

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

TAKIM ADI: Anatolia Aero Design

YAZARLAR: Mustafa Azer, Âdem Doğukan Çiçek, Kutay Kara



İÇİNDEKİLER

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ.....	3
1.1. Sistem Tanımı	3
1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri	4
2. ORGANİZASYON ÖZETİ	4
2.1. Takım Organizasyonu	5
2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe	6
3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ.....	9
3.1. Nihai Sistem Mimarisi	9
3.2. Alt Sistemler Özeti.....	11
3.3. Hava Aracı Performans Özeti	12
3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı	13
3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı.....	14
4. OTONOM GÖREVLER.....	16
4.1. Otonom Kilitlenme	16
4.2. Kamikaze Görevi	20
5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME	21
6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI	22
7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU	24
7.1. Yapısal Entegrasyon	24
7.2. Mekanik Entegrasyon	25
7.3. Elektronik Entegrasyon.....	26
8. TEST VE SİMÜLASYON	27
8.1. Alt Sistem Testleri	27
8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi	30
9. GÜVENLİK.....	32
10. REFERANSLAR	32

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ

1.1. Sistem Tanımı

Ekibimiz Teknofest Savaşan İHA 2022 yarışmasına “Gölge” insansız hava aracı ile katılmayı planlamaktadır. Gölge, geçtiğimiz yıl yapılan Savaşan İHA 2021 yarışmasında ve sonrasında yapılan akrobasi gösterisinde kendini kanıtlamış bir uçaktır. Gölge İHS, sistem mühendisliği yaklaşımı kullanılarak geliştirilmiştir [1]. Gölge, yarışmada İHA’lar arasında bir tespit ve takip rekabeti amaçlandığı için uygun bir isim olarak düşünülmüştür. Gölge İHS, bir insansız hava aracı platformu ve yer istasyonu alt sistemlerinden oluşmaktadır. İnsansız hava aracı platformu içerisinde; uçuş, görev, itki alt-sistemleri ve özgün olarak tasarlanmış kanat, gövde, kuyruk, iniş takımı gibi temel komponentler ve kontrol yüzeyleri bulunmaktadır. Yer istasyonunda ise İHA platformunun uçuşunun ve görevinin gerçekleştirilmesi ve İHA üzerindeki sensörlerin uçuş sırasında verilerinin gözlemlenebilmesi amacıyla kullanılan arayüzler bulunmaktadır.

Gölge insansız hava aracı sisteminin görevi; tek kanatlı itici konfigürasyona sahip, manevra kabiliyeti yüksek, görüntü işleme metotlarıyla tespiti güçleştirilmiş, özgün tasarım bir sabit kanatlı İHA platformu üzerine yerleştirilmiş kamera kullanılarak küresel konumlama sistemi üzerinde koordinatları önceden bilinen insansız hava araçlarının takibini, tespitini ve kilitleme işlemini başarıyla gerçekleştirmektir.

1.1.1 İtki Sistemi

İtki sistemi motor, batarya, elektronik hız kontrol devresi (ESC) ve pervaneden oluşmaktadır. Bu sistemde kullanılacak olan parçaların seçiminde hafiflik, yüksek itiş gücü ve yüksek performans kriterleri, düşük enerji tüketimi ve aynı zamanda tasarım ile uyum dikkate alınmıştır. İtki sisteminin görevi hava aracının yatayda hareket edebilmesi için itki sağlamaktır.

1.1.2 Otopilot Sistemi

Otopilot sistemi uçuş kontrol kartı, alıcı, kumanda, GPS modülü ve telemetri modülünden oluşmaktadır. Otopilot sistemi hava aracının otonom uçuşunun kontrolünden sorumludur. Yer istasyonu aracılığıyla kontrol edilir. Bileşenlerinin seçiminde doğruluk ve hafiflik göz önüne alınmıştır.

1.1.3 Görev Sistemi

Görev sistemi görev bilgisayarı, kamera ve video aktarım sisteminden oluşmaktadır. Sistemin görevi görev uçuşu esnasında istenilen görevi yerine getirebilmek için kamera görüntülerini işleme, hava aracına komut verme ve yer istasyonuna veri göndermektir. Bileşenlerin seçiminde hafiflik, hacim ve işlem gücü göz önüne alınmıştır.

1.1.4 Hava Aracı Sistemi

Hava aracı sistemi gövde, kanat, kuyruk, kontrol yüzeyleri ve servomotorlardan oluşmaktadır. Sistemin görevleri sırasıyla itki, otopilot ve görev sistemlerini barındırmak, taşıma kuvveti üretmek, momentlerin dengelenmesini sağlamak ve hava aracını kontrol etmektir. Kanat ve kuyruk EPS köpükten, kontrol yüzeyleri balsadan, gövde ise cam elyaftan elle yatırma ile ekibimiz tarafından üretilmiştir. Böylece rijit ve hafif bir sistem elde edilmiştir.

1.1.5 Yer İstasyonu Sistemi

Yer istasyonu sisteminin görevi otopilot ve görev sistemleri ile haberleşmek, gerekli durumlarda müdahalelerde bulunmayı sağlamaktır. Sistem telemetri modülü, bilgisayar ve video alıcısından oluşmaktadır. Sistem aynı zamanda yarışma sunucuları ile haberleşecektir.

1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri

Gölge İHS performans özellikleri Tablo 1.1’de sunulmuştur. Tabloda İHA platformunun teknik özelliklerine, faydalı yükün teknik özelliklerine ve yer istasyonunun teknik özelliklerine değinilmiştir.

Tablo 1.1 Gölge İHS Performans Özellikleri

Gölge İHS Performans Özellikleri			
İnsansız Hava Aracı Platformu		Faydalı Yük	
Kalkış Ağırlığı:	4,3 kg	Markası:	Raspberry Pi HQ Cam
Stall Hızı:	10 m/s	Çözünürlük:	1920x1080
Seyir Hızı:	15 m/s	Kare Sayısı:	30 FPS
Maksimum Hız:	25 m/s	Piksel:	12.3 MP
Tırmanma Oranı (ROC):	4 m/s	Yer İstasyonu	
Kanat Açıklığı:	2 m	Markası:	Özel
Havada Kalma Süresi:	30 dk	İşlemci Kapasitesi:	1.5 GHz
Otonomi Seviyesi:	4 [2]	Protokol:	MavProxy

2. ORGANİZASYON ÖZETİ

Anatolia Aero Design insansız hava aracı tasarım ve üretim proje ekibi 2011 yılında Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ tarafından Anadolu Üniversitesi bünyesinde kurulmuş, günümüzde ise Eskişehir Teknik Üniversitesi bünyesinde, Öğr. Gör. Emre ÖZBEK’in akademik danışmanlığında Teknofest Savaşan İHA yarışma hazırlıklarını sürdürmektedir. Anatolia Aero Design ekibi, bünyesinde bulundurduğu hem yüksek lisans hem de doktora öğrencilerinin donanımları sayesinde sadece yarışma odaklı bir ekip olmaktan çıkmış, eş zamanlı birden çok proje yürüten bir ekip haline gelmiştir.

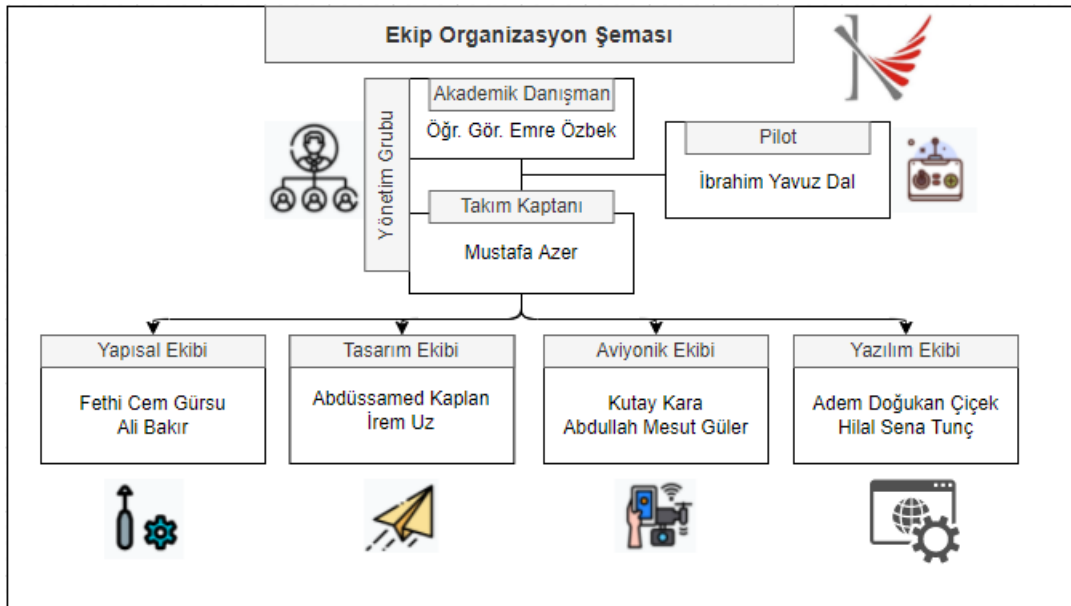
Ekip havacılık alanında çalışmaktadır ve havacılık alanının çoklu disiplinlerin bir araya gelerek sorunsuz çalışması gereken bir sisteme ihtiyaç duymasından ötürü gerek farklı üniversite öğrencilerinden gerek farklı bakış açısı yaratabilecek çeşitli bölümlerde öğrenim gören lisans, yüksek lisans ve doktora öğrencilerinden oluşmaktadır.

2.1. Takım Organizasyonu

Anatolia Aero Design ekibi toplam 34 öğrenciden oluşmaktadır. Yönetim ekibi üyelerden maksimum verimi almak amacıyla her yılın başında yıllık plan oluşturmayı amaçlayan bir toplantı sonucu elindeki projeleri ve yarışma hedeflerini belirledikten sonra ilgili takım üyelerini onlardan gelen geri dönüşlere dayanarak projelere ve yarışmalara dağıtmaktadır. Bu dağıtım sonucu erkenden görevleri belirlenen takım üyeleri çalışmalarına yılın ilk aylarından başlama fırsatı bulmaktadır.

Yapılan dağıtım sonucu Savaşan İHA yarışma ekibi belirlenmiş ve ekip çalışmalarına 2022 yılının mart ayında başlamıştır. Başlangıçta çizilen zaman akış çizelgesine uygun olarak çalışmayı planlayan ekip üyeleri, kendi içerisinde görev dağılımını yapmış ve alt birimlere ayrılmıştır. Her alt birime atanmış olan birim kaptanları, kendi ekibindeki adam saat, iş ve malzeme akışından sorumludur. Bu sayede ekip üyeleri yaptıkları işleri temelden öğrenmekte ve kaynak yönetimi konusunda tecrübe sahibi olmakta, aynı zamanda alt ekiplerin de yönetimini sağlamaktadır. Ekip aynı zamanda üniversite öğrencilerinden oluşan bir ekip olmanın bilincinde olup gelecek nesillere bilginin ve tecrübenin aktarılabilmesi amacıyla çalışmalarını ve sonuçlarını kayıt altına almaktadır.

