

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

**TAKIM ADI: ELFATEK RACLAB**

**YAZARLAR:**

**SÜLEYMAN CANAN,  
HASAN UĞUZ,  
SAMED CÖMERT,  
FURKAN ALTUNAY,  
ALİ MERT GÖÇEN**



## İÇİNDEKİLER

1.	TEMEL SİSTEM ÖZETİ	3
1.1.	Sistem Tanımı	3
1.2.	Sistem Nihai Performans Özellikleri	3
2.	ORGANİZASYON ÖZETİ	5
2.1.	Takım Organizasyonu	5
2.2.	Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe	6
3.	DETAYLI TASARIM ÖZETİ	8
3.1.	Nihai Sistem Mimarisi	8
3.2.	Alt Sistemler Özeti	9
3.3.	Hava Aracı Performans Özeti	10
3.4.	Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı	15
3.5.	Hava Aracı Ağırlık Dağılımı	20
4.	OTONOM KİLİTLENME	23
5.	YER İSTASYONU VE HABERLEŞME	29
6.	KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI	33
7.	HAVA ARACI ENTEGRASYONU	34
7.1.	Yapısal Entegrasyon	34
7.2.	Mekanik Entegrasyon	37
7.3.	Elektronik Entegrasyon	38
8.	TEST VE SİMÜLASYON	39
8.1.	Alt Sistem Testleri	39
8.2.	Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi	43
9.	GÜVENLİK	45
10.	REFERANSLAR	47

## 1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ

### 1.1. Sistem Tanımı

Yarışma isterleri kapsamında manevra kabiliyetleri, seyir hızı, uçuş süresi gibi faktörler göz önünde bulundurularak tasarlanan ve üretilen insansız hava aracından, otonom uçuş, otonom yönelim, görüntü aktarımı, görüntü işleme yetenekleri kazandırılıp rakip hava araçlarına kilitlenme, rakip hava araçlarından kaçınma, QR okuma ve hedef tespit görevlerini gerçekleştirmesi beklenmektedir.

**İHA:** Yarışma isterlerine uygun olarak geliştirilen insansız hava aracıdır. Görevleri, havada faal durumda bulunan diğer hava araçlarını hedef alıp görüntüleyerek, otonom bir şekilde kilitlenme sağlamak ve puan toplamaktır. Çeşitli manevralar yaparak diğer hava araçları tarafından hedef alınıp kilitlenmesinden kaçınmaya çalışmaktadır. Aynı zamanda alanda bulunan hedefleri tespit edip kod okuma yapması gerekmektedir.

**Yer Kontrol İstasyonu:** Telemetri, görüntü aktarımı alıcısı ve yer bilgisayarından oluşmaktadır. Hava aracından uçuş verileri ve canlı görüntü aktarımı, hava aracına komutlar verilmesi, verilerin yarışma komitesi sistemine aktarılması gibi temel haberleşme görevlerini gerçekleştiren ana yapıdır.

**Kumanda:** Hava aracının uçuşunu gerçekleştirmesi ve çeşitli yan görevleri yapması için alıcı vasıtıyla doğrudan ya da uçuş kontrolcüsü üzerinden kontrol yüzeylerini hareket ettiren servo motorlara sinyal göndermeye ve ilgili kanal çıkışlarına atanan özelliklerin kullanılmasına yarayan, joystick ve switchlere sahip, pilot tarafından kullanılan bir cihazdır.

**Yer Anteni:** Hava aracı ile haberleşmede kullanılan antenlerin yer istasyonu tarafında bulunmaktadır. Hava aracından gelen tüm verilerin aktarılmasını ve hava aracına yer istasyonundan veri gönderilmesi görevini gerçekleştirmektedir. Uçuş alanında otonom bir anten takip sistemi ile İHA'ya yöneliminin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

### 1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri

Tasarlanan insansız hava aracının performans sonuçları hesaplanırken aerodinamik veriler ve formüller kullanılmıştır. Seyir hızı olan 10.53 m/s ANSYS Fluent üzerinden yapılan akış analizi sonucunda bulunmuştur.

**Tablo 1.3.1** Kavramsal tasarımlı hazırlanan İHA'nın sınır şartları

Performans	
Seyir Hızı	10.53 m/s
Maksimum Hızı	32 m/s
Minimum Hızı	9.6745 m/s
Minimum Dönüş Yarıçapı	11.3 m
Uçuş Süresi	22 dk
Statik İtki/Ağırlık	1.2

## SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Kalkış Ağırlığı	4000 gram
-----------------	-----------

İnsansız hava aracında kullanılacak olan uçuş kamerası, tespit ve kilitlenme algoritmalarının gerçek zamanlı çalıştırılabilmesi için kullanılmaktadır. İHA gövdesinin ön kısmında konumlandırılacak kamera yarışma isterleri için takımlardan istenilen yeterli görüş açısı ve kare hızına sahiptir.

**Tablo 1.3.2** Kamera özelliklerı

EKEN H9R Kamera Özellikleri	
<b>Kamera Çözünürlüğü</b>	1920 × 1080
<b>Kamera Kare Hızı</b>	60 fps
<b>Kamera Görüş Açısı</b>	(dFoV) 78°

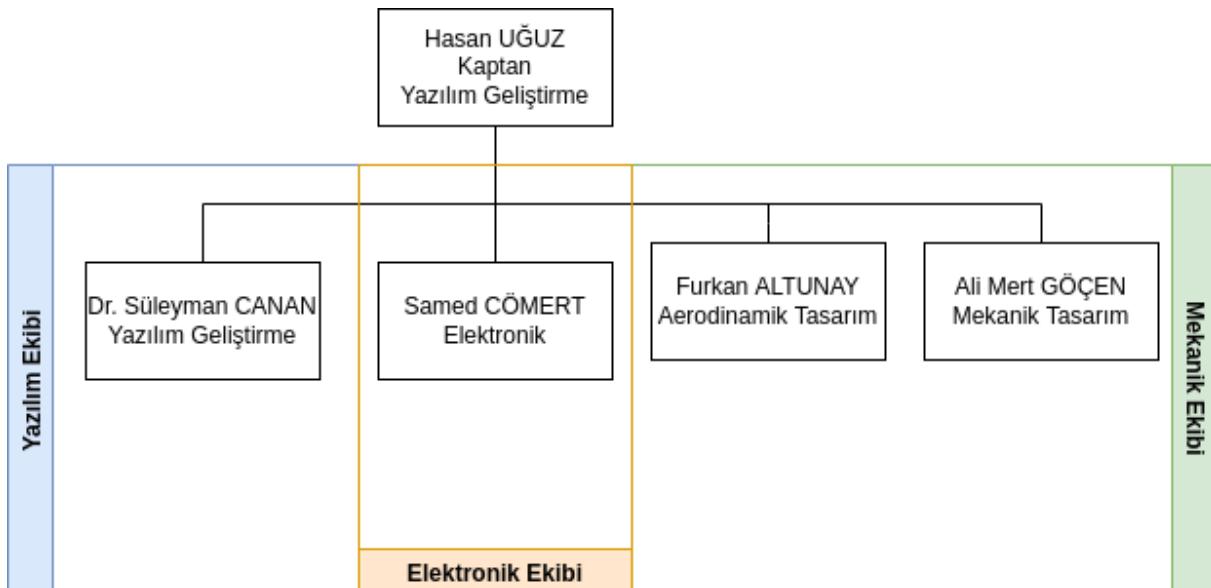
2021 yılındaki yarışmada kullanılan görev bilgisayarının performansı göz önünde bulundurularak daha performanslı bir görev bilgisayarı kullanılması kararlaştırılmıştır.

**Tablo 1.3.3** Kullanılacak Görev Bilgisayarı özellikleri

NVIDIA Jetson Xavier NX Özellikleri	
<b>CPU</b>	6-core NVIDIA Carmel ARM®v8.2 64-bit CPU 6MB L2 + 4MB L3
<b>Yapay Zeka Performansı</b>	21 TOPS (INT8)
<b>Bellek</b>	8 GB 128-bit LPDDR4x @ 1600 MHz
<b>Bağlantılar</b>	1xUSB 3.1 (10 Gbps)   3xUSB 2.0 1x SDIO / 2x SPI / 3x UART / 2x I2S / 4x I2C / 1x CAN / GPIOs
<b>Güç</b>	15W Max

## **2. ORGANİZASYON ÖZETİ**

## **2.1. Takım Organizasyonu**



**Hasan UĞUZ**, 2021 Yılı Konya Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği lisans mezunu ve aktif olarak YL yapmaktadır. Savaşan İHA yarışmasında 2. yılı olup geçen sene RACLAB KAPSÜL GRIFFIN takımında yarışmaya katılmıştır. Çeşitli İHA yarışmalarında 6. yılını geçirmektedir. Yarışma süresince sistem yazılımlarının oluşturulması üzerinde çalışma yürütecektir.

**Dr. Süleyman CANAN**, Elfatek Elektronik Şirketi CTO'su olup Elektrik Elektronik mühendisliği doktora mezunudur. Takım içerisinde otonom ve kilitlenme yazılım algoritmalarının oluşturulmasında görev alacaktır.

**Samed CÖMERT**, 2021 yılı Konya Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği lisans mezunudur. Bu yarışmadaki ikinci yılı olup bir önceki yıl RACLAB KAPSÜL GRIFFIN takımında yarışmaya katılmıştır. Teknofest 2018'den beri her sene çeşitli roket ve İHA yarışmalarına katılım sağlamıştır. Takımda insansız hava aracının elektronik seçimleri, yerleştirilmesi ve sistem kurgulamasında görevlidir. Yazılım ve Mekanik bölümler arasında iletişimini sürdürerek sistemin çalışması için görev yapar.

**Furkan ALTUNAY**, 2021 yılı Konya Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü lisans mezunudur. İnsansız hava aracının aerodinamik tasarımları, HAD analizlerinin gerçekleştirilmesi ve kompozit üretiminde görevlidir. Elektronik ekibi ile birlikte çalışarak insansız hava aracının tüm alt sistemlerini güvenli bir biçimde yerleştirmekle sorumludur. Geçen yıl RACLAB KAPSÜL GRIFFIN takımında kaptan olarak görev almıştır.

**Ali Mert GÖÇEN**, 2020 yılı Konya teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü lisans mezunudur. İnsansız hava aracının mekanik tasarımı, yapısal analiz ve kompozit imalat aşamasında görevlidir. Elektronik ekibi ile işbirliği yaparak, alt sistemlerin insansız hava aracı içeresine güvenlik ve ağırlık merkezini dikkate alarak tasarımsal entegrasyonunu yapmakla sorumludur.

## 2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe

WBS No	GÖREV BAŞLIĞI	E (HA FTA)	BİRİNCİ AŞAMA												İKİNCİ AŞAMA												ÜÇÜNCÜ AŞAMA															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35					
1	Kavramsal Tasarım																																									
1.1	Litaratür Taraması	1																																								
1.2	İlk Tasarım Planı	2																																								
1.3	Sonuç Tasarım	2																																								
1.4	Tasarım Raporu	4																																								
2	Detaylı Tasarım																																									
2.1	Detaylı Tasarım İsterleri	2																																								
2.2	Tasarım Analizleri	5																																								
2.3	Tasarım Güncellemeleri	2																																								
2.4	Yazılım Mimarisi Oluşturulması	4																																								
3	Prototip ve Yazılım Geliştirme																																									
3.1	İmalat Planı	2																																								
3.2	Prototip İmalatı	4																																								
3.3	Elektronik Entegrasyon	2																																								
3.4	Yazılım Entegrasyonu	2																																								
4	Proje Performansı/İzleme																																									
4.1	Uçuş Testleri	6																																								
4.2	Sistem Güncellemeleri	2																																								
4.3	Uçuş Testleri 2	6																																								
4.4	Yarışma	2																																								

Şekil 2.2.1 ELFATEK RACLAB Zaman Çizelgesi

## SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

İnsansız hava aracının üretiminde ve geliştirilmesinde kullanılacak olan malzemeler Tablo 2.2.2’de belirtilmiştir. Temin sürecinde yaşanan problemler ve geliştirme aşamasında karşılaşılan sorunlara göre malzemelerde değişiklik olabilir. Yaşanabilecek değişiklikler sonraki rapor aşamasında belirtilecektir.

**Tablo 2.2.2 ELFATEK RACLAB Malzeme Listesi**

ELFATEK RACLAB Malzeme Listesi			
Malzeme	Fiyat ( TL )	Adet	Toplam Fiyat
Pixhawk Cube Orange + Here 3 GPS	8449	1	8449
NVIDIA Jetson Xavier NX Developer Kit	12390	1	12390
Mateksys Dijital Airspeed Sensör ASPD-4525	1197.61	1	1197.61
RFD868x Telemetri	4599	1	4599
Herelink HD Video Transmission System	15999.01	1	15999.01
FrSky Taranis X9D Plus ve XM+ Alıcı	5364.59	1	5364.59
FPV Ubec 5V / 3A	56.21	1	56.21
Sigorta	49.9	1	49.9
FPV Ubec 12V / 3A	50.96	2	101.92
T-Motor AT3530 KV580	1637,63	1	1637,63
Hobbywing Skywalker 60A ESC	579.66	1	579.66
TowerPro MG90S Servo	54,61	5	273,05
4S 10000mAh LiPo	2507.5	1	2507.5
EKEN H9R 1080p Kamera	2299,91	1	2299,91
Çeşitli yapı malzemeleri ve kablolar	343.48	1	343.48
Pervane	63.85	1	63.85
Cam elyaf 25 gr/m2	162.85	8	1302.8
Karbonfiber boru (metre)	268.71	8	2149.68
EPS Köpük (10'lu set)	419	1	419
İniş Takımı Tekerleği	34.99	3	104.97
<b>Toplam Fiyat (TL)</b>			<b>59.888,77</b>

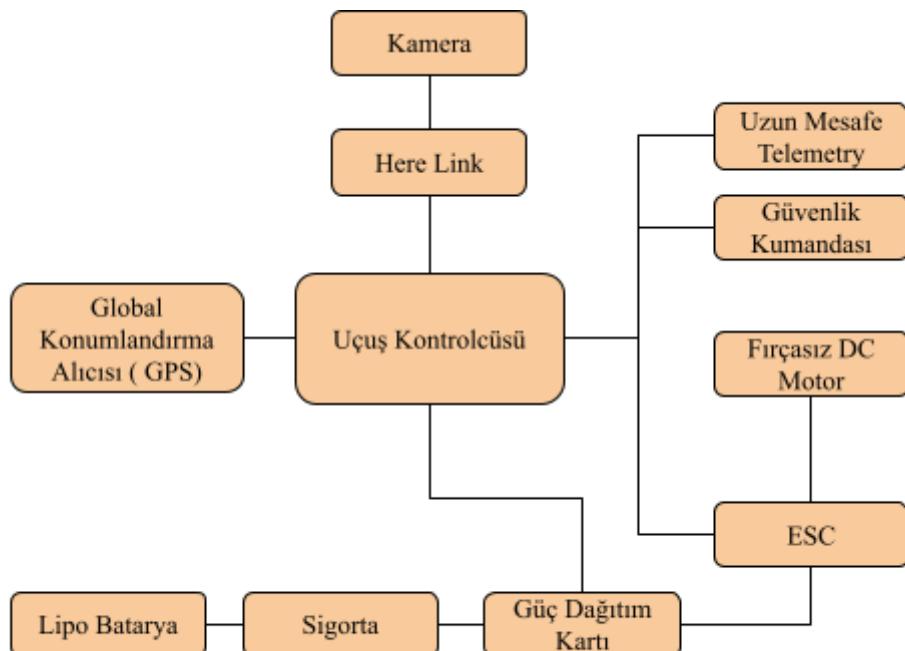
Ön tasarım raporunda belirtilen malzeme fiyat listesine göre gerçekleşen değişiklikler şunlardır;

- SunnySky X3520-720KV 1500W yerine T-Motor AT3530 KV580 marka motor kullanılacaktır. Bu tercihin temel sebebi, itkiyi artırmaya yöneliktedir.

- Emax ES08MD II Servo yerine TowerPro MG90S servolar kullanılacaktır. Bu tercihin sebebi, tedarik problemi ve diğer modele nazaran ucuz olan MG90S'lerin bu sistem için yeterli görülmüşidir.
- Logitech C920 Pro HD kamera yerine EKEN H9R 1080p aksiyon kamerası kullanılacaktır. Bu tercihin sebebi, Herelink haberleşme sisteminin Logitech kamera ile uyumlu olmamasıdır.

### 3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ

#### 3.1. Nihai Sistem Mimarisi



**Şekil 3.1.1** Sistem mimarisi şematik gösterimi

Sistem mimarisi iki alt başlıkta oluşturulmuştur. Bu başlıklar insansız hava aracı ve yer kontrol istasyonu olarak belirlenmiştir.

İnsansız hava aracı; uçuş kontrol kartı, GPS, görev bilgisayarı, kamera, görüntü aktarımı vericisi, telemetri, radyo alıcı, batarya, sigorta, güç dağıtım kartı, ESC ve motordan oluşmaktadır.

