

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

TAKIM ID: 425117
TAKIM ADI: SUFAİ PROJE EKİBİ

AKADEMİK DANIŞMAN: Doç. DR. Şahin YAVUZ

**YAZARLAR: S. İlayda DÜLÜLOĞLU, Burak DELİORMAN, Enes SERT,
H. Tuğçe KARAMAN, Berke ÖNLÜ, Barış SAHİLLİ, İhsan SAĞLAM,
Ege YAVUZCAN, Dilara AKKUŞ, İ. Emre GÜMÜŞ**



SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

İçindekiler

1.TEMEL SİSTEM ÖZETİ.....	3
1.1 Sistem Tanımı	3
1.2 Sistem Nihai Performans Özellikleri.....	5
2. ORGANİZASYON ÖZET	5
2.1 Takım Organizasyonu	5
2.2 Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe	6
3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ	7
3.1 Nihai Sistem Mimarisi	7
3.2 Alt Sistemler Özeti.....	10
3.3.Hava Aracı Performans Özeti	13
3.4.Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı.....	15
3.5.Hava Aracı Ağırlık Dağılımı.....	17
4. OTONOM KİLİTLENME	17
4.1 Kamikaze İHA Görevi	18
4.2 Savaşan İHA Görevi	19
4.2.1 Kilitlenme Hedefinin Belirlenmesi	19
4.2.2 Görüntü Üzerinde Hedef Tespiti ve Takibi.....	20
4.2.2.1 Nesne Tespiti	20
4.2.2.2 Nesne Takibi.....	23
4.2.2.3 Nesne Takip ve Tespit Algoritmasının Çalışma Şeması	25
4.2.3 Fiziksel Otonom Takip	28
5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME.....	28
5.1 Hava Aracı İçerisindeki Haberleşme.....	29
5.2 Hava Aracı – Yer Kontrol Ünitesi Haberleşmesi	29
5.3. Sunucu ile Haberleşme.....	30
6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI.....	30
6.1 Görüntü ve Kontrol Paneli	31
6.2 Canlı Harita Ekranı	31
7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU.....	32
7.1.Yapısal Entegrasyon.....	32
7.2. Mekanik Entegrasyon.....	35
7.3.Elektronik Entegrasyon	36
8. TEST VE SİMÜLASYON	39
8.1.Alt Sistem Testleri	39
8.1.2 Kilitlenme Testi	39
8.1.3 Haberleşme Testi	40
8.1.4 Kanat Yükü Testi	40
8.1.5 İtki Testi.....	41
8.1.6 Pervane Ucu Hava Hızı Testi.....	42
8.1.7 Pervane Balans Testi.....	42
8.2 Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi.....	42
8.2.1 Uçuş Testi	42
8.2.2 Uçuş Kontrol Listesi	43
9. GÜVENLİK	46
10.REFERANSLAR	47

1.TEMEL SİSTEM ÖZETİ

1.1 Sistem Tanımı

2022 TEKNOFEST Savaşan İHA yarışmasının gereklilikleri; üstün aerodinamik kabiliyet, gelişmiş yapay zekâ destekli yazılımlar ile rakip uçaklara ve yer hedefine otonom olarak angaje olmak; diğer hava araçlarının kilitlenmesi durumunda kaçınma manevraları yapabilecek bir sistem tasarlamaktır.

SUFAI Proje ekibi tarafından geliştirilen SAFDER Savaşan İHA için bu gereklilikler göz önünde bulundurularak, havada kalma süresi ve faydalı yük kapasitesi gibi avantajları nedeniyle mini talon model uçağı seçilmiştir.

SAFDER Savaşan İHA'nın, tespit ve takip algoritmasının daha yüksek fps ve doğruluk ile çalışması aynı zamanda işlem gücünü artırmak amacıyla algoritmanın yer kontrol ünitesi üzerinde çalıştırılmasına karar verilmiştir. Böylece hava aracından alınan konum, irtifa, yatış açısı, hava hızı gibi bilgileri iletişim sistemimiz aracılığı ile yer kontrol istasyonuna aktarılır. Yer kontrol istasyonunda işlenen bilgiler, eş zamanlı olarak sunucuya gönderilir. Yer kontrol istasyonu görev algoritmasının detaylı açıklaması 3.4 alt sistemler özeti başlığı altında verilmiştir.



Şekil 1: Sistem Tanımı ve Özeti Sistem Şeması

Hava Aracı bileşeni: Haberleşme Sistemi, Güç Sistemi, Uçuş Kontrol Sistemi, Sensör Sistemi, Aktüatör Sistemi ve İtki Sistemi olmak üzere 6 alt sistemden oluşmaktadır.

Sensör Sistemi: İnsansız hava aracını stabil uçabilmesi için uçuş kontrol kartının; uçağın konum, hız, irtifa, açı vb. parametrelerini bilmesi gerekmektedir. Bu veriler, uçuş kontrol kartına sensörler tarafından aktarılmaktadır. Uçuş kontrol kartının üzerinde **3 adet imu 2 adet barometre ve 1 adet de magnometre** bulunmaktadır. Bu sensör grubu dış etkilerden korunmak ve sistemi aşırı titreşimden izole edebilmek için sıcaklığı kontrol edilen özel bir muhafazanın içerisinde konumlandırılmıştır. Kullanılan GPS dahili konum çipi, harici **1 adet magnometre** ve **1 adet imu** da bulunmaktadır. Bu sensörlerden aldığı veriyi uçuş kontrol kartına aktarmaktadır. Uçağın hava hızını ölçmek için pervanenin oluşturduğu hava akışından etkilenmeyecek bir konuma yerleştirilmiş bir pitot tüpü bulunmaktadır.

Aktüatör Sistemi: Yapılan hesaplamalar sonucunda elevatörlerin ve aileronların maksimum tork gerekliliği saptanmıştır. Telemetri ve ortamdaki diğer sinyallerden etkilenmemesi için analog servo kullanılması uygun görülmüştür. Bu doğrultuda ruddervator ve aileronlarda da Metal Dişli Analog Servo kullanılmıştır.

İtki Sistemi: Yapılan akış analizleri sonucunda hava aracının sürüklelenmesi hesaplanmış; bu değer ve gereken hız, uçuş süresi baz alınarak eCalc üzerinden uygun motor, pervane, ESC ve pil kombinasyonu seçilmiştir.

Uçuş Kontrol Sistemi: Yüksek işlemci frekansına sahip ve daha hassas ölçümler yapan üç yedekli imu sensör sisteminden aldığı veriler ve uçağın konum, hız, irtifa bilgilerine göre otonom kalkış, uçuş ve kilitlenme sağlayan uçuş kontrolcüsü kullanılmıştır.

Güç Sistemi: Yapılan analizler sonucu hava aracının ihtiyaç duyduğu hız ve uçuş süresini sağlayacak batarya seçilmiştir. Uçuş kontrol kartına güç sağlamak ve pilin anlık akım ve voltaj bilgisini ölçebilmek için bataryanın çıkışına uçuş kontrol kartına uyumlu voltaj ve akım sensörü yerleştirilmiştir. Ayrıca Servo sensör ve haberleşme sisteme güç sağlamak için 2 adet voltaj regülatörü kullanılmıştır.

Haberleşme Sistemi: Nesne tespit ve takip algoritmaları yer kontrol ünitesi üzerinde çalıştırıldığından dolayı, uçak üzerinden gelen görüntünün gecikmesiz olarak yer kontrol istasyonuna aktarılması ve tespit algoritmasından gelen takip komutlarının eş zamanlı olarak uçuş kontrol kartına aktarılması gerekmektedir. Bu nedenle telemetri iletimi ve görüntü aktarımı yüksek bant genişliğine sahip düşük gecikmeli Wi-Fi iletişim sistemi üzerinden sağlanacaktır.

Yer istasyonunda Wi-Fi telemetri sisteminde kullanılmak üzere mini bilgisayar ve buna bağlı 2 adet Wi-Fi modülü kullanılmıştır. Hava aracında ise kontrol kartından alınan bilgileri işleyen mini bilgisayar ve Wi-Fi modülü kullanılmıştır. Telemetri sinyallerinin daha uzun menzilli ve daha yüksek penetrasyona sahip olması için yer istasyonunda ve hava aracında WiFi sinyal güçlendirici de kullanılmıştır.

Hava aracının gerektiğinde manuel müdahale edebilmesi için RC kumanda ve kumandaya uyumlu uzun menzilli alıcı ve verici sistemine yer verilmiştir.

Yer kontrol istasyonu ; Görev Kontrol Sistemi, Kontrol Arayüz Sistemi, Kumanda Kontrol Sistemi olmak üzere 3 alt sistemden oluşur.

Görev Kontrol Sistemi: Savaşan İHA ve Kamikaze İHA görevlerinin gerçekleştirileceği yer kontrol ünitesine bağlı bir görev kontrol sistemi tasarlanmıştır. Görev kontrol sisteminin amacı, iki ana görevi gerçekleştirmek için gereken bilgisayarlı görüş algoritmalarını ve fiziksel otonom takip için gerekli hesaplamları yapmaktadır. Görev kontrol sistemi bir adet ana görev bilgisayarı, bir adet yardımcı haberleşme sistem bilgisayarı ve haberleşme modüllerinden oluşmaktadır. Bilgisayarlı görüş algoritmaları yüksek işlem gücü gerektirdiği için ana görev bilgisayarında yüksek işlem kapasitesine sahip bir grafik işlem birimi(GPU) ve merkezi işlem birimi(CPU) tercih edilmiştir.