Ekip Savaşan İHA yarışması kapsamında yapısal, tasarım, aviyonik ve yazılım olmak üzere dört birime ayrılmıştır. Organizasyon şeması Şekil 2.1’de sunulmuştur. Ekip içerisinde ayrılan birimlere ait görev bilgileri ise Tablo 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Takım Organizasyon Şeması

Ekip içerisinde bulunan birimlerin görevleri ve ekip kaptanları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 Takım İçi Birimler ve Görevleri

Birimler	Görevler
Yapısal Ekibi	Savaşan İHA takımında yapısal ekibinin kaptanı olarak Eskişehir Teknik Üniversitesi Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü 3. Sınıf öğrencisi Ali Bakır görev almaktadır. Yapısal ekibi hava aracına ait sanal çizimlerin gerçek ortama geçirilmesinde görevlidir. Bu ekip üyeleri çeşitli kompozit ve montaj üretim/tamirat tekniklerine hâkim olup, aynı zamanda sanal ortamda yapılan akış analizlerinin fiziksel ortama doğru şekilde geçebilmesi için hassas çalışmak ile yükümlüdürler.
Tasarım Ekibi	Savaşan İHA tasarım ekibinin kaptanlığını Eskişehir Teknik Üniversitesi Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü 3. sınıf öğrencisi Abdüssamed Kaplan yürütmektedir. Tasarım ekibinin görevleri arasında hava aracının yüzey ve komponent tasarımını yapmak yer almaktadır. Tasarım ekibi hava aracının çizimlerini yaparken aerodinamik kaygıları göz önünde bulundurmaktadır. Ayrıca tasarlanacak hava aracının elde bulunan teçhizatlarla üretilebilir olduğundan da emin olunmalıdır.
Aviyonik Ekibi	Eskişehir Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği 3. sınıf öğrencisi olan Kutay Kara, Savaşan İHA aviyonik ekibinin liderliğini yapmaktadır. Aviyonik ekibi hava aracında kullanılacak olan motor-esc konfigürasyonunu yapmanın haricinde kullanılacak olan diğer elektronik komponentlerin seçilmesi ve İHA'ya güvenli şekilde yerleştirilmesinden sorumludur. Bunlara istinaden haberleşme ve veri iletimi de aviyonik ekibinin kontrolündedir. Ayrıca aviyonik ekip üyeleri otonom kalkış, iniş ve uçuş konusunda da bilgili ve tecrübelidirler.
Yazılım Ekibi	Savaşan İHA yazılım ekibinin kaptanlığını Âdem Doğukan Çiçek yapmaktadır. Kendisi Eskişehir Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği 2. sınıf öğrencisidir. Yazılım ekibi yarışma çerçevesinde yapay zekâ ve otonom olarak ikiye ayrılmaktadır. Yapay zekâ ekibi hava aracının elde ettiği görüntüleri işleyerek anlamlandırmakta yükümlüdür. Otonom ekibi ise rakip hava araçlarının takibi, çarpışmadan kaçınma ve kilitlenmeden kaçınma algoritmaları ile ilgilenmekle görevlidir.

2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe

Ekibimiz Savaşan İHA yarışması hazırlık sürecinin en az yarışma süreci kadar önemli olduğu görüşündedir. Sürecin doğru yönetimi, adam saat ayarlamasının doğru şekilde yapılması ve test uçuşlarının doğru şekilde yapılması yarışma öncesi süreçte en çok dikkat edilmesi gereken kısımları oluşturmaktadır. Bu düşüncelere istinaden ekip, sürecin en iyi yönetiminin sistem

mühendisliği yaklaşımları ile olacağına karar vermiş ve çalışmalara bu yöntemlerle [1] başlamıştır.

2.2.1 Zaman Akış Çizelgesi

Zaman akış çizelgesi bir projenin yönetiminin takibi için ciddi öneme sahiptir. Oluşturulan zaman akış çizelgesi üzerinden yönetim ekibi işlerin gidişatını takip eder ve herhangi bir gecikme söz konusu olursa buna müdahale eder. Ekibimiz bu yaklaşımlar kapsamında Tablo 2.2’de sunulan Zaman Akış Çizelgesi’ni oluşturmuş ve süreci bu planlara göre yönetmekte karar kılmıştır.

Tablo 2.2 Zaman Akış Çizelgesi

İş Paketleri			Aylar						
NO	İP Adı	Açıklaması	2	3	4	5	6	7	8
1	Yarışma Kurallarının Değerlendirilmesi	Yarışma kurallarında yer alan sınırlamalar, görevler ve koşullar ekip üyeleri tarafından değerlendirilecektir.							
2	İHA Platformunun Geliştirilmesi	Yarışma kuralları ve görevler değerlendirilerek ekip üyeleri tarafından İHA platformu 2021 yılına göre eksikler doğrultusunda geliştirilecektir.							
1. Evre: Ön Tasarım Raporunun Hazırlanması			14 Mart 2022						
3	Satın Alma ve Prototip Üretimi	Gerekli elektronik komponentler ve yapısal sarf malzemelerin alımı gerçekleştirilecek, geliştirilmiş prototip üretimi süreci ve uçuş testleri başlayacaktır.							
4	Geliştirilen Platformun Testlerinin Gerçekleştirilmesi	Geliştirilen platform satın alınan malzemeler ile üretilecek ve testler sonuca varılacak. Testler doğrultusunda kritik tasarım raporu yazılacak.							
2. Evre: Kritik Tasarım Raporunun Hazırlanması			1 Haziran 2022						
5	Tekrarlı Uçuş Testleri ve İterasyonlar	Tekrarlı ve planlı uçuş testlerinde görevler icra edilerek en iyi görev puanlarına ulaşılacak şekilde yarışma stratejisi oluşturulacak.							
6	Yarışma Uçağının İmal Edilmesi ve Hazırlık	Nihahi tasarımına ulaşan İHA'nın imal edilmesi, görev uçuşlarının yapılması, yarışmaya katılım amacıyla yedek parça imalatı ve hazırlık süreçleri gerçekleştirilecektir.							
3. Evre: Yarışma			15-21 Ağustos 2022						

Ekibimiz şubat ayında çizilen zaman akış çizelgesine uygun olarak ilerlemektedir. Plana uygun ilerlenmesinde yönetim ekibinin yarışma ve proje yönetim tecrübesinin payı büyüktür. Bu zamana kadar geçen süre içerisinde kayda değer bir gecikme ya da iş paketinin planlanandan erken bitmesi durumu ile karşılaşılmamıştır.

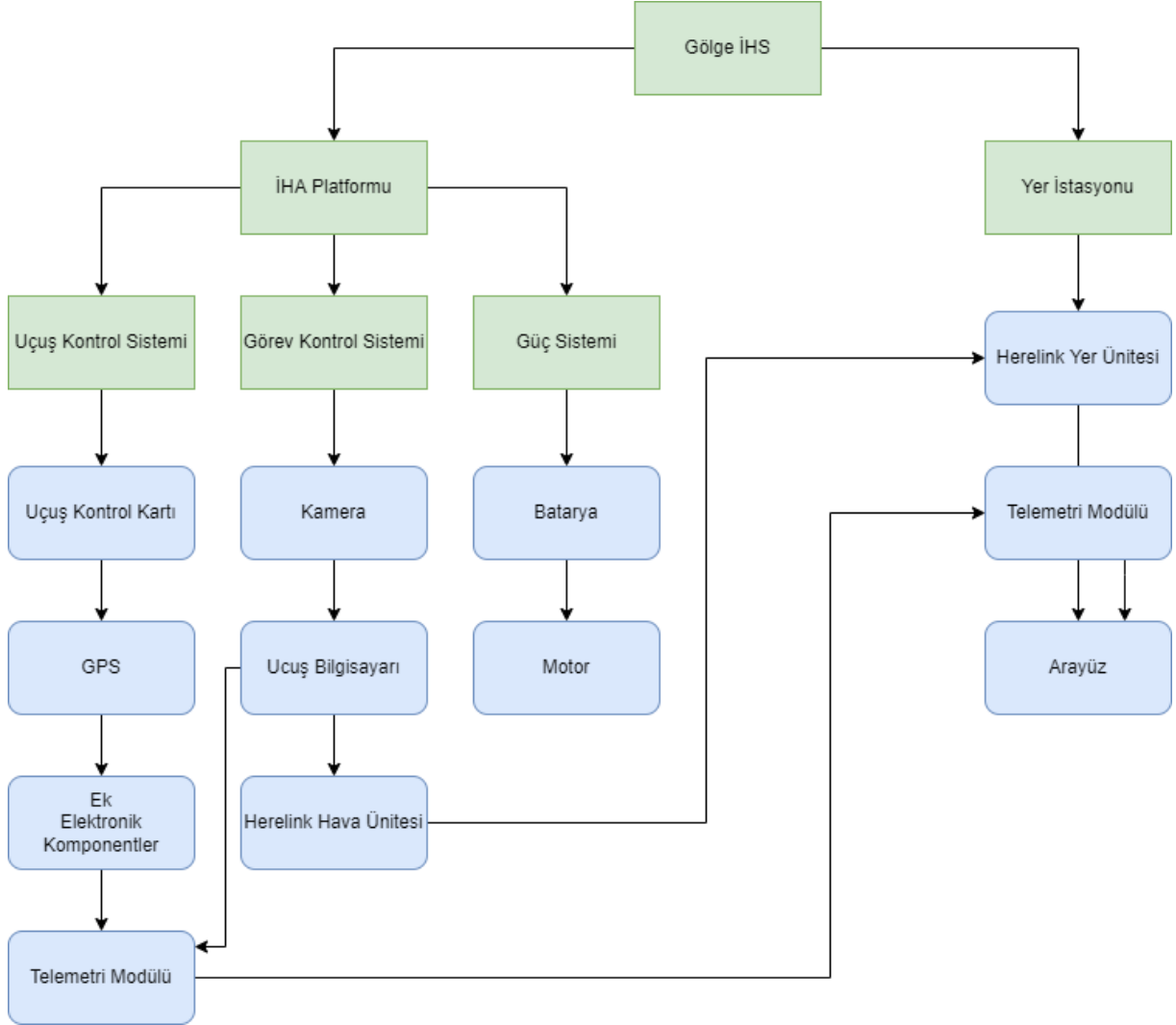
Tablo 2.3 Proje Bütçe Tablosu

Ürün	Fiyat (TL)
Fırçasız Elektrik Motoru	1.200
Karbon Pervane	250
40 Amperlik ESC	550
Pixhawk Uçuş Kartı	4.000
Telemetri Modülü	5.000
6S1P 5750 mAh Li-Po Batarya (2 adet)	10.800
GPS Modülü	1.350
14 Kanallı Alıcı	1.750
Güç Modülü	150
Pitot Tüpü	900
Kompozit İmalat Sarf Malzemeleri	1.700
Karbon Boru	550
Servo Motor (8 adet)	2.000
PLA Filament	200
Raspberry Pi HQ Cam	3.000
Nvidia Jetson Xavier NX	15.000
Hex Herelink HD Video Aktarım Sistemi	16.000
Toplam:	63.400

Tablo 2.3’te proje bütçe tablosu yer almaktadır. Ekibimizin mart ayında oluşturduğu tahmini proje bütçesi ve güncellenmiş proje bütçesi karşılaştırıldığında arada 26.300 TL tutarında fark bulunmaktadır. Bu farkı veri iletiminde kullanılacak olan telemetri modülü, görüntü alma işlemi sırasında kullanılacak olan kamera ve oluşan görüntüyü hava aracından yere dijital olarak aktarırken kullanılacak olan video vericisi oluşturmaktadır. Yapılan araştırmalar sonrasında Savaşan İHA yarışmasında derece elde etmek ve para ödülünü alabilmek için mart ayında oluşturulan ürün listesinin yetersiz olduğuna karar verilmiştir. Verilen karar sonrası ürün listesinin bir kısmı kabiliyetleri daha fazla olan ürünler ile güncellenmiş ve dolayısıyla proje bütçe fiyatı döviz kurunun da değişimiyle birlikte ciddi miktarda değişmiştir. Değişen miktarı kompanse edebilmek amacıyla ekibimizin sponsorluk birimi ekstra çalışmalar yürütmüş ve ihtiyacımız olan ürün desteğinin bir miktarını ekibimize sağlamıştır.