Yer kontrol istasyonu ise; telemetri, görüntü aktarımı alıcısı ve yer bilgisayarlarından oluşmaktadır. Uçuş kontrol kartı olarak Pixhawk Cube Orange kullanılacak olup, hava aracının uçuş ve kontrolünün sağlanması için kullanılmaktadır ve iletişim protokollerini kullanarak mini bilgisayarla kablolu veri alışverişi yapmaktadır. GPS modülünün marka ve modeli Here3 olup, hava aracının otomatik uçuş yapabilmesi için bulundurulması gerekmektedir.

Tespit, kilitlenme ve kaçış algoritmalarının hava aracı üzerinde çalıştırılması için NVIDIA Jetson Xavier NX yüksek performanslı mini bilgisayar kullanılacaktır. Ön tasarım

raporunda belirtilen Logitech C920 Pro HD uçuş kamerası, Herelink haberleşme modülü ile uyumsuzluğu nedeniyle değiştirilmiş ve EKEN H9R aksiyon kamerası kullanılacaktır. Görüntü aktarımı kısmında, hava aracının görev esnasında kameradan aldığı görüntüleri yer bilgisayarına aktarması için Herelink haberleşme sistemi kullanılacaktır. Bu tercihin sebebi geçen yıl düzenlenen yarışmada Wi-Fi üzerinden kaliteli bir haberleşme kurulamamasıdır. Bu kamera, tespit ve kilitlenme algoritmalarının gerçek zamanlı çalıştırılabilmesi için kullanılmaktadır.

Herelink aynı zamanda telemetri, uçuş verilerinin yer istasyonuna gönderilmesi ve kaydedilmesi için kullanılmaktadır. Sistemde FrSky Taranis X9D Plus model RC kumanda ve kumandanın radyo alıcısı Taranis XM+ ile hava aracının manuel uçuşu sağlanacaktır. İHA üzerindeki tüm elektronik sisteme gücü 4S 10000mAh LiPo sağlayacaktır ve PDB bu gücün dağıtacaktır. Bataryanın çıkışı sigortaya bağlanarak olası kaza/kırımlarda yanma riskine karşı koruma sağlanacaktır. Fırçasız DC motorun kontrol edilebilmesi için Hobbywing Skywalker 60 A marka model elektronik hız kontrolcüsü (ESC) kullanılmaktadır. Hava aracından alınan uçuş verileri, anlık görüntüler ve algoritmaların doğruluk bilgileri yer kontrol istasyonu ile takip edilecektir. Yer kontrol bilgisayarı uzun mesafe telemetri ve görüntü aktarımı alıcısından (Herelink) gelen bilgileri özgün arayüzde değerlendirerek kullanıcıya görselleştirecektir.

Kavramsal sistem mimarisine kıyasla itki motoru, servo motorlar ve kamera haricinde nihai sistem mimarisinde bir değişiklik yapılmamıştır. Yapılan değişiklikler de marka model değişikliği olup mimariye etkisi bulunmamaktadır.

### 3.2. Alt Sistemler Özeti

İnsansız hava aracında kullanılacak olan elektronik bileşenlerin seçimleri, görev isterleri ve görev başarısının artırılmasına yönelik kriterler düşünülerek gerçekleştirılmıştır. Uçuş için gereken ana bileşenlere bakıldığında, kullanılacak olan fırçasız DC motorun seçiminde İHA'nın tasarımları, toplam kalkış ağırlığı, görev için gereken uçuş süresi, uçuş performansına göre ihtiyaç olan itki sağlanabilirliği, malzeme kalitesi ve marka bilinirliği göz önünde bulundurulmuştur.

Ön tasarım raporunda belirtilen SunnySky X3520 720KV itki motorunda bu parametrelere dayanarak değişime gidilmeye karar verilmiştir. Daha yüksek bir itki değerine sahip T-Motor AT3530 KV580 itki motoru kullanılmasına karar verilmiştir. Elektronik hız kontrolcüsü olarak Hobbywing Skywalker 60A kullanılacaktır. Kontrol yüzeylerinde ve iniş takımında kullanılacak olan servoların seçimi yapılrken uçuş hızı, kanat alanı, kontrol yüzeylerinin alanları, bu bilgilere göre yeterli görülen tork ve metal dişli kalitesi gibi kriterlere bakılmıştır. Ön tasarım raporunda belirtilen EMAX ESMDII servo motorlar yerine TowerPro MG90S kullanılacaktır. Bunun sebebi tedarik problemidir. Yurtiçinde bulunan daha ucuz ve metal dişli olan MG90S tork yönünden de yeterli görülmüştür. Maksimum uçuş ağırlığı, uçuş süresi, sistemin çektiği maksimum akım, temin kolaylığı gibi kriterlere göre 4 hücreli ve 10000 mAh kapasiteli bir LiPo batarya kullanılması uygun görülmüştür.

Kullanılacak elektronik bileşenlerde ise uçuş kontrol kartı olarak Pixhawk Cube Orange tercih edilmiştir. Tercih sebebi ise piyasadaki diğer kontrol kartlarına göre işlem hızı, sensör kalitesi, kullanım kolaylığı, yan ekipmanların kalitesi, ArduPilot yazılımı uyumu gibi

faktörlerde öne çıkmasıdır. Elde bulunması ve tecrübe sahibi olunması önemli tercih sebepleri arasındadır. İHA, konumunu belirleyip otonom uçuşunu gerçekleştirebilmesi için GPS modülüne ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyacı Here3 GPS modülü karşılamaktadır. Tercih edilmesinin sebebi, yeni bir ürün olması, daha yüksek hassasiyete sahip olması ve Cube ile uyumlu olmasıdır.

Yardımcı bilgisayar olarak NVIDIA Jetson Xavier NX kullanılacaktır. Diğer yüksek performanslı mini bilgisayarlar karşılaşırılarak yapay zekâ algoritmalarını çalışma gücü ve paralel işlem yeteneği için ideal görülmüştür.

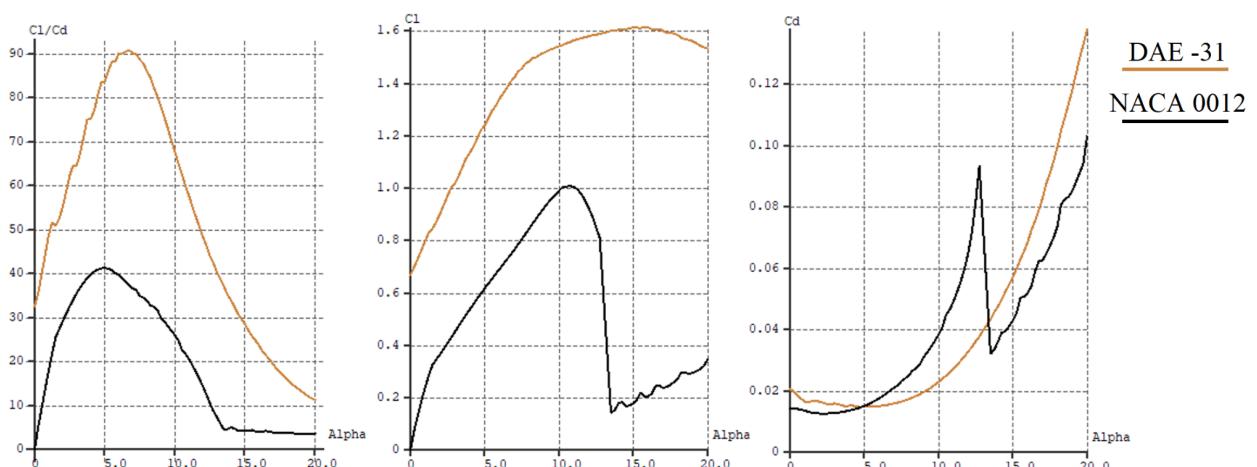
Sistemin yer istasyonu ile haberleşmesi için RFD868x telemetri modülü ve görüntü aktarımı için Pixhawk Herelink kullanılacaktır. Yarışma alanı ebatlarında gereken yüksek çekim gücü, veri gönderme alma hızı gibi faktörler düşünülerek bu tercihler gerçekleştirılmıştır.

Hedef tespiti için kullanılacak kamera modülünün seçiminde daha önce kullanıldığı için tecrübe, çözünürlük, kare hızı ve kullanım kolaylığı faktörleri ele alınmıştır. Ön tasarım raporunda belirtilen Logitech marka kamera Herelink video aktarım sistemi ile kullanılmadığından dolayı EKEN H9R aksiyon kamerası tercih edilmiştir. GoPro'ların ucuz alternatif olması da ayrı bir tercih sebebi olmaktadır.

### 3.3. Hava Aracı Performans Özeti

#### 3.3.1. Hava Aracı Tasarım ve Uçuş Dinamikleri

DAE-31 kanat profiliinin  $\alpha = 6.25^\circ$  hucum açısı analizi yapılarak elde edilen  $C_l = 1.35972$ ,  $C_d = 0.01513$  ve  $L/D_{max} = 89.853$  değerleri göz önünde bulundurularak aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.



**Şekil 3.3.1.** Kanat profilleri aerodinamik katsayılarının hucum açılarına göre grafikleri

**Ortalama Veter Uzunluğu (c) = 0.28 m, S = 0.6 m<sup>2</sup>,**

$$\text{Reynolds sayısı: } Re = \frac{\rho_\infty V_\infty c}{\mu_\infty}$$

Samsun ili Ağustos ayı ortalama hava sıcaklığı 296.75 K;

$$\rho_{\infty} = 1.189542 \text{ kg/m}^3 \quad \mu_{\infty} = 1.83106 * 10^{-5} \text{ kg/m} - s$$

$$Re = (1.189542 * 10.53 * 0.28) / (1.83106 * 10^{-5}) = 191541.81$$

$$\text{İnsansız hava aracının havada kalabileceği minimum hız, } V_{stall} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{\infty}} \frac{W}{S} \frac{1}{(C_L)_{max}}}$$

Düşük stol hızı için düşük kanat yüklemesi (W/S) ve yüksek taşıma katsayısı gereklidir. Profil maksimum taşıma katsayıları profil grafiklerinden elde edildikten sonra kanat için yaklaşık olarak aşağıdaki denklem kullanılabilir.

**Kabul:**  $C_{L,max} \cong 0.9$  : Profil maksimum taşıma katsayısı

$$V_{stall} = \sqrt{\frac{2}{1.189542} \frac{9.81}{0.6} \frac{4}{1.223748}} = 9.4791 \text{ m/s} \quad V_{max} = 32 \text{ m/s}$$

**Taşıma kuvveti:**  $L = \frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2 S C_L$

$$L = (1/2) * 1.189542 * 9.4791 * 0.6 (1.35972 * 0.9) = 39.24 \text{ N} \quad W = 4 * 9.81 = 39.24 \text{ N}$$

**Sürükleme kuvveti:**  $D = \frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2 S C_D$

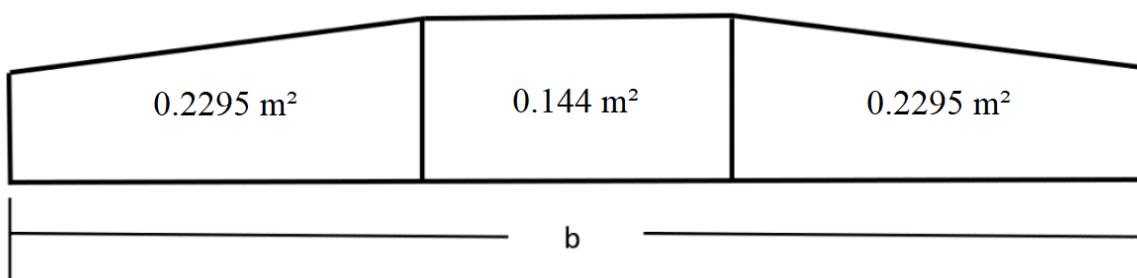
$$D = (1/2) * 1.189542 * 9.4791 * 0.6 * 0.01513 = 0.485149 \text{ N}$$

**Moment:**  $M = \frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2 S c C_M$

$$M = (1/2) * 1.189542 * 9.4791 * 0.6 * 0.28 * -0.144 = -0.13639192 \text{ N.m}$$

Açıklık oranı kanatın şeklinin bir ölçümüdür. Planörlerin açıklık oranı yüksek, yamaç paraşütlerinin ise onlara kıyasla düşüktür. Açıklık oranı, kanat uzunluğunun karesinin alana bölünmesiyle bulunur.

Sivrilme oranı ise bir kanadın uç ve kök veter uzunlukları arasındaki orandır.



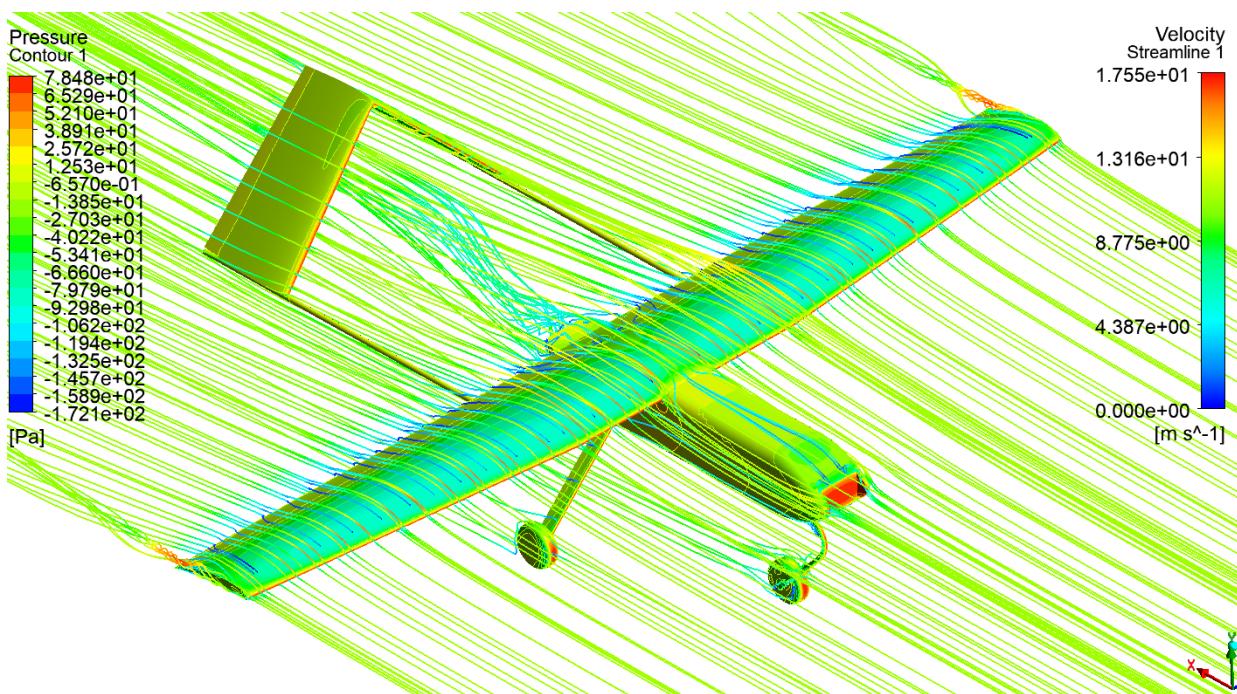
**Şekil 3.3.2.** Kanat geometrisi ve alanı

**Açıklık oranı:**  $AR = \frac{b^2}{S} \quad AR = 2 \cdot 3^2 / 0.6 = 8.8166$

**Sivrilme oranı:**  $\lambda = \frac{c_t}{c_r} \quad \lambda = 0.22/0.32 = 0.6875$

Tasarlanan insansız hava aracının akış analizleri ve aerodinamik hesaplamaları Ansys Fluent programı üzerinden 10.53 m/s hız olan seyir hızındaki uçuş şartlarına göre yapılmıştır. Analizin çözüm kısmındaki referans değerlerinde, yarışmanın yapılacağı Samsun ilinin yarışma dönemindeki ortalama hava sıcaklığı 296.75 °K alımıştir. Akışkanın yoğunluk ve viskozite değerleri sıcaklığa ve irtifaya uygun şekilde seçilmiştir.