Sekil 2 Görev Kontrol Sistemi

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Kontrol Arayüz Sistemi: Müsabaka esnasında SAFDER İHA'ya müdahale edebilmek, anlık olarak verilerini görebilmek ve canlı müsabaka takibi yapabilmek için bir kontrol arayüz sistemi oluşturulmuştur. Kontrol arayüz sistemi bünyesinde yer kontrol istasyonu ve kullanıcı arayüzü bulunmaktadır.

Kumanda Kontrol Sistemi: Müsabaka esnasında herhangi bir nedenden dolayı manuel müdahale edebilmek için kumanda kontrol sistemi kullanılmaktadır. Sistem bünyesinde kumanda alıcısı, kumanda ve sinyal antenleri bulunmaktadır.

1.2 Sistem Nihai Performans Özellikleri

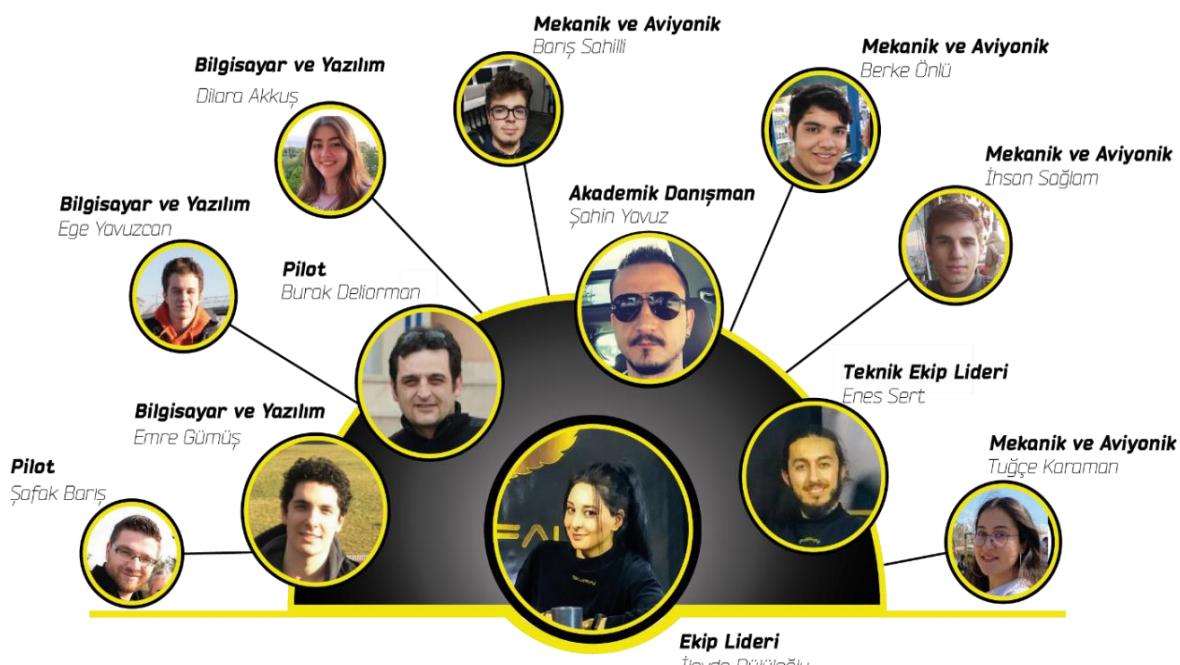
Yapılan fayda zarar hesaplamaları ve risk analizleri sonucunda Ön Tasarım Raporunda belirtilenin aksine; güvenilirliği ve performansı kanıtlanmış, yarışma ihtiyaçlarını karşılayan hazır bir platformun kullanılması uygun görülmüştür. Kritik tasarımda geliştirilen analizler sonucunda, sistemin nihai performans özellikleri şekil 2 de belirtilmiştir.

YAPI	HABERLEŞME	UÇUŞ	
■ Kanat Alanı	30 dm ²	■ Uçuş Süresi	58 dk
■ Kanat Açıklığı	1300 mm	■ Görev Yarıçapı	21.15 km
■ Kanat Profili	E 205	■ Uçuş Menzili	45 km
■ Kuyruk Alanı	5 dm ²	■ Frekans	2.4-5.8 GHz
■ Kuyruk Uzunluğu	200 mm	■ Çıkış Gücü	3000 mW
■ Kuyruk Profili	NACA 0008	■ Anten Sayısı	6 adet
■ Uzunluk	830 mm		
■ Faydalı Yük Kapasitesi (kg)	1000 g		
■ Uçuş Ağırlığı	2500g		
■ Boş Ağırlık	1000 g		

Şekil 3 Uçak Genel Özellikleri Tablosu

2. ORGANİZASYON ÖZET

2.1 Takım Organizasyonu



Şekil 4 SUFAI Proje Ekibi Takım Organizasyonu

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Mekanik ve avyonik ekibi, iş bölümlerine göre kendi içinde 3 alt gruba ayrılmıştır;

Üretimden sorumlu ekip, model uçağın parçalarının bütünlendirilmesi, uçağın uçuş öncesinde ve sonrasında bakımı; avyonik elemanlarının denetimi ve uçak içerisinde avyonik elemanlarının yerleştirilmesinde görev alır. Uçağı uçuşa hazırlar.

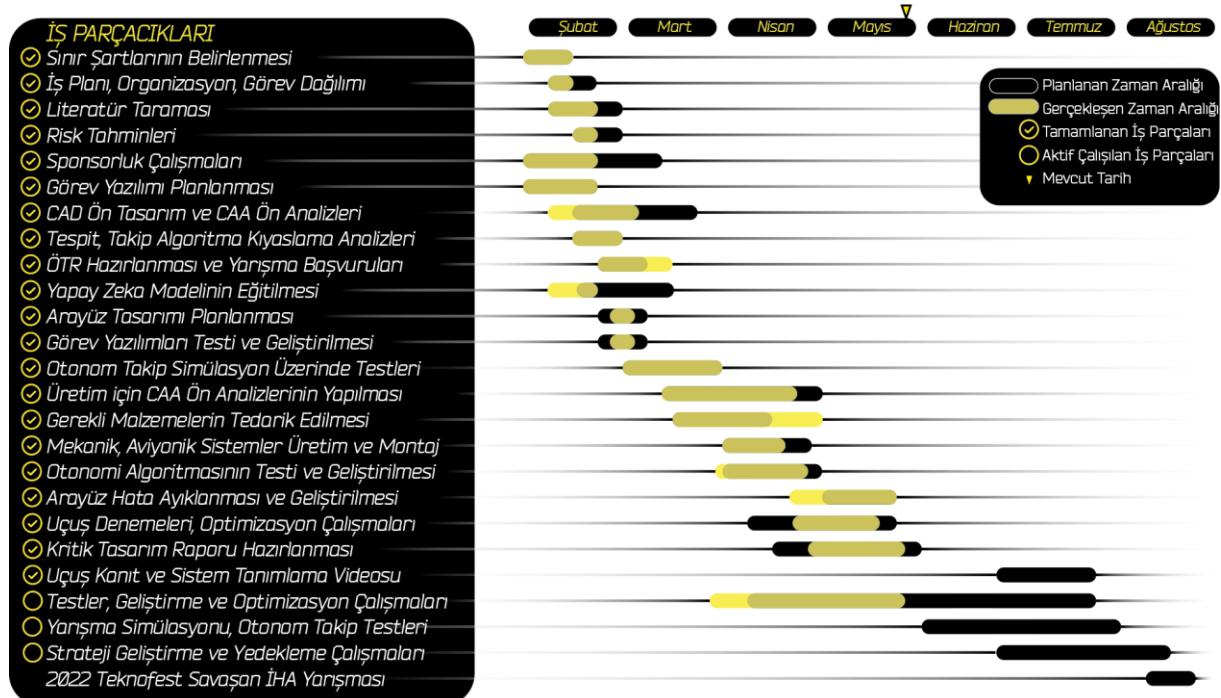
Aerodinamik tasarımdan sorumlu ekip, uçağın yarışma doğrultusunda sahip olması gereken manevra kabiliyeti, uçağın sahip olması gereken hacmi göz önünde bulundurarak model uçağın seçiminde görev alır. Seçilen uçağı, akış analizi ve diğer testler için üç boyutlu modeller. Analiz ve test ekibinden alınan geri dönüşlere göre tasarımında düzenlemeler yapar.

Analiz ve testlerden sorumlu ekip, tasarım üzerinde Ansys üzerinden akış analizi yapar. Uçağın üretimi sonrasında kanat yükü testi ve itki testinde rol alarak uçağın uçuşa ve görevlere hazır olup olmadığına karar verir. Bu doğrultuda aerodinamik tasarım ekibine geri bildirimde bulunur.

Bilgisayar ve yazılımdan sorumlu ekip, yarışma dahilinde gerçekleşmesi gereken tüm yazılımsal ve çeşitli bilgisayar kaynaklı görevlerden sorumlu ekipdir.

