



## SAVAŞAN İHA YARIŞMASI KRİTİK TASARIM RAPORU

**TAKIM ADI: ANKÜ-DEMİRAĞ İHA**

**TAKIM ID: 488728**

**BAŞVURU ID: 2009061**

### YAZARLAR:

Ayşe Özekin, Alırıza Aşkar, Baha Yasin Tortop, Bilal Emre Durmuş, Buğrahan Turacı, Cemre Bengisu Şar, Ebru Koyuncu, Erdem Yıldırım, İrem Atalay, Kıvılcım Yılmaz, Mervenur Ayyıldız, Nuh Kaan Gün, Orçun Aksoy, Samet Aydoğan



## İÇİNDEKİLER

<b>1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Sistem Tanımı .....	1
1.2 Sistem Nihai Performans Özellikleri .....	1
<b>2. ORGANİZASYON ÖZETİ .....</b>	<b>2</b>
2.1 Takım Organizasyonu .....	2
2.2 Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe.....	3
<b>3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ.....</b>	<b>3</b>
3.1 Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı .....	3
3.2 Hava Aracı Performans Özeti .....	4
3.3 Nihai Sistem Mimarisi ve Alt Sistemler Özeti.....	5
3.4 Hava Aracı Ağırlık Dağılımı.....	8
<b>4. OTONOM GÖREVLER .....</b>	<b>9</b>
4.1 Otonom Kilitlenme .....	9
4.2 Kamikaze Görevi.....	12
<b>5. HAVA SAVUNMA SİSTEMİ .....</b>	<b>14</b>
<b>6. YER KONTROL İSTASYONU, HABERLEŞME VE KULLANICI ARAYÜZÜ.....</b>	<b>14</b>
<b>7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU .....</b>	<b>19</b>
7.1 Yapısal, Mekanik ve Elektronik Entegrasyon .....	19
<b>8. TEST VE SİMÜLASYON .....</b>	<b>20</b>
8.1 Alt Sistem Testleri .....	20
8.2 Uçuş Kontrol Listesi ve Uçuş Listesi.....	21
8.3 Görev Testleri .....	22
<b>9. GÜVENLİK .....</b>	<b>22</b>
<b>10. REFERANSLAR .....</b>	<b>23</b>



## 1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ

### 1.1 Sistem Tanımı

TEKNOFEST 2024 Savaşan İHA Yarışması görev isterleri gereği sistem iki kısımdan oluşmaktadır. İlk aşama; hava aracının kalkış, uçuş, hedef tespiti, hedefe kilitlenme ve iniş adımlarını otonom olarak gerçekleştirmesidir. İkinci aşama hava aracının kalkış, uçuş, hedefe yönelim (QR kod) ve dalma, hedef tespiti, hedefe kilitlenme ve otonom iniş görevlerini başarıyla tamamlamasıdır. İki aşamada elde edilen verinin istenilen formatta Yer Kontrol İstasyonu (YKİ)'na ve daha sonrasında yarışma sunucusuna iletilmesini içermektedir.

Hava aracında kullanılan elektronik bileşenler ve diğer komponentler sistemin bütünüdür. Hava aracı sistemi, altı alt-sistemin oluşturduğu bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Uçuş kontrol sistemi, görüntü işleme ve aktarma sistemi, haberleşme sistemi, itki sistemi, güç sistemi ve YKİ alt sistemleri hava aracı sistemini oluşturmaktadır.

**Hava Aracı:** Hava aracı, Savaşan İHA ve Kamikaze İHA olmak üzere iki ana görevi ve yan görev olarak uçuşa yasaklı bölgelerden kaçınmayı otonom olarak gerçekleştirecektir. Görev tanımı gereği, uçuş esnasında rakip İHA'ları tespit edip otonom kilitlenecektir. Eşzamanlı olarak diğer İHA'lardan kaçınacaktır. Kamikaze görevinde konum verisi iletilen QR koda; dalış, kilitlenme ve QR kodun içerdiği mesajı algılayıp uçuşa devam etme sürecini otonom olarak gerçekleştirecektir. Yan görevde ise uçuşa yasaklı bölgelerden otonom olarak kaçacaktır.

**Uçuş Kontrol Sistemi:** Uçuş kontrol sistemi, hava aracının otonom olarak görevleri yerine getirmesini ve uçabilmesini gerçekleştirir. Bu sistem; uçuş kontrol bilgisayarı, pitot tüpü, GPS ve servo motorlardan oluşmaktadır.

**Görüntü İşleme ve Aktarma Sistemi:** Görüntü işleme ve aktarma sistemi; görev bilgisayarı, kamera ve uçak içi Wi-Fi modülünden oluşmaktadır. Kameradan elde edilen görüntünün YKİ'ye iletilmesine kadar olan süreci kapsar.

**Haberleşme Sistemi:** Haberleşme sistemi, YKİ-hava aracı ve hava aracı içerisindeki komponentlerin birbiri arasındaki iletişimi sağlar. Sistemi oluşturan diğer alt-sistemlerin içerdiği bileşenler dışında telemetri ve kumanda alıcısından oluşmaktadır.

**İtki Sistemi:** İtki sistemi, hava aracının gerek duyduğu itkiyi sağlayan sistemdir. Motor, pervane ve ESC'den oluşmaktadır.

**Güç Sistemi:** Güç sistemi, hava aracının ihtiyaç duyduğu elektriksel gücü sağlayan sistemdir. Batarya, sigorta ve güç dağıtım kartlarından oluşur.

**YKİ:** YKİ; hava aracından gelen verilerin gözlemlendiği ve gelen verilerin hakem heyetine aktarıldığı sistemdir. Wi-Fi modülü, kumanda, telemetri alıcısı ve yer kontrol bilgisayarından oluşmaktadır.

### 1.2 Sistem Nihai Performans Özellikleri

Sistem nihai performans özellikleri sistem performans özellikleri ve motor çalışma verileri şeklinde ikiye ayrılmış ve ilgili değerler Tablo 1 ve Tablo 2'de sunulmuştur.

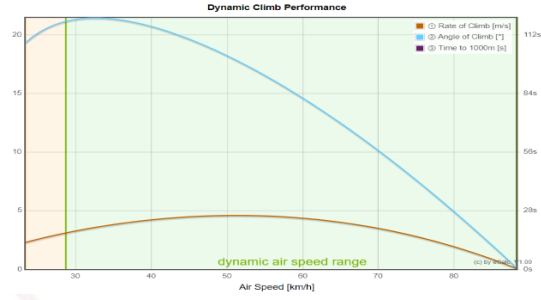
## Savaşan İHA Yarışması 2024

**Tablo 1: Sistem Performans Özellikleri**

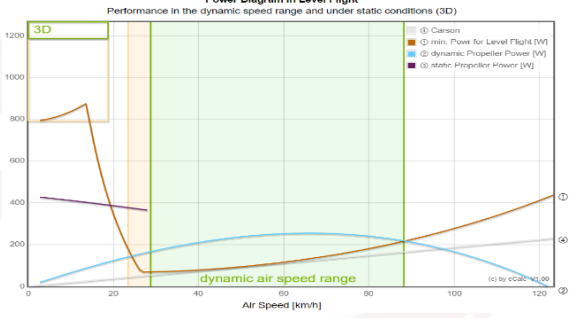
Uçak Ağırlığı	3200 gr	İtki Ağırlık Oranı	0.79
Kanat Açıklığı	1718 mm	Tork	0.52 Nm
Kanat Bölgesi	60 dm <sup>2</sup>	Statik İtki	2535 g
Batarya Kapasitesi	13000 mAh	Yunuslama Hızı	87 km/h
Maksimum Deşarj	80%	Tahmini Tutunma Hızı	35 km/h
Kanat Yüğü	53.3 g/dm <sup>2</sup>	Tahmini Yatay Hız	77 km/h
Maksimum Uçuş Süresi	14.5 dk	Sabit Uçuş Süresi	20.2 dk
Kalkış Mesafesi	28m	Stall Hızı	29-36km/h

**Tablo 2: Motor Çalışma Verileri**

Motor Optimum Verim		Motor Maksimum Verim	
Akım	18.96 A	Akım	43.34 A
Gerilim	14.59 V	Gerilim	14.33 V
Devir	10630 dev/dk	Devir	9532 dev/dk
Elektriksel güç	276.7 W	Elektriksel Güç	621.0 W
Mekanik güç	244.0 W	Mekanik Güç	519.5 W
Verim	88.2%	Verim	83.7%



**Şekil 1: İrtifa - Güç Diyagramı**

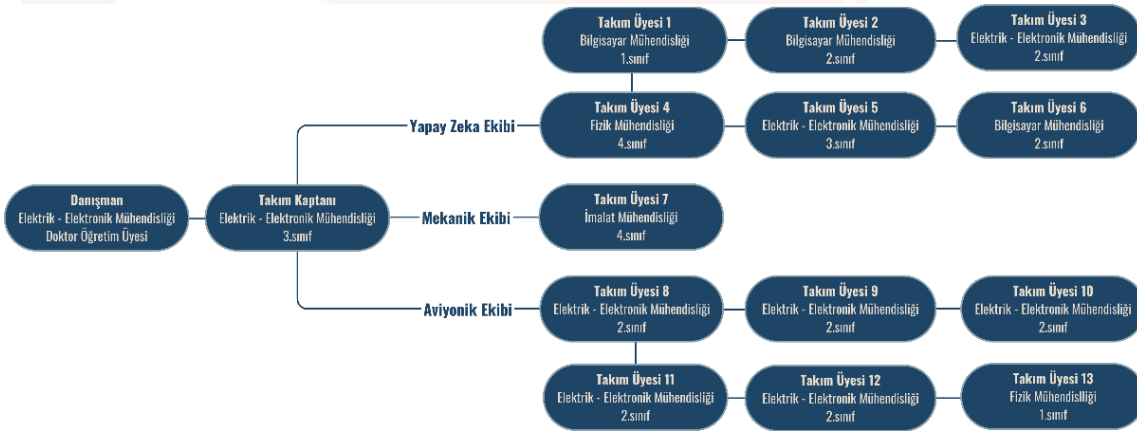


**Şekil 2: Dinamik Tırmanma Verileri**

Elde edilen veriler yaklaşık değerler olup yapılan testler ile doğrulukları teyit edilmiştir.