3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ

3.1. Nihai Sistem Mimarisi



Şekil 3.1 Sistem Mimarisi

Şemadaki bileşenleri incelememiz gerekirse;

Motor: Üretilen İHS için gerekli olan itki kuvvetini üretir. Yarışma kuralları gereği sadece elektrikli motorlar kullanılabilir. Gölge için motor olarak T-Motor firmasına ait U5 KV 400 modeli kullanılmıştır. Minimum ağırlık, düşük akım değeri ile maksimum itki, motor seçimindeki en önemli kriterlerdir. Bu motor 156 gram ağırlığındadır ve tam güçte çektiği akım değeri 19.08 amperdir. Seçilen motor 3-8S Li-Po batarya ile çalışmaktadır. Maksimum güçte 15x7 APC pervane ile 2,1 kg itki sağlamaktadır.

ESC: ESC motorun hızını kontrol etmeye yarayan bileşendir. Motor içerisindeki üç ayrı bobin grubunu doğru zamanda aktive ederek motorun dönmesini sağlar. Gölge İHS’de T-Motor U5 motoruyla uyumlu olan T-Motor Air 40A modeli ESC kullanılması düşünülmektedir. Bu kararın alınmasında Air modelinin müdavimlerinden daha hafif olması ve motor ile uyumluluğu ön planda tutulmuştur.

GPS Modülü: İHS'nin bulunduğu konumu tayin etmek için kullanılır. Pixhawk konum, irtifa ve yer hızı bilgilerini GPS modülünden alır. Bu modül Pixhawk üzerindeki “GPS” girişine bağlanır. Çoğu GPS modülünde ek olarak bir pusula da bulunur. GPS modülünün seçiminde doğruluk oranı göz önünde bulundurulmuş ve en uygun GPS olarak “Here3 CAN GPS/GNSS” modeli kullanılmıştır. Here3 CAN GPS/GNSS'i diğer GPS modüllerinden farklı kılan, hata payının oldukça düşük olması ve kalibre edildiğinde santimetre seviyesinde ölçüm yapabilmesidir.

Telemetri Modülü: Otopilot kartının yer istasyonu ile haberleşmesini sağlayan telemetri seçilirken uçtan uca şifreleme özelliği, düşük güç tüketimi ve hafiflik dikkate alınmıştır. Gölge İHS'de telemetri modülü olarak RFDdesign marka “Rfd868x” kullanılmıştır. Bu modül 868 MHz frekansta çalışıp donanımsal hızlandırılmış şifreleme özelliğine sahiptir. Dış mekânda 40 km menzile sahip olup, veri aktarım hızı 500 kbps ile 4 kbps arası değişmektedir. Telemetri modülü yer istasyonu ile haberleşmede Mavlink protokolünü kullanmaktadır.

Alıcı ve Kumanda: Alıcı ve kumanda seçilirken sinyal gücünün kalitesi, gerekli olan kanal sayısının sağlanması, alıcının hafifliği gibi etmenler dikkate alınır. Bu etmenler göz önünde bulundurularak alıcı için Futaba marka R7114SB 2.4 GHz modeli kullanılmıştır. Alıcı 24.9 mm x 47.3 mm x 14.3 mm boyutlarında, 10.9 g ağırlığında olup istenen hafifliği sağlamaktadır. Kumanda olarak ise kullanım kolaylığı açısından Futaba markasının 14 kanallı T14SG modeli uygun görülmüştür.

Batarya: İHS üzerindeki tüm elektronik bileşenlere enerji sağlamak amacıyla kullanılır. Batarya seçiminde en önemli kriter bataryanın hafif olması ve kapasitesinin yüksek olmasıdır. 17-20 dakikalık uçuş süresi için ön raporda belirtilen bataryadan farklı olarak bataryanın yetersiz kalmaması için değişiklik yapılmış olup 2 adet 5750 mAh kapasiteli batarya seçilmiştir ve yapılan testler sonucunda en uygun bataryanın ağırlığı 740 g olan Full Power marka 6S Li-Po batarya olduğuna karar verilmiştir.

Uçuş Kontrol Kartı: Uçuş kontrol kartı sensörlerden ve yer istasyonundan aldığı bilgiler ile İHS'nin kontrol yüzeylerini ve motorunu kontrol ederek verilen görevleri yerine getirir. Gölge'de uçuş kontrol kartı olarak “Pixhawk” markasının Orange Cube model otopilot kartı kullanılmıştır. Pixhawk ARM Cortex M7 bir işlemciye ve ARM Cortex M3 fail-safe işlemcisine sahiptir.

Görev Bilgisayarı: Alınan görüntünün işlenip gerekli komutların verilmesi için kullanılır. Görev bilgisayarı seçiminde işlem gücü, boyut ve ağırlık göz önünde bulundurulmuştur. Bu kriterler doğrultusunda Nvidia markasının Jetson Xavier NX modelinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Kamera: Görüntü elde etmek için kullanılan kamera seçilirken en önemli kriterler; görüş açısı, ağırlık, çözünürlük ve diğer alt sistemler ile entegrasyonudur. Yardımcı bilgisayara ya da görüntü aktarım sistemine bağlantı düşünülerek CSI kamera kullanılması düşünülmüş ve Raspberry Pi HQ kamera uygun görülmüştür.

Görüntü Aktarım Kiti: Uçuş bilgisayarından gelen görüntü verisini yer istasyonuna aktarması amacıyla kullanılacaktır. Yarışma alanının büyüklüğü ve dijital görüntü aktarımının zorluğu

göz önüne alındığında Cube oto pilot için tasarlanmış Herelink görüntü ve telemetri aktarım sistemi kullanılmasına karar verilmiştir.

Ek Elektronik Ekipmanlar: Mesafe sensörü, buzzer ve switch gibi otopilot kartına yardımcı ekipmanları içerir. Bu ekipmanların markadan markaya değişen özellikleri bulunmadığından, marka model fark etmemektedir.

3.2. Alt Sistemler Özeti

Alt sistemlerin seçimi için; itki, otopilot ve görev alt sistemleri detaylı analizlerden geçirilerek, analiz sonuçlarına uygun olarak Gölge İHS'nin en iyi performansı vermesini sağlayacak seçimler yapılmıştır. Alt sistemler itki, otopilot ve görev alt sistemleri olarak üç başlık altında incelenmiştir.

3.2.1 İtki Alt Sistemi

İtki alt sistemi motor, batarya, elektronik hız kontrol devresi (ESC) ve pervaneden oluşmaktadır.

Alt sistemin komponentleri seçilirken hava aracının toplam ağırlığı ve tasarımı göz önüne alınmıştır. Birden fazla motor pervane kombinasyonu denenmiş ve sonuçlar bir tabloya yazılarak incelenmiştir (Tablo 3.1). Seçilen motor pervane kombinasyonu ile düşük akım ve yüksek itki gözlemlenmiştir.

Tablo 3.1: Motor Pervane Kombinasyonları Test Değerleri (Seçilen konfigürasyon vurgulanmıştır.)

Motor	Pervane	%100 Güçte itki (gram)	%100 Güçte Akım
OS-3805	12*8 Katlanır	1350	33
T-Motor U5	15*7 Plastik	2110	19
T-Motor MN3510	12*4,5 Plastik	920	16.6

3.2.2 Otopilot Alt Sistemi

Otopilot alt sisteminin ana bileşeni olan otopilot kartı için Pixhawk Orange Cube seçilmiştir. Bu seçim kullanım kolaylığı, parça uyumluluğu, boyut ve ağırlık gibi etmenler göz önüne alınarak yapılmıştır. Takımımız yıllardır yarışmalarda ve projelerde Pixhawk kullanmaktadır. Bu nedenle takım üyelerinin karta olan yatkınlığı da seçimi etkilemiştir.

Yarışmada telemetri verilerimizin farklı yarışmacıların telemetri verileri ile karışmasını engellemek için uçtan uca şifrelemeli ve yüksek menzilli bir telemetri modülü olan RFD868x seçilmiştir. Bu modül küçük ve hafif olduğundan dolayı hava araçlarında kullanıma uygundur.

Konum tespiti için GPS modülü gereklidir. GPS modülü seçiminde hassasiyet en ön planda tutulmuştur. İki farklı GPS modülü incelenmiştir. Bunlardan ilki UBlox NEO-6M, diğeri ise Here3 CAN GPS'dir. Yapılan araştırmalar sonucu RTK GPS modülünün NEO-6M'e göre daha ağır ve büyük olmasına rağmen çok daha hassas olduğu için yarışmada fayda sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Alıcı ve kumanda seçiminde ise özellikle kanal sayısı ve menzil göz önüne alınmıştır. Farklı markaların kumandaları ve alıcıları incelenmiş ve Futaba marka kumanda ve alıcıda karar

kılınmıştır. Seçilen kumanda ve alıcı çifti 14 kanalı desteklemektedir. Alıcının küçük boyutları ve hafifliği hava araçları için uygundur.

3.2.3 Görev Alt Sistemi

Uçuş bilgisayarı temel olarak yarışma süresince anlık görüntü işlemek için kullanılacaktır. Piyasa araştırması sonucunda bu görevi başarılı bir şekilde gerçekleştirmek için Nvidia Jetson ürünlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu kararın alınmasında yazılım desteği ve performans ön planda olmuştur. Ürün seçiminde ise Jetson Xavier NX ve Jetson Xavier AGX düşünülmüştür. Ağırlık ve gerekli performans karşılaştırılıp iki cihazında performansı kullanılacak olan algoritmaya yeterli gelmiş ve ağırlık farkının önemi düşünülerek Jetson Xavier NX kullanılmasına karar verilmiştir.

Kamera seçimi sırasında çözünürlük, görüş açısı ve CSI çıkış ön planda tutulmuştur. Bu kriterleri sağlayan Raspberry Pi HQ ile 16 mm telefoto lens kullanılmasına karar verilmiştir.

Görüntü aktarımı için noktadan noktaya Wi-Fi sistemi planlanmaktaydı lakin noktadan noktaya Wi-Fi çözümü hareketli bir cisim için yeterli verimliliği sağlayamayacağı düşünülmüştür. Wi-Fi seçeneğini elediğimizde dijital ya da analog görüntü aktarma sistemleri arasında seçim yapmamız gerekiyordu. Kamera kalitesi ve video yayını düşünüldüğünde dijital video aktarım sistemleri daha uygun bulunmuştur. Piyasada fiyat ve yarışma alanı içerisinde kullanılabilirlik düşünüldüğünde Herelink 2.4 Ghz görüntü ve telemetri aktarım sisteminin kullanılmasına karar verildi.