Savaşan İHA ve Kamikaze İHA görevleri için gerekli bilgisayarlı görü yazılımları ve otonom uçuş yazılımlarını hazırlar. Haberleşme bünyesi kapsamında yarışma esnasında sunucu ile haberleşme yazılımlarını ve İHA-Yer Kontrol ünitesi arası gerekli haberleşme yazılımlarını hazırlar. Görev Kontrol arayüzü tasarılar, görev için sistem konfigürasyonlarını dizayn eder, yazılımsal ekipman seçimini yapar ve ana görev sistemleri tasarılar.

2.2 Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe



Şekil 5 SUFAI İş Akış Çizelgesi

Savaşan İHA yarışmasının amaçlarını karşılamak için tasarım gereksinimlerinin tespiti; önceki yıllarda edinilen bilgi ve tecrübeler de göz önünde bulundurularak yarışma şartnamesi

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

ve çeşitli bilimsel literatürlerin taranması ile yapılmıştır. Tespit edilen gerekli uçuş süresi, hız, taşıma kapasitesi ve manevra yeteneklerini karşılayacak olan tasarım seçilmiştir.

Uçağın tasarımına karar verildikten sonra ekip envanterinde bulunan malzemeler ve alınması gereken malzemelerin listesi yapılmıştır. Bu malzemelerin tedarik edilmesi ile beraber uçağın yapısal ve elektronik montajı yapılmıştır.

Uçağın üzerinde detayları 8. Test ve Simülasyon' da verilecek olan analiz ve testler yapılmış, bu doğrultuda gereken iyileştirmeler saptanmıştır. Gerek tasarımında gerek de mekanik ve elektronik elemanların seçiminde değişikliğe gidilmiştir. Tasarımda, model uçağa eklenmesi gereken parçaların üç boyutlu çizimleri yapılmış ve üretimi sağlanmıştır. Mekanik ve elektronik elemanların seçiminde; itki testi yapılmış ve uçağın gereken itki gücüne sahip olup olmadığına göre elemanların bakımı ve değişimi sağlanmıştır.

Malzeme Türü	Malzeme Adı	Adet	Maliyet
Model Uçak	X-UAV Mini Talon	1	2555₺
Fırçasız Motor	Sunnysky X2814 III 1100kv	1	1058₺
Kanat Servo Motor	Emax ES3004	2	276₺
Kuyruk Servo Motor	Emax ES08MAII	2	222₺
Voltaj Regülatörü	Henge 8A	2	48₺
Fırçasız Motor Regülatörü	Skywalker 80A	1	728₺
Uçuş Kontrolcüsü	Pixhawk The Orange Cube	1	6667₺
GPS	Here 3	1	3100₺
Görev Bilgisayarı	Raspberry Pi 4B 4GB	1	3220₺
Yer İstasyon Bilgisayarı	Monster Tulpar T5	1	29600₺
Kumanda Sistemi	Frysky horus X12	1	7610₺
Balans Şarj Aleti	Turnigy MEGA 400Wx2	1	2412₺
Pervane	APC 9*6	1	90₺
HD Kamera	Pi Kamera V2	1	600₺
İHA Batarya	Sony VTC 6	12	1800₺
Wi-Fi Haberleşme Modülü	Alfa AWUS036ACH	2	3000₺
Monitör	Philips 23,8 241V8L/00	2	5112₺
Anten	Özel Yapım	4	1850₺
Yer İstasyonu Bataryası	Molicel INR-21700	12	2120₺
Hava Hız Sensörü	APM Pixhawk Pitot Tüpü	1	1380₺
Elektronik Malzemeler	Kablo,konnektör,lehim vb.	1	1500₺
Toplam Malzeme Maliyeti			74948₺

Şekil 6 SUFAI Bütçe Planlaması

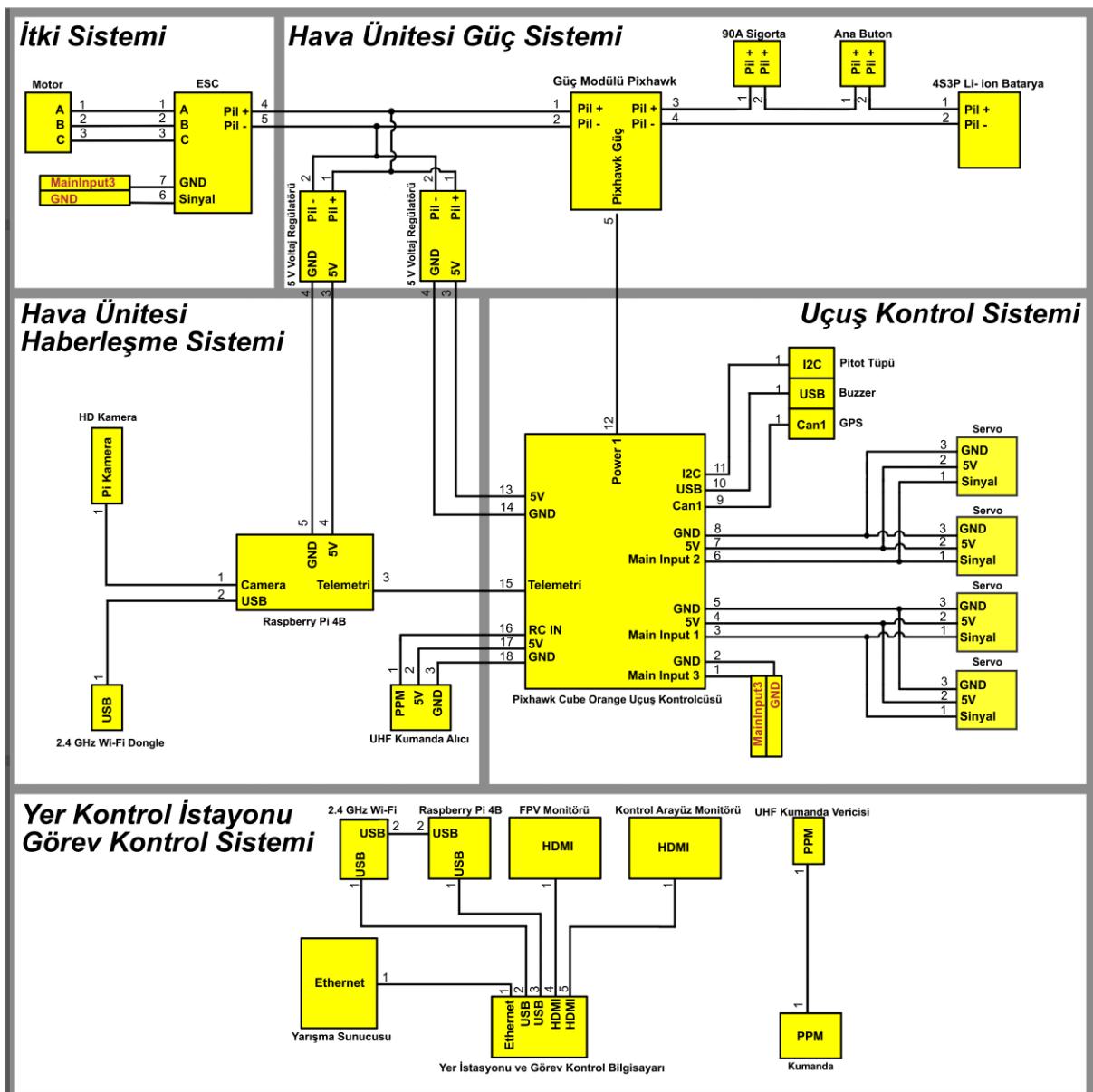
Ön Tasarım Raporu'nda belirtilen 75060 TL'lik tahmini bütçe yaklaşık 100 TL'lik fark olduğu gözlenmektedir. Bu fark; hazır uçak kullanımına karar verilmesi, bununla beraber motor, pil gibi bileşenlerin değişmesi ve üretim için gereken yapısal malzemelerin çıkarılmasından kaynaklanmaktadır.

3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ

3.1 Nihai Sistem Mimarisi

Üretim aşamasında oluşabilecek uyumsuzluklar, bağlantı sorunları gibi durumları önceden görebilmek için sistem öncelikle Altium programı üzerinden planlanmıştır

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 7 SUFAI SAFDER Savaşan İHA Sistem Mimarisi

İtki sisteminde kullanılmak üzere 1 adet **SunnySky 2814 1100KV** fırçasız motor, motor sürücüsü olarak 1 adet olarak **SkyWalker 80 A ESC** bulunmaktadır.

Hava Ünitesi Güç Sisteminde servo iletişim modülleri ve diğer 5V ihtiyacı duyan komponentler için 2 adet **LM2596 UBEC**, uçuş kontrol bilgisayarına güç verebilmek için **Pixhawk güç modülü**, akım koruması sebebiyle yerleştirilmiş 1 adet **70 A sigorta** araç dışından hızlı bir şekilde gücün kesilmesini/açılmasını sağlayan **akım kesici**, hava aracı ana güç ünitesi sistemin ana enerji ihtiyacını karşılayan 1 adet **4S3P 9000 mAH vtc6 18650 Li-Ion pil** kullanılmıştır.

Hava Ünitesi Haberleşme Sistemi için 1 adet **Raspberry Pi 4B**, gereksinimler doğrultusunda modifiye edilmiş 1 adet **Pi Camera V2**, 1 adet **Alfa AWUS036ACH** ve 2000

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

mW'lık **Wi-Fi sinyal güçlendirici** içerir. Hava aracının manuel hareketlerinin kontrolü için uzun menzilli **MFDFLink 433 Mhz UHF Alıcı-verici** kullanılmıştır.