## 2. ORGANİZASYON ÖZETİ

### 2.1 Takım Organizasyonu



**Şekil 3: Takım Organizasyon Şeması**

## 2.2 Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe

Ana görevler ve alt görevler olarak planlanan proje zaman akış çizelgesi Tablo 3'de sunulmuştur. Proje için planlanan bütçe ise Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 3: Zaman akış çizelgesi

ANKÜ-DEMİRAĞ SIHA												
Ana Görevler	Alt Görevler	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos
Takım Kurulumu	Takım Toplantıları	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4
Ön Hazırlık	Görev Dağılımı											
	Sistem Belirlenmesi											
	Kaynak Araştırması											
Yazılım ve Mekanik Yeterlilik Hazırlığı	Bilgi Analizi											
	Kaynak Araştırması											
	Sistem Tasarımı ve Bileşenlerinin Belirlenmesi											
Teknik Yeterlilik Formu												
Parça Tedarik Süreci	Gerekli Parça Listesinin Hazırlanması											
	Sponsorluk Görüşmeleri											
	Sipariş Verme											
Kritik Tasarım	Tasarım Değişikliklerini Tanımlama											
	Kritik Tasarımın Tamamlanması											
	Sistem Açıklama Videosu											
Kritik Tasarım Raporu												
Üretim	Yapısal Entegrasyon											
	Elektronik Entegrasyon ve Kabloalama											
Testler	Parça Testi											
	Uçuş Testi											
	Görev Testi											
Teknofest 2024 Savaşan İHA Yarışması												

Tablo 4: Bütçe çizelgesi

Parça	Seçilen Ürün	Sayı	Destek Talebi	Fiyat
Gövde	X-UAV Talon	1	Var	6162,89TL
Batarya	Leopard Power 13000mAh 4S 25C	1	Yok	5946,49TL
Motor	SunnySky X2820 V3 860KV	1	Yok	2570TL
Propeller	EOLO 12*6,5 inç Pervane	2	Yok	336,74TL
ESC	Hobbywing Flyfun 60A 6S V5 Brushless ESC	1	Yok	3162,23TL
Servolar	Emax ES08 Servo	4	Yok	2000TL
Güç Dağıtım Kartı	Matek	2	Yok	526,86TL
Sigorta	AKSA Mini Current Breaker	2	Yok	770TL
Görev Bilgisayarı	Raspberry Pi 5 8GB	1	Yok	3314,64TL
Uçuş Kontrol Kartı	Pixhawk The Cube Orange	1	Var	15995TL
Telemetri	RFD900x LR Radio Telemetry Bundle	1	Var	18898TL
Wi-Fi Modülü (İHA)	GrooveA-52	1	Yok	2304,55TL
Wi-Fi Modülü (YKİ)	Mikrotik Mantbox 15S	1	Var	10410TL
GPS	Here 3	1	Yok	6252,40TL
Pitot Tüpü	Pixhawk PX4 Differential Airspeed	1	Yok	1498,18TL
Kumanda	FrSky Taranis X9D Plus + X8R Alıcı	1	Yok	10.826,76 TL
Kamera	Raspberry Pi HQ Camera	1	Yok	2329,47TL
Bant	Tesa 4688	2	Yok	450TL
İniş Takımı	Özel İmalat	1	Yok	300TL
Yapıştırıcı	Uhu Por	2	Yok	316TL
Toplam				94370,21

## 3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ

### 3.1 Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı

Teknik Yeterlilik Formu'nda belirtilen özgün tasarım kararından belirtilen sebeplerden dolayı vazgeçilmiştir. Özgün tasarım için gerekli olan atölye koşullarının mali sebeplerden ötürü sağlanamaması, CNC'de üretim yaptırabilmek için gereken bütçeye sahip olunmaması ve SolidWorks'te tasarlanan modelin görevleri (istenen detay ve kabiliyette modelleme) gerçekleştirmek için yeterli olmadığına düşünülmesi.

## Savaşan İHA Yarışması 2024

Uçuş Kanıt Videosu aşamasına kadar olan süre göz önünde bulundurulduğunda, çalışmaların devamlılığı için hazır kit kullanılmasına karar verilmiştir.

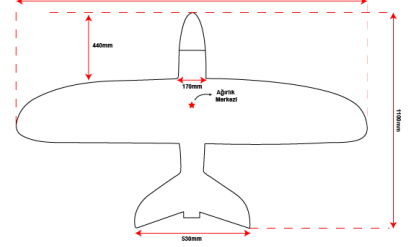
Yapılan araştırmalar sonucunda **X-UAV Talon 1718 mm** gövde modeli olarak belirlenmiştir. Tahmini Uçuş Verileri Tablo 5 ile sunulmuştur.

Tablo 5: Tahmini Uçuş Verileri

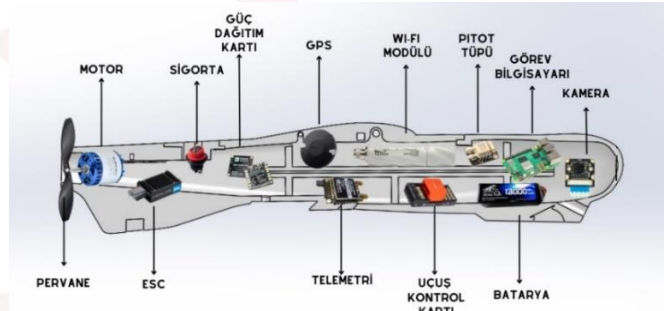
Uçuş Süresi	20 dk
Uçuş hızı (Yatay)	71 km/h
Tahmini Tırmanma Hızı	5.3 m/s
Stoll Hızı	20-35km/h
Yunuslama Hızı	80km/h

Tablo 6: Hava Aracı Özellikleri

Kanat Genişliği	1718 mm (67.6 in)
Uzunluk	1100 mm (43.3 in)
Kanat alanı	60 dm <sup>2</sup> (930sq.in)
Kanat yükü	55 – 60 g/dm <sup>2</sup> (12oz-sq.ft)
Sürüş sistemi	Fırçasız DC Motor
ESC	Fırçasız Hız Kontrolör
Servo	4 Servo
Batarya	Li-Po



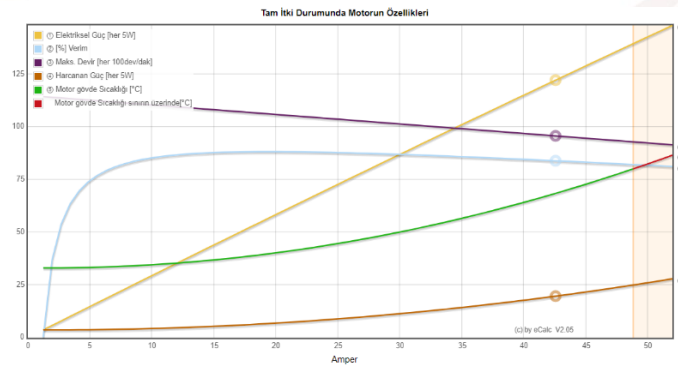
Hava aracı özellikleri Tablo 6 ile verilirken Alt Sistemlerin Yerleşimi Şekil 4 ile sunulmuştur.



Şekil 4: Alt Sistemlerin Yerleşimi

## 3.2 Hava Aracı Performans Özeti

Hava aracına ait tam itki durumu verileri yaklaşık olarak altta gösterildiği gibidir.



Şekil 5: Tam İtki Durumunda Motor Verileri

Tablo 7: Hava aracı performans değerleri

Batarya	Leopard 13000 mAh 4S 25C
Gerilim	14.52 V
Anma Gerilimi	14.80 V
Enerji	207.2 Wh
Toplam Kapasite	13000 mAh

## Savaşan İHA Yarışması 2024

Kullanılan Kapasite	9100 mAh
Min. Uçuş Süresi	14.5 dakika
Sabit Uçuş Süresi	20.2 dakika
Ağırlık	1073 g

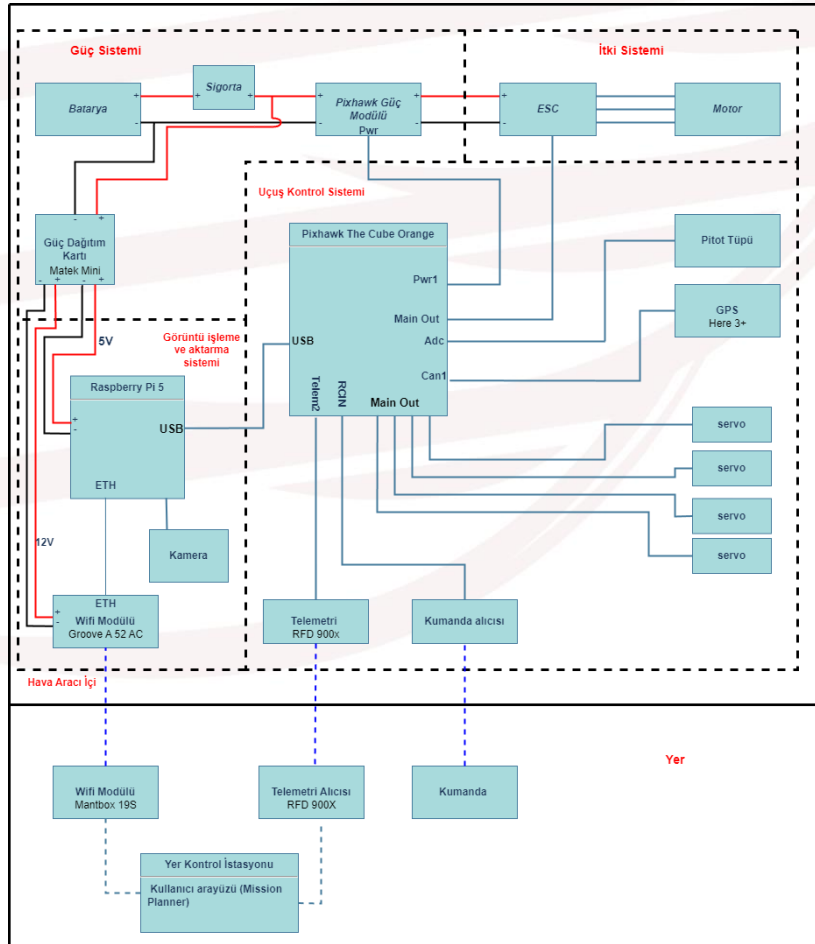
Tablo 8: Hava aracında harcanan akım-voltaj-güç değerleri

	Akım	Voltaj	Güç
Pixhawk The Cube Orange	2.5 A	5 V	12.5 W
Raspberry Pi 5	2 A	5 V	10 W
GrooveA 52 AC	0.5 A	12 V	6 W

Güç sisteminden 13000mAh Li-Po batarya ile güç elde eden hava aracının yapılan hesaplamalar sonucu ortalama 20,2 dakika havada kalabildiği hesaplanmıştır. Hava aracı görevleri yerine getirirken yaklaşık 9100 mAh enerji harcayacaktır. Sonuç olarak hava aracı %30 kapasite ile görevleri tamamlayıp başlangıç noktasına gelecektir. Pil kapasite değeri (mAh) / (1000 \* Akım (A)) = Uçuş süresi(saat) formülü üzerinden yapılan hesaplamalar ile;  $13000\text{mAh} / (1000 \cdot (35.71\text{A} + 5\text{A})) = 0.336\text{ h}$  uçuş süresi teorik ve deneysel olarak uyumluluk göstermiş ve hava aracının görevleri gerçekleştirmek için yeterli sürede havada kalabileceği netleşmiştir.

### 3. 3 Nihai Sistem Mimarisi ve Alt Sistemler Özeti

Nihai sistem mimarisi Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6: Nihai sistem mimarisi



Hava aracı uçuş kontrol, görüntü işleme ve aktarma, haberleşme, itki, güç ve YKİ olmak üzere altı adet alt sistemden oluşmaktadır.