Gövde geometrisinin uç kısma doğru sivrilmesi oluşacak basıncı azaltmaktadır. Kuyruk profiline kullanılan NACA 0012 kanat profili simetrik olması sebebiyle 0° hücum açısında taşıma kuvveti oluşturmamaktadır. İnsansız hava aracının ağırlık merkezi moment hesabı göz önüne alınarak ve analiz sonuçları değerlendirilerek kanat hücum kenarının 120 mm gerisinde alınmıştır. Akım çizgileri sonuçlarında ise akış ayrılmalarının az olduğu belirlenmiştir. Tasarlanan ters V kuyruk tipinin kanatlardan ve gövdeden gelen bozulmuş bir havaya maruz kaldığı ve avantajlı olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 3.3.3.** İHA üzerine etkiyen akım çizgileri ve basınç konturlarının ANSYS Fluent programında görüntülenmesi

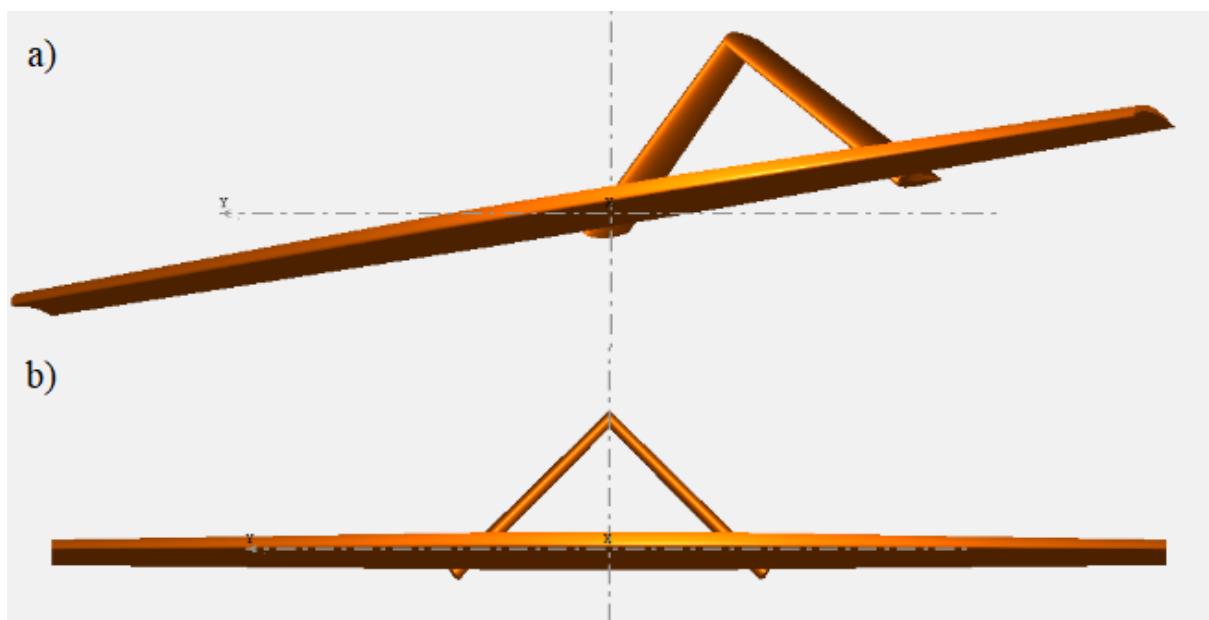
Elde edilen sonuçlar parametreler üzerinden okunmuş ve taşıma kuvveti seyir hızında 39.29 N, sürükleme kuvveti 3.153 N olarak bulunmuştur. Sonuçlar ile hesaplamaları yapılan uçuş süresi ve karakteristiği gerçek uçuş denemelerinde elde edilen veriler ile karşılaştırılmış ve doğrulu gözlemlenmiştir.

**Tablo 3.3.1** 10.53 m/s hızda İHA üzerine etkiyen aerodinamik kuvvetler

Taşıma Kuvveti	Sürükleme Kuvveti
39.29 N	3.153 N

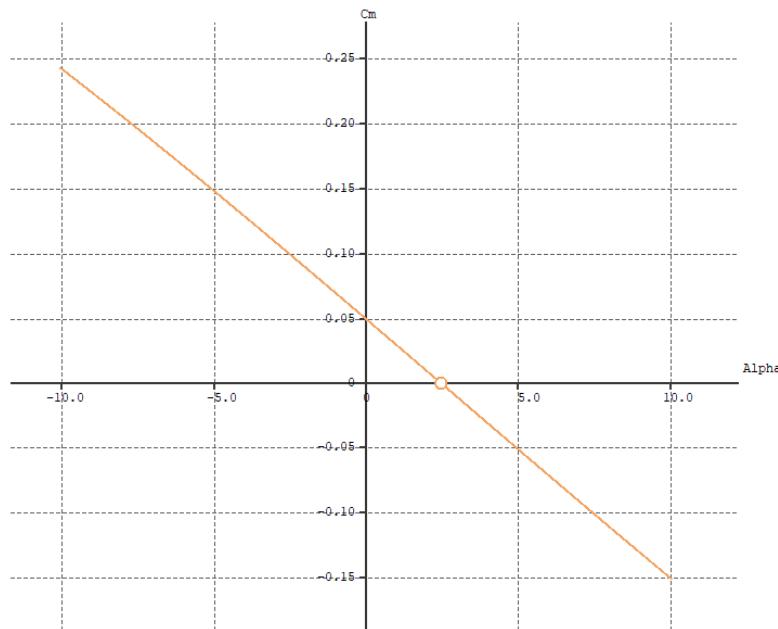
Yönsel statik kararlılık için rudderda simetrik kanat profili kullanılmıştır ve serbest hava akımında herhangi bir aerodinamik kuvvete maruz değildir. İHA'nın üzerine rüzgar belli bir hız ve açıda gelmesi durumunda ani olarak sağa doğru saptığını varsayırsak rudder belli bir hücum açısına sahip olacaktır ve "V" hızına dik bir F kuvvetine maruz kalacaktır. Bu kuvvet insansız hava aracını ağırlık merkezi etrafında eski denge pozisyonuna döndürmeye çalışan düzeltici sapma momenti oluşturmaktadır.

XFLR5 programında yapılan stabilite analizi sonucunda insansız hava aracının yanlamasına statik kararlı olduğu gözlemlenmiştir. Yan rüzgar sonucunda insansız hava aracı yalpa hareketi yapmaktadır, statik kararlı olan İHA tekrar denge konumuna gelerek uçuşuna güvenli şekilde devam edebilmektedir.



**Şekil 3.3.4.** Yana kaymanın oluşumu (a) ve denge konumuna dönmesi (b)

İHA'nın moment katsayısının çeşitli hücum açıları üzerindeki değişimi hesaplamalara göre belirlenen 10.53 m/s seyir hızında yapılmıştır. Aşağıdaki grafikte görüldüğü üzere moment katsayısı eğrisinin eğimi negatiftir ve hücum açısı değeri makul uçuş aralığı dahilindedir. Bu nedenle tasarlanan insansız hava aracının statik kararlı ve boylamasına dengede olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 3.3.5.** Boylamasına statik kararlılık

### 3.3.2 İtki sistemi

Uçuş sistemi için kullanımının kolay olması ve bakım gereksinimin düşüklüğü göz önünde bulundurularak elektrikli firçasız DC (BLDC) motor kullanılması yönünde ilerlenmiştir. Motor seçimi yapılırken insansız hava aracının sürtünmesi, uçuş hızındaki gerekli itki kuvveti ve itki/güç tüketimi değerleri göz önünde bulundurulmuştur.

Motorun seçimi için ilk parametre itki/ağırlık oranının 1 üzerine çıkarılması olmuştur, sistem ağırlı 4000 gr olarak varsayılmıştır. Bu varsayılm hareket kabiliyetini artımı sağlayacağı gibi kalkış süresini ve kaçış manevra kabiliyetini artıracaktır.

Kullanılacak Pervane itki hesabı için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$T = c_t \rho n^2 D^4$$

Formül Hesabına göre 14x7" pervane kullanımı durumunda olacak itki kuvveti Tablo 2'de görülebilir. Hesaplar NSA altında ve 0 metre irtifa için yapılmıştır.

**Tablo 3.3.2** RPMe göre 14x7 pervane için Hız, İtki Tablosu

Motor	Hız	İtki	Hız	İtki
3000 RPM	9.5 m/s	1.79 N	22 m/s	-
6000 RPM	9.5 m/s	16.57 N	22 m/s	4.27 N
10000 RPM	9.5 m/s	54.84N	22 m/s	39.71 N

Uçuş hızı arttıkça pervane üzerinde oluşan hava akışı pervane etkisini azaltmaktadır. Bu sebep dolayısıyla düşük hızda dönen pervanenin itki düşmektedir.

Aerodinamik hesaplara bakıldığından gerekli kaldırma kuvveti hızla bağlı olarak 9-12 N aralığında değişmektedir. Seçilecek motorun Tablo 3.3.2'de görüldüğü üzere 3000-6000 RPM civarında verimli bir motor olması gerekmekte ve 14x7 inch pervane boyutunu desteklemelidir. Bu isteri sağlayabilmek için motor konfigürasyonunda T-Motor AT3530 KV580 motor seçimi yapılmış, bu sayede uçuş süresi uzun tutularak uçağın gereken hızlara ulaşılabilmesi için gerekli itki sağlanmıştır.

### 3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı

Tasarlanan insansız hava aracının kanatları üstten kanat olup kuyruk tarafında İHA'nın etkinliğinin artırılması, agresif manevra kabiliyetine sahip olması ve kontrol yeteneğinin iyileştirilmesi adına ters V kuyruk tipi kullanılmıştır. Ters V kuyruğun iç açısı  $90^\circ$  olarak belirlenmiş ve elevatör-rudder etkileri eşit tutulmuştur. Ön ve arka iniş takımları sabittir ve İHA arkadan itişli bir tasarıma sahiptir. Genel olarak tasarım yapılırken kolay üretilenlik, düşük maliyet, özgünlük ve yüksek manevra kabiliyeti göz önünde bulundurulmuştur. İHA'nın temel boyutları ve özellikleri tablo 3.4.1'de verilmiştir.

**Tablo 3.4.1** İHA'nın Temel Ölçüleri ve Özellikleri

	Kanat	Ruddervator
<b>Kanat Profili</b>	DAE-31	NACA 0012
<b>Açıklık</b>	2.3 m	0.6 m
<b>Ortalama Veter Uzunluğu</b>	0.28 m	0.225 m
<b>Alan</b>	0.6 $m^2$	0.135 $m^2$
<b>Kök Veter Uzunluğu</b>	0.32 m	0.25 m
<b>Üç Veter Uzunluğu</b>	0.22 m	0.20 m
<b>Açıklık Oranı (AR)</b>	8.8166	2.666
<b>Sıvırılma Oranı</b>	0.6875	0.8

Araç içi sistemlerin, güvenlik kapsamında yerleştirilen sigortanın konumu ve elektronik parçaların gövde üzerinde konumlandırılma planı şekil 3.4.3'de gösterilmiştir. Acil durumda sigortanın kapatılabilmesi için sigortanın konumu kolay erişilebilir şekilde montajlanmıştır.

Gövdenin burun kısmına kamera konumlandırılacak, bu kamera ile birlikte çalışacak olan Herelink görüntü aktarım modülü ise hava aracının ağırlık merkezini bozmaması adına kanatların altında ağırlık merkezine hizalanacaktır. Güvenlik tedbiri kapsamında kullanılacak sigortanın herhangi bir aksilik durumunda kolay erişilebilir olması için gövdenin sağ tarafında, LiPo pil ile aynı hizaya yerleştirilecektir.

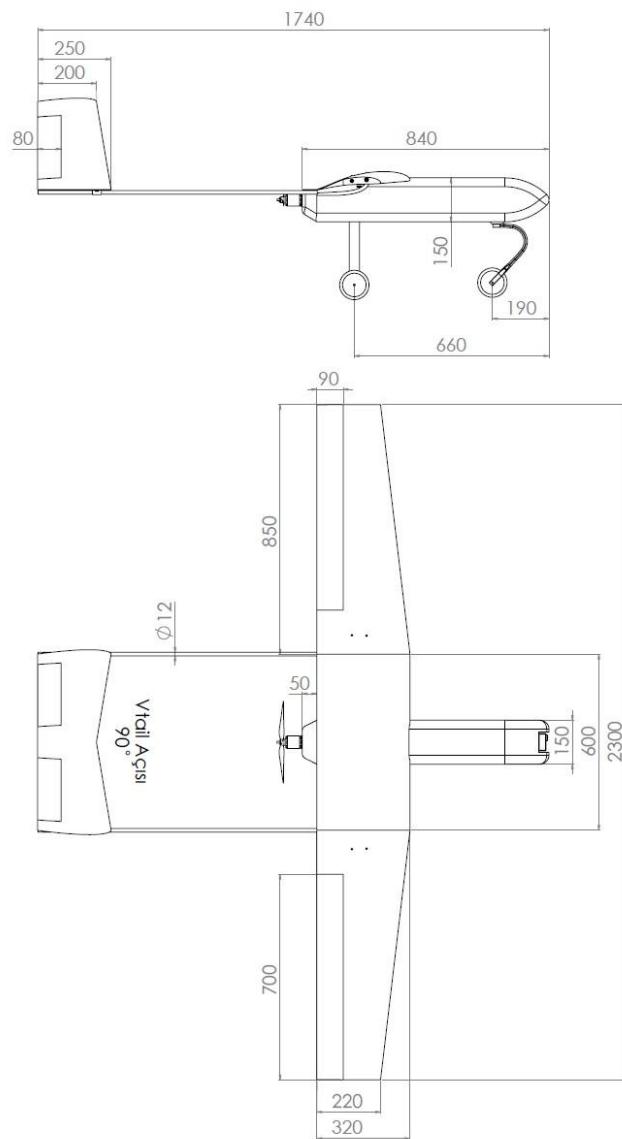
Üretimi ve uçuş testleri tamamlanan hava aracının gövde içi elektronik yerleşimiyle birlikte fotoğrafları Şekil 3.4.3'te gösterilmiştir.





Şekil 3.4.1 İnsansız hava aracının üç boyutlu tasarımlı

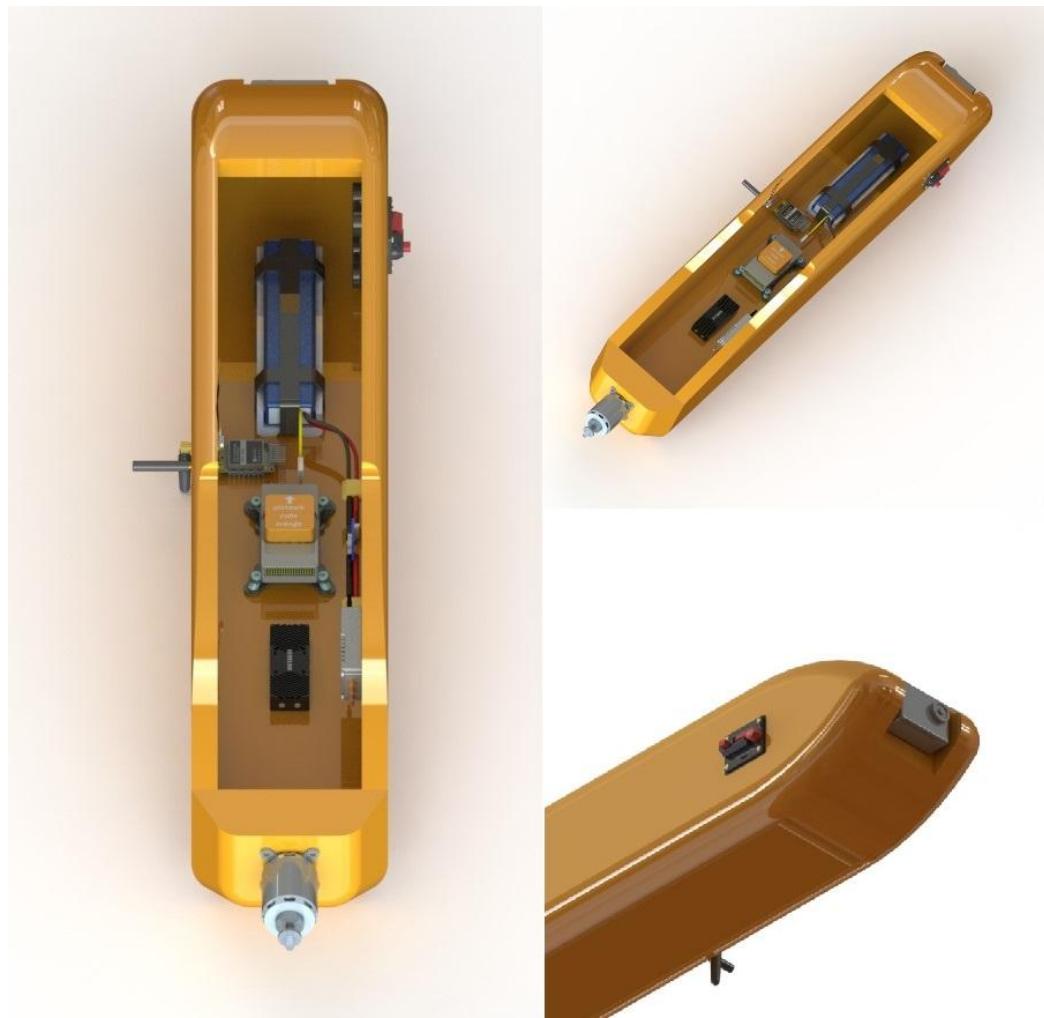
## SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



**Şekil 3.4.2** Hava aracının boyutları (mm)

## SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Araç içi sistemlerin, güvenlik kapsamında yerleştirilen sigortanın konumu ve elektronik parçaların gövde üzerinde konumlandırılma planı şekil 3.4.3'de gösterilmiştir. Bu plana göre, kamera gövdemin burun kısmına konumlandırılacaktır. Kamera ile birlikte çalışacak Herelink görüntü aktarım ünitesi yüksek ağırlığı dolayısıyla ağırlık merkezinin dengesini koruyabilmek adına orta kanadın altına ağırlık merkezinin hizasında konumlandırılacaktır.