Uçuş kontrol sisteminde uçağın otonom hareketlerinden sorumlu, kendi içerisinde bulundurduğu barometre, altimetre, pusula gibi sensörlerden ve harici olarak sisteme hava hızı bilgisi için eklenen hava hızı sensörü gibi duyargalardan gelen verileri okuyan ve eyleyicilere gerekli sinyalleri göndererek uçağı kontrol eden 1 adet **Pixhawk the Orange Cube** uçuş kontrol bilgisayarı; sisteme hava hızını okumak için 1 adet **Pitot Tüpü**, sistem durumunun dinlenmesi için 1 adet **buzzer**, hava aracının yer bilgisini hesaplayıp sisteme aktarmak için 1 adet **Here3 GPS** bulundurmaktadır. Güvenilirlik ve fiyat analizleri sonucunda ruddervatorde **Emax ES08MAII Metal Dişli Analog Servo**, aileronlarda da **Emax ES3004 Metal Dişli Analog Servo** kullanılmıştır.

Yer Kontrol İstasyonu Görev Kontrol Sisteminde tespit ve takip algoritmalarının çalıştırılması, telemetri üzerinden gelen verilerin işlenmesi ve arayüz üzerinden verilen komutların telemetri üzerinden uçağa gönderilmesini sağlamak için yüksek performanslı 1 adet **Monster Tulpar T5 V21.7** görev kontrol bilgisayarı kullanılmıştır. Yer istasyonunda Wi-Fi telemetri sisteminde kullanılmak üzere **Raspberry Pi 4B** ve buna bağlı 2000 mW'lık Wi-Fi sinyal güçlendirici ile desteklenmiş 2 adet **Alfa AWUS036ACH** bulunmaktadır.

Diğer model uçaklarla yapılan karşılaştırma sonucunda tabloda da görüldüğü üzere özellikle uçuş süresi ve ulaşılabilirliği karşıladığı için X-UAV Mini talon seçilmiştir.

UÇAK MODELLERİ	MINİ TALON	TALON PRO	SONICMODEL SKYHUNTER	MFD CROSSWIND
ÖZELLİKLER ▼				
MANEVRA KABİLİYETİ	3	4	1	2
SEYİR HIZI	4	3	1	2
İÇ HACİM	2	3	1	4
HAFİFLİK	4	2	3	1
ULAŞILABILIRLİK	4	2	3	1
UÇUS SÜRESİ	2	3	1	4
TOPLAM PUAN	19	17	11	14

Şekil 8 X-UAV Mini talon model uçaklarla kıyaslama tablosu

Yarışmada kilitlenen rakip uçaktan kaçış için gereken manevra kabiliyeti ve diğer uçaklara angaje olmak için gereken hız ve uçuş süresini karşılamasıyla beraber uçağın gerekli görevleri yapabilmesi için içinde ve dışında bulundurması gereken aviyonik elemanları barındıracak hacmi ve gerektiği zaman bakımı için kolayca erişim sağlayacak olan tasarımını sebebiyle Mini Talon kullanılmasına karar verilmiştir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

3.2 Alt Sistemler Özeti

Bu başlık altında seçilen alt sistemlerin, yarışmanın amacı doğrultusunda benzer özellikteki bileşenler ile kıyaslanması yapılarak nihai ürünün seçilme nedenleri açıklanmıştır.

Uçuş Bilgisayarı	Pixhawk the Orange Cube	Navio 2	Pixhawk 2.4.8
İşlemci	■ STM32H753		
IMU	■ 1 MB		
Ram	■ 3 adet		
Barometre	■ 2 adet		
Ağırlık (g)	■ 76 g		
Fiyat	■ 6.667₺	■ BCM2837B0	■ STM32F427
		■ 1 GB	■ 128 KB
		■ 2 adet	■ 1 adet
		■ 1 adet	■ 1 adet
		■ 75 g	■ 38 g
		■ 553₺	■ 3028₺

Şekil 9 Uçuş Bilgisayarları Karşılaştırma Tablosu

Görev gereksinimlerinde yapılan analizler sonucunda uçuş bilgisayarının havada oluşabilecek herhangi bir arızaya karşı yedek sensörlerinin bulunması, otonomi yüksek hızlı telemetri gibi yüksek işlem gücü gerektiren işlemleri yapabilmesi gerekmektedir. Yapılan araştırmalar sonucu en öne çıkan 3 uçuş kontrol kartı birçok açıdan karşılaştırılmıştır. Özellikle kıyas tablosu üst kısmında bulunmaktadır. Özellikle sensör sayısı ve uçuş performansı bakımından ön plana çıkmayı başaran Pixhawk The Orange Cube kullanılmasına karar verilmiştir.

Motor	SunnySky X2814 1100 KV	SunnySky X2820 1100 KV	T-Motor AT2826 900kv
Güç (W)	■ 700 W		
Maksimum Akım (A)	■ 55 A		
Ağırlık (g)	■ 108 g		
Gereken Amper*	■ 12A _(9x6)		
Maksimum İtki (g)	■ 2488 g		
Fiyat	■ 671₺	■ 880 W	■ 1100 W
		■ 60 A	■ 57 A
		■ 138 g	■ 175 g
		■ 15,5A _(10x6)	■ 19A _(10x6)
		■ 2633 g	■ 2000 g
		■ 867₺	■ 1627₺

Şekil 10 Motor Karşılaştırma Tablosu

Pervane	9x6	10x6.5	11x6
Uçuş Süresi	■ 58 dk		
Maksimum Hız (km/s)	■ 120 km/s		
İtki	■ 2488g		
1000 g verim	■ 6.6 g/W	■ 54 dk	■ 50 dk
		■ 121 km/s	■ 106 km/s
		■ 2627 g	■ 2900 g
		■ 6.2 g/W	■ 7 g/W

Şekil 11 Pervane Karşılaştırma Tablosu

Uçağın ağırlığı, sürüklendirme katsayısı, kanat özellikleri göz önünde bulundurularak uçağın yarışma esnasında seyir, alçalma, tırmanma ve takip senaryolarında ihtiyaç duyduğu itki kuvvetini en verimli olduğu aralıkta sağlayabilen motor ve pervane kombinasyonu seçilmesine dikkat edilmiştir. Ayrıca yüksek tırmanma hızı, keskin dönüşler, kobra manevrası gibi eylemlerde gereken daha yüksek itki gücünü de karşılamasına dikkat edilmiştir.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Ecalc'den alınan sonuçlar doğrultusunda seçilen kombinasyonlar üzerinden itki testi yapılmış ve motor-pervane markaları ve çeşitlerinin performansı ölçülmüştür. İhtiyaç duyulan gereksinimlere en iyi şekilde(şekilde yerine başka bir kelime lazım) ulaşabilen motor-pervane ikilisi seçilmiştir.



Şekil 12 İtki Testi

ESC	Skywalker 80A	Hobbywing XRotor pro 80A	ZTW Beatles 80A
Ağırlık (g)	■ 82g	■ 118g	■ 82g
Boyut	■ 86 x 38 x 12mm	■ 86 x 42 x 20mm	■ 68 x 37 x 14mm
Anlık Akım (A)	■ 100A	■ 100A	■ 90A
Giriş Gücü	■ 2-6S Li-Po	■ 4-14S Li-Po	■ 2-6S Li-Po
Fiyat	■ 56₺	■ 1500₺	■ 87₺

Şekil 13 ESC karşılaştırma tablosu

Seçilen motor ve pervane kombinasyonunun test düzeneğinde farklı senaryolar oluşturularak testler yapılmıştır. Hafiflik, boyut, dahili bec devresi ve 4S pil desteği de göz önünde bulundurularak maksimum amper değerine göre; ayrıca SUFAİ envanterinde de bulunduğu için Skywalker ESC seçilmiştir.

Kamera	Modifiye edilmiş Pi Kamera v2	Pi Kamera v2	Lagitech C922 Pro
Çözünürlük	■ 1080p	■ 1080p	■ 1080p
Gecikme	■ ~200ms	■ ~200ms	■ ~800ms
Ağırlık (g)	■ 3 g	■ 3 g	■ 162 g
FPS	■ 30fps	■ 30fps	■ 30fps
Fov	■ 160°	■ 60°	■ 78°
Fiyat	■ 96₺	■ 633₺	■ 176₺

Şekil 14 Kamera karşılaştırma tablosu

Ağırlık ve fiyat göz önünde bulundurularak nesne tespit ve takip için yeterli çözünürlükte, düşük ağırlığa sahip ve düşük gecikmeye sahip kameralarlaştırılmıştır. Özellikle düşük gecikmesi ve yeterli çözünürlük performansından dolayı Pi Camera V2 avantajlı bulunmuştur. Ayrıca tek bir kamera ile daha geniş açıda nesne tespiti ve takibi yapabilmek için Pi Camera V2 modifiye edilerek daha iyi bir sensör ve daha geniş açılı bir lens takılmıştır. Bu sayede çok yüksek açıda çalışarak nesne tespit ve takip algoritmasına avantaj sağlayacaktır.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