### Uçuş Kontrol Sistemi

Uçuş kontrol sistemi, hava aracının otonom iniş, kalkış ve uçuşu; hız, konum ve irtifasının Yer Kontrol İstasyonu ile paylaşımı gibi tüm kontrol işlevlerinden sorumlu donanımsal ve yazılımsal bileşenlerin bütünüdür. Yarışma gereksinimleri göz önünde bulundurulduğunda **Pixhawk The Cube Orange** uçuş kontrol bilgisayarının kullanılması kararlaştırılmıştır. The Cube Orange'ın güçlü CPU performansı, ivmeölçer, jiroskop, pusula, barometre gibi gelişmiş sensör yapılarına sahip olması ve **I2C, Seri, CAN-BUS** gibi çeşitli bağlantı protokollerini içermesi; uçuş bilgisayarı olarak seçilmesinin ana nedenlerindendir. Ayrıca, otonom uçuşa yardımcı diğer alt sistemlerle uyumluluğu da seçilmesinde önemli bir rol oynamıştır. The Cube Orange'ın içine, yarışma görevlerini yerine getirebilmesi ve Yer Kontrol İstasyonu'ndan gelen verileri işleyebilmesi için **Ardupilot** uçuş kontrol yazılımı yüklenmiştir. Ardupilot'ın açık kaynaklı olması, aktif bir kullanıcı topluluğuna sahip olması ve otonom görev planlama yetenekleri gibi özellikleri seçilmesine neden olmuştur.

Hava aracının hızının yüksek doğrulukla ölçülebilmesi adına Pixhawk The Cube ile uyumlu çalışabilen **Pixhawk PX4 Differential Airspeed Pitot Tube** kullanılmasına karar verilmiştir. Pixhawk PX4 Differential Airspeed Pitot Tube, basınç farkını ölçerek elde edilen verileri **I2C haberleşme protokolü** ile uçuş kontrol bilgisayarına aktarır.

Hava aracı, belirlenen yarışma alanının içerisinde kalmak ve yarışma şartnamesinde belirtilen görevleri başarıyla tamamlamak amacıyla konum bilgilerine gerek duymaktadır. GPS modelinin hassas ölçümler yapabilmesi, yüksek veri akış hızına sahip olması ve uçuş bilgisayarı Pixhawk The Cube Orange ile uyum içinde çalışması beklenmektedir. Araştırmalar sonucunda **CAN** protokolünü kullanarak uçuş kontrol bilgisayarı ile haberleşebilen, 8Hz'lik yenileme hızı ile veri akışı ve yüksek doğruluğa sahip konum bilgilerinin elde edilmesini sağlayan **Pixhawk HERE 3 CAN GPS** modeli, gerekli görev isteklerini karşılaması sebebiyle GPS olarak tercih edilmiştir.

Kanatçıkları hareket ettirebilmek için 4 adet (2 kuyruk, 2 kanat) servo motor gerekmektedir. Düşük ağırlık değeri (12g), hızı (60o/0,1 s), yeterli durma torku (1,8 kg/cm), Pixhawk The Cube Orange uçuş bilgisayarı ile uyumlu olması sebebiyle Emax ES08MA II Metal Dişli Mikro Servo'nun kullanılmasına karar verilmiştir. Araştırma sonucunda tercih edilen servonun torku kanatlarda yetersiz kalmıştır. Bu nedenle kanatlardaki servolar Art-Tech AS-170 (17g) servo ile değiştirilmiştir.

### Görüntü İşleme ve Aktarma Sistemi

Görüntü işleme ve aktarma sistemi hava aracının görevleri başarıyla tamamlaması için sahip olunan donanımsal ve yazılımsal ürünlerin önemli bir parçasıdır. Görüntü işleme ve aktarma sisteminden beklenen nitelikler:

- Kesintisiz ve hızlı bir şekilde işlenen görüntüyü YKİ'ye aktarması,
- Savaşan İHA görevi esnasında rakip İHA'lara kilitlenme görevini başarıyla tamamlamak için kullanılan yazılımlar ile uyumlu bir şekilde çalışması,
- Kamikaze görevi esnasında konum verileri paylaşılan QR kodun içerdiği mesajı yer kontrol istasyonu ile paylaşması,
- Görevler esnasında elde edilen görüntü verilerini kesintisiz ve yüksek kalite ile yer kontrol istasyonuna aktarmasıdır.

Görüntü işleme ve aktarım sistemi; kamera, görev bilgisayarı, Wi-Fi modülleri ve yer kontrol bilgisayarından oluşmaktadır. Kameradan alınan görüntü görev bilgisayarında işlendikten sonra İHA içi Wi-Fi modülüne aktarılacaktır. Bu aktarımın sağlanması için aynı ağa bağlı olan görev bilgisayarı ve İHA içi Wi-Fi modülü arasında multimedya



## Savaşan İHA Yarışması 2024

framework'ü ile bağlantı kurulacaktır. YKİ'de bulunan Wi-Fi modülü, İHA içi Wi-Fi modülünden aktarılan verileri kablolu bağlantı ile yer kontrol bilgisayarına iletecektir.

**Görev Bilgisayarı:** Görev bilgisayarı seçiminde Raspberry Pi 4, Raspberry Pi 5 ve Jetson Nano incelenmiştir. Yapılan donanımsal ve yazılımsal değerlendirme sonucunda boyut, işlem gücü, fiyat gibi çeşitli parametreler göz önünde bulundurularak **Raspberry Pi 5** tercih edilmiştir. Raspberry Pi 5, Raspberry Pi 4'ün CPU'sundan yaklaşık 2-3 kat daha hızlı olan 2,4 GHz dört çekirdekli **64 bit Arm Cortex-A76 CPU**'ya sahiptir. Ayrıca **800 MHz VideoCore VII GPU** donanımı ile görüntü işleme ve yapay zekâ uygulamalarında büyük kolaylık sağlamaktadır. **8GB RAM**'e sahip olan Raspberry Pi 5, yarışmadaki görevleri başarıyla tamamlamak için kullanılması gereken algoritmaları gerçek zamanlı olarak çalıştırabilmekte ve verileri hızla analiz edebilmektedir. Yüksek çözünürlüklü kamera sistemleriyle entegre edildiğinde, toplanan veriyi hızla işleyebilmekte ve yer istasyonuna aktarabilmektedir. Bu işlevler, Raspberry Pi 5'in yüksek işlem gücü, geniş bağlantı seçenekleri ve düşük güç tüketimi sayesinde etkin bir şekilde gerçekleştirilir. 18x8x16 cm boyutları ve 40-50 gr ağırlığı ile sistem için istenilen boyutsal özelliklere sahiptir. Küçük boyutları, düşük güç tüketimi, yüksek işlemci gücü ile Raspberry Pi 5, sistem gereksinimlerini karşılamaktadır.

Tablo 9: Görev Bilgisayarlarının Karşılaştırması

Özellik	Raspberry Pi 5	Raspberry Pi 4	Jetson Nano
<b>CPU</b>	Broadcom BCM2712, quad-core Cortex-A76 da (ARM V8), 64-bit SoC @ 2.4Ghz	1.5 GHz Broadcom BCM2711 dört çekirdekli ARM Cortex-A72	Dört çekirdekli ARM A57 @ 1.43 GHz
<b>RAM</b>	8GB	8GB LPDDR4 SKU	4GB 64-bit LPDDR4
<b>Wireless</b>	2.4Ghz - 5.0Ghz 802.11ac	4/5.0 GHz 802.11ac destekleyen kablosuz ağ ve Bluetooth 5.0 BLE	2.4GHz ve 5GHz 802.11b/g/n/ac Wi-Fi, Bluetooth 4.2
<b>Ethernet</b>	Gigabit Ethernet	Gerçek Gigabit	2.4GHz ve 5GHz 802.11b/g/n/ac Wi-Fi, Bluetooth 4.2
<b>GPIO</b>	40 adet GPIO bağlantısı	40 adet GPIO bağlantısı	40 adet GPIO bağlantısı
<b>HDMI</b>	2 x Micro HDMI bağlantı noktası (2 x 4K@60Hz)	2 x mikro HDMI bağlantı noktası (1 x 4K@60Hz veya 2 x 4K@30Hz)	1 adet HDMI portu
<b>Ekran Portu</b>	2 x 4Lane MIPI (DSI/CSI)	2 hat MIPI DSI ekran portu	Ekran portu yerine HDMI portu kullanır
<b>Ürün Boyutları</b>	18x8x16cm	9.5 x 7 x 2.8 cm; 50 gram	100mm x 80mm
<b>Güç Girişi</b>	5V - 5A - Type-C	5V/3A çalışmasını destekleyen USB-C güç girişi	5V DC via micro-USB veya 4-pin güç konektörü

Tablo 10: Raspberry Pi 5 Camera Module 3 NoIR wide

Özellikler	Bileşenler
<b>Sensör</b>	Dört çekirdekli ARM A57 @ 1.43 GHz
<b>Çözünürlük</b>	11.9 Megapiksel
<b>Sensör Boyutu</b>	7.4mm Diagonal
<b>Piksel Boyutu</b>	1.4µm x 1.4µm

Tablo 11: Kamera Parametreleri

Odak Aralığı	5cm-∞
<b>Odak Uzunluğu</b>	2.75mm
<b>Diagonal Görüş Alanı</b>	120°
<b>Yatay ve Dikey Görüş Alanı</b>	102°

**Wi-Fi Modülü (İHA):** Wi-Fi modülünün kullanım amacı gereği kesintisiz olarak hava aracı ile YKİ arasındaki haberleşmeyi sağlayabilmesi için yüksek menzile sahip, kurulumunun kolay, yüksek çıkış gücüne sahip, hava koşullarına dayanıklı ve çeşitli frekans bantlarını kapsıyor olmasına dikkat edilmiştir. Aranılan özellikler kapsamında; GrooveA-52, Ubiquiti Rocket M5 ve Ubiquiti Bullet AC olmak üzere üç adet Wi-Fi modülü değerlendirilmiştir. Değerlendirmeye alınan bu modüller teknik özellikleri ve maliyetleri bakımından incelenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda Ubiquiti Rocket M5 modülünün yüksek ağırlık içermesi nedeniyle İHA içi Wi-Fi modülü olarak

seçilmemesine karar verilmiştir. Aranılan hafiflik özelliğine sahip olması nedeniyle Wi-Fi modülü olarak **GrooveA-52** modülü tercih edilmiştir. GrooveA-52, hava koşullarına dayanıklı ve kurulumu kolaylıkla yapılabilen bir Wi-Fi modülüdür. Sahip olduğu **802.11b/g/n ve 802.11a/n/ac Wi-Fi standartları, 1 Gb Ethernet** portu ve **seçilebilir kablosuz bant genişliği** (80 MHz genişliğe kadar 2,4 GHz veya 5 GHz) ile yüksek hızlarda haberleşme ve görüntü aktarım imkânı sunmaktadır. Uygun maliyeti ve diğer sistemler ile uyumlu çalışması Wi-Fi modülü olarak seçilmesinde etkili olmuştur.

