listesi

## 9. GÜVENLİK

- En büyük ve ağır bileşen pil olduğu için İHA tasarımında diğer bileşenlerden bağımsız olarak pil, İHA'nın en alt kısmına yerleştirilecektir. Ayrıca lipo piller özel bir çantada taşınacak olup serin ortamda muhafaza edilecektir [6].
- İHA'nın etraftaki canlılara zarar vermemesi ve kırılma yaşanmaması için stabil uçabilmesi önemlidir. Bunun için ESC kalibrasyonları uçuştan önce yapılacaktır. Aynı zamanda kalibrasyon yapılırken pervaneler takılı olmayacaktır.
- Güvenli bir uçuş sağlanabilmesi için her uçuştan önce tüm elektronik elemanlar ve kablolar kontrol edilecek olup olası bir kısa devre veya temassızlık riski ortadan kaldırılacaktır.
- Uçuş ya da testler esnasında meydana gelebilecek yangın ihtimaline karşı 1 kg yangın tüpü ve ortamda meydana gelebilecek yaralanmalara karşı ilk yardım çantası bulundurulmasına önem verilecektir. Lipo pillerin yapısında bulunan lityum elementi su ile reaksiyona girebildiğinden, yangın durumunda yangın söndürücü ile müdahale edilmesi önemlidir.
- İHA'ya failsafe sistemi eklenmiş olup olası bir sinyal kesilmesi durumunda İHA failsafe moduna geçecek ve kalkış yaptığı noktaya iniş yapacaktır.
- İHA üzerinde motor güç hattını anahtarlayan bir sigorta bulunacaktır.



Şekil 9.1. Elektronik hattı anahtarlayan sigorta

## 10. REFERANSLAR

1. İnternet: [www.ecalc.ch](http://www.ecalc.ch) Son Erişim Tarihi: 11.06.2022.
2. NVIDIA Jetson Nano. İnternet: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano> Son erişim tarihi: 25.05.2022.
3. İnternet: <https://pjreddie.com/darknet/yolo/> Son Erişim Tarihi: 18.05.2022.
4. Tseng, D. C., Chen, C. H., & Chen, Y. M. (2021). Autonomous Tracking by an Adaptable Scaled KCF Algorithm. International Journal of Machine Learning and Computing, 11(1), 48-54.
5. Hardware in the Loop Simulation (HITL). İnternet: <https://docs.px4.io/master/en/simulation/hitl.html> Son Erişim Tarihi: 21.05.2022.
6. Lipo pil nedir ve nasıl kullanılmalıdır. İnternet: <http://www.rcturka.com/lipo-pil-nedir-ve-nasil-kullanilmalidir-354.html/> Son Erişim Tarihi: 15.05.2022.