GPU	RTX 3070 max-p	RTX 3080Ti	RTX 3060	CPU	i7 11800h	R7 5800h	i5 11400h
Bellek boyutu/ Tipi	8GB/GDDR6	16GB/GDDR6	6GB/GDDR6	CPU Frekansı	4.60 GHz	4.40 GHz	4.50 GHz
Bellek Hızı	1620 MHz	1590 MHz	1702 MHz	Çekirdek Sayısı	8	8	6
Cuda Version	11.6	11.6	11.6	Ön Bellek	24 MB	16 MB	12 MB
Bant genişliği	256 bit	256 bit	192 bit	Mimari	10 nm	7 nm	10 nm
CUDA Çekirdekleri	5888	7426	3584				
Compute Capability	8.6	8.6	8.6				
Fiyat	29150₺	66500₺	24399₺				

Şekil 15 Görev Bilgisayarı Karşılaştırma Tablosu

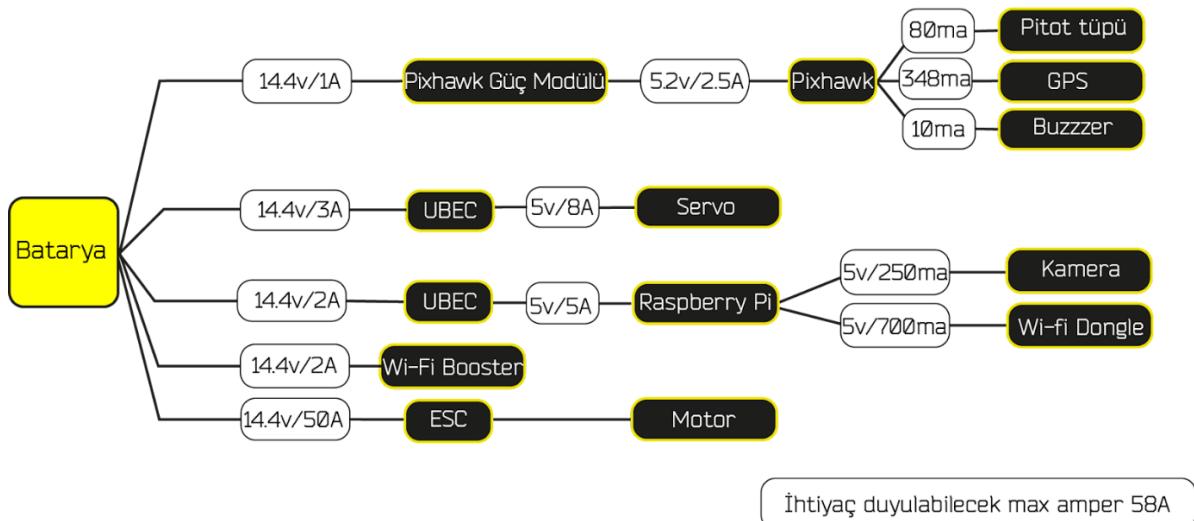
Bilgisayarlı görü algoritmalarının ve fiziksel otomatik takip için gerekli hesaplamaların yapıldığı görev kontrol ünitesi için kullanılması planlanan modüller kendi içlerine detaylı bir şekilde kıyaslanmıştır. Görev algoritması performansını etkileyen en önemli 2 modülün kıyaslama tablosu yukarıdaki şekilde görülmektedir. Grafik işlemci için piyasadaki en yüksek işlem kapasitesine sahip ekran kartları kıyaslanmıştır. Tabloda yer alan ekran kartlarının hepsinin yeterince işlem kapasitesine sahip olmasından dolayı fiyat etkenine bağlı olarak RTX 3070 Max-P seçilmiştir. Ana işlemci ünitesi olarak ise yüksek performans ve fiyat parametrelerine bağlı olarak İ7-11800h işlemci ünitesi seçilmiştir. Görev kontrol ünitesinde çalışacak olan modüllerinin yüksek performans vermesi bilgisayarlı görü algoritmalarının daha yüksek performansta çalışmasını sağlayacaktır.

Önceki yıllarda edinilen tecrübeler doğrultusunda uçuş öncesi bekleme süresinde ve uçuş anında harcanan güç miktarı hesaplanmıştır, bu doğrultuda gerekli pil kapasitesi belirlenmiştir. Bundan yola çıkarak farklı pil türleri ile pil paketleri oluşturulup karşılaştırmalı tablo yapılmıştır. Tabloda da belirtildiği üzere güç ağırlık oranı, hafiflik ve boyut avantajı nedeniyle Lityum-Ion piller öne çıkmaktadır.

Batarya	Sony vtc6 18650	Molicel INR-21700-P42A	Tattu 10.000mah Lipo 4.8V 25C
Konfigürasyon	4S3P	4S2P	4S1P
Kapasite	9000mah(3x3000mah)	8000mah(4000x2mah)	10000mah
Ağırlık	582gr (12x48.5g)	560g (8x70g)	930 g
Boyut	73x54x65mm	136x30x70mm	177x65x38.8mm
Pil Türü	Lityum İon	Lityum İon	Lityum Polimer
Güç ağırlık oranı	0.228Wh/kg	0.211Wh/kg	0.159Wh/kg
Sağlayabildiği sürekli akım	90A (3x30A)	90A (2x45A)	250A
Fiyat	1248₺ (12x104₺)	1408₺ (8x176₺)	4622₺

Şekil 16 Batarya Karşılaştırma Tablosu

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 17 Akım Dağılım Tablosu

Akım tablosunda da belirtildiği üzere uçuş anında maksimum 90 ampere kadar akım gerekebilmektedir. Batarya paketlerinin sağlayabildiği sürekli akım değerleri nedeniyle 4S3P 9000 mAH vtc6 18650 Lityum-Ion pillerle, profesyonel kişiler tarafından hazırlanmış, batarya paketleri kullanılmıştır.

3.3.Hava Aracı Performans Özeti

Önceki senelerde edinilen tecrübeler, yapılan hesaplamalar, analizler ve testler sonucunda müsabaka turunun tamamında havada kalabilecek itki sisteme sahip olduğu belirlenmiştir. Hava aracının itki sistemi ile alakalı gerekli olan hesaplama ve analiz sonuçları bu alt başlık altında detaylı olarak açıklanmıştır.

1. Durum	Ort.Amper(A)	2. Durum	Ort.Amper(A)
Pixhawk Güç Modülü	1A	Pixhawk Güç Modülü	1A
Raspberry Pi	2A	Raspberry Pi	2A
Wi-Fi Booster	2A	Wi-Fi Booster	2A
Servo x4	0.5A	Servo x4	2A
Motor	-	Motor	14A

Şekil 18 Çekilen Amper Değerleri Tablosu

$$\frac{mAh \text{ Değeri}}{1000 * \text{Akım}} = \text{Uçuş Saati}$$

Bir müsabaka turu iki durum altında incelenmiştir;

Yarışma öncesinde bağlantı yapılanca kadar geçen süre ve kalkışa kadar olan bekleme sürecinin (1.Durum) ortalama 20 dakika süreceği tahmin edilmiştir ve tabloda verilen akım değerleri de hesaplanarak havalandırma sürecinde harcanan toplam akım miktarı bulunmuştur.

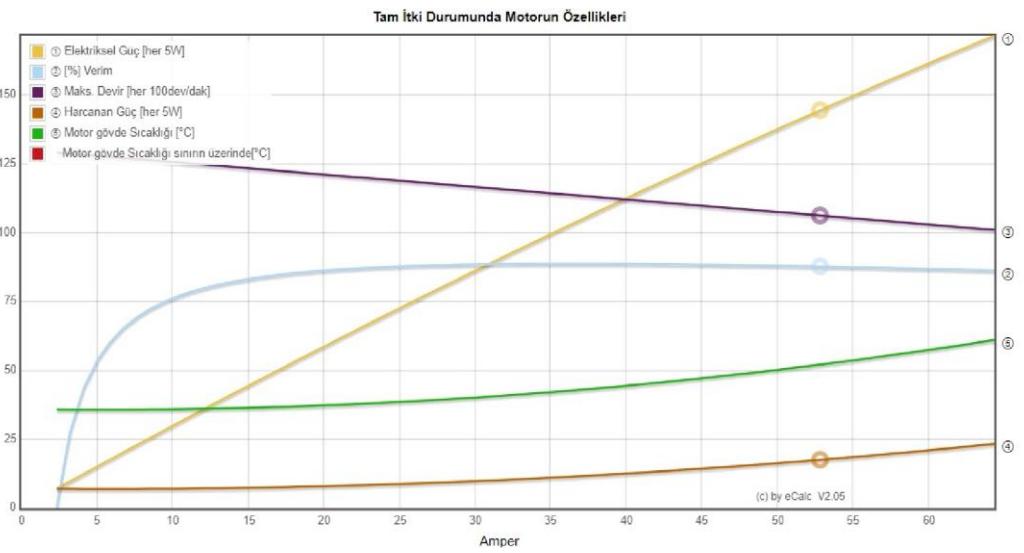
SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Hava aracının uçuşu esnasında (2.Durum) çekilen akım hesaplanmış ve bu doğrultuda yaklaşık 21 dakika uçuş sağlanabildiği sonucuna varılmıştır. Bu değer, 15 dakika olan müsabaka süresi için yeterlidir.