**Wi-Fi Modülü (YKİ):** Görev isterleri kapsamında Wi-Fi modülünün yer kontrol istasyonundan hava aracına kablosuz bağlantı sunabilecek, GrooveA-52 ile uyumlu bir şekilde çalışabilecek, yüksek CPU değerlerine sahip, geniş bant aralıklarında çalışabilen ve yüksek çıkış gücü değerlerine sahip bir modül olmasına karar verilmiştir. Wi-Fi modülleri incelenmiş ve aranılan özelliklere sahip olan Ubiquiti T NANOBEAM 5 AC ve mANTBox-15s modelleri değerlendirilmeye alınmıştır. Her iki model de aynı bant genişliğine sahip olup aynı frekans (5150-5875 MHz) aralıklarını desteklemektedirler. GrooveA-52 ile uyumlulukları nedeniyle **mANTBox-15s** modülünün seçilmesine karar verilmiştir.

**Yer Kontrol Bilgisayarı:** HP Victus/Core i5-13500H işlemci, 16 GB RAM, 512 GB SSD depolama ve RTX 4060 grafik kartına sahip olan yer kontrol bilgisayarı, hava aracının yer kontrolünü sağlar. Sahadaki operatörler, uçağın durumunu gerçek zamanlı olarak izleyebilir ve verilerini analiz edebilir. Yüksek performansı ve taşınabilirliğiyle, uçan araçlar için etkili bir gözlem ve kontrol çözümü sunar.

### 3.4 Hava Aracı Ağırlık Dağılımı

Ağırlık merkezinin konumu 3.1'de verilen hava aracının, bu konum referans alınarak tanımlanan ağırlık dağılım ve koordinatları Tablo 12 ile sunulmuştur.

Tablo 12: Ağırlık Dağılımı ve Koordinatlar

Ekipman	Ekipman Modeli	Ağırlık (g)	X Kordinatı (cm)	Y Kordinatı (cm)
Gövde	X-UAV Talon	2500	0	0
Görev Bilgisayarı	Raspberry Pi 5	46	9	18,5
Uçuş Kontrol Kartı	Pixhawk The Cube Orange Standart Set	75	9	1,5
Wi-Fi Modülü	GrooveA-52	193	3,5	4
Telemetri	RFD900x LR Radio Telemetry Bundle	20	5,5	-6,5
GPS	Pixhawk Here 3 Can GPS	50	9	22
Pitot Tüpü	Pixhawk PX4 Differential Airspeed	40	13	7
Kamera	Raspberry Pi Camera Module 3 NoIR	15	9	37
Kumanda Alıcısı	X8R	16,6	11,2	-6,5
Motor	SunnySky x2820 v3 860KV	143	9	-62
Pervane	ELO 12*6,5 inç Pervane	2*21	9	-64
Batarya	4S 13000mAh 25C	1046	9	15,5
ESC	Hobbywing Flyfun 60A 6S V5 Brushless ESC	80	9	-45
Güç Dağıtım Kartı	MATEC MINI 1X Booster Card	6*2	9	11,5
Sigorta	Aksa Mini Current Breaker + Blade Fuse	30	9	-22
Servo (Kanatlar)	Art Tech AS-170 (Sağ Kanat)	17	56	-1,5
	Art Tech AS-170 (Sol Kanat)	17	-41	-1,5
Servo (Kuyruk)	Emax ES08MA II Metal Gear Micro Servo (Sağ Kuyruk)	9	20,5	-47
	Emax ES08MA II Metal Gear Micro Servo (Sol Kuyruk)	9	-4,5	-47

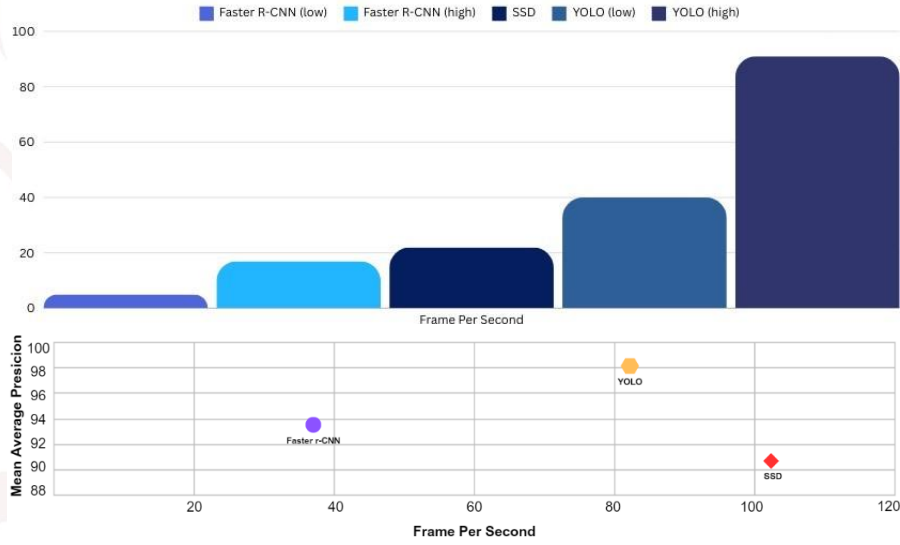
Ağırlık dağılımları düzenlenirken ağırlık merkezi referans alınmıştır.

## 4. OTONOM GÖREVLER

### 4.1 Otonom Kilitlenme

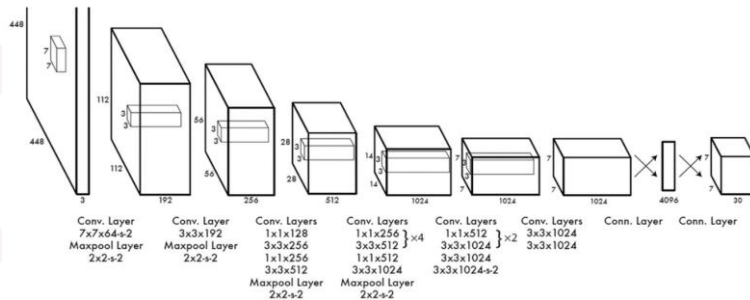
Savaşan İHA Yarışması görev istekleri göz önünde bulundurulduğunda “otonom kilitlenme” görevi 2 alt başlıkta incelenmiştir.

**4.1.1 Otonom Hedef Tespiti:** Otonom hedef tespitini gerçekleştirmek amacıyla gerçek zamanlı nesne tespiti için kullanılan yöntemler ve algoritmalar araştırılmıştır. Bu yöntem ve algoritmalar araştırılırken, doğruluk (accuracy), yüksek performans, verimlilik ve optimizasyon kolaylığı gibi kriterler göz önünde bulundurulmuştur. Bu bağlamda “machine learning” ve “deep learning” tabanlı görüntü işleme algoritmalarının kullanılmasına karar verilmiştir. Bu algoritmalar arasından seçilen YOLO (You Only Look Once), SSD (Single Shot Detector), Faster r-CNN algoritmaları doğruluk, hız ve FPS değerlerine göre karşılaştırılmıştır. FPS ve accuracy değerlerinin karşılaştırması Şekil 7’de görülmektedir.



Şekil 7: İncelenen nesne tespit algoritmalarının FPS ve mAP değerlerinin karşılaştırılması

İncelenen algoritmaların özellikleri karşılaştırıldığında en uygun modelin **YOLO** olduğuna karar verilmiştir. Bu algoritmaya, bir görüntüye yalnızca bir kez bakarak nesneleri ve konumlarını "anchor box" yardımıyla tanımladığı için "You Only Look Once" (Yalnızca Bir Kez Bakma- YOLO) olarak adlandırılır. Evrişimli Sinir Ağları (CNN) görsel girdi üzerinde etkili bir şekilde çalışır. Bunun sebebi düşük seviyeli özelliklerin başlangıçtaki katmanlardan daha sonraki katmanlara etkin bir şekilde iletilmesidir. [1]

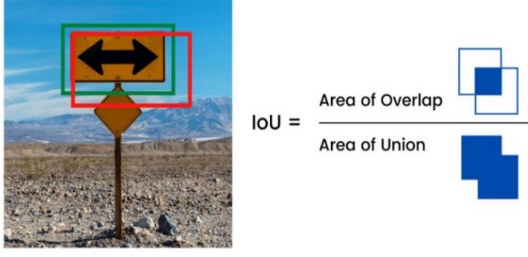


Şekil 8: YOLO algoritması mimarisi [3]

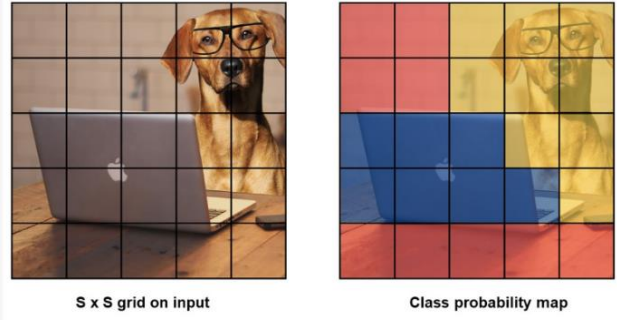
"Nesne tespiti" sürecinde, var olan görüntü  $S \times S$  ızgara hücrelerine bölünür. Her bir ızgara hücresi, altında bulunan nesnenin varlığını belirlemek için  $B$  adet sınırlayıcı kutu tahmin eder. Bu tahminler, nesnenin olasılığını, hangi sınıfa ait olduğunu, konumunu ve boyutunu içerir. Bir nesnenin tespit edilmesi için temel kural, nesnenin merkezinin

## Savaşan İHA Yarışması 2024

bir ızgara hücresinin içinde olması gerektiğidir. Dolayısıyla, her bir ızgara hücresi, o belirli nesneyi uygun bir sınırlayıcı kutu ile tespit etmekten sorumludur. [2]

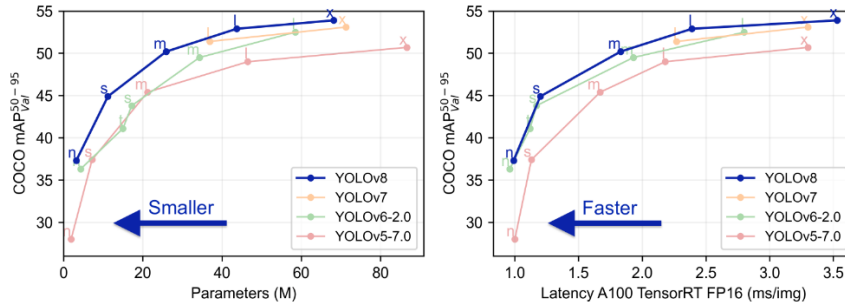


Şekil 9: IoU hesaplaması



Şekil 10: YOLO'nun  $S \times S$  ızgara dağılımı ve sınıf dağılım haritası

Otonom tespit görevi için YOLO'nun versiyonlarından biri olan YOLOv8 modeli tercih edilmiştir. Şekil 11' de görüldüğü üzere YOLOv8 diğer modellere göre daha yüksek performansa sahiptir.