**Şekil 3.4.3** Gövde içi elektronik planı

Güvenlik tedbiri amacıyla kullanılan sigorta, acil bir durumda kolay erişilebilir olması için gövdemin sağ tarafında LiPo pilin hizasına yerleştirilecektir.

### 3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı

İnsansız hava aracının alt sistem seviyesinde ağırlık dağılımı ve ağırlık merkezi bu başlık altında verilmektedir.

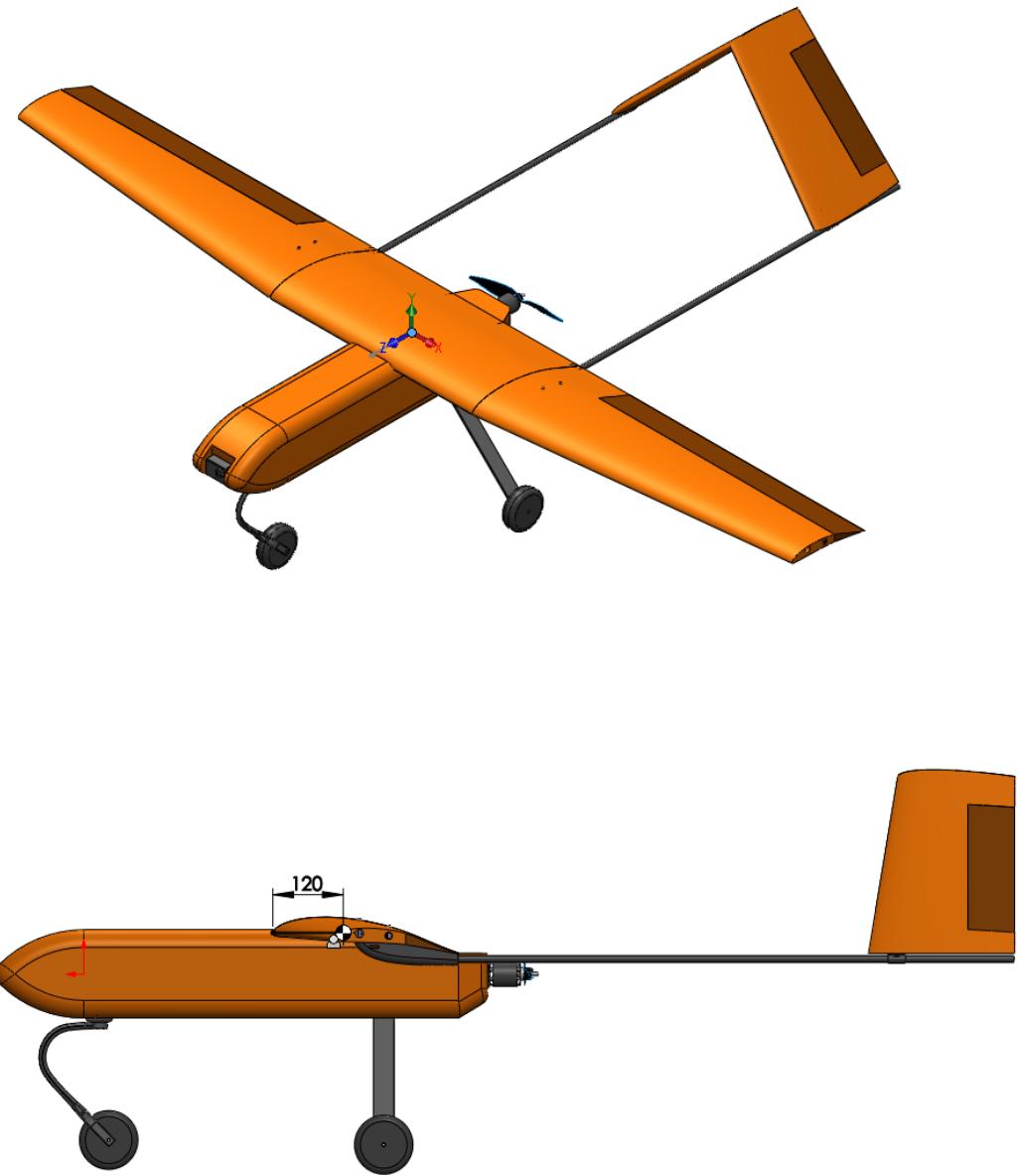
**Tablo 3.5.1 İHA Malzeme Ağırlık Merkezi Hesabı** (kütle birimi gram, uzunluk birimi mm almıştır)

Numara	Parça Adı	Ağırlık	X Koordinatı	Y Koordinatı	Z Koordinatı	X Moment	Y Moment	Z Moment
1	LİPO	833	0	-128	180	0	-106624	149940
2	AT3530 KV580 Motor	298	0	-95	-273	0	-28310	-81354
3	ESC	63	55	-110	176	3465	-6930	11088
4	Aileron Servo Motor	9	750	0	-72	6750	0	-648
5	Aileron Servo Motor	9	-750	0	-72	-6750	0	-648
6	V Tail Servo Motor	9	155	92	-1041	1395	828	-9369
7	V Tail Servo Motor	9	-155	92	-1041	-1395	828	-9369
8	Pixhawk Cube Orange	75	0	-110	170	0	-8250	12750
9	Here3 GPS	49	0	17	72	0	833	3528
10	Herelink	144	0	-128	30	0	-18432	4320
11	Eken H9R	64	0	-112	560	0	-7168	35840
12	Bullet M2 Wi-Fi	180	0	-128	-106	0	-23040	-19080
13	RFD900	14,5	22	-125	150	319	-1812,5	2175
14	Pololu 5V/5A BEC	3	55	-110	271	165	-330	813
15	Sigorta	60	-55	-54	377	-3300	-3240	22620
16	R9DS Alıcı	12	-25	-125	120	-300	-1500	1440

## SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

<b>17</b>	Gövde	758	0	-75	179	0	-56850	135682
<b>18</b>	Sağ kanat	318	-637	0	-39	-202566	0	-12402
<b>19</b>	Sol Kanat	316	637	0	-39	201292	0	-12324
<b>20</b>	Kuyruk	180	0		-1017	0	0	-183060
<b>21</b>	Ön iniş takımı	150	0	-294	390	0	-44100	58500
<b>22</b>	Arka İniş takımı	300	0	-310	-130	0	-93000	-39000
<b>23</b>	Kuyruk boruları	104	0	-54	-562	0	-5616	-58448
<b>24</b>	Pervane	47	0	-95	-314	0	-4465	-14758
	<b>Toplam</b>	<b>4004,5</b>				<b>X Ağırlık Merkezi</b>	<b>Y Ağırlık Merkezi</b>	<b>Z Ağırlık Merkezi</b>
						-925	-407178,5	-1764
						<b>-0,2309901361</b>	<b>-101,6802347</b>	<b>-0,4405044325</b>

Tablo 3.5.2 Sonuçlarına göre referans noktası yapılan moment ve analiz hesaplarına göre belirlenen sistemin ağırlık merkezinde alınmıştır. Ağırlık merkezi X ekseninde 0,23 mm, Y ekseninde 101 mm, Z ekseninde 0,44 mm olarak çıkmaktadır. Tasarlanan sabit kanatlı insansız hava aracının ağırlık merkezi kanat ucuna göre de ifade edilecek olursa kanadın veter uzunluğunun hücum kenarından firar kenarına çizgi çekildiğinde ki 120 mm'lik mesafede bulunmaktadır. X, Y, Z koordinat eksenleri ve referans noktası Şekil 3.5.1'de görülebilir.



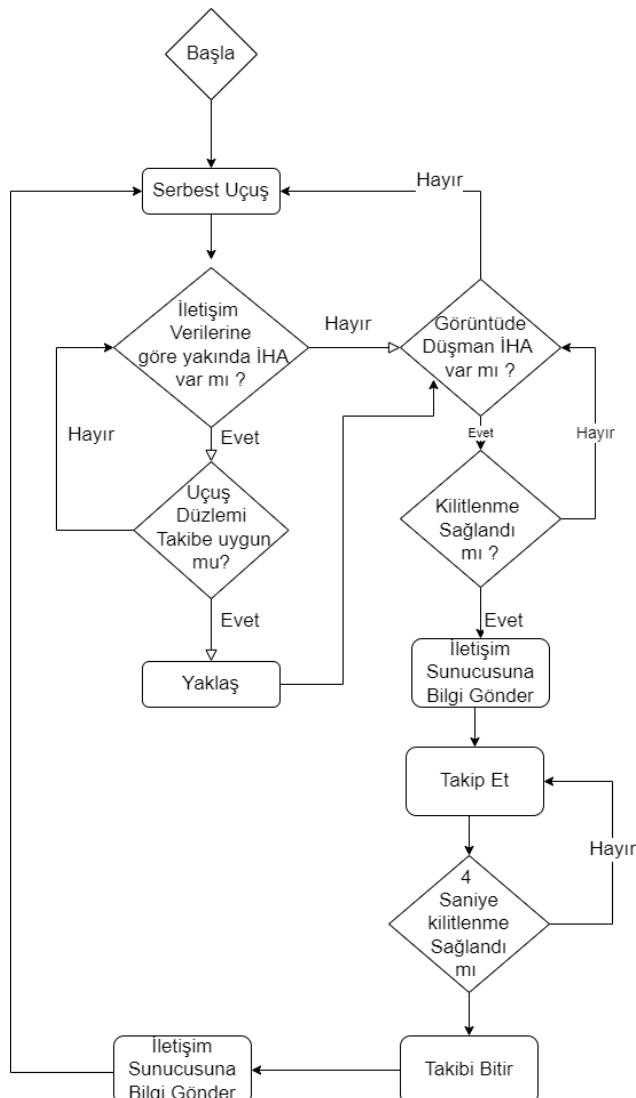
**Şekil 3.5.1** Koordinat sistemi ve ağırlık merkezi

## 4. OTONOM GÖREVLER

### 4.1. Otonom Kilitlenme

Otonom kilitlenme algoritması kavramsal tasarım raporunda kurgulanan sistemin geliştirilmiş algoritması olarak devam etmektedir. Bu algoritma 2021 SIHA yarışmasında denenmiş ve eksik görülen kısımları üzerinde geliştirmeler yapılmaktadır.

Buna göre; Sistem iki aşamalı olarak kurgulanmıştır. Birinci aşamada yarışma sunucusu tarafından sağlanan “düşman” insansız hava araçlarının koordinatlarının, uçuş düzlemine göre ve uzaklığuna göre takibe uygunluğuna karar verilmesi sağlanmaktadır. İkinci aşamada yapay zeka destekli algılama sistemi algılanan alanda herhangi bir insansız hava aracının görüş alanında olup kilitlenmeye uygun olup olmayacağına karar verecektir. Bir önceki yıl kullanılan sisteme ek olarak uçuş düzlem sistemi için gerekli hesaplamalara iletişim gecikmeleri için hata payı düzeltmesi eklenmiştir. Algoritma Şekil 4.1.1 üzerinde incelenebilir.



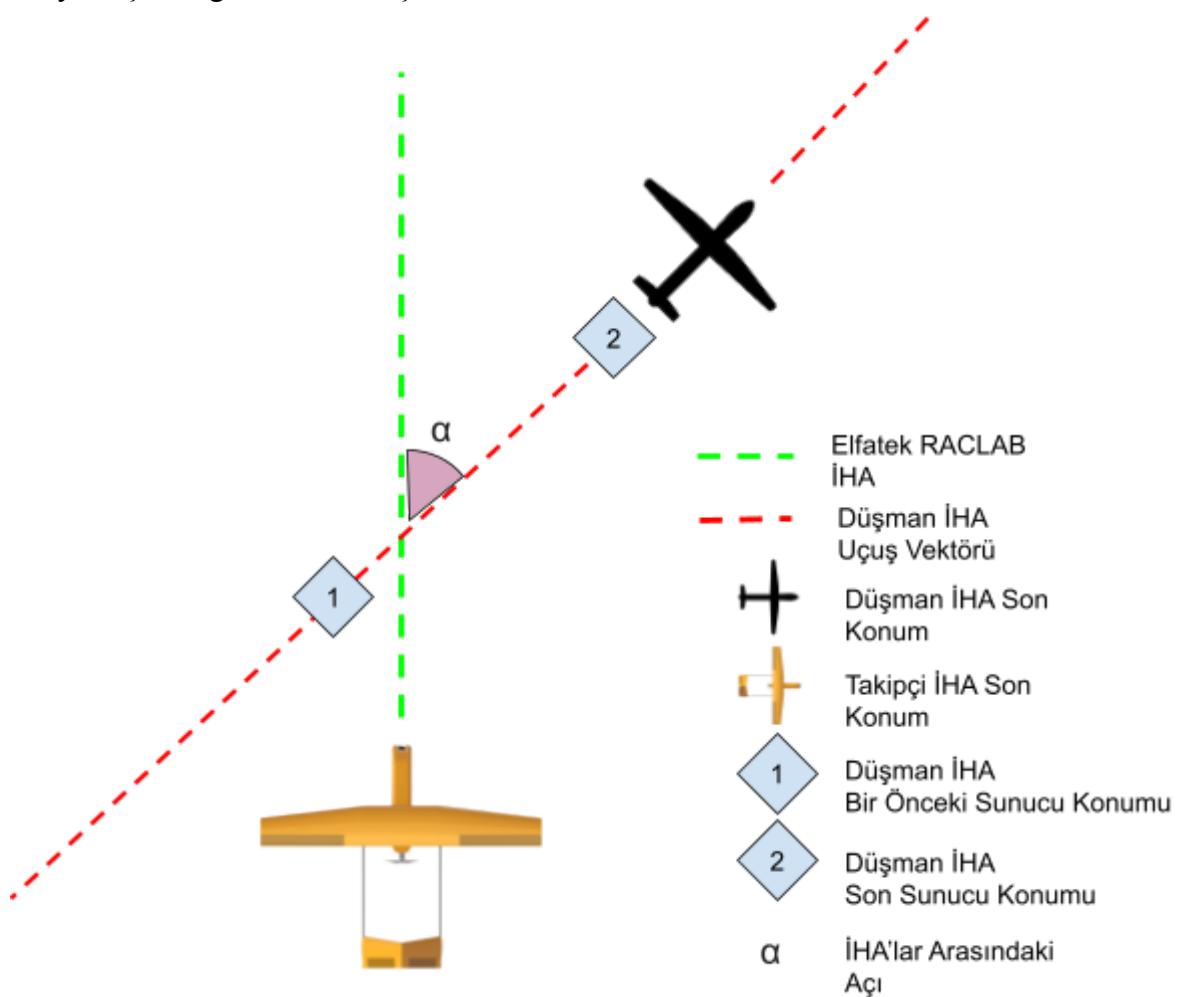
**Şekil 4.1.1** Otonom Kilitlenme Algoritması Akış Şeması

#### 4.1.1. Uçuş Düzlemi Kontrol Algoritması

Otonom kilitlenme algoritmasında birinci aşamayı oluşturan uçuş düzlemi kontrol algoritması, yarışma sunucusu tarafından sağlanan düşman insansız hava araçlarının kayıt altına almakta ve her düşman İHA'nın bir önceki konumuna göre üç boyutlu uzayda ilerleme doğrultusu oluşturulmaktadır.

Oluşturulmuş olunan düşman İHA doğrultu vektörü ile insansız hava aracı kendi doğrultu vektörü arasındaki açıyı kontrol etmektedir. Şekil 4.1.2'de bu açı  $\alpha$  olarak gösterilmektedir. Açı eğer dönüş ekseninde 20 derece ve yükselti ekseninde 10 derece veya daha altında kalmakta ise son gelen veriye göre uzaklığını kontrol etmektedir.

Hesaplanan iki parametrede istenilen değerler veya daha altında olduğu durumda sistem yaklaşma algoritmasına başlamaktadır.

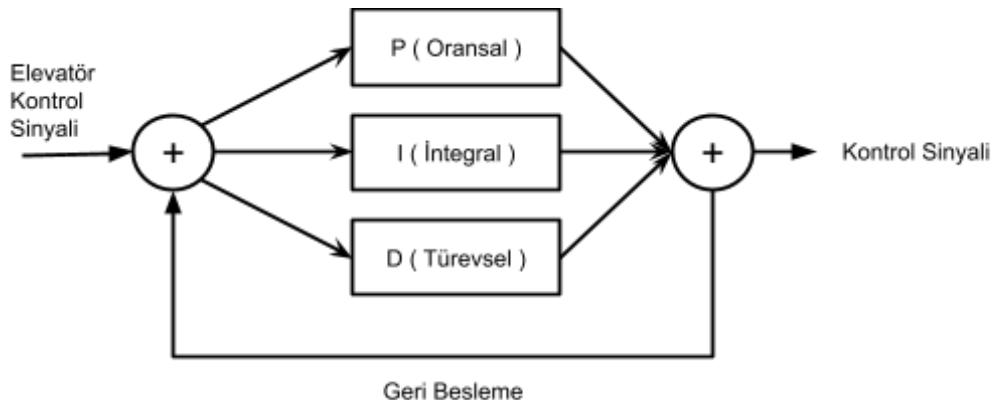


Şekil 4.1.2 Uçuş Düzlem Algoritması Görselleştirmesi

#### 4.1.2 Yaklaşma Algoritması

Uçuş düzlem kontrol algoritması ve/veya görüntü üzerinden İHA tespiti yapıldığı takdirde çalışan algoritmadır. Algoritma aktif hale geldiğinde insansız hava aracı, takip ettiği düşman İHA'nın kendi konumuna ve açılarına göre hareket etmeye başlamaktadır.