3.3. Hava Aracı Performans Özeti

Tablo 3.2: Teorik Performans Hesapları

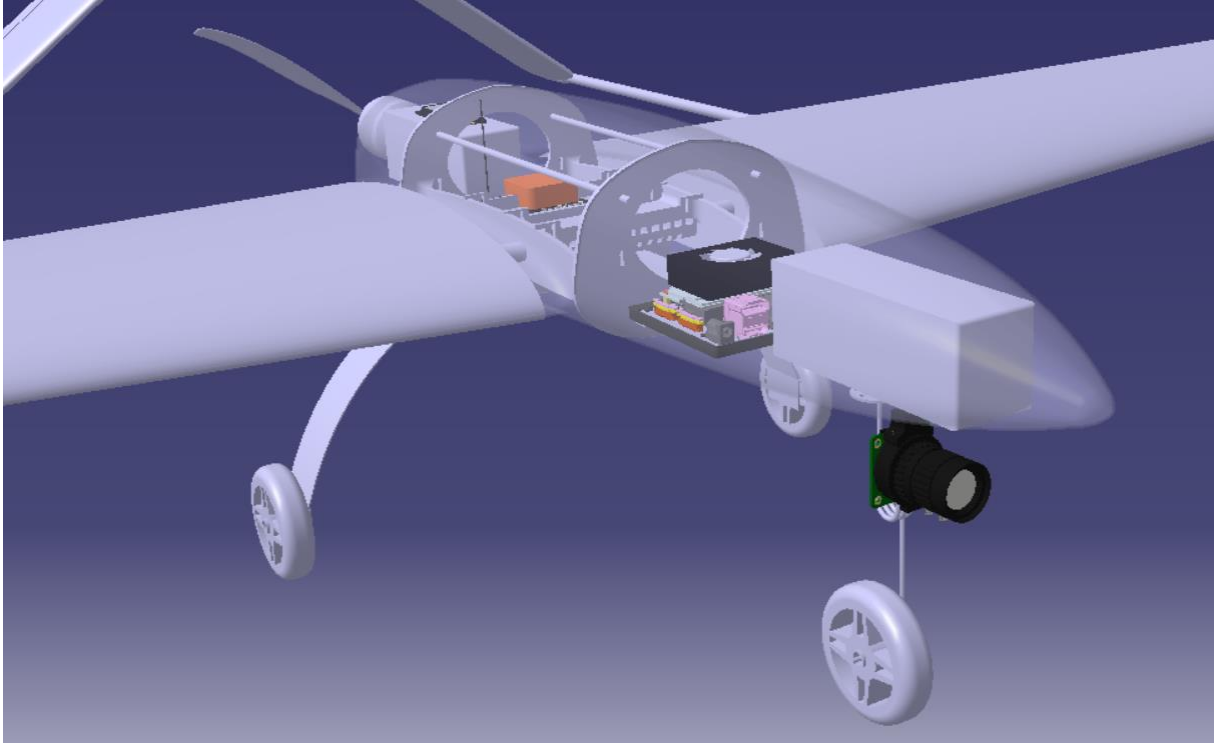
	Çekilen Akım (Amper)	Süre (Dakika)	Gereken Kapasite (mAh)
Kalkış (%100 Gaz)	19,8	1	318
Seyir (%60 Gaz)	7	15	1750
İniş (%75 Gaz)	11	1	184
Otopilot Sistemi	1	17	283
Görev Sistemi	2,5	15	624
Batarya Kapasitesi (mAh)	Toplam Gerekli Kapasite (mAh)		Fark
5000	3159		1841

Tablo 3.2’de verilen değerler bataryanın kapasitesinin yetip yetmeyeceğini anlamak için yaptığımız teorik hesaplamalar sonucu ulaşılmış değerlerdir. Teorik olarak görülmektedir ki 5000 mAh kapasiteye sahip batarya toplam uçuş süresini rahatlıkla karşılayabilecek, hatta ciddi miktarda (%35) batarya kapasitesini artıracak kabiliyetlere sahiptir. Bu teorik verileri pratiğe geçirmek için ekibimiz 2021 Savaşan İHA yarışması öncesi test uçuşu gerçekleştirmiş ve 5000 mAh batarya ile 17 dakika havada kalabilmiş ve inişe yeterli miktarda enerji bırakabilmiştir. Ancak ekibimiz 2021 Savaşan İHA yarışması esnasında uçuş seanslarında aynı komponentler ile seans uçuşuna çıktığında bataryanın 17 dakika havada kalmak için yetmediğini görmüştür. Bu deneyimler sonucu ekibimiz 5000 mAh’lık ekstra bir bataryayı sisteme dahil etmiş ve yarışmayı bu şekilde tamamlamıştır.

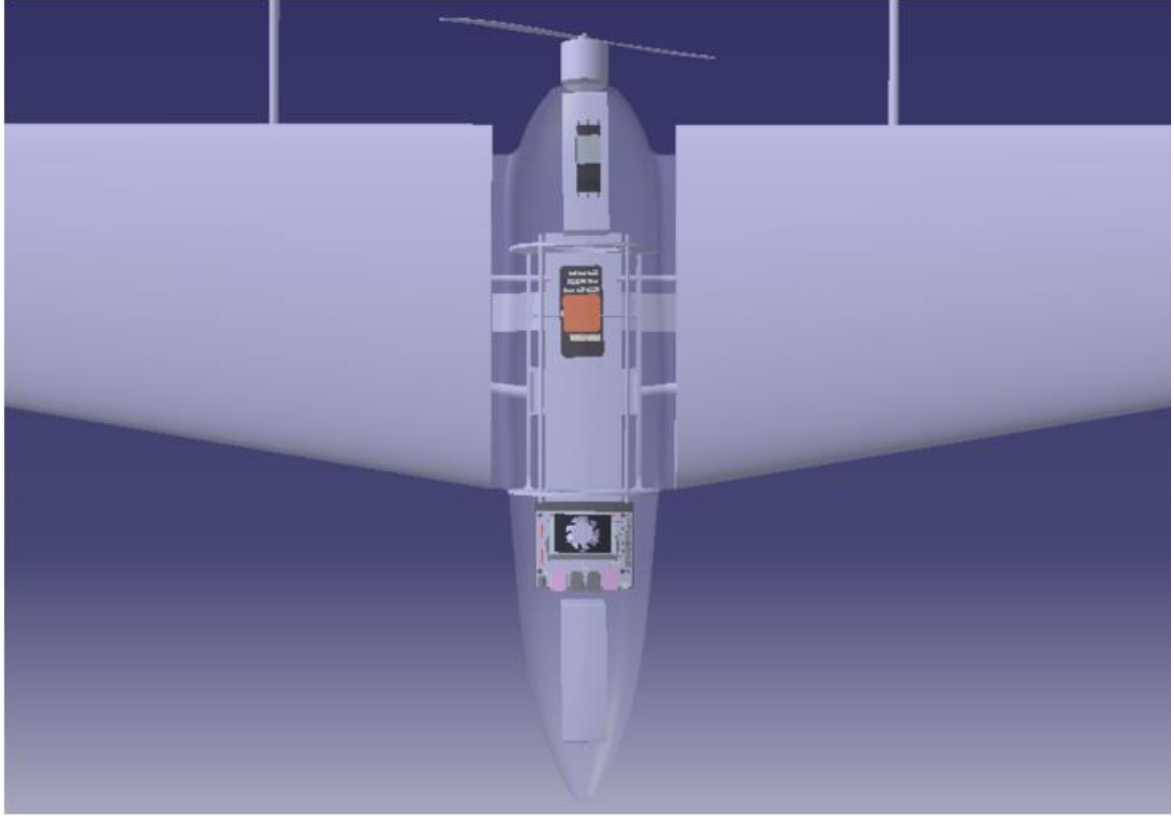
Ekibimiz 2022 Savaşan İHA yarışmasına da 2 adet 5750 mAh batarya ile gitmeyi planlamaktadır. Alternatif bir plan olarak ise 8000-9000 mAh kapasiteye sahip bir bataryanın temin edilmesi durumunda tekrar uçuş testi gerçekleştirilecek ve yeterli süre havada kalılabildiği görüldüğü takdirde yarışmaya bu batarya ile gelinecektir.

3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı

Gölge insansız hava aracının tasarımı yarışma isterlerine uygun olacak şekilde yapılmıştır. Bu nedenle görüntü alma amacıyla kullanılacak kameranın Şekil 3.2’de olduğu gibi burun kısmına yerleştirilmesine karar verilmiştir. Kameranın burun kısmında olması nedeniyle hava aracında kullanılacak motor konfigürasyonunun itici tip konfigürasyon olmasına karar verilmiştir. İtici tip konfigürasyon seçimi sonucunda kuyruk takımı komponentlerinin pervane tarafından oluşturulan kirli havadan etkilenmemeleri için ve daha düşük parazit sürüklenme ürettiği için ters V tipi kuyruk tercih edilmiştir. İtici tip motorda kullanılan pervanenin kalkışta ve inişte zarar görmemesi amacıyla tricycle tipi iniş takımı kullanılmıştır. Yarışma isterleri gereği üretecek olduğumuz hava aracının kilitlenmeden kaçınma ve doğru hedefe uygun yönelebilmek için yüksek manevra kabiliyetine ve düşük yatış kararlılığına ihtiyacı vardır. Bu nedenle Gölge’nin 200 cm açıklığındaki kanadının konfigürasyon seçimi yapılırken alttan kanat tercih edilmiştir.



Şekil 3.2 Gövde İçi Yerleşimi



Şekil 3.3 Tüm Gövde İçi Yerleşimi

3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı

Gölge üzerinde ve içerisinde bulunacak sistem ve komponentlerin kütleleri Tablo 3.3'te ve oluşturdukları moment Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3 Sistem Ağırlıkları

No	Sistem	Ağırlık (g)
1	İtki Sistemi	261
2	Otopilot Sistemi	168,8
3	Elektronik Komponentler	1581,3
4	Yapısal Sistemler	1940
5	Faydalı Yük	386,7

İtki Sistemi: Motor, Pervane, Elektronik Hız Kontrolcüsü (ESC)

Otopilot Sistemi: Pixhawk Orange Cube, emniyet butonu, ses modülü, hava hızı sensörü, I2c çoğaltıcı, RFD868X telemetri modülü, GPS, ultrasonik mesafe sensörü.

Elektronik Komponentler: Batarya, alıcı, güç dağıtım kartı, servomotorlar.

Faydalı Yük: Jetson Xavier NX ve kamera.

Yapısal Sistemler: Gövde, kanat, kuyruk takımı ve iniş takımı.

Ölçümler, İHS'nin kanat ucuna göre y ekseninde 1000 mm uzaklıkta bulunan ağırlık merkezine göre yapılmıştır.