Pervane dev/dak	İtki %	Akım (DC) A	Gerilim (DC) V	Elektriksel Güç W	Verim %	İtki g	İtki g/W	Yunuslama Hızı km/h	Hız (Seviye) km/h	Motor Çalışma Süresi (90%) dakika
1600	13	0.3	15.3	4.5	49.4	71	2.5	16.0	0.56	2203.0
2400	19	0.7	15.2	11.0	67.5	161	5.7	14.6	0.51	891.0
3200	26	1.5	15.2	22.9	77.2	288	10.1	12.5	0.44	429.1
4000	32	2.8	15.2	41.8	82.4	446	15.7	10.7	0.38	233.9
4800	39	4.6	15.1	69.8	85.3	643	22.7	9.2	0.32	139.6
5600	46	7.3	15.1	108.7	87.0	875	30.9	8.0	0.28	89.1
6400	54	10.8	15.0	160.6	87.9	1143	40.3	7.1	0.25	59.9
7200	61	15.5	14.9	227.6	88.3	1446	51.0	6.4	0.22	41.9
8000	69	21.4	14.7	311.6	88.5	1785	63.0	5.7	0.20	30.2
8800	78	29.0	14.5	414.8	88.5	2160	76.2	5.2	0.18	22.4
9600	87	38.4	14.2	539.4	88.3	2571	90.7	4.8	0.17	16.9
10400	97	50.0	13.9	687.7	88.1	3017	106.4	4.4	0.15	13.0
10594	100	53.6	13.8	732.0	87.7	3131	110.5	4.3	0.15	12.1

Şekil 19 eCalc Analiz Sonuçları Tablosu

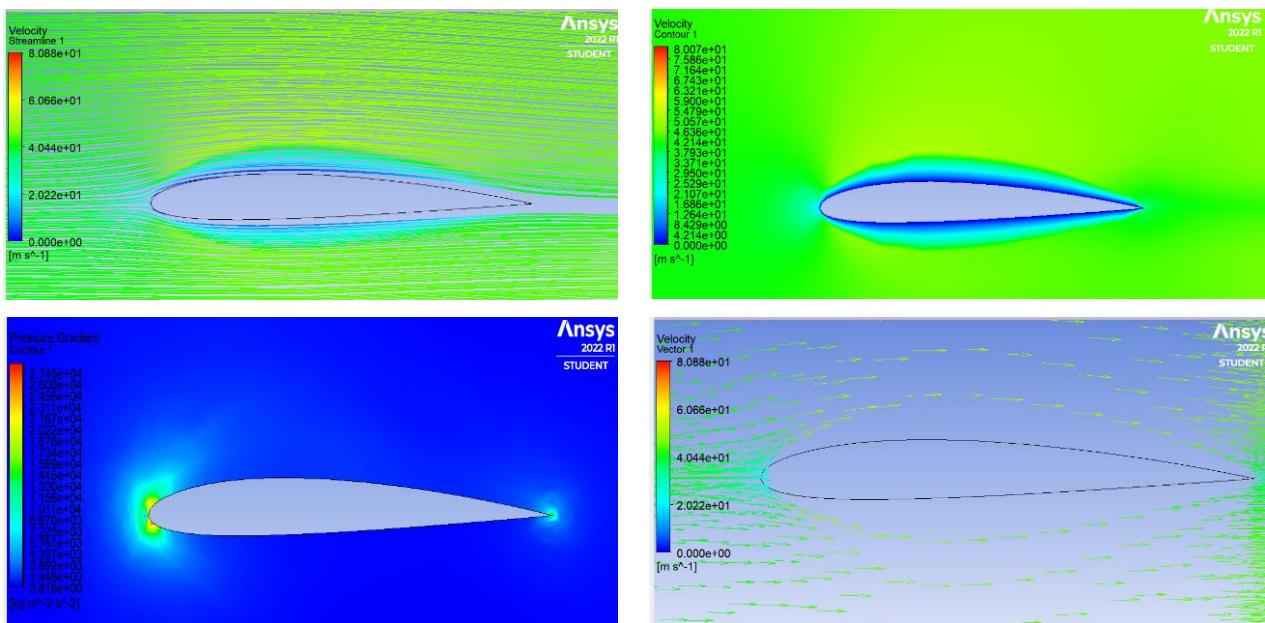
3.2 Alt Sistemler Özeti başlığı altında verilen motor/pervane kombinasyonunun, Ecalc programı üzerinden analizleri yapılmıştır. Böylece SAFDER insansız hava aracı; istenilen hız, istenilen miktarda itki ile ulaşmıştır. Bu kombinasyonun verimi SUFAI Proje Ekibi tarafından üretilmiş olan itki sistemi test düzeneği üzerinde yapılan deneylerle doğrulanmıştır. 8.1. Başlıklı Alt Sistem Testleri kısmında test düzeneğine ve test verilerine yer verilmiştir. Hava aracının itki sistemi ile alakalı gerekli olan Ecalc hesaplama ve analiz sonuçları *Şekil 18 eCalc Analiz Sonuçları Tablosu* üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 20 eCalc Analiz Grafiği

Düşük türbülans ve sürüklendirmeye sahip olan Mini talon model uçağının Ansys programı üzerinden kanat profili akış analizi yapılmıştır.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 21 Ansys Akış Analizi

Ansys üzerinden yapılan hesaplamaları teyit etmek amacıyla kaldırma kuvveti hesaplanmıştır ve aynı sonuç bulunarak onaylanmıştır.

SUFAİ Proje Ekibi; yarışma amaçlarını karşılayacak model uçak ve gerekli itkiyi sağlayacak elemanları seçeरken hesaplanan sürüklendirme kuvveti, yukarıdaki formüllerden yararlanılarak hesaplanmıştır ve bu hesaplamalar göz önünde bulundurarak karar vermiştir.

$$\text{Kaldırma Kuvveti} = \frac{1}{2} * C_l * \rho * v^2 * s$$

$$\text{Sürüklendirme Kuvveti} = \frac{1}{2} * C_d * \rho * v^2 * s$$

C_l = Kaldırma Katsayı

C_d = Sürüklendirme Katsayı

ρ = hava yoğunluğu

v = hareket hızı

s = kanat alanı

$$v = \sqrt{\frac{L * 2}{C_l * \rho * s}}$$

3.4.Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı

Ön Tasarım Raporunda belirtilenin aksine, yarışma amaçlarını karşılayabilecek mini talon model uçağı kullanılmasına karar verilmiştir. Mini talon model uçağı 1300 mm'lik kanat açıklığına 830 mm'lik uzunluğa sahiptir. Kanat alanı ise 30 dm^2 'dir. Hava aracının güvenliği için, sigorta kolayca ulaşılabilen şekilde konumlandırılmıştır. Tüm alt sistemlerin araç içi yerleşimleri SUFAİ SAFDER Savaşan İHA Şeffaf Görünüm de verilmiştir.

Pixhawk Uçuş Kontrol Bilgisayarı, içerdiği imu sensörlerinin daha hassas ölçüm yapabilmesi için ağırlık merkezine hem dikeyde hem yatayda olabildiğince yakın ve herhangi bir kaza kırımı esnasında en az etkilenebileceği bir konuma yerleştirilmiştir.

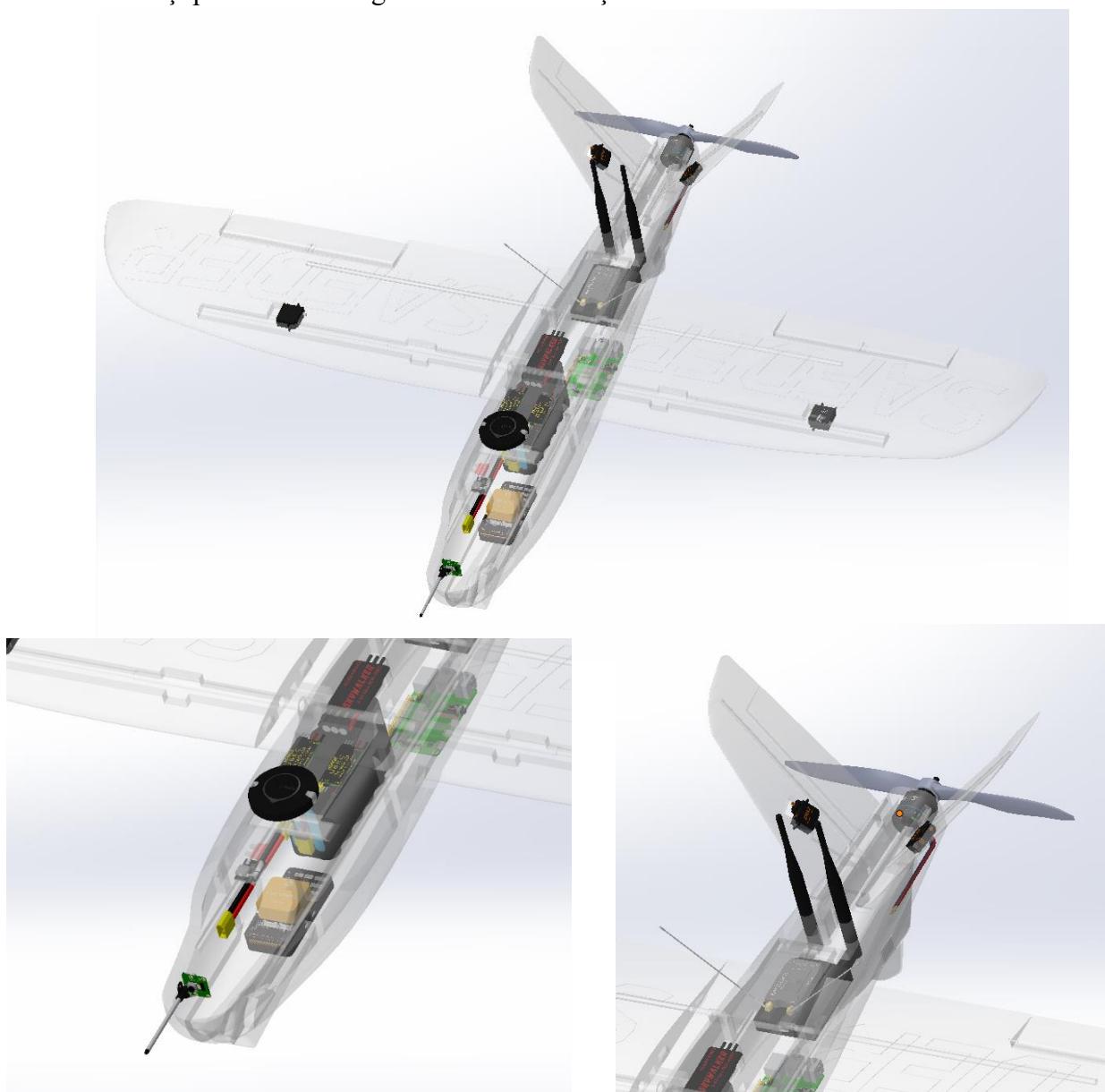
SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