İki insansız hava aracı arasındaki açı farkı, oluşturulan kontrol algoritmaları ile uçuş kontrol bilgisayarına hareket kontrolü olarak iletilmektedir.



**Şekil 4.1.3** Yaklaşma Yapısı PID Kontrolcüsü

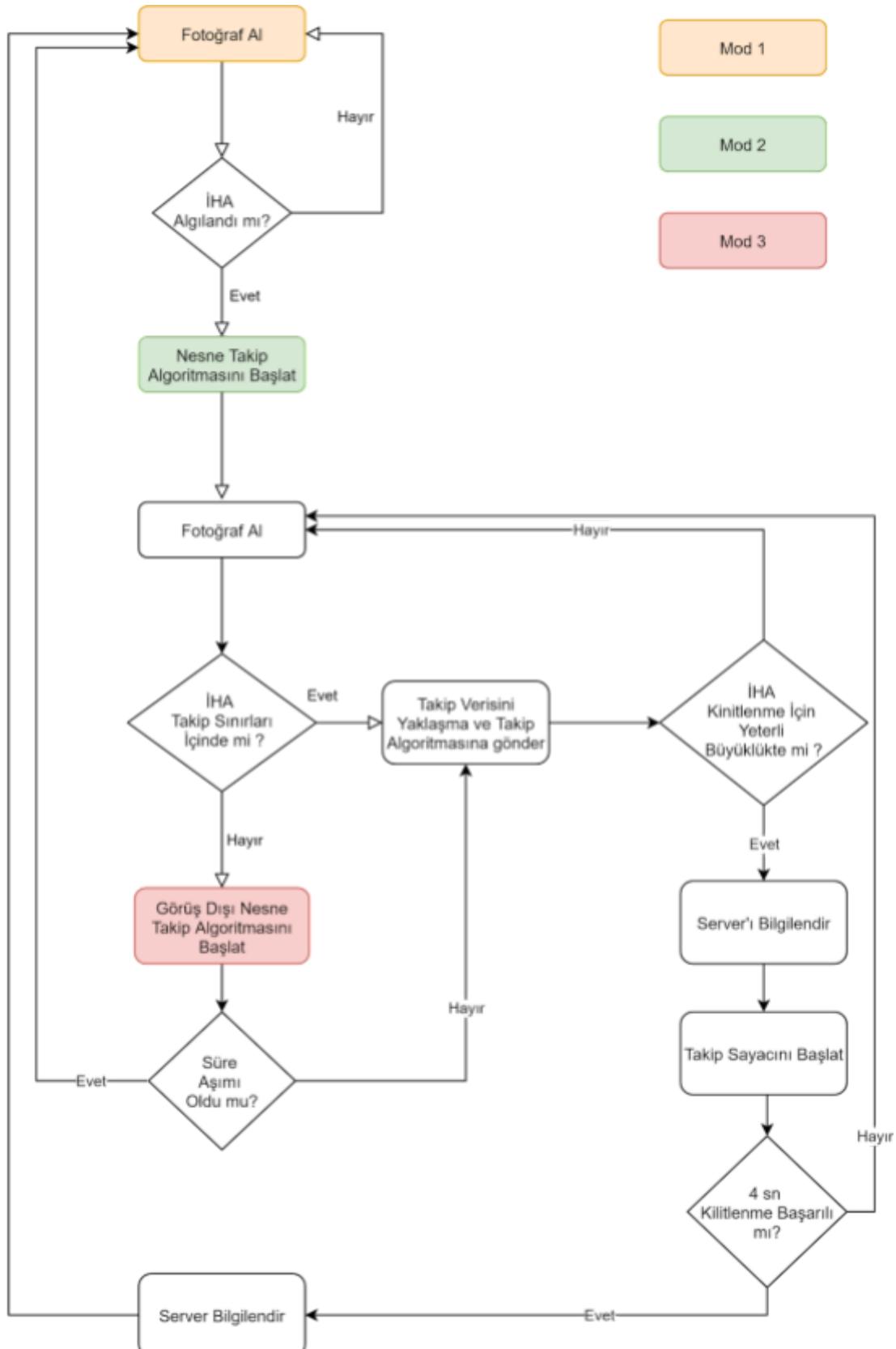
Hesaplanmış dönüş ve yükselti eksenindeki hatalar birbirinden farklı iki PID kontrolör ile kontrol edilmekte ve sistem bilgisayarı tarafından uçuş kontrolcüsüne aktarılmaktadır.

#### 4.1.3 Kilitlenme ve Takip Algoritması

Kilitlenme algoritması bir adet nesne tespit algoritması ve iki adet nesne takip algoritmasının birleşmiş haliyle oluşmaktadır.

Sistem öncelikle derin öğrenme tabanlı nesne tespit algoritması kullanarak insansız hava aracını tespit etmekte ve bu veriyi nesne takip algoritmasına aktarmaktadır. Nesne takip algoritması daha az işlem gücü tüketmesi ve yüksek hızlı işlem yapabilmesi sayesinde tepkisellik arttırmaktadır. Takibine başlanmış bir insansız hava aracı, görüş alanından çıktıığı takdirde bir başka nesne takip algoritması devreye girerek optik akış yöntemi ile tekrar iha görüş alanına alınmaya çalışılacaktır.

## SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

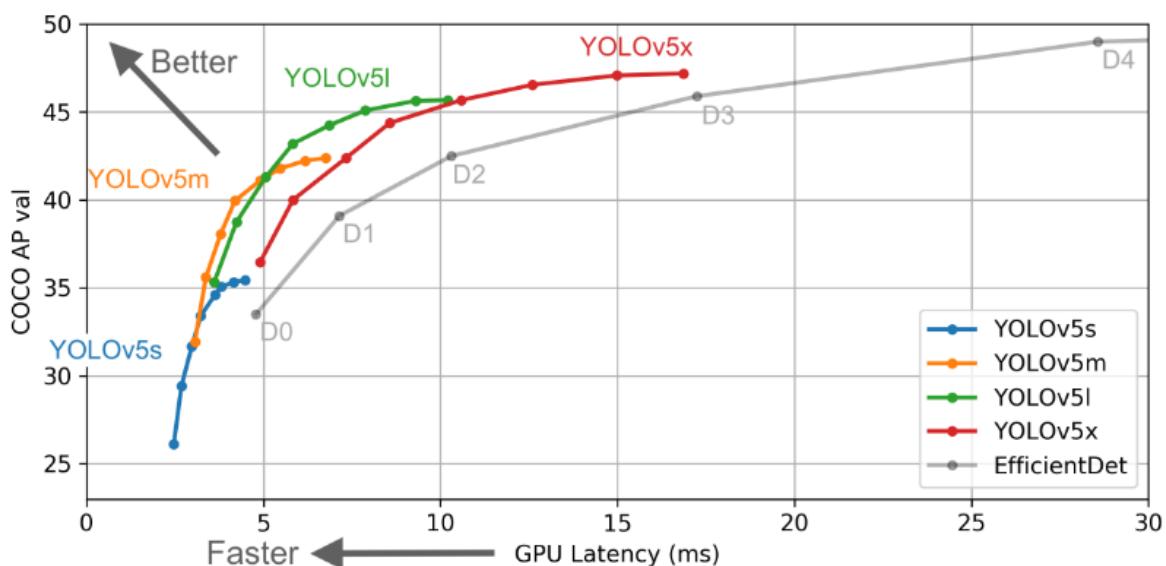


**Şekil 4.1.4** Nesne Tespit ve Takip Mod Akiş Şeması

#### 4.1.3.1 Nesne Tespiti

Nesne tespiti yaklaşma algoritması sırasında düşman insansız hava aracının tanınması ve takibe başlanması için kullanılacak öncelikli yapıdır.

Derin öğrenme alt yapısı için kullanılması planlanan model seçimi yüksek FPS ve kalabalık olmayan ortamlarda doğruluk oranı göz önünde bulundurularak seçim yapılmıştır. Şekil 4.1.5 YOLO obje tanıma algoritmasının test sonuçları görülmektedir. Bu test sonuçlarına göre yorumlama yaptığımızda yüksek çözünürlük gereksinimi olan kısımlarda YOLOv5m ve YOLOv5I daha iyi sonuç vermektedir. Yarışma alanında kullanılmak için SSD Mobilenet-V2 kullanarak kendi eğitimimizi gerçekleştirmeye üzerine çalışmalarımız devam etmekte ve testler süresinde 10 FPS sınırı üzerinde yüksek çözünürlükte kalabilecek şekilde eğitimimizi gerçekleştirmektediriz.

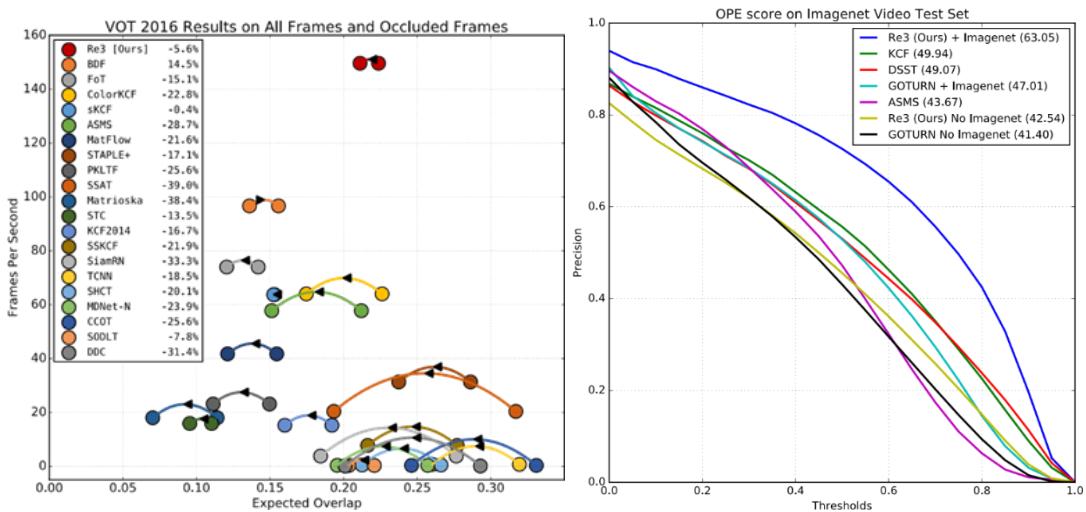


Şekil 4.1.5 YOLO Model karşılaştırması

#### 4.1.3.2 Nesne Takip Algoritması

Nesne takip algoritmaları yapay zeka algoritmalarına göre belirlenen alandaki değişimleri çok yüksek hızda ve yüksek kesinlikle takip etmektedir. Bu özellikleri sayesinde kilitlenme algoritmasında derin öğrenme ile tespit edilen insansız hava aracı nesne takip algoritması ile takip edilmeye devam edilecektir.

Nesne takip algoritması için yapılan literatür taramasında Şekil 4.1.6'da sunulan karşılaştırma sonuçları baz alınarak yapılan karşılaştırma testler sonucunda Gerçek Zamanlı Tekrarlayan Regresyon (Real-Time Recurrent Regression (Re3)) kullanılmasına karar verilmiştir.



**Şekil 4.1.6 a)** Nesne Takip Algoritmaları FPS ve Overlap Karşılaştırması **b)** Doğruluk Karşılaştırması

#### 4.1.3.3 Görüş Dışı Nesne Takip

Görüş dışı nesne takibi, takip esnasında görüş alanından çıkan insansız hava araçlarını takip etmek için, hızlı tepkiselliği olan ve son takip konumu ile takipçi İHA'nın hareketlerini bireleştirerek karar veren bir algoritma olarak tasarlanmıştır.

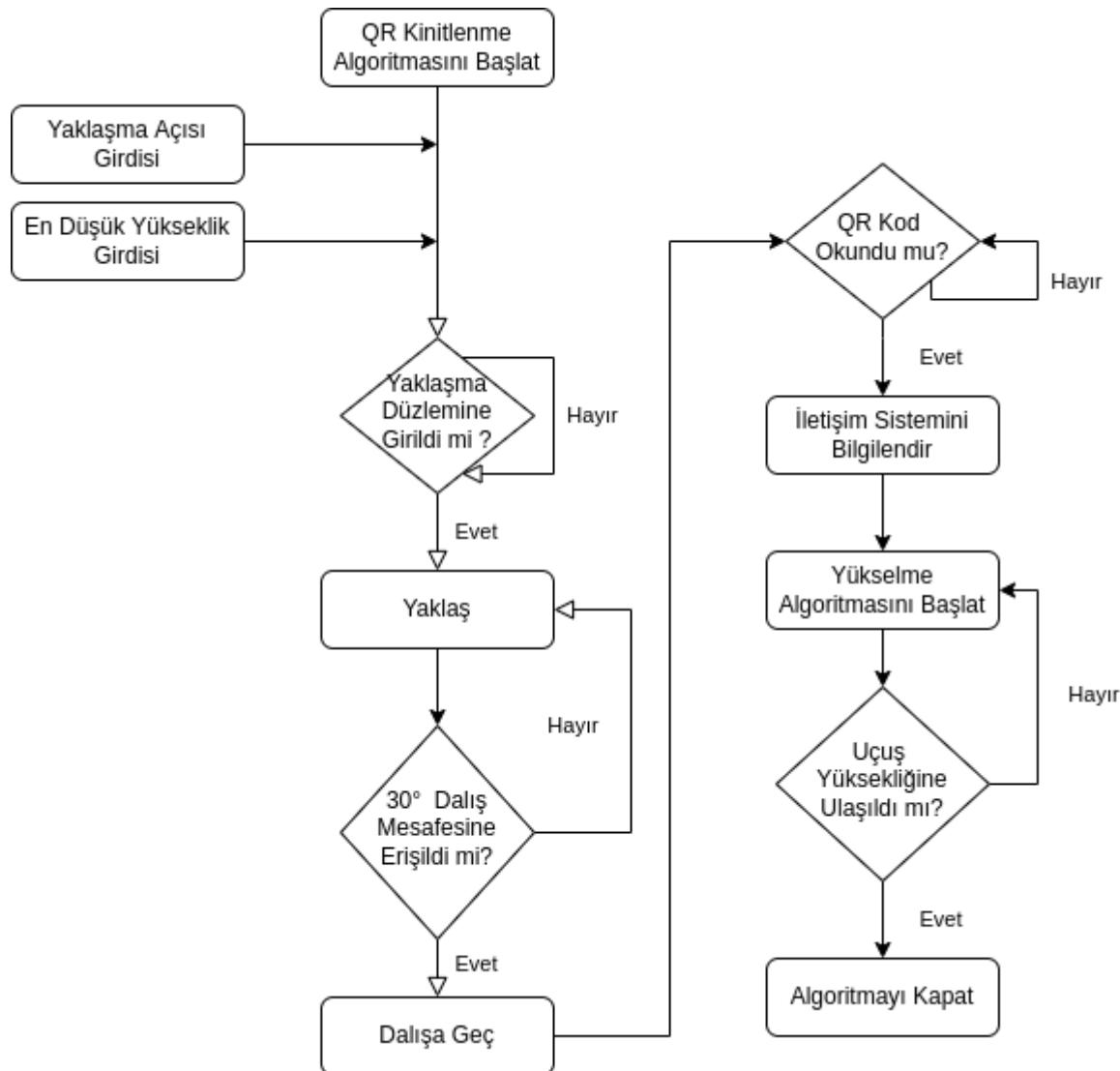
Tasarlanan algoritma Optik Akış yöntemi kullanarak takip edilmekte olan insansız hava aracının son noktasına bağlı olarak çalışmaya başlamakta, eğer yeterli süre içerisinde tekrar görüş içeresine girmesi sağlanamaması veya sistemdeki hata oranı artması durumunda sistem tekrar derin öğrenme bazlı sisteme dönmektedir.

#### 4.2. Kamikaze Görevi

Kamikaze görevi, yerde konumlu etrafi kapalı bir alan içerisinde bulunan 2m x 2m boyutlarında bir QR kod içerisindeki şifreyi okumaya çalışmak olarak açıklanabilmektedir.

Görevin tamamlanabilmesi için Yer Kontrol İstasyonu komutlu, hareketlerin otonom olarak gerçekleştirilebileceği ve hareketler süresince insansız hava aracının kendine ve ortama zarar vermeyeceği bir algoritma gerçeklemesi yapılmıştır.