Tablo 3.4 İHS Komponent Ağırlık ve Denge Tablosu

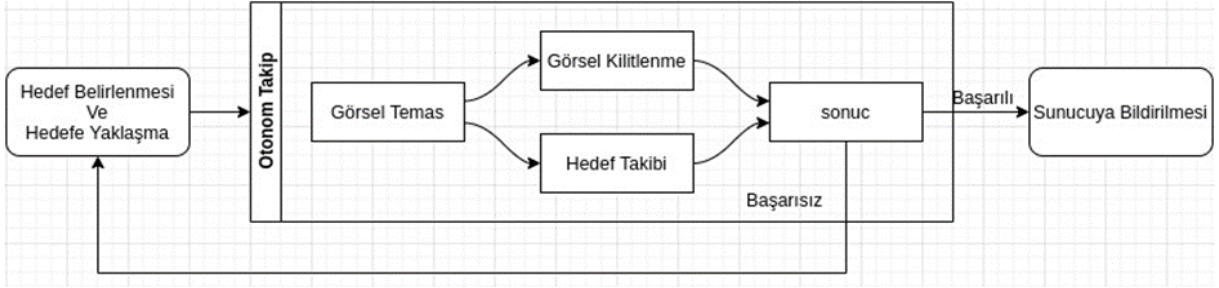
No	Parça Adı	Ağırlık (Gram)	X uzaklığı (mm)	Y uzaklığı (mm)	Z uzaklığı (mm)
1	Motor	195	-275	0	0
2	Pervane	40	-290	0	0
3	Elektronik Hız Kontrolcüsü	26	-120	-15	10
4	1. Batarya	760	260	0	0
4	2. Batarya	760	-235	0	0
5	Alıcı	20,8	-35	-13	20
6	Pixhawk Cube	73	0	0	0
7	Servolar	32	-420	0	15
8	Emniyet Butonu	2	0	0	40
9	Ses Modülü	4,5	0	80	0
10	Hava Hızı Sensörü	12	80	-150	12
11	I ² c Çoklayıcı	3	12	0	40
12	Jetson Xavier NX	146	245	0	10
13	Telemetri Modülü	21	20	22	60
14	Güç Dağıtım Kartı	8,5	155	43	20
15	Gövde	700	90	0	0
16	Sağ ve Sol Kanat	700	30	0	0
17	Kuyruk Takımı	240	-700	0	80
18	İniş Takımı	300	110	0	-80
19	FPV Kiti	69	200	0	40
20	Kamera	133,7	400	0	-50
21	GPS	48,8	90	0	60
22	Ultrasonik Mesafe Sensörü	4,5	35	29,5	-40
23	HDMI-USB Dönüştürücü	38	110	30	20
Toplam:		4337,8	0 mm	0,00003 mm	0,19 mm

4. OTONOM GÖREVLER

4.1. Otonom Kilitlenme

Savaşan İHA yarışması kapsamında bizlerden istenen it dalaşı [3], askeri bir terim olup kökeni 1. Dünya Savaşı'na dayanmaktadır. Kısaca düşman uçaklar tarafından vurulabilecek bir konuma gelmeden düşman uçakları vurabilecek bir konuma gelme çabasıdır.

Yakın zamanda yapay zekâ ve bir savaş pilotu arasında sanal ortamda it dalaşı gerçekleştirilmesi başarılmıştır [4]. Karşılaşmanın galibi yapay zekâ olsa da yarışma esnasında İHA'nın bütün hareketlerini yapay zekanın kontrol etmesi şu an için yeterince verimli değildir. Her ne kadar yapay zekâ galip gelmiş olsa da yarışma kapsamında kullanımı bir hayli zor ve kullanabileceğimiz imkanlar dahilinde imkansızdır. Yarışma esnasında uygulanabilirlik ve doğruluk düşünüldüğünde otonom kilitlenme görevi; hedef seçilmesi, görsel kilitlenme, hedef takibi olarak üç parçaya bölünmüştür. Hedef seçilmesi ve hedef takip kısmında otomasyon algoritmaları oluşturulmuş, görsel kilitlenme kısmında ise Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Network) geliştirilip kullanılmıştır.



Şekil 4.1 Vuruş Akış Şeması

4.1.1 Hedef Tespiti

Hedef tespiti gerçekleşene kadar yarışma sunucusundan gelen veriler her hedef için algoritmamız tarafından işlenecek ve her bir hedef için puan verilecektir. Hedef tespiti bu puan üzerinden yapılacak olup en yüksek puanlı hedefe GPS verileri üzerinden yönelim sağlanacaktır. Her bir veri için önem katsayısı belirlenmiştir, misal hava araçlarının irtifa değiştirmesi nispeten daha zor olduğu için buna uygun bir katsayı belirlenmiştir. Algoritma simülasyon ortamlarında birden fazla hava aracı ile denenmiş ve algoritmanın uygun olduğuna karar verilmiştir.

4.1.2 Algoritma

h = yükseklik

P = Puan

b = yönelme açısı

G = Gölge

W = katsayı

d = uzaklık

V = hız

H = Hedef İHA

$$h_{GH} = |h_H - h_G| \quad \rightarrow \quad W_1 * h_{GH} = P_h \quad (1)$$

Gölge İHA ile Hedef İHA arasındaki irtifa farkı hesaplanarak bir puan(P) elde edilmesi (1).

$$d_{GH} = \sqrt{(x_G - x_H)^2 + (y_G - y_H)^2} \quad \rightarrow \quad W_2 * d_{GH} = P_d \quad (2)$$

Hedef İHA ile aramızdaki mesafenin hesaplanması ve puan elde edilmesi (2).

$$\frac{1}{V_H} = \frac{\Delta t}{\sqrt{((x_H - x'_H)^2 + (y_H - y'_H)^2)}} \quad (3)$$

$$(b_G - b_H) + 180 \equiv b_{GH} \pmod{180} \quad (4)$$

$$W_3 * b_{GH} + W_4 * \frac{1}{V_H} = P_{BV} \quad (5)$$

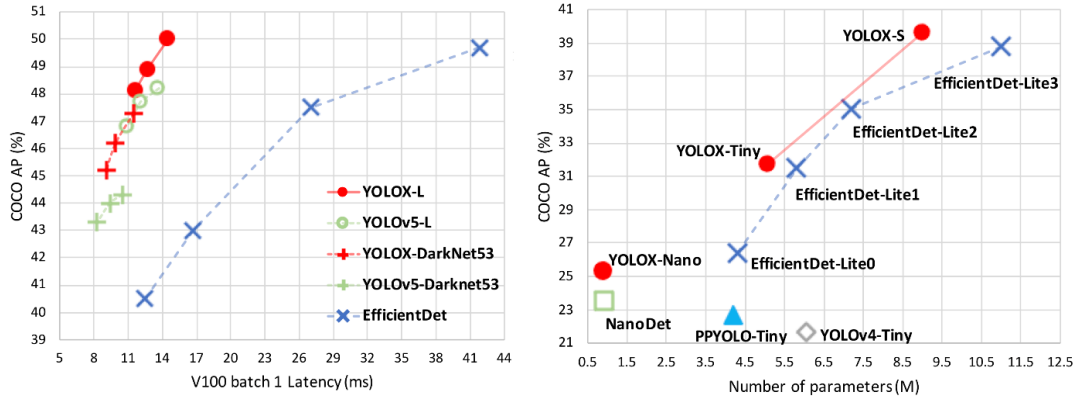
Puanı (5) daha sade ve kullanılabilir halde elde etmek için hız ve yönelme değerlerinin yukarıda görülen şekilde (3 ve 4) hesaplanmasına karar verilmiştir. Bu formül sayesinde yarışma esnasında en yüksek puanı, bizimle aynı doğrultuda olan ya da arkasına kolayca ulaşabileceğimiz hedefler vermektedir. Arkamızda kalan ya da tam üzerimize gelen hedeflerin seçilme ihtimali minimuma indirilmiştir.

$$P_{toplam} = P_h + P_d + P_{BV} \quad (6)$$

Fonksiyonlardan (6) elde edilen puanlar toplanarak her bir hedef için puan listesi oluşturulur ve en yüksek puanlı hedef seçilir. Bu andan itibaren GPS ile hedef takibi ve görsel kilitlenme için kullanılan yapay zekâ başlatılır. Ayrıca görsel kilitlenme ihtimalini maksimuma çıkarmak için hedef İHA'nın tahmini hareket yolu üzerine yol noktaları (Waypoint) koyulması planlanmaktadır.

4.1.3 Görsel Kilitlenme

Yarışmanın en önemli kısımlarından biri olan görsel kilitlenme için yapılan literatür taramaları sonucunda farklı yapay zekâ modelleri ve algoritmalar incelenmiştir.



Şekil 4.2 Hız-Doğruluk ve Boyut-Doğruluk Eğrisi [5]

Şekil 4.2’de MS COCO veri setiyle hazırlanmış farklı modeller görülmektedir. Bu ve bunun gibi kaynaklar göz önünde bulundurulduğunda doğruluk-FPS oranı en yüksek olan modellerin YOLOX serisine ait olduğu tespit edilmiştir. Lakin yarışma sürecinde uygulanabilirliği göz önünde bulundurulduğunda YOLOX tek başına yeterli olmamaktadır çünkü değerlerde görülen doğruluk-FPS oranlarına, çok güçlü ve bu iş için özel olarak hazırlanmış ekran kartlarıyla ulaşılmaktadır.

Takımımız bu sorunun üstesinden gelmek için hem yazılımsal hem donanımsal değişiklikler ve düzenlemeler yapmaktadır.

Donanımsal olarak yarışma esnasında kullanılabilecek ve türünün en performanslı modellerinden olan Jetson Xavier NX modelinin görev bilgisayarı olarak kullanılması planlanmaktadır.

Yazılımsal olarak YOLOX her ne kadar araştırmalarda en yüksek performansı sağlasa da yarışma esnasında kullanmak için fazla performans isteyen ve karışık bir yapay zekâ modelidir. Şekil 4.2’te görüldüğü gibi YOLOX-Tiny ya da YOLOX-S benzeri modellerin çok üstünde bir performans vermektedir. Ancak sadece doğru model seçimi yarışma isterlerini karşılamaya yetmemektedir.

Testlerde kullanılan en verimli modelin bile tek başına kullanılması 5-15 FPS ortalamasında bir çıktı vermektedir, bu durum yarışma zamanı ve teslim edilecek uçuş videosu arasında zaman uyumsuzluğu yaratacağı için kabul edilemezdir. Takımca bu problemin üstesinden gelebilmek için YOLO tabanlı modelin performansını artıracak farklı yöntemlere başvurulmuştur. Bunlara örnek olarak YOLO tabanlı modelin Nvidia TensorRT [6] teknolojisi kullanılarak gözle görülür bir FPS artışı yakalanmıştır (Jetson Nano üzerinde YOLOv4-tiny modeli için 2 kat FPS artışı).

Tablo 4.1 TensorRT FPS kıyaslaması (GeForce RTX 2080 Ti ile test edilmiştir) [7]

Model Çözünürlüğü	Yolo, FPS (ortalama)	TensorRT FP32, FPS (ortalama)	TensorRT FP16, FPS (ortalama)
320	100	116	202
416	82	103	162
521	69	91	134
608	53	62	103

Bu teknolojilerin yanı sıra, yeterli verimliliği alamadığımız durumda uçuş yardımcı bilgisayarının sınırlı işlem gücünü doğru kullanabilmek için Nvidia’nın geliştirdiği Deepstream [8] teknolojisinin kullanılması planlanmaktadır. Deepstream teknolojisi sayesinde sınırlı olan işlem gücümüzü daha verimli kullanabileceğiz.

4.1.3.1 Modelin Eğitilmesi

Geliştirilen yapay zekadan maksimum verim alabilmek için doğru modelin seçilmesi kadar modelin doğru bir biçimde eğitilmesi de önemli bir unsurdur. Seçilen model ne kadar gerçek hayat verilerine yakın verilerle eğitilirse eğitilen model bir o kadar başarılı olacaktır. Doğruluğu en yüksek değerlere çıkarmak için ilk aşamada internetteki İHA takip videolarından veri seti oluşturulmuştur. Veri seti oluştururken yarışma ortamı göz önünde bulundurularak yarışma esnasında karşılaşılabilecek senaryolar özellikle seçilmiştir. İkinci aşamada ise takımımızın bünyesinde bulundurduğu çeşitli görünüşe sahip uçakları eş zamanlı olarak havalandırıp kendi verilerimizi oluşturmak planlanmaktadır.



Şekil 4.3 Etiketlenmiş Örnek Görüntüler

Toplanan veriler LabelImg programıyla etiketlenmiştir.

İlk aşamada her bir İHA'dan 300 fotoğraf olacak şekilde 5 farklı çeşit İHA dan toplam 1500 fotoğraf toplanmıştır. İkinci aşamada ilk aşamada toplanan hazır İHA'ların üzerine kendi ürettiğimiz İHA'ları da ekleyip toplamda 5000 fotoğraf toplamayı hedeflemekteyiz.