Şekil 11: YOLO modellerinin karşılaştırması

Gerçek zamanlı nesne tespiti için seçilen YOLOv8 modeli, hazırlanan dataset ile eğitilmiştir. Dataset hazırlanırken yarışma koşulları da göz önünde bulundurularak 1000 adet orijinal görüntü toplanmış ve bu görüntülere **data augmentation** uygulanmıştır. Bu işlem gerçekleştirilirken geliştirilen algoritmalar ile özgün filtreler ve data augmentation'da kullanılan popüler filtreler uygulanmıştır. Uygulanan filtrelerden bazıları Şekil 12'de mevcuttur. Data augmentation sonucunda **17.000** adet görüntü içeren bir dataset elde edilmiştir. Elde edilen datasete labellama işlemi uygulandıktan sonra YOLOv8 algoritması eğitilmiş ve bir yapay zeka modeli elde edilmiştir. Modelin eğitimi esnasında learning rate, batch size, epoch gibi hiperparametreler gereksinimlere yönelik olarak optimize edilmiştir.



Şekil 12: Datasete uygulanan örnek Data Augmentation filtreleri

**4.1.2 Otonom Kilitlenme ve Takip:** Rakip İHA'ların yüksek hızlarda hareket etmesi nedeniyle nesne tespit algoritmaları hedefin yerini ve yönelimini verimli biçimde tespit etmekte yetersiz kalmaktadır. Gerçek zamanlı nesne tespit algoritmasının verimini artırmak amacıyla gerçek zamanlı nesne takip algoritması kullanılmasına karar verilmiştir. Kullanılacak olan nesne takip algoritmasının gerçek zamanlı çalışabilmesi ve düşük hata oranına sahip olması istenmektedir. Bu gereksinimler kapsamında SORT (Simple Online and Realtime Tracking) ve Deep SORT algoritmaları

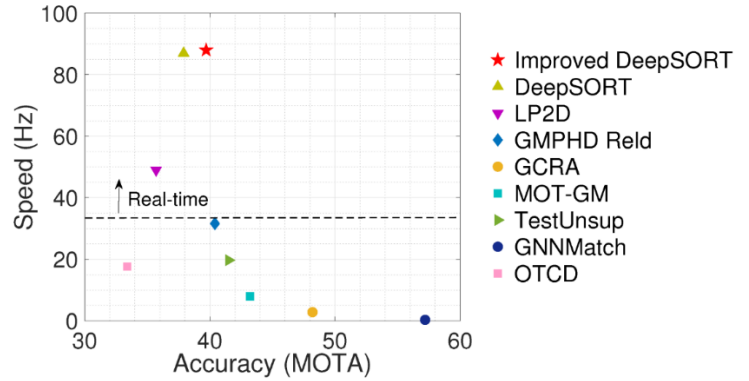


## Savaşan İHA Yarışması 2024

incelenmiştir. SORT algoritması bir nesneyi diğer nesne ile ilişkilendirmek için nesnenin daha belirgin ve ayırt edici özelliklerine ihtiyaç duyar. Bu sebeple nesnelerin çarpıştığı veya sonraki imgede görünmediği durumlarda gerçek zamanlı nesne takibi için SORT algoritmasının başarılı sonuç veremeyeceği öngörülmektedir.

Deep-SORT algoritması SORT algoritmasının geliştirilmiş bir versiyonudur. Deep-SORT'un temel amacı, algılanan nesneleri takip ederken, izleri (track) doğru bir şekilde sürdürmek ve birbirleriyle ilişkilendirmektir. İzleri yeniden tanımlamak için derin öğrenme modeli olan Evrişimli Sinir Ağları (CNN) kullanılmaktadır. [4]

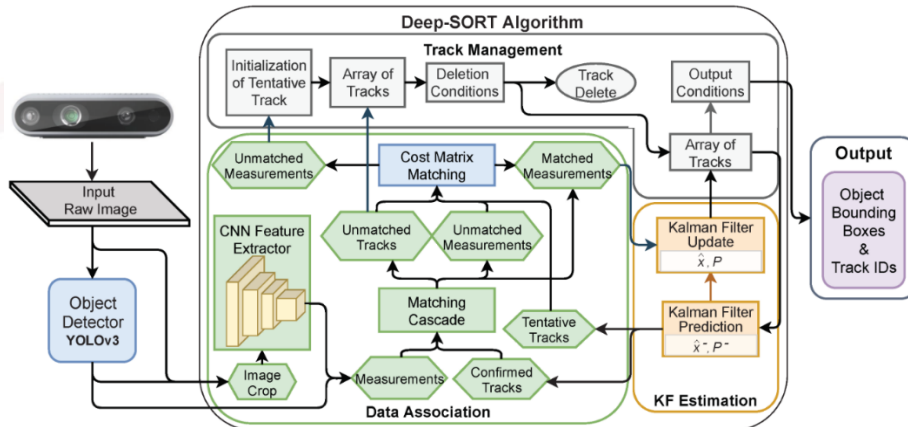
Geniş ölçekli re-identification veri kümesinde eğitilen derin öğrenme modelleriyle desteklenen Deep-SORT algoritması, izleri yeniden tanımlamak için daha güçlü bir temel sağlar. Accuracy ve FPS değerlerinin verildiği grafik aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 13: Nesne takip algoritmalarının doğruluk - hız grafiği

Nesne takip sistemlerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini artıran gelişmiş özellikler sunmasından dolayı gerçek zamanlı nesne takip algoritması olarak **Deep-SORT** algoritmasının kullanılmasına karar verilmiştir.

Deep-SORT algoritmasının mimarisi Şekil 14'te mevcuttur. [5]



Şekil 14: Deep-SORT algoritma mimarisi

Deep-SORT algoritması nesnelerin sonraki imgedeki yerini tahmin etmek için **Kalman Filtresi** kullanır. Kalman Filtresi gürültülü bir veri akışı üzerinde gerçek-zamanlı ve özyinelemeli çalışarak hatayı en aza indirecek şekilde filtreleme yapar ve sistemin fiziksel karakteristiğinin modellemesini gelecek durumun matematiksel tahminine göre optimize eder. Kalman Filtresi, bir modelin tahminlerini gerçek gözlemlerle karşılaştırır ve aradaki farkı değerlendirir. Bu fark, Kalman kazancı olarak adlandırılan bir faktörle düzeltilir ve modelin gelecekteki tahminlerini iyileştirmek için geri beslenir. Kazanç, istenilen performansa göre ayarlanabilir. Yüksek kazançlar, filtre çıkışının gözlemleri daha yakından izlemesini sağlar, ancak düşük kazançlar, filtre model tahminlerini daha yakından takip eder. Bu yöntem, gerçek değerlere, tek bir ölçüme veya model tahminlerine dayanarak daha doğru tahminler yapmak için kullanılır. Kalman Filtresi, her zaman gerçek değerleri ve bu değerlerin belirsizliklerini tahmin eder. Bir sonraki ölçüm alındığında, bu tahminler gözlemlerle birleştirilir ve düşük belirsizliğe sahip

tahminler daha fazla ağırlıklandırılır. Sonuç olarak, güncellenmiş tahminler, daha doğru sonuçlar elde etmek için ağırlıklı olarak ortalanır. Kalman Filtresi'nin mimarisi Şekil 15'te görülmektedir.



Şekil 15: Kalman mimarisi

## 4.2 Kamikaze Görevi

Kamikaze görevi hava aracının yer düzleminde bulunan, engellerle çevrelenmiş QR koda 45 derecelik açıyla dalış yaparak QR kodun içerdiği mesajın tespit edilmesi ardından bölgeyi güvenli bir şekilde terk etmesine dayalı otonom bir görevdir.

**4.2.1 Hedefe Yaklaşım:** Hava aracı, önceden programlanmış bir uçuş planını takip ederek GPS ile belirlenen hedefe doğru yönelecektir. Bu plan, en kısa rotayı veya engellerden kaçınmayı içeren optimize edilmiş bir rota olabilir. Hava aracı, uçuş sırasında irtifa, hız ve yön gibi sensör verilerini kullanarak kendi konumunu takip edecektir. Bu veriler, uçuş planını takip etmeyi ve hedefe doğru bir şekilde gitmeyi sağlamak için kullanılmaktadır. Hava aracı hedefe yaklaşırken, QR kodu algılamak için kamerayı veya sahip olduğu diğer sensörleri kullanacaktır. QR kod algılandığında ise dalışa geçmeye hazır olacaktır. Hedefe en kısa mesafeyi veya engellerden kaçınmak için oluşturulan rotayı bulmak için Dijkstra algoritması veya A\* arama algoritması gibi bir yol bulma algoritması kullanılması planlanmaktadır. Bu algoritmalar, haritalar ve GPS verileri gibi bilgileri kullanarak uçuş planı oluşturur.

**4.2.2 Hedefe Dalış:** Dalış açısı kameranın yataydaki görüş açısı olan 102 dereceye göre hesaplanmıştır. (Yapılan hesaplamalar teorik olmakla birlikte sponsorluk sağlanması durumunda kameranın değişecek ve hesaplamaların tekrar yapılması gerekecektir.)

$$\text{Dalış açısı} = \arctan(\text{QRkoduboyutu} / (2 * \text{Kamera görüş açısı}))$$

$$\text{Kamera görüş açısı radyan} = 120 \text{ derece} * (\pi / 180 \text{ derece}) \text{ kamera görüş açısı radyan} = 2.094 \text{ rad}$$

$$\text{Dalış açısı} = \arctan(2.5 / (2 * 2.094)) \text{ dalış açısı} = 0.57 \text{ rad dalış açısı} = 32,6 \text{ derece}$$

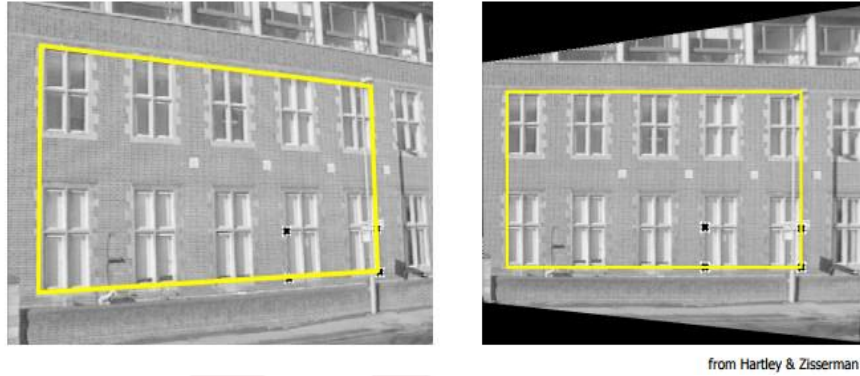
teorik olarak hesaplanmıştır. Sensörler aracılığıyla sisteme sağlanan konum ve hız verisi bu hesaplamaların gerçekleştirilebilmesi için kullanılacaktır. Konum ve hız verilerinin kullanılan algoritmalarda işlenmesinin ardından elde edilen veri hava aracının hareketini düzenleyen uçuş kontrol bilgisayarında anlamlı hale gelecek ve dalış hareketi gerçekleştirilecektir.