ESC ve voltaj regülatörleri ile yakın olduğunda yaydığı elektronik gürültü, başta magnometre olmak üzere sensörlerin ölçümünü etkiler. Bu yüzden ESC ve voltaj regülatörleri birbirlerine uzak olacak şekilde konumlandırılmıştır. Ayrıca konumlandırırken çalışma esnasında ısınıp zarar görmemesi için uçağın içindeki havalandırma noktasına yakın olması uygun görülmüştür.

Oluşabilecek bu elektronik gürültüden kamera da etkilenebileceği için kamera, ESC ve voltaj regülatöründen uzak konumlandırılmıştır.

GPS anteni daha iyi bağlantı kurabilmesi için üzeri açık bir yere konumlandırılmıştır. Wi-fi iletişim modülünün ürettiği yüksek güçteki sinyalin GPS bağlantısını olumsuz etkilemesine karşı birbirlerine olabildiğince uzak konumlandırılmıştır.

Pitot tüpü, pervanenin oluşturduğu hava akımından etkilenip yanlış ölçüm yapabilme ihtimaline karşı pervaneden uzağa konumlandırılmıştır.



Şekil 22 SUFAI SAFDER Savaşan İHA Şeffaf Görünüm

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Yüksek akım geçen kablolarla, kablo boyalarından dolayı oluşacak güç kaybını en aza indirip daha verimli bir sistem oluşturulabilmesi için motor, esc ve pil ile arasındaki kabloların olabildiğince kısamasına dikkat edilmiştir.

En ağır bileşen olan pil, uçağın hareketine olumsuz etki edebileceğinden ağırlık merkezine yakın; ısnır zarar görmesine karşın havalandırmalara yakın ve kaza kırımı esnasında zarar gördüğünde alev alıp tüm uçağı etkileme ihtimali düşünülerek en az hasarı alabileceği yere konumlandırılmıştır.

3.5 Hava Aracı Ağırlık Dağılımı

Hava aracı üzerindeki tüm bileşenler Solidworks programında 1:1 modellendikten sonra montaj içerisinde sürekli ağırlık merkezi kontrolü yapılarak Tablo üzerindeki verilerde doğrulandığı gibi stabil ve dengeli bir araç elde edilmiştir. Aynı şekilde tüm yapısal parçalar buna göre modellenmiştir.

Parça Adı	Ağırlık (g)	X Uzaklığı (mm)	Y Uzaklığı (mm)	Z Uzaklığı (mm)
80 A ESC	82 g	80 mm	15 mm	10 mm
UBEC 1	14 g	127 mm	17 mm	20 mm
UBEC 2	14 g	127 mm	-17 mm	20 mm
Alici	16 g	123 mm	0 mm	4 mm
Pitot Tüpü	12 g	380 mm	0 mm	0 mm
GPS	49 g	195 mm	0 mm	32 mm
FPV Kamerası	5 g	380 mm	0 mm	5 mm
Aileron Servo Sağ	17 g	30 mm	370 mm	0 mm
Aileron Servo Sol	17 g	30 mm	-370 mm	0 mm
V Kuyruk Servo Sağ	17 g	-300 mm	60 mm	30 mm
V Kuyruk Servo Sol	17 g	-300 mm	-60 mm	30 mm
Pervane	24 g	-440 mm	0 mm	0 mm
Fırçasız Motor	157 g	-430 mm	0 mm	0 mm
Uçuş Bilgisayarı	73 g	150 mm	0 mm	-20 mm
Görev Bilgisayarı	46 g	-40 mm	0 mm	-20 mm
Li-ion Batarya	582 g	100 mm	0 mm	-20 mm

Şekil 23 SUFAİ SAFDER Savaşan İHA Ağırlık Dağılım Tablosu

4. OTONOM KİLİTLENME

2022 Savaşan İHA yarışması otonom kilitlenme görevi için yapılan araştırmalar sonucunda en optimal sonucu alabilecek görev algoritmaları geliştirilmiştir. Bu algoritmalar

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Savaşan İHA ve Kamikaze İHA görevleri için tasarlanmış olup aynı sistem konfigürasyonu üzerinde gerçekleştirilecektir.

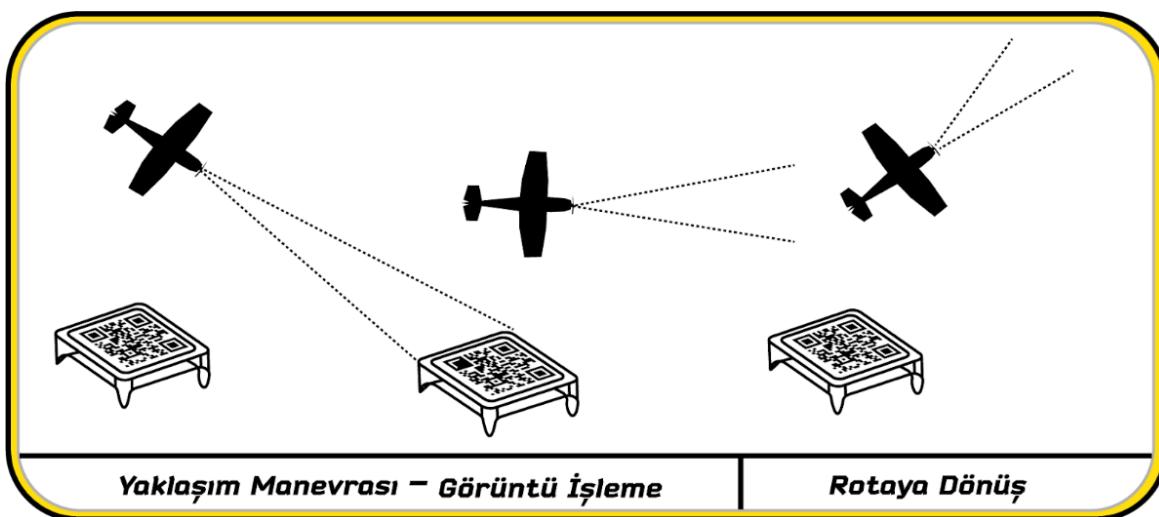
İki ana görev isterilerinin farklı olması sebebi ile her ikisi için de farklı algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalar geliştirilirken birçok açıdan kıyaslanarak görevi tamamlamaya en uygun olan algoritmalar tercih edilmiştir. Ayrıca teori üzerinde en iyi performans gösteren algoritmalar hem simülasyonda hem de gerçek ortamda test edilerek en kullanışlı ve görevi tamamlama yüzdesi en yüksek algoritmalar seçilmiştir. Bu algoritmaların temeli her iki görev için de kullanılacak olan bilgisayarlı görü algoritmalarıdır. Kamikaze İHA görevi tek kısımda incelenmiş olup detaylı içeriğine 4.1. kısımda bahsedilmiştir. Savaşan İHA görev isteri doğrultusunda ana görev algoritması 3 kısma ayrılmış olup en yüksek performansın alınması ve görevin tamamlanması sağlanmıştır.

4.1 Kamikaze İHA Görevi

Kamikaze İHA görevi için amaç müsabaka alanında bulunan paneller üzerine yerleştirilmiş QR Kodların İHA tarafından okunup çıktısının sunucuya gönderilmesidir. Kamikaze İHA görevini gerçekleştirebilmek için 3 kısa adımdan oluşan bir görev algoritması geliştirilmiştir. QR kodun okunma işlemi ise görüntü işleme yapılarak gerçekleştirilecektir. Görüntü işleme ise OpenCV kütüphanesinden faydalanilmıştır.

Görev algoritma içeriği ise şu şekildedir:

- İlk adımda sunucu üzerinden alınan panellerin konumu kendi sistemimize eklenecek ve panele uygun yaklaşım açısı belirlenecektir.
- Devamında belirlenen yaklaşım açısı ile panele gerektiği kadar yaklaşım gerçekleştirilerek QR Kodun okunup sunucuya çıktısının gönderimi sağlanacaktır.
- Sunucuya gönderimin yer istasyonu tarafından onaylanmasıının ardından SAFDER İHA otonom uçuş rotasına geri dönerek diğer görevlerine devam edecektir.