4.1.4 Hedef Takibi

Kilitlenmenin başarıyla tamamlanması için görsel kilitlenme aşamasında algılanan hedef İHA kilitlenme süresi boyunca kilitlenme dörtgeninde kalmalıdır. Hedef İHA'yı kilitlenme dörtgeninde tutmak için görsel kilitlenme kısmında elde edilen verilerden hareket yöneyi oluşturulması planlanmaktadır. Anlık tespit edilen İHA'nın merkezi ve görüş alanı ortasında oluşturulacak yöney sayesinde hedef İHA'nın kilitlenme boyunca görüş alanımızın ortasında tutulması hedeflenmektedir.



Şekil 4.4 Planlanan Takip Şablonu

Şekil 4.4'te merkezden İHA'ya çizilen vektörün x ve y değerleri Gölge İHS'nin hareket kabiliyeti içerisinde PID kontrol döngüleri kullanılarak yeniden boyutlandırılıp Gölge İHS'ye Mavlink protokolü üzerinden hareket komutu olarak gönderilecektir. Bu sayede hedef İHA kilitlenme dörtgeninde kalacaktır.

4.1.5 Çarpışmadan Kaçınma

Yarışma esnasında çarpışmayı ve buna bağlı hasarları önlemek için yarışma sunucusunda gelen veriler işlenerek çarpışmalar önlenmeye çalışılacaktır. Yarışmacıların yönelim değerleri kullanarak bize doğru gelen İHA'lar tespit edilecektir. Bu İHA'lar belirli bir yakınlığa ulaştığında kaçış manevrası yapılacaktır. Mesafeyi belirlemek için Gölge İHS ile vurulma testi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5 Vurulma Testi

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi Gölge İHS vurulma şartlarını (Yatayda ya da düşeyde %5 boyut) 10 metre seviyelerinde sağlıyor. Buna bağlı olarak yarışma esnasında yönelimi bizim üzerimize ve 10 metre mesafesinin altında hedef tespit edildiğinde o anki şartlara göre kaçış manevrası yapılması planlanmaktadır.

4.2. Kamikaze Görevi

Savaşan İHA yarışmasında ilk defa bu sene yapılacak olan kamikaze görevi için takımımız yaptığı literatür taraması ve hava aracı sistemlerinde uzman olan kişiler ile görüşmelerine dayanarak görevin çözümünü böl ve fethet yaklaşımı kullanarak çözmeyi uygun görmüştür. İlk aşama olarak görevi küçük parçalara bölmek, daha sonra küçük parçaları tamamlayarak ana görevin yerine getirilmesi beklenmektedir. Görev; hedefe ilk yaklaşım, dalışın başlaması, QR kodun tespiti, dalış güvenliği ve tırmanış adı altında beş parçaya bölünmüştür.

4.2.1 Hedefe İlk Yaklaşım

Yarışma başında takımımıza sağlanacak olan hedef koordinat verisi üzerinden dalış ve tırmanış için güvenli bir dalış başlangıç çemberi tanımlanacaktır. Bu çember QR kodu merkezi olarak kabul edecek ve yarı çapı dalış için yeterli ve güvenli mesafeye göre belirlenecektir. Daha sonra bu mesafeden hedefe dalış açısı hesaplanacaktır. Kaza ve kırımı önlemek ve dalış esnasında arka ya da yan rüzgâr yemenin hava aracının kontrolünde kritik bir etkisi olacağı için dalışa başlama noktası bu çember üzerinde hava aracının rüzgârı karşısına alacağı konum seçilecektir.

4.2.2 Dalışın Başlaması

Hava aracı dalışın başlayacağı noktaya geldikten sonra hava aracına yer hedefinin tam koordinatı verilecek ve dalışın başlaması sağlanacaktır. Dalışın başlamasından sonra görüntü işleme yazılımı başlatılacak ve hedefin tespiti beklenecektir.

4.2.3 QR Kodun Tespiti

QR kodu tespit etmek için Python'un Opencv kütüphanesinde bir metot olan detectAndDecode() metodu kullanılması planlanmaktadır.

4.2.4 Dalış Güvenliği

Hava aracının burun aşağı dalışı kontrol etmesi zor ve tehlikeli bir manevradır. Gölge İHS her ne kadar manevra kabiliyeti yüksek, yapısal olarak yeterli olsa bile belirli sınırları vardır. 2021 Savaşan İHA yarışması sonrası yarışma komitesinden izin alınarak yapılan akrobasi uçuşu esnasında bu sınırlar zorlanmış ve Gölge İHS'nin küçük halkalar atacak kadar dayanıklı olduğu görülmüştür. Dayanıklılığın kaynağı kanatlardan wingbox'a bağlanan karbon boruların ve wingbox'ın dayanıklılığı ile sağlanmıştır. Test ve Simülasyonlar başlığında bahsedilen kanat yük testi sonuçlarında bu dayanıklılık görülebilmektedir. Dalış güvenliği içerisinde QR kod tespitinde kullanılan algoritmaya eklenecek olan irtifa, açı ve konum kontrol kodlarıyla dalış esnasında fazla irtifa kaybı hedeften şaşma ya da dalış açısının güvenli sınırlar içerisinde kalması kontrol edilecektir. Herhangi bir güvenli sınırından şaşma esnasında dalış iptal edilip tırmanış aşamasına geçilecektir.

4.2.5 Tırmanış

Görevin tamamlanmasında ya da dalış iptalinde Gölge İHS normal seyir irtifasına çıkma komutu alacaktır. İrtifaya çıkması algoritma tarafından takip edilecek ve hedef irtifaya ulaşıldığında normal uçuş algoritmasına geri dönecektir.

Vuruş başarısız olur ve tekrar edilmek istenirse yukarıdaki aşamalar tekrar edilecek ve vuruş sağlanması denenecektir.

5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME

Görev uçuşu boyunca yapılacak bütün işlemlerin otonom olarak yapılması gerektiği için yer istasyonu buradaki ana eleman olmaktadır. Yarışma için bu sene takımımızın özel olarak geliştirdiği yer istasyonu sistemi kullanılacaktır. Bu sistem içerisinde analog ve dijital görüntü alıcısı, yer istasyonunun beyni olacak Raspberry Pi ve telemetri aktarımı için 868 Mhz frekansında çalışacak RFD868x telemetri modülü bulunacaktır. Saydığımız temel bileşenler sert çanta içerisine gömülecek ve çanta üzerine kullanım kolaylığı için klavye, fare ve yardımcı tuşlar eklenecektir. Bu sayede kullanım ve taşıma kolaylığının yanı sıra ekipmanlar için mekanik koruma da sağlanacaktır. Ayrıca yazılımsal eklemeler ile gelen telemetri verisi başka cihazlara aktarılabilir ve gerekirse yer istasyonuna bağlanacak bir bilgisayar ile görüntü işleme yapılabilir.

Haberleşme Sistemi Temel Bileşenleri

Otopilot: İHS üzerinde Pixhawk Orange Cube otopilot kartı olarak yer alacak ve birçok sensörle bağlantı noktası oluşturmak için kullanılacaktır.

Telemetri: Telemetri olarak uzak mesafelerde de etkili bir aktarım hızına sahip olan ve 868 Mhz bant genişliğini destekleyen RFD868x tercih edilmiştir. RFD868'in bir tanesi Gölge İHS'ye, bir tanesi ise yer istasyonuna bağlanılarak kullanılacaktır.

RC Haberleşmesi: Herhangi bir beklenmedik durumla karşılaşılması durumunda İHS'nin yerden manuel olarak kullanılabilmesi için RC kumanda kullanılması planlanmıştır. Bu haberleşme sisteminde 2.4 GHz FASSTest teknolojisine sahip 14 kanallı sistem olan 14SG kullanılmaktadır. Futaba FASST ve S-FHSS protokolleriyle de uyumludur, bu nedenle Futaba'nın ürettiği neredeyse tüm 2.4 GHz hava alıcılarıyla uçabilmesini sağlamaktadır. Yarışmaya uygunluğu da göz önünde bulundurulduğunda yarışmada kullanılmasına karar verilmiştir.

Görüntü Haberleşmesi: Gölge İHS'nin üzerinde bulunan Raspberry Pi HQ kamerası, elde ettiği görüntüleri anlık olarak görev bilgisayarına aktaracaktır. Görev bilgisayarı, gelen görüntüyü yapay zekâ modelinde kullanacak. Yapay zekâ boru hattının (pipeline) sonu uçuş bilgisayarının HDMI çıkışına gönderecek ve HDMI çıkışı Herelink görüntü aktarım sistemine bağlanacaktır. Görüntü kalitesi ve yardımcı bilgisayara aktarım düşünüldüğünde CSI çıkışlı bir kamera kullanılmasına karar verilmiştir. Görüntü aktarımı dijital görüntü aktarım sistemi ile yapılacaktır. Yarışma menzili dikkate alındığında Herelink görüntü aktarım sisteminin kullanılması uygun görülmüştür.

6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

Arayüz, yarışma esnasında bize uçak ile ilgili verileri aktaran ve havada olan olayları verilerle anlamamızı sağlayacak olan kısım olduğu için tasarımı çok kritiktir. Burada kafa karışıklığı oluşturmaması nedeni ile zaten halihazırda kullanılan Mission Planner uygulaması seçilmiştir.

Yapılacak olan yer istasyonu sisteminin üzerinde iki ana ekran yer alacaktır. Ekranların bir tanesinde Mission Planner arayüzü, ikinci ekranda ise uçuştan alınan canlı video gösterilecektir.



Şekil 6.1 Arayüz

Şekil 6.1’de birinci ekranda olacak arayüzden örnek gösterilmiştir. Ekranın sol alt köşesinde metre cinsinden yükseklik, metre/saniye biriminde yer hızı, metre/saniye biriminde hava hızı, batarya yüzdesi, metre/saniye biriminde yatay hız ve metre biriminde kalkış yapılan yere uzaklık görülmektedir. Ekranın sol üst köşesinde ufuk çizgisini gösteren göstergesi, arm göstergesi, bağlantı kalitesi, GPS durumu ve mod göstergesi yer almaktadır. Ekranın sağ tarafında harita üzerinden uçağın konumu gösterilmektedir.



Şekil 6.2 Nesne Tespiti

İkinci ekranda ise sadece canlı kamera görüntüsü gösterilecektir. Yarışma kuralları içerisinde resimde görüldüğü gibi görüntünün ortasına kilitlenme dörtgeni çizilecek ve kilitlenme esnasında kilitlenen hedef dikdörtgen içerisinde gösterilecektir. Resimde ek olarak sağ üst köşeye sunucu saati eklenecektir. Ayrıca bu ekranda görüntülenen görüntü eş zamanlı olarak yarışma sunucusuna aktarılacak ve yarışma sonrası yarışma komitesine teslim edilecektir.

Uçuş bilgisayarında iniş ve kalkış için görev çizilebileceği gibi gerektiği zaman mod değişimleri yer istasyonu sisteminin üzerindeki tuşlar ile yapılabilecektir.



Şekil 6.3 Örnek Yer İstasyonları [9]

Şekil 6.3'te üretilmesi planlanan konsept yer istasyonu örneği verilmiştir. Örnek konsept üzerindeki bütün giriş çıkışların yerleri takımın kendi tasarımında değiştirilecek, Savaşan İHA yarışmasına özel hale getirilecektir. Dilerse takımımız yer istasyonuna başka bir cihaz ile bağlanıp telemetri verisini harici olarak o cihaz üzerinde farklı görev uygulamaları ile görüntüleyebilecektir.