**4.2.3 Hedefe Kilitlenme:** Hedefe kilitlenme aşamasındaki temel amaç QR kodu tanıyan ve mümkün olan en kısa sürede bu kodu çözebilen bir sistem oluşturmaktır. QR kodun tespit edileceği mesafe ve dalış açısı gibi parametreler göz önünde bulundurarak

## Savaşan İHA Yarışması 2024

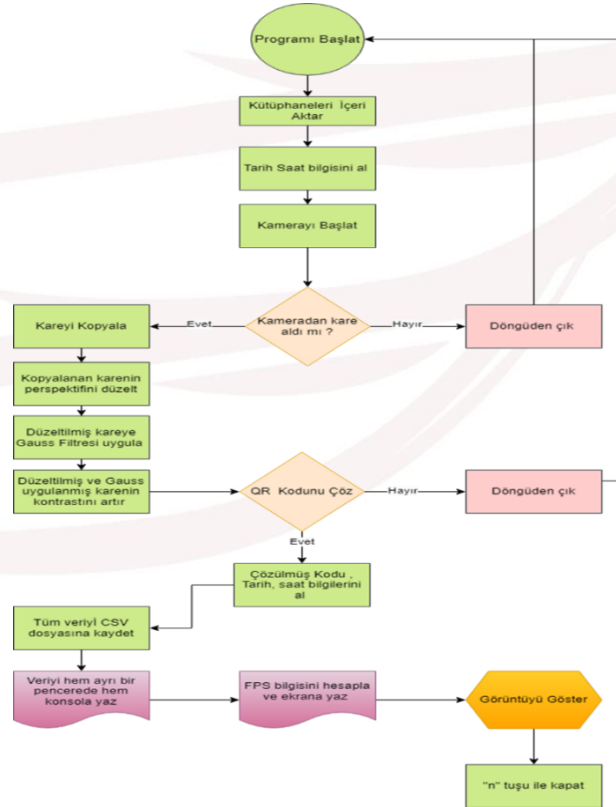
sistem en yüksek performanslı hale getirilmiştir. Yazılımsal iyileştirmelerin yanı sıra bütçe sağlanması durumunda donanımsal geliştirmelere de gidilecektir.

QR koda kilitlenme aşamasında, alınan görüntülerdeki perspektiften kaynaklı gürültüleri azaltarak kullanılan algoritma daha stabil hale getirilmiştir. Numpy kütüphanesi kullanılmasının temel amacı, görüntünün 4 elemanlı 2 adet dizi haline getirilmesinin ardından “Kaynak” ve “Hedef” noktaları arasındaki “Homografi Matrisi”ni hesaplamasıdır. Homografi Matrisi, görüntü işlemede kullanılmakta olup iki farklı görüntü arasındaki geometrik ilişkiyi tanımlayan bir dönüşüm matrisidir. Bu dönüşüm matrisi, bir görüntüdeki noktaları diğer görüntüdeki noktalarla eşleştirmek için kullanılır.



Şekil 16: Homografi matrisi ile Perspektif kaldırma / düzeltme operasyonu görseli

Görüntüdeki gürültüleri gidermek için kullanılan bir diğer yöntem ise Gauss Filtresi'dir. Görüntüdeki QR kodun daha kolay tespit edilebilmesi için uygulanan kontrast artırma filtresi Numpy kütüphanesi kullanılarak sisteme entegre edilmiştir. Kamikaze görevinin çalışma prensibi Şekil 17 ile gösterilmiştir.



Şekil 17: Kamikaze görevinin çalışma prensibi

#### 4.2.4 Pas Geçme

Hava aracı, önceden belirlenmiş bir rota üzerinde ve yarışma kuralları dahilinde hedefe yaklaşacaktır. Bu rota, engellerden kaçınmayı ve hedefe en kısa sürede ulaşmayı sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Hava aracı hedefe yaklaşırken, QR kodu algılamaya çalışacaktır. QR kod algılanamazsa veya deşifre edilemezse, hava aracı pas geçme moduna geçecektir. Pas geçme modunda, önceden belirlenmiş bir rotayla hedeften uzaklaşacaktır. Bu rota hava aracının güvenli bir şekilde kalkış pozisyonuna dönmesini sağlayacak ve bir sonraki dalış rotasının oluşturulmasının ardından yeniden dalış moduna dönecektir.

### 5. HAVA SAVUNMA SİSTEMİ

İHA'nın belirlenen alanlara girmemesi Mission Planner üzerinden gerçekleştirilmesi düşünülmüştür. Uçuşa yasaklı bölgelerin coğrafi koordinatları girilerek haritanın üzerinde işaretlenmesi ilk adımı oluşturmaktadır. Seçilen bu alanlar daha sonra Fence adı verilen, uçuş sınırlarını belirleyen bir parametre ile tanımlanır. İnsansız hava aracı bu alanların içerisine girdiğinde belirlenen sınırların dışına çıkması için sisteme bir komut verilir. Bu komut İHA'nın rotasını otomatik olarak değiştirerek istenilen bölgelerde uçuş gerçekleştirebilmesini sağlar. Bu işlevsellik hem Mission Planner yazılımında hem de uçak üzerinde bulunan çeşitli sensörler aracılığıyla gerçek zamanlı uygulanır.

### 6. YER KONTROL İSTASYONU, HABERLEŞME VE KULLANICI ARAYÜZÜ

#### 6.1. Yer Kontrol İstasyonu

ANKÜ-DEMİRAĞ İHA'nın yer kontrol istasyonu; bilgisayar, telemetri modülü, Wi-Fi modülü ve FrSky Taranis kumandası ve alıcısından oluşmaktadır. RFD900x LR radyo telemetri modülü 902-928 Mhz frekans aralığında çalışabilmektedir. İHA'nın kamerasından uçuşu izlemek ve görüntüleri sunucuya aktarmak için yer istasyonunda Mikrotik Mantbox 15S Wi-Fi modülü kullanılmıştır. Bu modül 720 MHz CPU frekansı ve 31 dBm çıkış gücüne sahiptir. ANKÜ-DEMİRAĞ İHA pilotunun, manuel modda kontrolü gerçekleştirebilmek için 2.4 GHz frekans ve 24 kanallı FrSky Taranis X9D Plus kumanda ile ACCESS iletişim protokolünü kullanması planlanmıştır. Uzaktan kumanda ile en uyumlu şekilde çalışacak X8R alıcı kullanılmıştır.

Mission Planner, Ardupilot projesi için geliştirilen açık kaynak kodlu bir yer kontrol istasyonu yazılımıdır. Karada, suda ve havada dahil olmak üzere çeşitli ortamlarda kullanılabilme özelliğine sahiptir. Multirotor, uçak ve helikopter dahil olmak üzere çeşitli hava araçlarını desteklemektedir. Mission Planner, yer istasyonu ile araç arasında veri ve komut aktarımını sağlamak ve otonom hareket imkanı sunmaktadır. Seçilme nedenleri arasında, kullanıcı dostu arayüzü ve zengin kaynakların bulunabilirliği yer almaktadır.

#### 6.2. Haberleşme

Bu bölümde, haberleşme sistemleri üç ana başlık altında incelenecek ve haberleşme sistemleri içerisinde kullanılan iletişim protokolleri detaylandırılacaktır. İHA'nın sistem mimarisinde (Şekil 18) görüldüğü üzere başlıklar aşağıdaki şekilde olacaktır:

1. İHA İçerisi Haberleşme
2. İHA – Yer Kontrol İstasyonu Arası Haberleşme
3. Yer Kontrol İstasyonu – Sunucu Arası Haberleşme



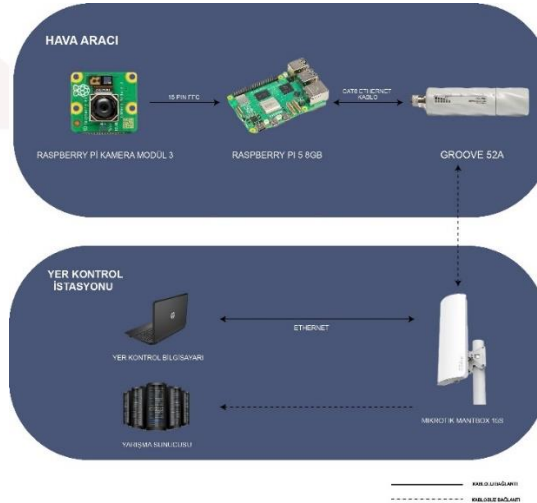
[illegible]

15

**Pixhawk the Cube Orange – The Pixhawk PX4 Differential Airspeed Sensor:** Hız sensörü ile uçuş bilgisayarları arası haberleşme, **I2C** seri iletişim protokolü aracılığıyla sağlanmaktadır. Hız sensörü, uçuş bilgisayarına 4 şeritli kablo ile I2C portundan bağlanmaktadır. Bu portun 4 pini bulunmaktadır: **SCL** (Serial Clock), **SDA** (Serial Data), **VDD** (Drain Supply Voltage) ve **GND** (Ground).

### 6.2.2. İHA – Yer Kontrol İstasyonu Arası Haberleşme

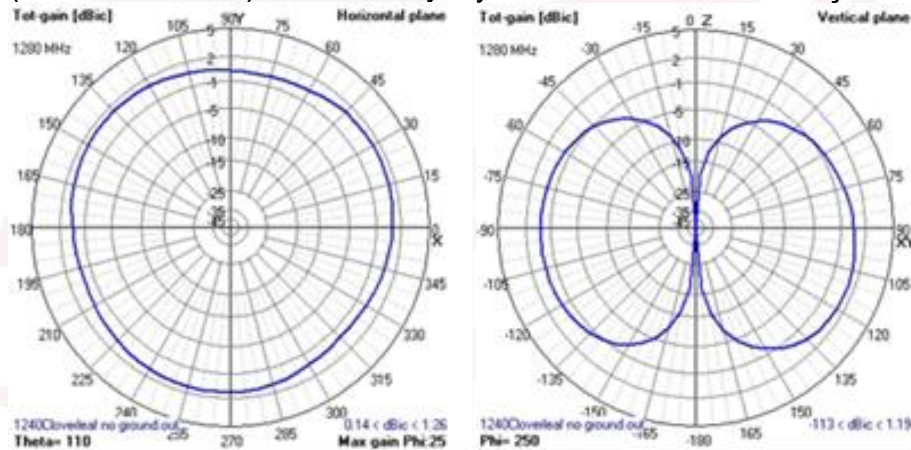
Bu alt bölümde, İHA ile Yer Kontrol İstasyonu arasındaki haberleşme incelenecektir.



Şekil 20: İHA YKİ haberleşme

**GrooveA-52 Wi-Fi (İHA) - MikroTik mANTBox 15S Wi-Fi (YKİ):** İHA içinde bulunan GrooveA-52 ve YKİ'de bulunan mANTBox Wi-Fi modülleri arasındaki kablosuz iletişim, 5GHz bant genişliğinde Wi-Fi bağlantısı ile sağlanacaktır. İki cihaz da 802.11 a/ac/n Wi-Fi standartını desteklemektedir. GrooveA-52 aracılığıyla maksimum 150 Mbit/s hızıyla veri aktarımı yapılabilmektedir. Kablosuz bağlantının kopma riskini azaltmak için Groove-A52'ye çok yönlü bir anten takılacaktır.