Tasarlanan algoritma ile öncelikle yer kontrol istasyonundan Kamikaze görevi icra edileceği alan için yaklaşma açı girdisi beklenmektedir. Açı girdisi ile İnsansız hava aracı bu yön için yeni rota planlamakta bu rota ile birlikte QR kod düzlemine yaklaşmaktadır. Bu yaklaşım süresince  $30^\circ$  dalış açısı için yeterli yaklaşma sağlandığında insansız hava aracı bulunduğu konumdan QR kod düzlemine  $30^\circ$  açı ile dalış işlemi gerçekleştirilmektedir. Eğer insansız hava aracı yer kontrol görevlisi tarafından belirlenen yükselti sınırına erişti ise veya QR kod içeriğini okudu ise tekrardan irtifa kazanarak uçuş irtifasına erişmektedir. Algoritma akış diyagramı Şekil 4.2.1'de görüldüğü üzere hareketler ve isterlerin karşılanması için çok düşük bir veri girdisi gerekmektedir.

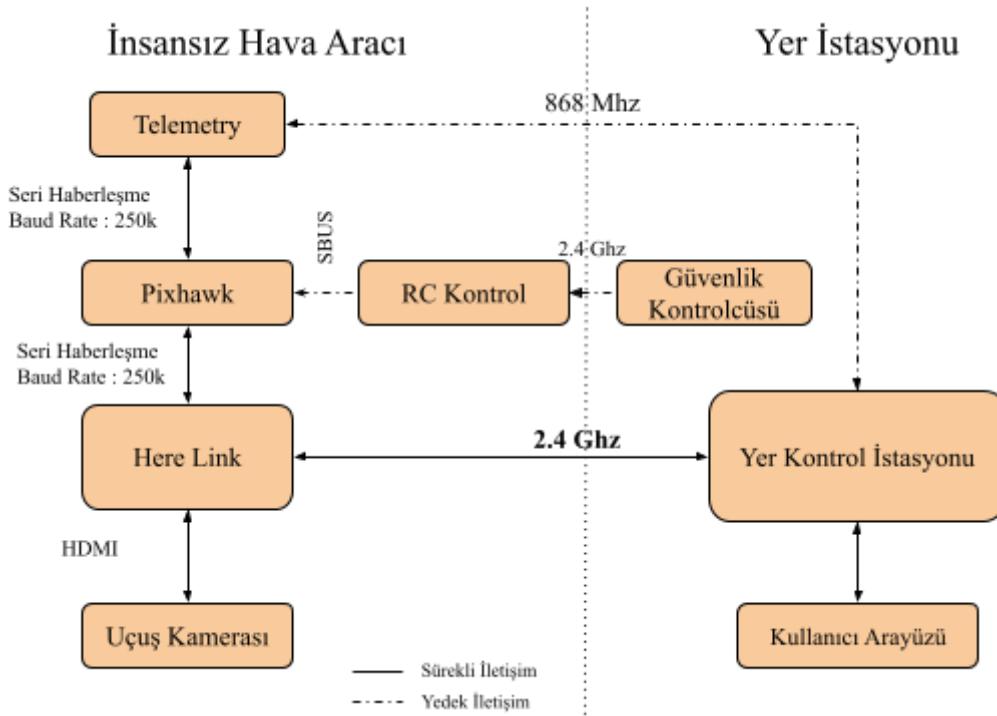


Şekil 4.2.1 Kamikaze Görev Algoritması

## 5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME

### 5.1 Haberleşme Mimarisi

İnsansız hava aracı görev almak ve bilgileri kullanıcıya sunmak için kablosuz iletişim teknolojileri kullanır. Tasarımında birden fazla spektrumda iletişim ağları kullanılarak sistemin iletişim bütünlüğünün sağlanması ve hata durumunda yedek sistemlerin devreye girmesi sağlanmıştır.



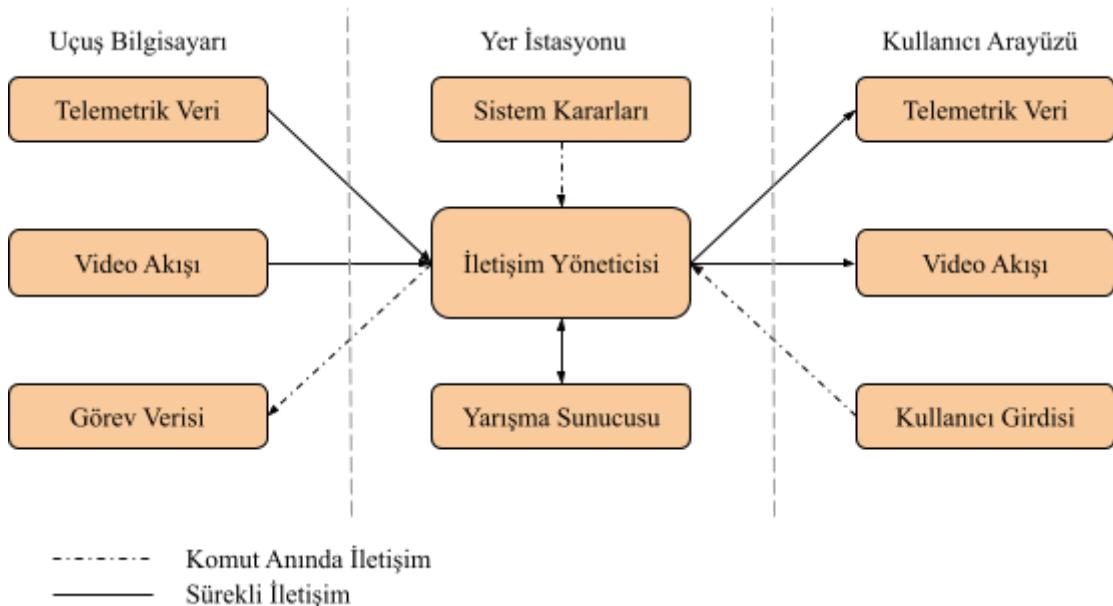
**Çizim 5.1.1.** İletişim Protokolleri ve Hızları

İHA, Çizim 5.1.1'de görülebileceği gibi bir çok kablosuz iletişim bandından yer istasyonu ile iletişim kurmaktadır. Yüksek veri hızı ve düşük gecikme sağladığı için ana iletişim protokolü olarak 2.4 Ghz kablosuz iletişim bandı seçilmiştir. Ana iletişim hattında sorun olması durumunda İHA 868 MHz bandını kullanarak iletişimimin sürekliliğini sağlayan yedek iletişim protokolüne geçiş yapmaktadır. Kontrol sistemlerinde problem olması durumunda güvenlik pilotu 2.4 GHz bandından İHA'nın uçuş yüzeylerini kontrol edebilmektedir.

İnsansız hava aracı uçuş kontrolcüsü olarak kullandığı Pixhawk Otopilot kartındaki verileri seri haberleşme portu üzerinden 250k baud rate<sup>1</sup> hızında Herelink iletişim sistemine aktarmaktadır. Uçuş kamerası HDMI üzerinden anlık görüntüyü yer kontrol istasyonuna aktarmaktadır.

İHA'dan gelen ve giden tüm veriler kendi komut pencereleri üzerinden diğer komutlara herhangi bir gecikme oluşturmayacak şekilde iletilemektedir. İletişim altyapısının basitleştirilmiş bir şeması Çizim 5.1.2 'de bulunmaktadır.

<sup>1</sup> Baud hızı, bilginin bir iletişim kanalında aktarılma hızıdır.



**Çizim 5.1.2. İletişim Şeması**

Sistem kararları ve Kullanıcı girdileri iletişim yönetim sistemi tarafından işlendikten sonra uçuş bilgisayarına aktarılmaktadır. İletişim yöneticisi, uçuş bilgisaylarından gelen verileri kayıt sistemine ardından kullanıcı arayüzüne gecikme olmadan aktarmaya çalışmaktadır. İki yönlü iletişimde iletişim yöneticisi, her iletişim için bir kanal tahsis ederek gecikmelere yol açmadan tüm iletişimini yönetmektedir.

## 5.2 Haberleşme Sistem Elektronikleri

İnsansız hava aracı ile 3 farklı yoldan 2 farklı frekans üzerinden iletişim kurulmaktadır. 2.4 GHz ve 868 MHz telemetrik verilerin aktarımı, 2.4 GHz acil durumda güvenlik pilotunun sistemin kontrolünü ele alması için kullanılmaktadır.

### 5.2.1. Herelink

Herelink, ArduPilot veya PX4 ile kullanılmak üzere tasarlanmış entegre bir uzaktan kumanda, yer istasyonu ve kablosuz dijital iletim sistemidir. Herelink, RC kontrolü, HD video ve telemetri verilerinin yer istasyonu ve hava aracı arasında 20 km'ye kadar iletilemesine olanak tanır. Haberleşme frekansı 2.4GHz bandındadır. Hem hava ünitesi hem de radyo kontrol ünitesi, 2.2 GHz'de 4 çekirdekli ve 1.4 GHz'de 4 ek çekirdeğe sahip güçlü Pinecone S1 işlemcilerle donatılmıştır. 2021 yılındaki yarışmada görüntü aktarımı amacıyla kullanılan Wi-Fi modüllerinden yeterli performans alınamaması bu değişiklikteki başlıca sebeptir. Kullanım ve konfigürasyon kolaylığı da ayrıca tercih sebepleri arasındadır. Yarışmada görüntü aktarımı amacıyla kullanılacaktır



**Şekil 5.2.1** Herelink haberleşme modülü yer istasyonu ve hava üniteleri

### 5.2.2 Telemetry

Telemetry iletişimini, uzun mesafe Wi-Fi iletişiminin kesildiği noktalarda yedek iletişim kanalı olarak kullanılmaktadır. Bu sistem için uzak mesafelerden sorunsuz veri iletişimini sağlayabilecek, 915-928 MHz bandında iletişim sağlayan RFR868x kullanılmasının sistemin iletişim kesintisine uğramaması için yeterli olduğu öngörülmüştür.

Özellikleri bakımından 40 Km üzerinde iletişim sağlayan RFD868x düşük güç tüketimi ve hafifliği ile insansız hava araçlarında kullanım uygundur. (Bkz. Tablo 5.2.2)



**Şekil 5.2.2** RFD868x TXMOD Bundle

**Tablo 5.2.2** RFD868x TXMOD Özellikleri

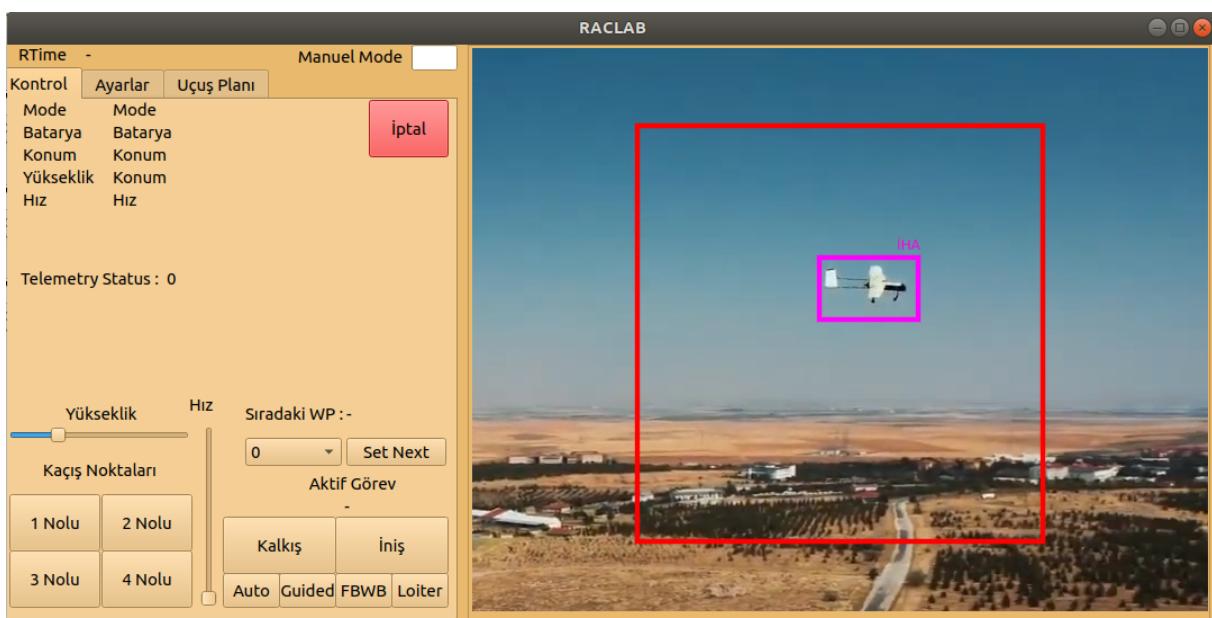
RFD900 TXMOD Özellikleri	
Frekans	868 MHz
Çıkış Hızı	64 kbit (varsayılan)
Anten Kazancı (Omni)	30dBm
Ağırlık	14.5 gr

## 6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

Tasarlanan insansız hava sistemi kontrol ve izleme için yer kontrol istasyonu tasarlanması üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Hazır tasarımların yarışma içi isterler ve gereksinimleri yeteri kadar karşılamadığı ve birden çok ortamda aynı anda gözetleme gereksinimi bulunduğu için kendi arayüz tasarımımızı gerçekleştirmiştir.

Tasarlanan arayüz için anahtar istemler, birden fazla kullanıcı birden fazla cihazdan aynı anda uçuş ve görüntü verilerini görebilmesi, yönetim yetkisi olan kullanıcıların uçuş parametreleri ve dinamiklerini değiştirebilmesi üzerine oluşturulmuştur.

Bu istemleri karşılayabilmek için QT tabanlı bir sistem kurulmasına karar verilmiş, bu sayede aynı anda birden fazla kullanıcı, farklı işletim sistemlerinden erişim sağlayabilecektir. Sistem 2021 Savaşan İHA Yarışmasında denenmiş ve bu yıl geliştirmelerine devam etmektedir. Geliştirilen arayüz tasarımını Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



**Şekil 6.1** Yer Kontrol İstasyonu Uçuş İzleme ve Basit Kontrol Ekranı

Yapı oluşturulması için Python dili üzerinde bir geliştirme yapılmış haberleşme sistemi ile bağlantısı sağlanmıştır. Sistem üzerinden tüm uçuş verileri anlık olarak görebilmekte, görüntü işleme ve kilitlenme verileri anlık olarak takip edilebilmektedir.

Yönetim giriş ekranı sayesinde uçuş verilerinin kontrol edildiği alana erişebilmek buradan uçuşun yönelimi, parametreleri, sistem veri iletişim hızı gecikmesi gibi gizli bilgiler görülebilmektedir.

İnsansız hava aracı tarafından sağlanan işlenmiş görüntü verisi anlık olarak tüm kullanıcılara RTSP üzerinden iletilmekte, kilitlenme anında ve sonrasında bu bilgileri kullanıcılara sunmaktadır.

Kullanıcıların kilitlenme durumu ve iletişim bilgilerini anlık görebilmeleri için Uçuş Video ekranına geçiş yapabilmekte, bu ekran üzerinden Uçuş modunu, kilitlenme ve iletişim durumlarını anlık olarak görebilmektedirler.

## 7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU

### 7.1. Yapısal Entegrasyon

Hava aracının ana bileşenleri (gövde, kanat, kuyruk), ile EPS köpükten kesilip, cam elyaf ile kaplanarak üretilmiştir. Kanat ve kuyruk içerisinde spar görevi görecek karbon fiber borular yerleştirilmiş olup kanat boyunca etki eden basınçlara karşı dayanımı artırılmıştır. Orta kanat içerisinde 16 mm ve 14 mm dış çaplarında, sağ ve sol kanatlarda ise 14 mm ve 12 mm dış çaplarında iki adet karbon fiber boru spar olarak kullanılmıştır. Gövde üzerindeki kuvvet dağılımının yüksek olduğu motor ve iniş takımı bağlantı noktaları gibi belirli noktalarda cam elyaf kaplamalarının altında karbon fiber elyaf da kullanılarak bu noktalarda montaj rıjitliği sağlanmıştır.