7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU

7.1. Yapısal Entegrasyon

Yapısal parçaların entegrasyonu İHA bütünlüğü ve performansı açısından ciddi önem taşımaktadır.

Gövde iki yarım parça halinde EPS köpükten CNC Freze ile işlenerek üretilir. Gövde yarımaları cam fiber ile kaplandıktan sonra epoksi reçine yardımı ile birleştirilir. Son olarak üretilen sürüklemeye kuvvetini azaltmak amacıyla gövde çelik macun ile kaplanır

Wingbox kanatların ürettiği taşıma kuvvetini gövdeye aktaran, kanatların gövdeye bağlandığı parçadır. Wingbox gövdeye epoksi reçine yardımı ile monte edilir.

Kanat CNC tel kesim cihazı ile EPS köpükten trapez olarak kesilir. Karbon borudan oluşan sparlar kanat içerisine yerleştirilir ve kanat sparları yardımıyla wingbox ile birleştirilir. Wingbox ile birleşim sağlanınca gövde ile de birleşim sağlanır. Sparlar kanat içerisine açılan boşluklara epoksi yardımı ile yerleştirilir.



Şekil 7.1 Hava Aracının Üstten Görünümü

Kuyruk kanat üzerindeki 3 boyutlu yazıcıdan üretilmiş bağlantı parçasına monte edilen karbon fiber borular kuyruk takımı yüzeylerine uzanır ve başka bir 3 boyutlu yazıcı parçası ile birleşir. İlgili 3 boyutlu yazıcı parçaları, rijitliğin sağlanabilmesi amacı ile kanat ve kuyruktaki sparlara epoksi ile monte edilmiştir.



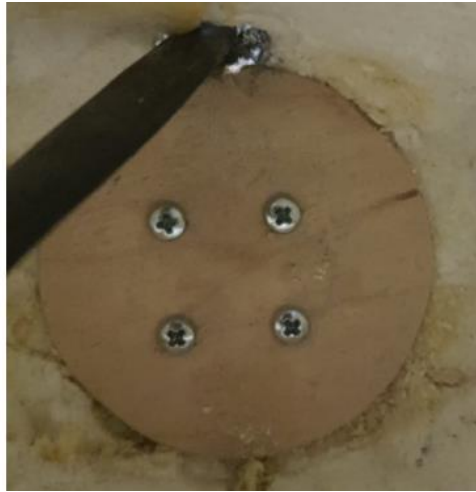
Şekil 7.2 Kuyruk Takımı ve İniş Takımı Entegrasyonu

İniş takımları ekibimizce karbon fiber malzemeden üretilen arka iniş takımı, 2 adet cıvata ve somun ile gövdenin alt kısmında wingbox ile birleştirilir. Esnemeyi önlemek amacıyla arka iniş takımı plakaları arasına tel gerilmiştir. Ön iniş takımı ise karbon boru yardımıyla gövdeye uzatılır ve gövdenin alt kısmına oturan bir karbon plaka yardımıyla sabitlenir.

7.2. Mekanik Entegrasyon

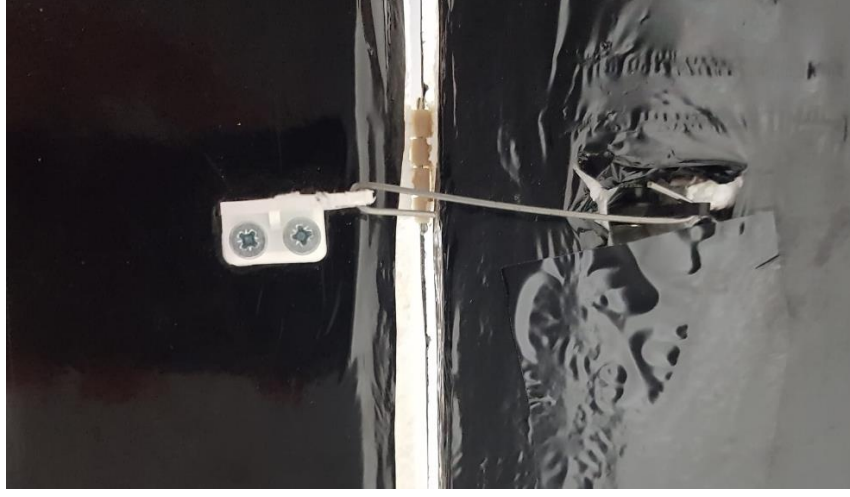
Mekanik parçaların yerleşimi ve insansız hava aracına entegrasyonu; ağırlık merkezi, sürüklemeyi dolaylı olarak oluşturabilecek taşıma kayıpları, elektronik parçaların sabitliği ve elektronik parça kaybını önlemek amaçları ile ciddi önem taşır.

Motor ile gövdenin birleşimi 4 adet cıvata ile sağlanır. Bu birleşimin gerekli yapısal dayanımı sağlayabilmesi için gövdenin arkasında bulunan motorun bağlanacağı bölge huş ve cam fiber ile güçlendirilir. Motora enerji sağlayan kabloların ESC ile bağlantısını sağlamak için gövdeye delik açılır.



Şekil 7.3 Motor Entegrasyonu

Kontrol yüzeylerinin hareketini sağlamak için kullanılan servomotorlar kanat ve kuyruğa açılan servomotor boşluklarına sıkı şekilde epoksi ile sabitlenir. Servomotorlar hareketi yek ve yek teli ile kontrol yüzeyine aktarır. Servomotor kabloları kanat ve kuyruk yüzeylerine açılan boşluklar ile alıcıya iletilir.



Şekil 7.4 Servomotor Entegrasyonu

Alıcı wingbox'a çift taraflı bant ile monte edilir ve alıcı antenleri gövde dışarısına 90 derecelik açıyla uzatılır. Böylelikle verici ile alıcı arasındaki bağlantıya engel bir yüzey kalmaz.

Kamera gövdenin ön ve alt kısmına 3 boyutlu yazıcıdan çıkarılmış sabit bir yatak ile monte edilir. Kameranın lensi gövde altından ileri bakar.

Güvenlik anahtarı burun tarafından gövde yanına kolay erişilir şekilde monte edilir.

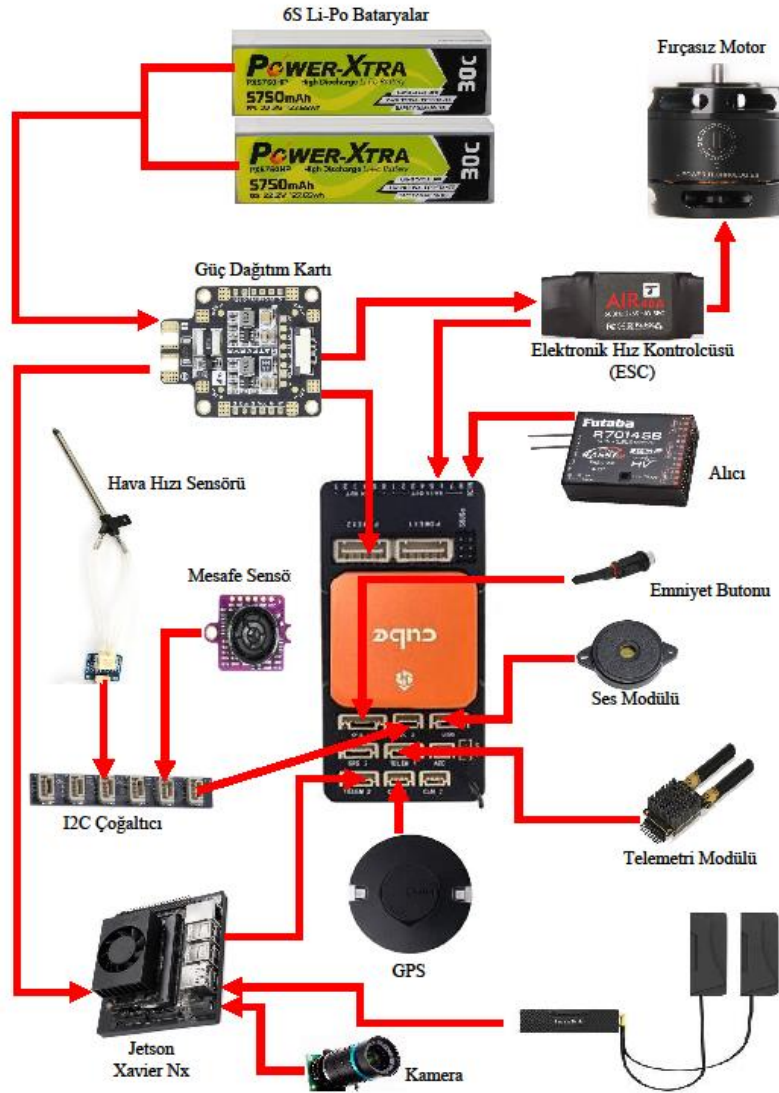
7.3. Elektronik Entegrasyon

Elektronik sisteminin en önemli parçaları olan otopilot kartı ve görev bilgisayarı uçağın gövdesinin içinde kendileri için yapılan özel bölmelere yerleştirilir. Aynı şekilde itki sisteminin komponentlerinden olan ESC ve batarya da gövde içinde kendileri için yapılan bölmelerdedir (Şekil 7.5).



Şekil 7.5 Gölge Aviyonik Komponent Entegrasyonu

Uçağın burnunda kamera olmasından dolayı motor uçağın arkasına monte edilmiştir. GPS modülü ve telemetri modülü uçağın yapısındaki kompozit malzemelerden etkilenmemeleri için uçak gövdesinin dışına yerleştirilmiştir. Hava hızı sensörü uçağın sol kanadında, görselden farklı olarak kanadın kök kısmından uzak, hücum kenarına yakın şekilde yerleştirilir. Kablolama Şekil 7.6’da verilmiştir.



Şekil 7.6 Kablolama

8. TEST VE SİMÜLASYON

8.1. Alt Sistem Testleri

8.1.1 İtke Testi

Farklı motor pervane kombinasyonları ile yapılan testler sonucu tablo 8.1’de verilen değerlere ulaşılmıştır.

Tablo 8.1 İtki Testi

Motor	Pervane	%50 Gaz		%75 Gaz		%100 Gaz	
		Akım(A)	İtki(G)	Akım(A)	İtki(G)	Akım(A)	İtki(G)
T-Motor U-5	15x7 APC	3.89	650	11.17	1518	19.08	2110
T-Motor U-5	15x10 APC	5	748	16	1544	25	2027

Yapılan itki testleri sonucu elde edilen akım ve itki değerlerini inceleyen ekibimiz yarışma esnasında 15x7 APC pervane kullanma kararı almıştır.

8.1.2 Batarya Testi

Farklı kapasitede olan Li-Po bataryalar ile yapılan test sonuçları tablo 8.2’de verilmiştir.

Tablo 8.2 Batarya Test Sonuçları

Teorik Test Sonuçları							
Komponentler			100% Gaz			Tahmini Operasyon Süresi (Dakika)	
Motor	Batarya	Pervane	İtki(G)	Güç (W)	Akım (A)	Normal şartlar altında	Muhtemel kayıplar altında
T-Motor U5 KV400	6S Li-Po 4400 mAh 22.2V	14*4,8 CF	2030	304.14	13.7	19.26	13.48
		15*5 CF	2480	381.84	17.2	15.34	10.74
		16*5,5 CF	2850	444	20	13.2	9.24
	6S Li-Po 5750 mAh 22.2V	14*4,8 CF	2030	304.14	13.7	21.89	15.32
		15*5 CF	2480	381.84	17.2	17.44	12.2
		16*5,5 CF	2850	444	20	15	10.5

Batarya testi sonucu elde edilen teorik sonuçlar doğrulanmak üzere Eskişehir’de test uçuşu yapıldığında ekibimiz sonuçların uyduğunu görmüştür ancak 2021 Savaşan İHA yarışma alanında bu sonuçlar tutmamıştır. Geçtiğimiz yılki yarışma tecrübesi ile de ekibimiz 2022 Savaşan İHA yarışmasına 2 adet 5750 mAh batarya ile gitmeyi planlamaktadır.