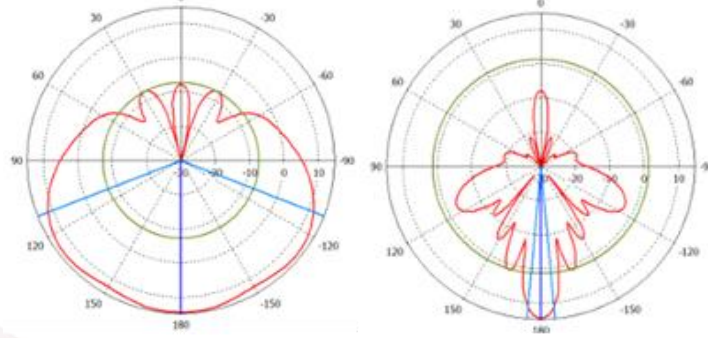
Çok yönlü (omni-directional) antenin radyasyon modeli – de belirtilmiştir.



Şekil 21: Anten kazanç grafiği

Bu anten çok yönlü olması nedeniyle düşük sinyal gücüne neden olabilir. Mantbox 15S, 23dBi yüksek kazanç ve 15dBi 120 derece sektör antene sahip olması özelliği ile sinyal gücünü artırır.

## Savaşan İHA Yarışması 2024



Şekil 22: Mantbox Anten Işıma örüntüsü

**FrSky Taranis X9D Plus Kumanda – FrSky X8R Radyo Alıcı:** Uzaktan kumanda ile alıcı arasındaki haberleşme, uçuş bilgisayarı aracılığıyla S-BUS üzerinden kablosuz olarak **2.4 GHz** bant üzerinden sağlanmaktadır. Uzaktan kumanda tarafından verilen komutlar, alıcı aracılığıyla Pixhawk the Cube Orange uçuş bilgisayarına iletilmektedir.

**RFD900x LR Radio Telemetry Bundle (İHA) – RFD900x LR Radio Telemetry Bundle (YKi):** Ankü-Demirağ İHA ile yer kontrol istasyonu arasındaki haberleşme için birbirleriyle uyumlu iki adet RFD900x Lr Radyo Telemetri modülü kullanılmaktadır. İki telemetri arasındaki haberleşme MAVLink protokolü aracılığıyla kablosuz bir şekilde gerçekleşmektedir. Veri paketleri, MAVLink paket formatına göre düzenlenmekte ve alıcı modüle gönderilmektedir. Telemetri modülünün; **+40 km** geniş menzili, **500 kbits/s** veri transfer hızı, **+30 dBm** çıkış gücü ve **902-928 MHz** frekans bandı bulunmaktadır. Telemetri modülü, girişimlere karşı **FHSS** (Frequency Hopping Spread Spectrum) metodu kullandığı için iletişim kesintisi riskini en aza indirmektedir. Ayrıca, yarışma esnasında diğer telemetri modülleriyle girişim riski bulunması nedeniyle, RFD900x'in **128-bit AES** (Advanced Encryption Standart) donanım hızlandırma şifrelemesi ile bu problemin ortadan kaldırılması planlanmaktadır.

### 6.2.3. Yer Kontrol İstasyonu – Sunucu Arası Haberleşme

Yer kontrol istasyonu ile sunucu arası haberleşme, yarışma alanında verilecek kullanıcı adı ve şifre ile **Ethernet** kablosu bağlantısıyla sağlanacaktır. Yarışma gerekliliği olarak ANKÜ-DEMİRAĞ İHA'dan istenen veriler **HTTP** (Hyper Text Transfer Protocol) protokolü aracılığıyla uygun formatta sunucuya aktarılacaktır. İletişim kriterleri, yarışma komitesi tarafından belirlenecektir.

### 6.3. Kullanıcı Arayüzü

Mission Planner, Ardupilot projesi için geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir yer kontrol istasyonu yazılımıdır. Karada, suda ve havada olmak üzere çeşitli ortamlarda kullanılabilir ve çok rotorlu helikopterler, uçaklar ve helikopterler de dahil olmak üzere çeşitli hava araçlarını destekler. Mission Planner, yer istasyonu ile araç arasında veri transferini ve veri alışverişini kolaylaştırır ve otonom hareketi sağlar. Bahsi geçen özellikler ve kullanıcı dostu arayüzü Mission Planner'ın seçilme nedenleri arasındadır.



Şekil 23: Mission Planner /açılış ekranı görüntüsü



Şekil 24: Mission Planner/ harita üzeri uçuş planı



## Savaşan İHA Yarışması 2024

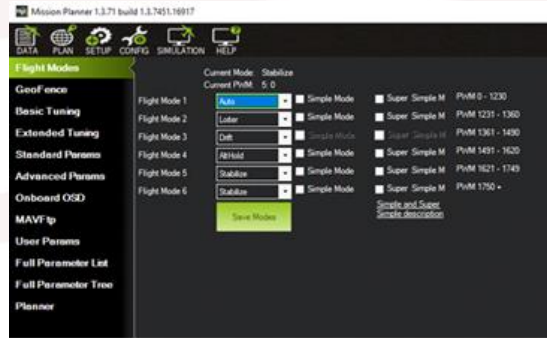
Mission Planner'ın açılış ekranı yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi görüntülenir. Sol tarafta, insansız hava aracının yüksekliği, yer sürati, irtifa, araç ile yer arasındaki açı ve yatay hızı görüntülenir. Sağ tarafta kalan harita ile İHA'nın konumu izlenmektedir. Ayrıca, bu alanda GPS izi, enlem, boylam, İHA'nın burun yönü ve yüksekliği de gözlemlenebilir.

Şekilde verilmiş olan ekranda, harita üzerinde uçuş planı belirlenmektedir. Haritaya tıklanarak, ara noktalar seçilir. Böylece İHA ilk seçilen noktadan son noktaya kadar uçuşunu gerçekleştirir. Alt işlem barında bu seçilen noktalara iniş, kalkış, alçalma veya yükselme gibi görevler atanabilir.



Şekil 25: Pusula Kurulum Ekranı

Kurulum ekranında, Ardupilot tabanlı kontrol kartıyla uyumlu olan araç tipine göre (dört rotorlu helikopter, helikopter, uçak) donanım yazılımı yüklenir. Ayrıca, bu ekran, uçuş kontrol cihazına bağlı ekipmanların (GPS, telemetri, alıcı, joystick) sorunsuz bir şekilde kullanılmasını sağlamak için kontrol sağlar. Araçların uçuş modu ve kalibrasyonları (ESC, pusula kalibrasyonu) kurulum ekranında ayarlanır.



Şekil 26: Konfigürasyon (uçuş modeli) Ekranı

Yapılandırma ekranı, Ardupilot parametrelerinin ayarlanması ve uçuş modlarının düzenlenmesi gibi ayarlamaları sağlamaktadır. Yuvarlanma, eğimlenme, yatay hareket ve gaz kolu hassasiyetleri buradan ayarlanır. [6]



Şekil 27: Mission Planner/ Simülasyon Ekranı



SITL (Software in the Loop) yeteneği sunan simülasyon ekranı, uygun bir araç seçildikten sonra, İHA'nın görevlerini atamaya olanak sağlamaktadır. Bu simülasyon, aracı riske atmadan farklı parametrelerle test etme imkanı sağlayarak fikir oluşmasını destekler. Ayrıca uzaktan kumanda bağlanarak da simülasyon gerçekleştirebilme olanağı sağlar.

## 7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU

### 7.1 Yapısal, Mekanik ve Elektronik Entegrasyon

Gövde olarak **X-UAV Talon** seçilmiştir. Gövde entegrasyonu Şeki 28'de görülmektedir. Birleştirme işlemlerinde, EPO işlemleri için strafor yapıştırıcısı olan **UHU POR**, ahşap parçalar için **hızlı yapıştırıcı** tercih edilmiştir. Gövde birleşim noktalarında sağlamlığın artırılması ve kuyruk ve kanat üzerinde mukavemetin artırılması için **Tesa 4688** bez bant gövde üzerine uygulanmıştır. Tesa 4688 bant, **polietilen** kaplama yüzeye sahip olması, yüksek ısı dayanımı, yapışma özelliğinin güçlü olması, yüzey maskeleme ve su geçirmezlik özelliklerine sahip olduğu için tercih edilmiştir



Şekil 28: Hava aracı entegrasyon aşamaları

Tekerlek mekanizması entegre edildikten sonra gövde parçalarının birleşme yerlerine UHU POR uygulanıp birbirine doğru bastırılarak yapıştırılmıştır. Gövdenin birleştirilmesinin ardından gövdeye **kâğıt bant** yapıştırılarak yüzeylerin birbirine daha iyi tutunması amaçlanmıştır. Tüm bu işlemlerin ardından gövde kurumaya bırakılmıştır.



Şekil 29: Tekerlek mekanizması entegrasyonu

Bütün parçalar kuruduktan sonra gövde, kanatlar ve kuyruk birleştirilmiştir. Kanatlar gövdeye **spar** görevi gören karbon borular aracılığıyla entegre edilmiştir ve **alyan** anahtar kullanılarak gövdeye takılıp sökülebilmektedir. Bu sayede gövde risksiz ve kolay taşınabilir hale gelmektedir. Daha güvenli iniş, kalkış ve hava aracının sağlamlığı için özel imalat **iniş takımı** eklenmiştir.

Hava aracının motoru arkada tasarlandığından, **SunnySky x2820 V3 860KV**, modelin kuyruğuna yerleştirilecektir. Motor, **12\*6,5 inç** pervane ile entegre çalışacaktır. **ESC**, Sigorta ve motorun ortasına, motor ve Sigorta ile bağlantılı olarak konumlandırılmıştır. Ayrıca, motora giden akımı kontrol edeceği için motorun hemen önünde olması uygun görülmektedir. **Pixhawk güç modülü**, uçuş kontrol bilgisayarı ve ESC arasında köprü görevi görmektedir. İhtiyaç duyulan akımı dağıtmaktadır. İtke sistemi entegrasyonu Şekil 30 'da mevcuttur.



Şekil 30: İtke Sistemi Entegrasyonu

Akım doğrudan bataryadan ESC'ye geçecektir. Sağlanan akışın güvenli olduğundan emin olmak için akımın ESC'ye gitmeden önce sigortadan geçmesi gerekmektedir. Sigortadan güç dağıtım panolarına akım geçeceği için devrenin kolay kurulması ve tehlike durumunda hızlı müdahaleyi sağlar. Tüm bu nedenlerden dolayı, **sigorta**, ESC ve güç dağıtım panolarının ortasına yerleştirilecektir. Bataryadan gelen akım, sigortadan geçerek sistem içine aktarılacaktır. Bu nedenle, güç dağıtım panolarının sigortalara ve voltaj dağıtan diğer parçalara yakınlığı, kabloların bağlanmasında kolaylık sağlayacaktır. Bu yüzden, **MATEK MINI PDB/BEC 5V&12V**, gövdenin arkasında sigortaya yakın bir konuma yerleştirilmiştir. Güç sisteminin entegrasyonu Şekil 31'de mevcuttur.