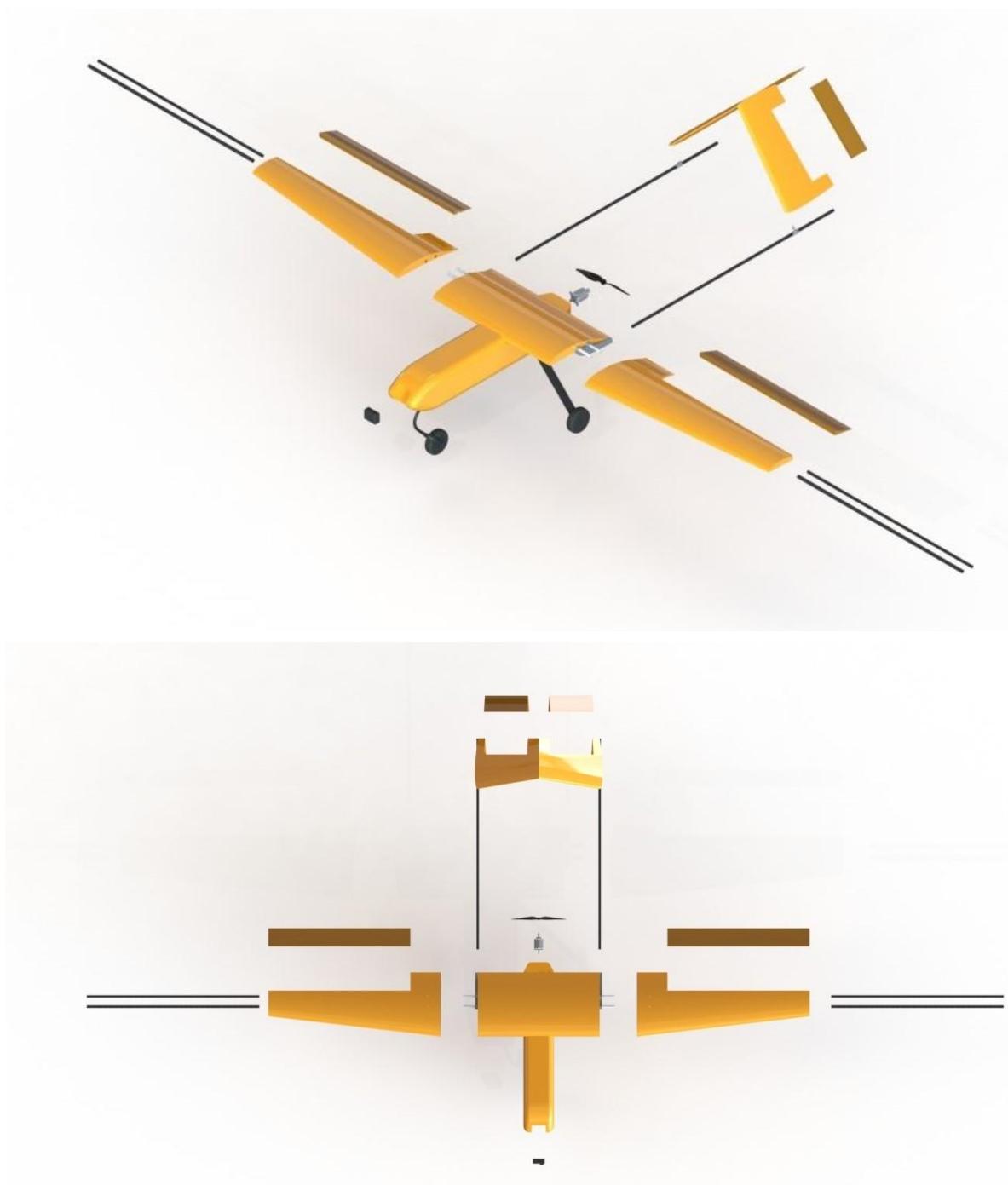
**Şekil 7.1.1** Karbon fiber kanat sparları

Sağ, sol ve orta olmak üzere üç parçadan oluşan kanadın orta parçası gövde ile katı bağlı olup, sağ ve sol kanadın orta kanat parçasına bağlantısı sparlar içine sıkı geçme olarak yerleştirilen 3D yazıcı parçaları ile sağlanmıştır. Bu parçalar tasarım itibariyle kanatlarda spar olarak kullanılan karbon fiber boruların iç çapına oturacak kademeli bir mil şeklinde olup iki kanat parçasının birbirine montajlanmasını sağlamaktadır. Kanatların bu parçalara geçirilerek montajlanmasından sonra uçuş esnasında bütünlüğünü koruması amacıyla borulara dikey doğrultuda M3 civata bağlantısı yapılarak birbirinden ayrılmaması sağlanmıştır.

Kuyruk ile kanat arasındaki bağlantı, iki adet 12 mm çapa sahip karbon fiber boru ile sağlanmıştır. Kuyruktan gelen karbon boruların kanat ile bağlantısı ise sparlara ve karbon borulara bağlanan, kanat profilinin alt yüzeyine oturarak ve kanattaki hücum açısını sıfır dereceye indirgeyen bir parça tasarlanmış ve 3D yazıcı ile üretilerek orta kanat parçasına katı olarak bağlanmıştır.



**Şekil 7.1.2** Kanat-kanat ve kanat-kuyruk bağlantı parçaları a) tasarımlı b) üretilmiş hali



**Şekil 7.1.3** İnsansız hava aracı patlatılmış görünüm

Hava aracının arka iniş takımı karbon fiberden üretilmiştir. Arka iniş takımı üretiminde, çelik model üzerine elyaf yatırma ve vakum infüzyon yöntemi kullanılmıştır. Elyaf yatırma işleminde farklı açılar kullanılarak karbon fiberin ortotropik özelliklerinden faydalanyılmıştır. Üretilen arka iniş takımı gövde altına reçine ile yapıştırılıp üzerine karbon elyaf kaplanarak katı bağlanmıştır. Iniş takımının üzerine tekerleklerin konumlandırılacağı

## SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

eksende vida deliği açılıp, M5 civata ve stoper ile 100 mm çapındaki tekerler monte edilmiştir.



**Şekil 7.1.4 Arka iniş takımı a) üretimi, b) monte edilmiş hali**

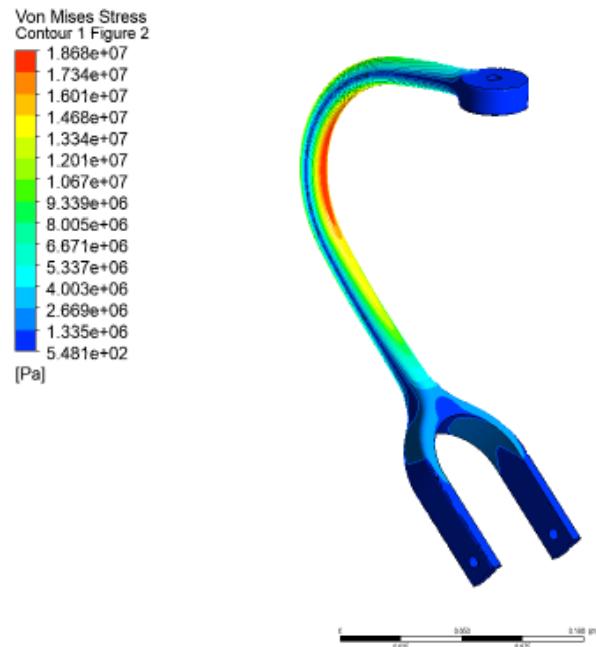
Ön iniş takımı, kırpılmış karbon fiberden kompresif kalıp yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Kalıplar 3D yazıcı ile imal edilmiştir. Iniş takımı, elastik sınırlarda şekil değiştirerek sökümlüme etkisi yaratması için özel bir formda tasarlanmıştır. Ön iniş takımının gövdeye montajını sağlamak için şekil 7.1.4'de görülen turuncu parça, 3D yazıcı ile üretilerek ve epoksi reçine ile yapıştırılıp, üzeri karbon fiber elyaf ile kaplanarak gövdeye katı montajlanacaktır. Bu parçanın tasarıımı, içine M6 uzatma somunu katı bağlanacak şekilde yapılmış olup, ön iniş takımı üzerinde açılan vida deliğinden M6 civata yardımıyla bağlantısı yapılacaktır. Iniş takımı, tekerlek bağlantısının yapılacak olduğu eksende delinerek arka iniş takımında olduğu gibi M5 civata ve stoper ile 100 mm çapındaki tekerler monte edilecektir.



**Şekil 7.1.5 Ön iniş takımı montaj**

Ön iniş takımının iniş sırasında darbe yüklemelerine dayanabilmesi adına insansız hava aracının ön ağırlığının 4 katı yüklenerek statik yapısal analizi yapılmıştır. Kullanılan malzemenin akma ve maksimum çekme gerilmeleri birbirine çok yakın olduğundan sınır

gerilmesi olarak maksimum çekme gerilmesi olan 192 MPa alınmış ve mevcut koşullarda parça 13 kat emniyetli bulunmuştur.



**Şekil 7.1.6** Ön iniş takımı yapısal analiz sonuçları

## 7.2. Mekanik Entegrasyon

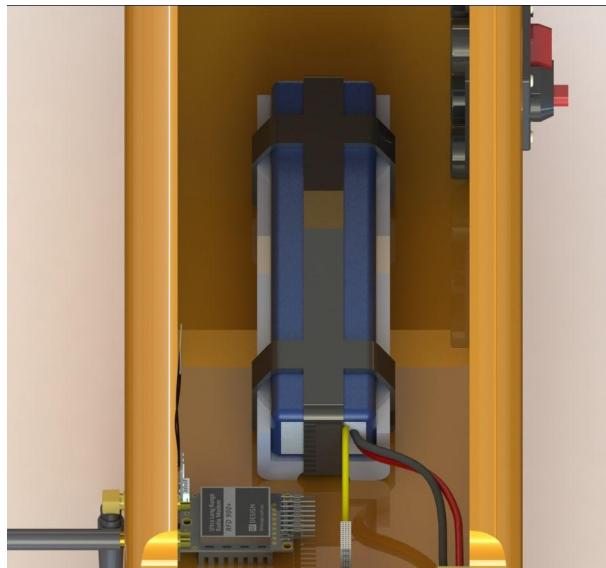
Hava aracının gövdesi tüm yükleri taşıması adına cam elyaf ve bölgesel olarak karbon fiber elyaf ile kaplanmıştır. Bu sayede gövdenin çeşitli kuvvetlere karşı dayanımı artırılmıştır. Gövdenin arka kısmına monte edilen motorun oluşturacağı itki kuvveti ve titreşimin gövdeye zarar vermemesi için gövde arkası, dört kat  $200 \text{ gr/m}^2$  plain karbon fiber elyaf üzerine  $25 \text{ gr/m}^2$  plain cam elyaf ile kaplanmıştır. Motorun montajı için flanşa uygun vida delikleri açılıp civata ve fiberli somun yardımıyla Şekil 7.2.1'deki görüldüğü gibi motorun montajı tamamlanmıştır.



**Şekil 7.2.1** Motorun gövdeye montajı

Gövde içine konumlandırılacak elektronik sistemlerin gövde zeminine montajı, erişilebilirlik açısından kolay ve sağlam bir bağlantı gözetilerek gerçekleştirilmiştir. Herelink

için bir tutucu tasarlanıp 3D yazıcı ile üretilerek ve bu tutucu gövde içeresine katı olarak bağlanacaktır. En ağır elektronik parçalardan birisi olan LiPo pilin gövde içerisinde kolay yerleştirilip çıkarılabilen, erişilmesi kolay ve uçuş esnasında gövde içerisinde rıjît bir şekilde muhafaza edilmesi için gövde içerisinde bir pil yatağı tasarlanmıştır. LiPo pil bu yatağa Şekil 7.2.2'de gösterildiği gibi cırt bant ile sabitlenmiştir.



**Şekil 7.2.2** LiPo pil yatağı ve montajı

Uçuş kontrol kartı olan Pixhawk Cube ise çift taraflı bant ile gövde zeminine sabitlenmiş ve uçuş esnasında hareket etmemesi sağlanmıştır. Uçuş kontrol kartına bağlı olan GPS Modülü orta kanat parçasının üzerine yapıştırılmıştır. Uçuş esnasında rıjît bir davranış sergilemesi sağlanmıştır. Benzer şekilde gövde içeresine yerleştirilen elektroniklerin antenleri, gövde içeresinden çıkarılarak uçuş esnasında yer istasyonu ile bağlantısının kesilmeden sağlanması adına gövde altına bakacak şekilde yönlendirilmiştir.

### 7.3. Elektronik Entegrasyon

Hava aracının motoruna ve diğer aviyonik sistemlere güç sağlayacak olan LiPo batarya, tasarlanan batarya tutucu ile ağırlık merkezi gözetilerek gövdenin burun kısmına doğru yerleştirilmiştir.

Bataryanın gerilim ucu gövdenin dış yan yüzüne monte edilmiş olan sigortaya bağlanmıştır. Sigortadan çıkış alınan 14 AWG çaptaki kablo Pixhawk beslemesini de içeren güç modülüne bağlanmıştır ve uçuş kontrol kartı, mini bilgisayar ve Herelink haberleşme modülü bu 5V ve 12V çıkışlarına sahip BEC modülü ile beslenmektedir.

Modülün ESC çıkışına ise 14 AWG kablo ile ESC lehimlenmiş olup, ESC'den motora giden kablolarla 4mm banana konnektör lehimlenerek motor bağlantısı sağlanmıştır. ESC üzerinde dahili olarak bulunan UBEC sayesinde ek bir kaynak ihtiyacına duyulmadan hız kontrolü için bulunan servo kablosuyla servo rayı beslenmektedir.

Kontrol yüzeylerinde bulunan servo motorlar tasarlanmış 3D parçalara sabitlenip, servo uzatma kablosu ile lehimleme yapılarak istenen ölçülerde uzatılmış olup, kanat altından

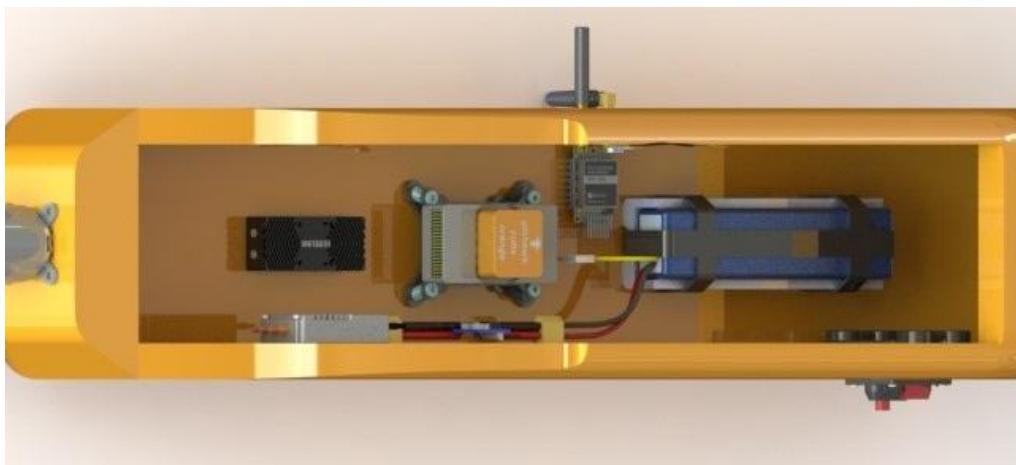
gövde içerisine geçirilip Pixhawk servo çıkışlarına uygun kanallara bağlanmıştır. Kuyrukta bulunan servo motorlarının kabloları kuyruk borusu içinden geçirilip yine aynı şekilde kanat altından gövde içine aktarılacaktır.

GPS ve buzzer doğrudan Pixhawk üzerinde bulunan konnektörlere bağlanmıştır ve gövde üzerinde, kanat orta parçasının üst kısmında konumlandırılmıştır.

İnsansız hava aracının burun kısmında bulunan EKEN H9R aksiyon kamerasının kablosu gövde iç yan duvardan kanat altında kalan gövde içindeki Herelink görüntü aktarım sistemine bağlanacaktır.

Kumanda alıcısı Taranis XM+, Pixhawk üzerinde bulunan RC IN pinine takılmış ve gövde içi yan duvara monte edilmiştir.

Hava hızını ölçen Mateksys Dijital Airspeed Sensör ASPD-4525 kanada sabitlenip, kablosu kanat içi kablo kanalından servo kablolarıyla birlikte gövde içine aktarılp Pixhawk bağlantısı yapılacaktır.



Şekil 7.3.1 İnsansız hava aracı elektronik entegrasyon planı

## 8. TEST VE SİMÜLASYON

### 8.1. Alt Sistem Testleri

#### 8.1.1. Simülasyon Uçuş Testi

Uçuş esnasında manevra kabiliyetlerini insansız hava aracının kendi tasarımı ve parametreleriyle görmek amacıyla bir simülasyon hazırlanmıştır. Linux tabanlı hazırlanan simülasyonda ArduPilot yazılımı kullanılarak QGroundControl üzerinden otonomi kazandırılmış, farklı uçuş rotaları ve dar manevralar denenmiştir. İnsansız hava aracının hareket kabiliyetleri, Mavlink üzerinden aynı zamanda FlightGear uçuş simülatörüne de yansıtılan veriler ile üç boyutlu olarak izlenmiştir. Ayrıca insansız hava aracının tasarımını da FlightGear simülatörüne uyarlanarak görsellik kazandırılmıştır.

# SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



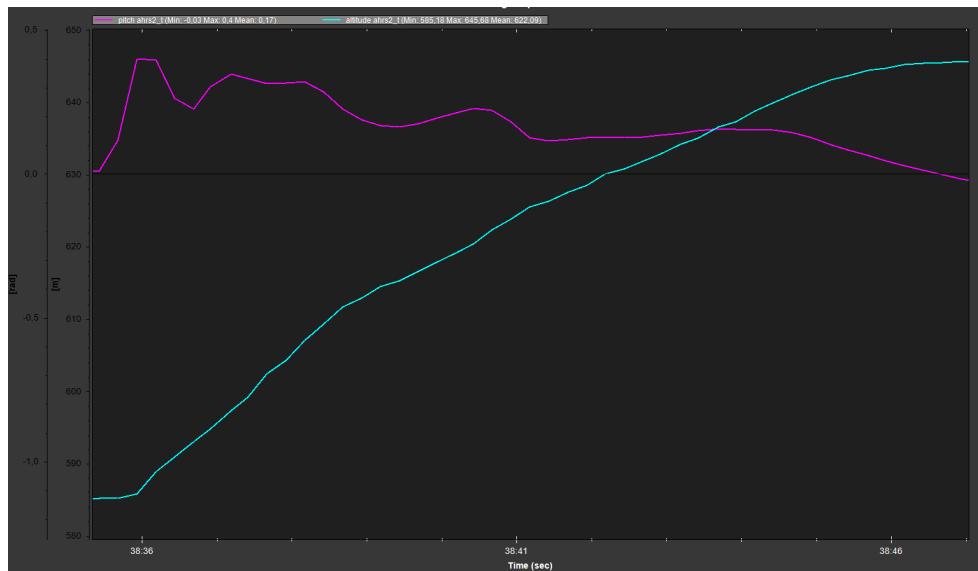
Şekil 8.1.1 Simülasyon ortamında yapılan uçuş testlerinden ekran görüntüleri

## 8.1.2. Manevra Kabiliyet Testi

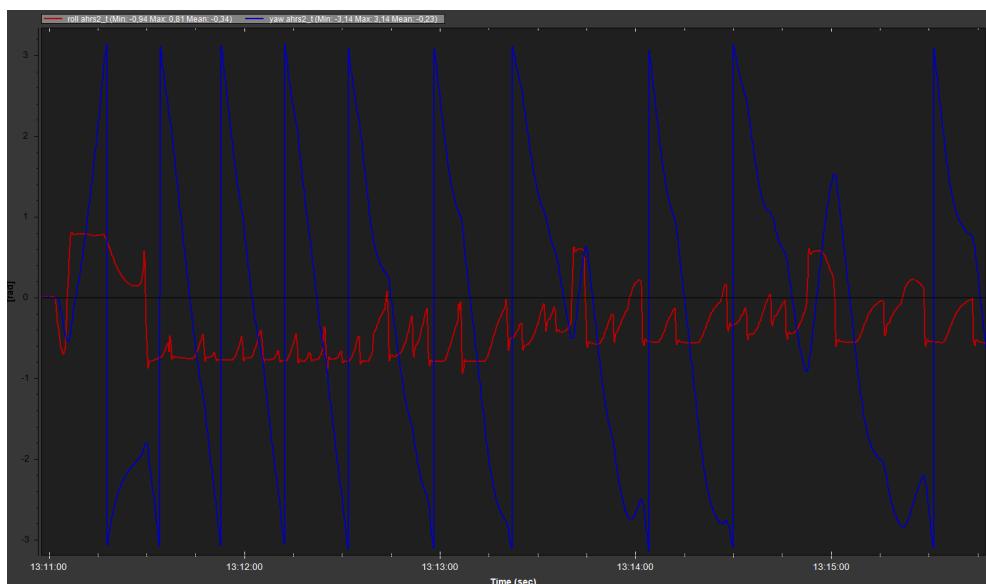
Yapılan uçuşlardan elde edilen veriler Mavlink Log Graph üzerinden gözlenmiştir. Bu değerlere göre uçuş esnasında kilitlenme ve kaçış manevralarında ihtiyaç duyulacak eksenel hareketlerin yeterlilik seviyeleri test edilmiş ve uçuş alanına göre kabul edilebilir seviyelerde olduğu görülmüştür.

Yapılan pitch eksen testinde Şekil 8.1.2'deki grafikte verilen değerler elde edilmiştir. Bu değerlere göre 11 saniyede kalkış noktası baz alınarak 61.4 metre irtifaya çıktıığı

görlülmüştür. Pembe renkle gösterilen değer pitch eksenin açı değişimini gösterirken turkuaz renkli değer irtifayı göstermektedir. Şekil 8.1.3'te roll ve yaw eksen değerleri belirtilmiştir.



**Şekil 8.1.2** İrtifa testi pitch eksen açısı ve irtifa grafiği



**Şekil 8.1.3** Otonom dar manevralı görev esnası roll ve yaw eksen açı değerleri grafiği

### 8.1.3. İtki Testi

İnsansız hava aracı üzerine takılan motorun sisteminde ne kadar itki vereceği ile ilgili yapılan testtir.

Oluşturulan test düzeneği sistemin motor montajlı halinin oluşturduğu itki kuvvetinin ölçülmesi için oluşturulmuştur. İtki ölçümü için yere dik yerleştirilen hassas ölçüm aleti insansız hava aracı tarafından itilmiş (Şekil 8.1.4) ve ölçülen değerler sistem için dikkate alınmıştır.

## SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Sistem üzerinde bulunan motor %100 gaz konumunda durgun halde 4252 g itki üretmiş, bu sistemin ilk kalkışı için yeterli itkiyi sağlamıştır.



**Şekil 8.1.4** %100 gaz konumu itki miktar testi

### 8.1.4. Yapısal Dayanım Testi

Yapısal dayanım testi, uçuş sırasında insansız hava aracı bileşenlerinin yük altında bütünlüğünü koruyacağı ve bağlantıların rıjitliğini kanıtlamak için yapılmaktadır.

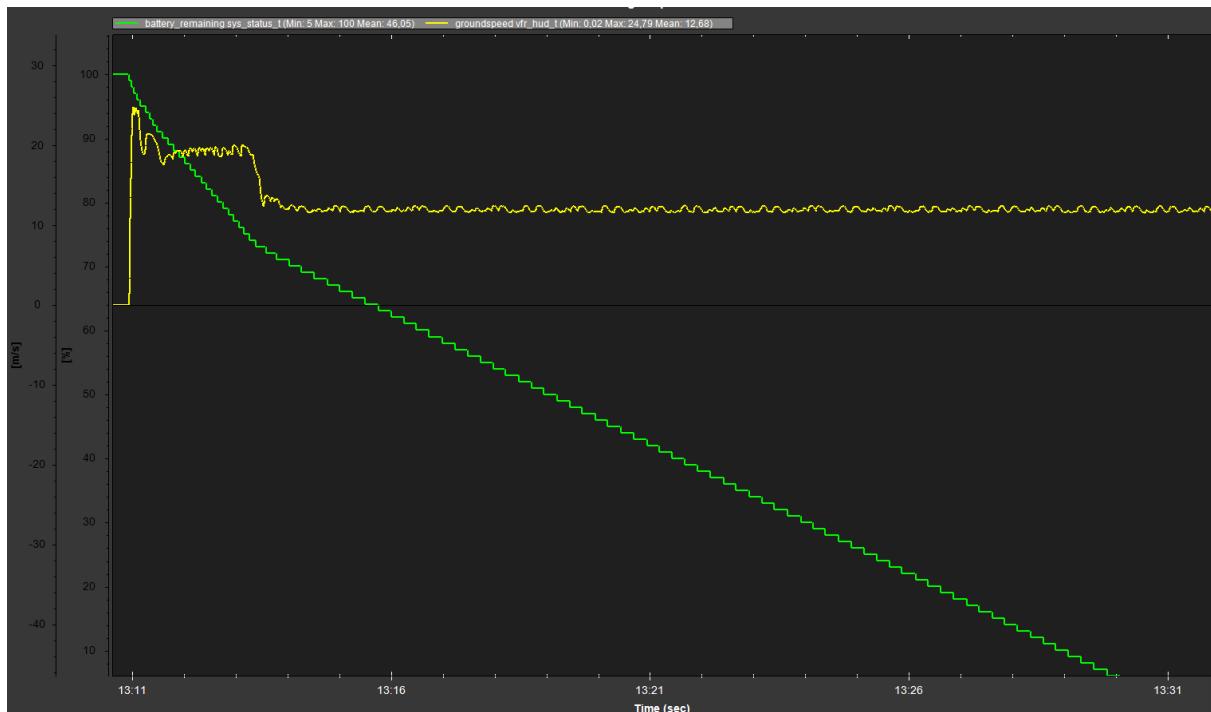
Sistem üzerine binen yük dağılımına ek olarak dönüş sırasında oluşacak ekstra yüklerle karşı dayanımını gözlemleyebilmek adına insansız hava aracı, Şekil 8.1.5'te görüldüğü üzere kanatların ucundan orta kısmi boşta kalacak şekilde asılı olarak ekipman ağırlıklarının yanı sıra 3 kg yük ilavesi ile test edilmiştir.



**Şekil 8.1.5** Yapısal dayanım testi

## 8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi

Uçuş testleri raporlama amacıyla insansız hava aracıyla farklı zamanlarda farklı rota planlarına sahip uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 8.2.1’de verilen grafikte hız değeri sarı renk ile, pil durumu yeşil renk ile gösterilmiştir. Gerçekleştirilen testlerden birinin telemetri kayıtları incelendiğinde, verilen grafiğe göre yaklaşık 20 dakikalık uçuş süresi elde edildiği görülmüştür. Bu değer yarışma şartnamesinde belirtilen uçuş süresini sağlamaktadır.



**Şekil 8.2.1** Test uçuşu seyir hızı/zaman ve pil durumu/zaman grafiği



**Şekil 8.2.2** Yapılan test uçuşlarından birinden alınan anlık telemetri verisi ve uçuş görüntüsü

# ELFATEK RACLAB

## UÇUŞ ÖNCESİ KONTROL LİSTESİ

Fiziksel Kontrol		Elektronik Kontrol	
Motor bağlantıları sağlam mı?		Elektronik bağlantılar düzgün mü?	
Pervaneler takılı ve somun yeteri kadar sıkıştırılmış mı?		Güç sistemleri çalışıyor mu?	
İniş takımı bağlantıları düzgün mü?		Bataryaların şarjı dolu mu?	
Kamera montajı güvenilir mi?		Kumada bataryası şarjı yeterli mi?	
GPS bağlantısı sağlam mı?		Varsa, AirSpeed koruyucu kaldırıldı mı?	
Kanat, kuyruk bağlantıları sağlam mı?		İtki testi. Yeterli itki var mı?	
Batarya bağlantısı stabil mi?			
Uçuş için uygun mu?		Uçuş için uygun mu?	
Uçuş Alanı		Yazılım / Sistem	
Rüzgar Hızı uçuşa elverişli mi?		IMU kalibrasyonu tamamlandı mı?	
Görüş mesafesi uçuşa elverişli mi?		GPS Kalibrasyonu Tamamlandı mı?	
Uçuş alanında engel var mı?		İletişim portları bağlantısı sağlandı mı?	
		Yazılım İHA bağlantısı tamam mı?	
Uçuş için uygun mu?		Uçuş için uygun mu?	
Uçuşa Uygun mu?	Pilot	Mekanik Sorumlusu	Yazılım Sorumlusu

## 9. GÜVENLİK

Çalışma alanlarında güvenlik insan ve ortam için aşırı önemlidir. Sistemin doğru ve sıkıntısız çalışması durumunda bile güvenliğe dikkat etmek yaralanma, maddi hasar oranlarını minimize etmek için önem arz etmektedir.

### 9.1 Ekip Güvenliği

Çalışma ve uçuş ekiplerinin, yarışma alanında bulunan tüm canlı varlıkların güvenliği sağlama açısından alınması gereken tedbirler ve uyması gereken kurallar vardır.

Bu kısımda çalışma yapılacak alana göre gözlük, maske, eldiven kullanımı, çalışma alanlarının temizliği, yüksek sıcaklıkta çalışan kesici olan aletlerin güvenli bir şekilde bulundurulması ve açıkta bırakılmaması konusunda önlemler alınmıştır.

Herhangi bir kaza durumunda, anında müdahale edebilmek için takım çantasında ve takım çalışma alanında ilk yardım seti bulundurulmaktadır.

### 9.2 Sistem Güvenliği

Bu başlık altında sistemin kendi güvenliği ve kendisi dışarısında bulunan alan ve/veya kişilere verebileceği zararlardan bahsedilmektedir.

Sistem üzerinde keskin kenarlı alanlar bulunmakta ve taşıma / kurulum sırasında problem oluşturabileceği düşünülmektedir. Bu alanlar uçuş sırasında sorun oluşturmayacak şekilde ortadan kaldırılmaktadır.

İnsansız hava aracının güç beslemesi olan LiPO piller şarj edilme kullanılma ve taşıma sırasında güvenliği sağlanması gereken aşırı yanıcı pillerdir. Bundan dolayı piller Şekil 9.2.1'de görüldüğü gibi parlak yansıtıcı malzeme ile kaplanmıştır. Taşıma ve şarj süresince LiPO saklamak için oluşturulmuş özel çantada içerisinde muhafaza edilmektedir.



Şekil 9.2.1 LiPO Batarya ve Taşıma/Saklama Çantası

### 9.3 Uçuş Güvenliği

Aracın yapısal/görsel bütünlük yönünden güvenliğinin incelenerek tüm bileşenler güvenli bir şekilde İHA'ya montajlanacaktır. Tüm bağlantılar sıkı geçme olarak, epoksi reçine yapıştırıcı, sıvı yapıştırıcı ve somunla yapılacaktır. Bağlantı malzemeleri uçuş sırasında bağlantıların kopmaması için özenle seçilmiştir. Pervanenin yapısal ve bağlantı bütünlüğünün her uçuş öncesi kontrol edilmektedir.

Yeterli kalınlıkta tel ve gelecek akımlara uygun konnektör kullanıldığından emin olmak için tüm elektronik kablolarının incelenmesi. Radyo menzil kontrolü, motor açma ve kapama. İHA'nın tüm kontrol mekanizmalarının yeterli hassasiyete sahip olup olmadığı tespiti. Yük sisteminin genel bütünlüğünün incelenmesi. Tüm araç radyolarının sinyal kaybında otomatik olarak fail-safe moduna geçebilir özellikte olması gereklidir. Sigortanın İHA'nın dış yüzeyinde, kolay ulaşılabilir bir yerde monte edilmesi gereklidir.

Uçuş alanı ve uçuş süresinde insansız hava araçları sürekli gözlem altında tutulması gereken, herhangi bir tehlike anında motorlarını durdurulması ve hareket eyleminin kısıtlanması gereken unsurlardır.

Oluşturulan insansız hava aracı ile bağlantı kesildiği taktirde sistemin bunu algılamasıyla insansız hava aracı 10 saniye kadar görevine devam etmekte eğer kesinti süresi uzaması yaşanırsa belirlenen güvenli bölgeye uçuş limitlerinin izin verdiği en yüksek irtifadan geri dönmekte ve kontrolün güvenlik pilotu tarafından geri alınmasını beklemektedir. Eğer 1 dakika içerisinde sistem geri alınmaz ise sistem kendisi;

Tam Sağ Dümen,

Tam Sağ Kanatçık,

Tam Güç Kesimi,

Tam yukarı irtifa, olacak şekilde kontrol yüzeylerini ayarlayarak kontrollü şekilde uçuşa son vermektedir.

Belirtilen uçuş son verme yöntemi, güvenlik pilotu ve Otonom sistem lideri tarafından uçuşun güvenlik ihlali yapabileceğini düşündüğü herhangi bir zamanda devreye alınabilmektedir.

İnsansız hava aracı uçuş alanı çıkmaması için Geo-Fence özelliği ile korunmaktadır, uçuş alanından çıktıığı takdirde belirlenen noktaya geri dönerek görevine devam etmektedir.

## 10. REFERANSLAR

- RAYMER, Daniel. Aircraft design: a conceptual approach. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2012.
- John D. Anderson Jr (United States 2012). Introduction to Flight 7th Edition. McGraw-Hill Publishing Company.
- Plane Documentary, <https://ardupilot.org/plane/> 20.06.2021
- MAVLink Developer Guide, <https://mavlink.io/en/> 15.06.2021
- SITL Simulator (Software in the Loop),  
<https://ardupilot.org/dev/docs/sitl-simulator-software-in-the-loop.html> 15.06.2021
- WANG, Zhen; YANG, Xiaojun. Moving target detection and tracking based on Pyramid Lucas-Kanade optical flow. In: 2018 IEEE 3rd International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC). IEEE, 2018. p. 66-69.
- SIMONYAN, Karen; ZISSERMAN, Andrew. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv preprint arXiv:1409.1556, 2014.
- Jetson Nano: Deep Learning Inference Benchmarks,  
<https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-dl-inference-benchmarks> 12.06.2021
- Optical Flow, [https://docs.opencv.org/4.4.0/d4/dee/tutorial\\_optical\\_flow.html](https://docs.opencv.org/4.4.0/d4/dee/tutorial_optical_flow.html), 12.06.2021
- FARHADI, Daniel Gordon1 Ali; FOX, Dieter. Re 3: Real-Time Recurrent Regression Networks for Visual Tracking of Generic Objects. IEEE Robot. Autom. Lett, 2018, 3.2: 788-795.
- <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=SAMSUN>
- 2021, TEKNOFEST Savaşan İHA Yarışması, Sabit Kanat Kategorisi, RACLAD KAPSÜL GRIFFIN