8.1.3. Kilitlenme Testi

Otonom kilitlenme esnasında görsel kilitlenme önemli bir rol oynamaktadır. Bu kısımda görsel kilitlenmenin başarılı bir şekilde gerçekleştiğinden emin olmak için model, eğitiminde kullanılmayan veriler ile test edilmiştir. Test sonucu çoğu senaryoda %95’ten fazla doğruluk değerlerine ulaşmış ve neredeyse 0 yanlış-doğru tespiti yapmıştır.

Şekil 8.1’de kilitlenme testine ait görsellere yer verilmiştir.



Şekil 8.1 Kilitlenme Testi

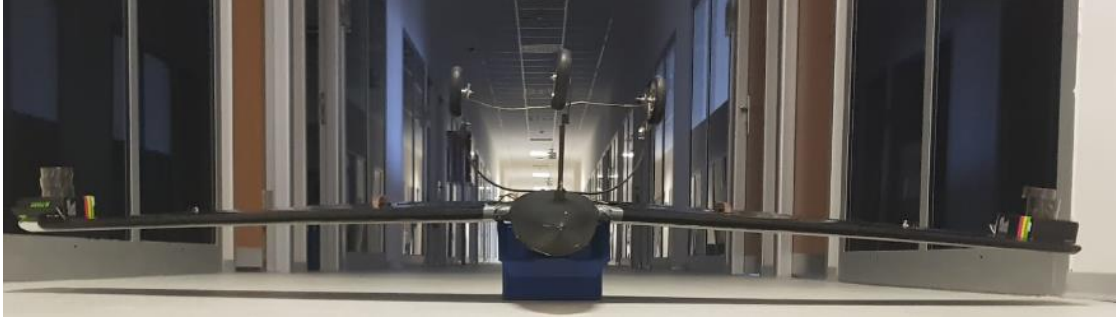
8.1.4. Kanat Yük Testi

Kanatın hava aracındaki görevi 4 temel kuvvetten biri olan taşıma kuvvetini oluşturmaktır. Kanat, taşıma kuvvetinin oluşturduğu yükleri taşıyabilecek, aynı zamanda yarışma esnasında yapılacak olan ani manevraları karşılayabilecek yapıda olmalıdır. Ayrıca kırılmaması için bir miktar da esneyebilmesi gerekmektedir. Bu gereklilikleri test etmek amacıyla ekip, kanat üzerinde çift yönlü yük testi gerçekleştirmiştir.

Test sonucu Gölge İHS'nin kanadı; yukarı yönde kanat ucunda 600'er gram, aşağı yönde kanat ucunda ise 450'er gram yük taşıyabilmiştir. Kanat yük testi esnasında çekilen görüntülere şekil 8.2 ve 8.3'te yer verilmiştir.



Şekil 8.2 Aşağı Yönlü Yük Testi



Şekil 8.3 Yukarı Yönlü Yük Testi

8.1.5 Yapılması Planlanan Testler

Ekibin bu zamana kadar yaptığı testlerin haricinde yarışma dönemine kadar yapmayı planladığı testler de vardır. Bu testlere aşağıda değinilmiştir.

Kapsamlı Model Karşılaştırması: Farklı modeller farklı görüntü boyutlarında (network size) eğitilecek ve FPS doğruluk oranları karşılaştırılacak. Bu test en uygun modelin seçilmesine yardımcı olacaktır.

Hedef Takip Testi: Otonom kilitlenme içerisinde olan hedef takibinin başarıyla tamamlanacağından emin olmak için havada ve karada hedef takip testi yapılması planlanmaktadır. Görsel kilitlenmeden gelen veriler kullanılarak oluşturulan takip vektörü, Mavlink protokolü ile uçağa gönderilecek ve uçağın kontrol yüzeylerinin uçağı takip vektörü doğrultusunda yönlendirmesi test edilecektir. Örnek olarak görsel kilitlenme esnasında sağ üst tarafta tespit edilen bir hedef için uçağın sağ üst tarafa yönelmesi gerekmektedir. Test içerisinde yönelimin doğruluğu incelenecektir.

Görüntü İşleme Testi: Görsel kilitlenmenin sorunsuz işleyeceğinden emin olmak için yapılacaktır. Test esnasında Gölge İHS ve başka bir İHA aynı anda havalandırılıp Gölge İHS'nin diğer İHA'yı tespit etmesi planlanmaktadır. Bu test esnasında kamera yeterliliği, yapay zekâ modelinin yeterliliği Jetson Xavier NX'in yeterliliği ve sıcaklık değerleri test edilecektir.

Otonom Uçuş Testi: Otonom uçuş testi içerisinde otonom kalkış, otonom iniş ve bunların yanı sıra otonom kilitlenmenin alt sistemleri test edilecektir. Otonom kalkış ve iniş içerisinde Gölge İHS'nin başarılı bir şekilde belirlenen yerlere iniş kalkış yapması, Otonom kilitlenme alt sistemler kısmında ise otonom kilitlenmenin bütün olarak uyumlu ve istikrarlı çalışması test edilecektir. Test sonucu olarak başarılı bir şekilde başka bir İHA'ya 4 saniye boyunca kilitlenmesi beklenmektedir.

8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi

8.2.1 Uçuş Testi

Başarı ile gerçekleştirilen Gölge İHS uçuş testi sonrası ekibimizin kafasında bulunan birçok soru işareti silinmiştir. Uçuş testi esnasında Gölge, beklentinin üzerinde bir performans göstermiştir. Kaçış ve kovalama manevralarını keskin şekilde gerçekleştirmiş ve manevralar esnasında kanat bağlantı noktalarında herhangi bir esneme ya da ayrılma gözlemlenmemiştir. İlk uçuş testi esnasında kontrol yüzeylerinin trimlenmesini gerektirmemesinin yanı sıra iniş takımları da sorunsuz şekilde görevini yerine getirmiştir.

Yapılan maksimum hız testinde ise Gölge, 26 m/s hıza kadar çıkmayı başarmıştır.

Şekil 8.4 ve 8.5’te uçuş esnasında alınan görüntülere yer verilmiştir.



Şekil 8.4 Gölge İHS-1



Şekil 8.5 Gölge İHS-2

8.2.2 Uçuş Kontrol Listesi

Ekibimiz yürütülen proje çalışmaları ve yarışma testleri esnasında sık sık uçuş günleri yapmaktadır. Uçuş günlerinde uçağın başında olan uçuş ekibimiz her ne kadar sık sık hava aracını uçuşa hazırlama görevini yapıyor olsa da havacılık kültürünün bir getirisi olarak uzun yıllardır her hava aracı ve görev özelinde uçuş kontrol listesi hazırlamakta ve düzenli olarak kullanımına özen göstermektedir. Tablo 8.3’te Gölge İHS için hazırlanan uçuş kontrol listesi verilmiştir.

Tablo 8.3 Gölge İHS Uçuş Kontrol Listesi

Parça	Kontrol	Durum
Motor	Dönüş yönü doğru ayarlanmıştır, mesneti sağlamdır.	
Pervane	Pervane gevşeme yapmayacak şekilde takılmıştır ve hasar yoktur	
ESC	Motor ve batarya ile bağlantıları güvenli bir şekilde yapılmıştır	
Batarya	Batarya uçuş için yeterli miktarda şarj edilmiştir	
Alıcı	Alıcı antenleri gövdenin dışarısında ve aralarındaki açı 90 derecedir	
Kumanda	Kumanda uçuş için yeterli miktarda şarj edilmiştir	
Uçuş Kartı	Uçuş kartı yönü ve konumu doğru olarak sabitlenmiştir	
GPS	GPS modülü doğru yönde konumlandırılmıştır ve kalibre edilmiştir	
Yüzeyler	Servo motorlar ve kontrol yüzeylerinin menteşeleri sağlamdır	
Yer Kontrol	Yer kontrol istasyonu ile uçuş kartı bağlantısı kurulmuştur	
Yapısal	Kanat, gövde ve kuyruk takımı bağlantı noktaları kontrol edilmiştir	

İniş Takımı	Tekerleklerin dönme direnci ve bağlantı noktaları kontrol edilmiştir	
Sabitlenme	Uçak içi cihazlar uygun konumda uçağa sabitlenmiştir	
Kapaklar	Gövde erişim noktaları kapatıldıktan sonra kontrol edilmiştir	
Balans	Uçağın ağırlık merkezi kontrol edilmiştir.	

9. GÜVENLİK

Atölyemizde herhangi bir yaralanmaya karşı ilk yardım dolabı bulunmaktadır. İlk yardım dolabındaki ürünlerin son kullanma tarihleri düzenli olarak kontrol edilmektedir. Bataryalarımız şarj ve taşıma esnasında her zaman Li-Po bataryalara özel güvenlik çantalarında (Li-Po Safe) muhafaza edilmektedir. İHS'nin elektronik testleri esnasında kazaları engellemek için motora pervane takılmaz. Motor itki testleri yapılırken koruyucu ekipman (kask, gözlük vb.) kullanılır. Zımpara işlemlerinde havaya karışan tozlardan korunmak için koruyucu maske ve gözlük kullanılır. Kompozit malzeme üretimi yapılırken koruyucu kıyafet, gözlük, maske ve eldiven kullanılır.

10. REFERANSLAR

- [1] Sadraey, M. H. (2012). Aircraft design: A systems engineering approach. John Wiley & Sons. p. 27-28
- [2] Protti, M., & Barzan, R. (2007). UAV Autonomy-Which level is desirable?-which level is acceptable? Alenia Aeronautica Viewpoint. ALENIA AERONAUTICA SPA TORINO (ITALY).
- [3] Nelson R.L. (2018) Effectiveness of Autonomous Decision Making for Unmanned Combat Aerial Vehicles in Dogfight Engagements, 1015.
- [4] Brian, W.E. (2020) Artificial Intelligence Easily Beats Human Fighter Pilot in DARPA Trial. 21 Haziran 2021 tarihinde <https://www.airforcemag.com/artificial-intelligence-easily-beats-human-fighter-pilot-in-darpa-trial/#:~:text=In%20the%20battle%20of%20artificial,20> adresinde erişildi.
- [5] Ge, Z., Liu, S., Wang, F., Li, Z., & Sun, J. (2021). YOLOX: Exceeding YOLO series in 2021. arXiv preprint arXiv:2107.08430.
- [6] Nvidia Corporation Santa Clara, NVIDIA TensorRT. 21 Mayıs 2022 tarihinde <https://developer.nvidia.com/tensorrt> adresinden erişildi.
- [7] Wong, K.Y. (2020). Cross Stage Partial Networks. 21 Mayıs 2022 tarihinde <https://github.com/WongKinYiu/CrossStagePartialNetworks> adresinden erişildi.
- [8] Nvidia Corporation Santa Clara, DeepStream SDK. 21 Mayıs 2022 tarihinde <https://developer.nvidia.com/deepstream-sdk> adresinden erişildi.
- [9] Unmanned System Technology, 2011-2022. 21 Mayıs 2022 tarihinde <https://www.unmannedsystemstechnology.com/company/desert-rotor/> adresinden erişildi.