Şekil 31: Güç Sistemi Entegrasyonu



Şekil 32: servo motorların entegrasyonu

Hava aracının orta noktasına **Pixhawk Cube Orange** konumlandırılacak, çünkü sistem içindeki aviyonik ekipmanlarla birçok bağlantı içeriyor. Pixhawk Cube Orange'ın konumuyla kabloların bağlantı aşamasının kolaylaşacağı düşünülüyor. **RFD900x LR** Radyo Telemetri ve **X8R** Kumanda Alıcısı, Pixhawk Cube Orange'a bağlanacağından, bunlar Pixhawk'un hemen arkasında yan yana konumlandırılacaktır. Kanat ve kuyrukta servo motorların entegrasyonu Şekil 32'de gösterilmiştir.

## 8. TEST VE SİMÜLASYON

### 8.1 Alt Sistem Testleri

#### 8.1.1 İtke Testi

Optimum itki-ağırlık oranı hava aracının güvenli uçuşu için önemli bir parametredir. Bu nedenle seçilen motor olan SunnySky x2820 V3 860KV modelinin eCalc üzerinde simülasyonu yapılmıştır. Gerçekleştirilen itki testi ve eCalc'tan elde edilen veriler karşılaştırılmış ve paralel sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan testler sonucunda motorun maksimum 42,6A akıma ve 14,71V gerilime ulaştığı gözlemlenmiştir. İtke-ağırlık oranı 0,79g olarak hesaplanmıştır. Elde edilen veriler ESC için sorun teşkil etmediği gibi verimlilik açısından da istenen kriterleri karşılamaktadır. Test görüntüsü Şekil 33'te mevcuttur.



Şekil 33: İTKİ testi Görüntüleri



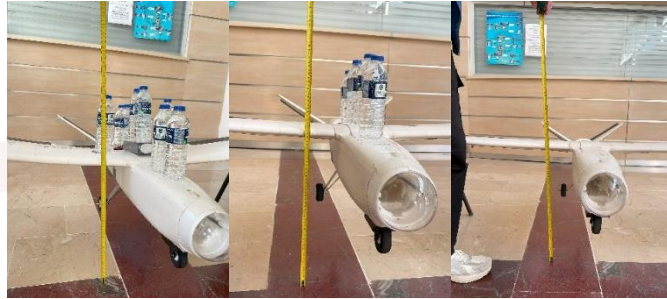
Şekil 34: Pervane Denge Testi

### 8.1.2 Pervane Denge Testi

Uçuş sırasında pervanelerden motora zarar gelmesini önlemek ve titreşimleri engellemek amacıyla denge testi yapılmıştır. Test görüntüsü Şekil 34'te mevcuttur.

### 8.1.3 Kanat Yüklenme Testi

Test 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen adımlar Şekil 35'te mevcuttur. Başlangıç aşamasında kanat üzerinde bulunan referans noktasının yere göre yüksekliği **48 cm** olarak ölçülmüştür. İkinci aşamada, gövde üzerine 2 kg (yaklaşık 1G) yük bindirilmiş ve referans noktasının yere göre yüksekliğinin **46 cm** olduğu gözlemlenmiştir. Son aşamada ise gövde üzerine 5 kg (yaklaşık 2.5 G) yük bindirilmiş ve referans noktasının yere göre yüksekliğinin **44 cm** olarak ölçülmüştür.



Şekil 35: Kanat Yüklenme Testi

## 8.2 Uçuş Kontrol Listesi ve Uçuş Listesi

Tablo 13: Mekanik, aviyonik, itki, haberleşme ve yapay zekâ uçuş kontrol listesi

FLIGHT CHECKLIST	EVET	HAYIR
<b>Mekanik Kontroller</b>		
Kanat ve kuyruk gövdeye düzgün bir şekilde entegre edilmiş mi?		
Gövde dışına konumlandırılmış servo motor, pitot tüpü, Gps gibi sistemler gövdeye güvenli bir şekilde monte edilmiş mi?		
İniş takımları kontrol edildi mi?		
Uçağın koruyucu kapağı gövdeye sabitlenmiş mi?		
<b>Aviyonik Kontroller</b>		
Kablolar doğru pinlere bağlanmış mı?		
Raspberry Pi ve Pixhawk The Orange Cube doğru bağlanmış mı?		
Sigorta devreye bağlanmış mı?		



## Savaşan İHA Yarışması 2024

Batarya bağlantısı doğru mu?			
Wi-Fi modülünden, telemetriden ve kumanda alıcısından sinyal alınıyor mu?			
Bataryanın uçuş için yeterli şarjı var mı?			
<b>İtki Kontrolleri</b>			
Motor bağlantısı doğru yapılmış mı?			
Pervaneler motora bağlanmış mı?			
Pervaneler sağlam mı?			
ESC motora doğru şekilde bağlanmış mı?			
<b>Haberleşme Testleri Kontrolü</b>			
İHA ve YKİ arasında telemetri veri testi			
İHA ve YKİ arasında kilitleme bilgisi iletim testi			
İHA ve YKİ arasında QR bilgi iletim testi			
Karakontrol İstasyonu'ndan UAV'a komut iletim testi			
	<b>Pilot</b>	<b>Kontrolcü</b>	<b>Onaylayıcı</b>
UAV uçuşa uygun mu?			

### 8.3 Görev Testleri

#### 8.3.1 Hedef Tespiti Testi

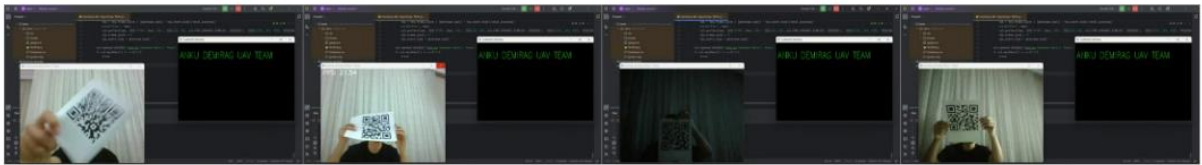
Data augmentation uygulanmış olan 17.000 İHA görüntüsü, hiperparametreleri veri setine göre optimize edilmiş YOLOv8 algoritmasında eğitilmiştir. Sonrasında roboflowdan [7] alınmış olan başka bir İHA veri seti ile test edilmiştir. Test sonuçları görseldeki gibidir.



Şekil 36: YOLOv8 test sonuçları

#### 8.3.2 QR Kod Okuma Algoritması Testi

Kamikaze görevinin gereklilikleri sonucu geliştirilmiş olan QR kod okuma algoritması çıktı alınan bir QR kod ile denenmiştir. Test esnasında çeşitli açı ve gürültülere rağmen algoritmanın başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Test görüntüleri Şekil 37'de mevcuttur.








Şekil 37: QR kod denemesi

## 9. GÜVENLİK

Hava aracına yönelik yarışma kurallarında belirtilen güvenlik gerekliliklerine uygun olarak güvenlik önlemleri uygulanmıştır. Tablo 14 ile gösterildiği gibi entegrasyon aşamasından uçuşun sona ermesine kadar ek önlemler planlanmıştır.



Tablo 14: Güvenlik Önlemleri

Potansiyel Riskler	Potansiyel Risklere Karşı Alınan Güvenlik Önlemleri	
Üretimden uçuşun sonuna kadar herhangi bir ekip üyesinin yaralanması	Her aşamada ilk yardım çantasının bulunmasını sağlamak ve içeriğinin eksiksiz olduğunu doğrulamak	
Herhangi bir nedenle yangın çıkması.	Elektronik bileşenlerle çalışırken yangın söndürücü bulundurmak	
Pervane nedeniyle hasar meydana gelebilir.	Pervane yalnızca uçuşlardan önce uçağa monte edilecektir. Ayrıca sürtünme etkisini en aza indirecek şekilde APC pervane tipi seçilmiştir.	
Li-Po pilden kaynaklanan hasarlar meydana gelebilir.	LiPo pilin yarışma gününe kadar güneş ışığına maruz kalmayan bir yerde güvenli bir şekilde saklanması ve pil şarjı sırasında akım değerinin dikkatli bir şekilde takip edilmesi.	
Uçağın civata-somun bağlantılarında meydana gelen sorunlar	Civata-somun bağlantılarının uçuş öncesi muayenesi ve "vida sabitleyici" kullanılarak titreşimlerden kaynaklanan gevşemelerin önlenmesi.	
Elektronik bileşenlerin yanması	Her bileşenin akım ve gerilim değerlerini iyice araştırarak devreyi doğru bir şekilde kurmak.	
Motorun hasar görmesi veya yanması.	Motoru ESC'ye doğru şekilde bağlayarak olası risklerin önlenmesi.	
Elektrik kaynaklarıyla ilişkili riskler.	Elektriksel risklerin önlenmesi, herhangi bir tehlike durumunda akımın kolayca kesilmesini sağlamak amacıyla hava aracına dışarıdan kolayca erişilebilen, hızlı açılıp kapanabilen bir devre kesicinin takılması.	
ESC'nin neden olduğu yanma veya patlama riskleri.	Uçuş sırasında uçağın motoru farklı akım değerlerinde akım çekerek ESC'nin ısınmasına veya potansiyel olarak patlamasına neden olur. Bu nedenle motorun maksimum akım değerinden yaklaşık %85 daha fazla akım aktarabilecek bir ESC seçilmesi tavsiye edilir.	

## 10. REFERANSLAR

[1] Varadarajan, V., Garg, D., & Kotecha, K. (2021). An efficient deep convolutional neural network approach for object detection and recognition using a multi-scale anchor box in real-time. *Future Internet*, 13(12), 307.

[2] Diwan, T., Anirudh, G., & Tembhurne, J. V. (2023). Object detection using YOLO: Challenges, architectural successors, datasets and applications. *multimedia Tools and Applications*, 82(6), 9243-9275.

[3] Redmon J, Divvala S, Girshick R, Farhadi A (2016) You only look once: unified, real-time object detection. In proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp 779-788.

[4] . Zhang, G., Yin, J., Deng, P., Sun, Y., Zhou, L., & Zhang, K. (2022). Achieving adaptive visual multi-object tracking with unscented Kalman filter. *Sensors*, 22(23), 9106.

[5] Pereira, R., Carvalho, G., Garrote, L., & Nunes, U. J. (2022). Sort and deep-SORT based multi-object tracking for mobile robotics: Evaluation with new data association metrics. *Applied Sciences*, 12(3), 1319.

[6] Mission Planner'in Arayüzü Tanıtımı, Erişim: 2024, [www://avdesodrone.com/mission-plannerin-arayuzu-tanitimi/](http://avdesodrone.com/mission-plannerin-arayuzu-tanitimi/)

[7] uav Computer Vision Project, Erişim: 2024, [www.universe.roboflow.com/isaretdili/uav-3ukex](http://www.universe.roboflow.com/isaretdili/uav-3ukex)