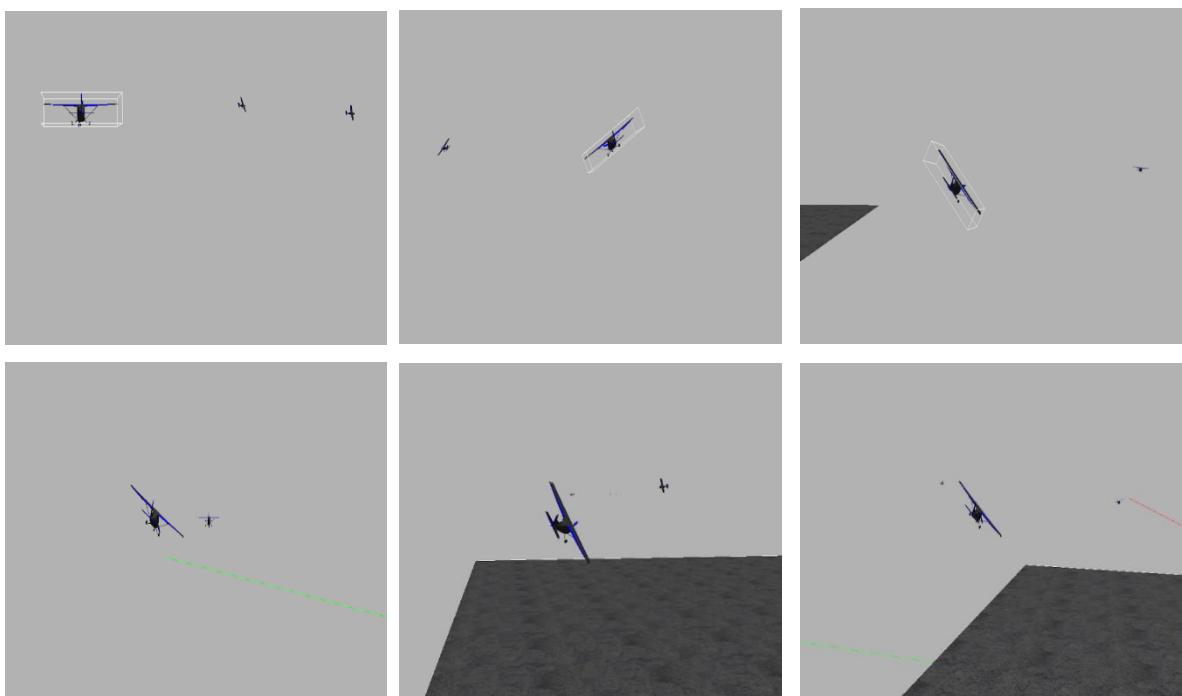
Şekil 24 Kamikaze İHA Görev Algoritma Şeması

4.2 Savaşan İHA Görevi

Savaşan İHA görevi için amaç Rakip İHA'ya görüntü üzerinden kilitlenip 4 saniye süresince fiziksel olarak ve görüntü üzerinden takip etmektir. Savaşan İHA görevi için geliştirilen algoritma görev isterlerini karşılayacak şekilde tasarlanmıştır olup, Kilitlenme Hedefinin Belirlenmesi, Görüntü Üzerinde Hedef Tespiti ve Takibi ve Fiziksel Otonom Takip olmak üzere 3 ana bölümden oluşmaktadır .Her bir bölüm için yapılan araştırmalar sonucu birçok alternatif çözüm bulunmuştur. Bu çözümlerin her biri performans, doğruluk, yarışmaya uygunluk gibi yönlerden karşılaştırılıp en optimal olanları tercih edilmiştir. Birbiri ile uyumlu çalışan algoritmalar, birbirinden bağımsız olarak çalışan algoritmalarla nazaran daha yüksek performans göstermeleri sebebiyle tercih edilmiştir. 3 Ana kısımda incelenen görev algoritmasının içeriği alt kısımlardaki başlıklarda açıklanmıştır.

4.2.1 Kilitlenme Hedefinin Belirlenmesi

Savaşan İHA görevini gerçekleştirebilmek için en önemli adımlardan biri müsabaka esnasında kilitlenme yapılacak olan İHA'yı belirleyip bu doğrultuda savaşan İHA görevini gerçekleştirmektir. Müsabaka esnasında tüm rakip İHA'lara ait konum verileri sunucu üzerinden yer kontrol istasyonunda bulunan görev kontrol bilgisayarına aktarılacaktır. Aktarılan rakip İHA konumları sürekli olarak önceki ve sonraki konumları ile kalman滤resi çerçevesinde kontrol edilecektir. Hatalı veya eksik verilerin tespiti sonucunda bu veriler kullanılmayacak olup algoritmaya zarar vermesinin önüne geçilecektir. Kontrol edilen konum verileri YKİ arayüzüne bir harita üzerinde görselleştirilecektir. Aynı zamanda SAFDER İHA'nın konumu ile alınan tüm konumlar uzaklık-yakınlık açısından karşılaştırılarak en yakın olan belirlenecektir. Belirlenen en yakın konum sürekli olarak mavlink protokolü ile otopilot'a aktarılarak rakip İHA'ya yönelim sağlanacaktır. Alt kısımda ise simülasyon ortamında



Şekil 25 Kilitlenme Hedefi Belirleme Testleri

oluşturulan yarışma simülasyonu üzerinde yapılan en yakın kilitlenme hedefinin bulunma testlerine ait görüntüler yer almaktadır.

4.2.2 Görüntü Üzerinde Hedef Tespiti ve Takibi

Otonom kilitlenme algoritmamızın devamında bilgisayarlı gözü algoritmaları kullanarak rakip İHA’yı görüntü üzerinde tespit ve takip etme işlemi gerçekleştirilecektir. Bilgisayarlı gözü algoritmaları daha yüksek performans gösterdiği için yüksek işlem gücüne sahip Yer kontrol bilgisayarı üzerinde çalıştırılacaktır.

Otonom kilitlenme yapılacak hedef belirlenip uygun yaklaşım yapılmasının ardından Nesne tespit ve takip algoritması devreye girecektir. Görüntü üzerinde parçalı ekran nesne tespit algoritması yüksek performans ile çalışarak rakip İHA tespitini gerçekleştirecektir. Tespit edilen rakip İHA, derin öğrenme tabanlı nesne takip algoritmaları kullanılarak görüntü üzerinde takip edilecektir. Nesne tespit ve takip işlemi için birbiri ile uyumlu çalışan yaklaşımlar daha yüksek performans ve doğruluk oranı verdiği için, bağımsız iki ayrı yaklaşım yerine tercih edilmiştir. Bu sayede görüntü üzerinde hedef tespiti ve takibi algoritmaları birbiri içerisinde entegre olmuş şekilde çalışarak çok yüksek performans verebilmektedirler.

Nesne tespit ve takibinin yapıldığı bilgisayarlı gözü algoritmaları alt başlıklarda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

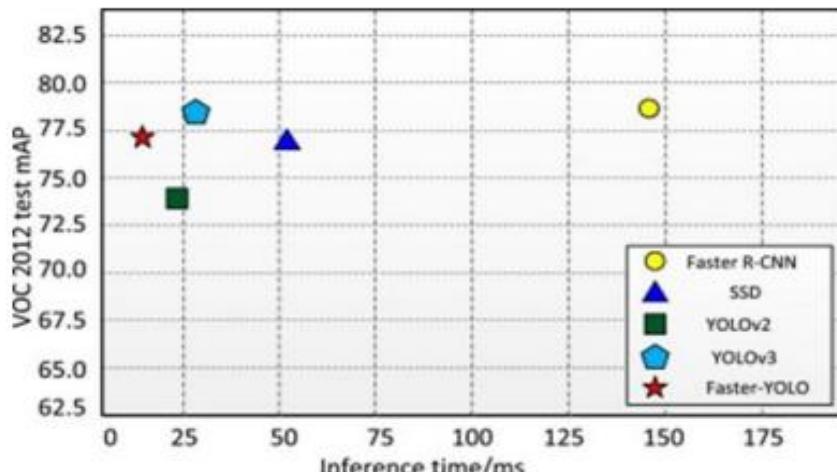
4.2.2.1 Nesne Tespiti

Görüntü üzerinde nesne tespiti yapabilmek için birçok yöntem araştırılmıştır. Bu yöntemler yarışma isterlerine uygunluk, yüksek performans - doğruluk oranı ve performans - işlem gücü ilişkisi gibi kriterler göz önüne alınarak incelenmiştir. Aynı zamanda nesne tespiti ve nesne takibi tek bir entegre algoritma içerisinde gerçekleşeceği için nesne takibi için uygunluğu da araştırılan kriterler arasında yer almaktadır.

Savaşan İHA görevi için otonom kilitlenme hedefinin bir İHA olması doğrultusunda nesne tespiti yöntemleri kıyaslanmıştır. Kenar, köşe algılama gibi basit görüntü işleme teknikleri ile görevin gerçekleştirilemeyeceği anlaşılmıştır. Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme tabanlı çalışan görüntü işleme teknikleri bu görev için uygun bulunmuştur. Derin öğrenme tabanlı sinir ağlarını kullanarak nesne tespiti yapan YOLO, Single Shot Detector(SSD),Faster Recurrent Neural Network (Faster R-CNN) gibi algoritmalar öne çıkmıştır. En verimli algoritmayı bulmak amacıyla farklı sistem konfigürasyonları üzerinde kıyaslamalar yapılmıştır.

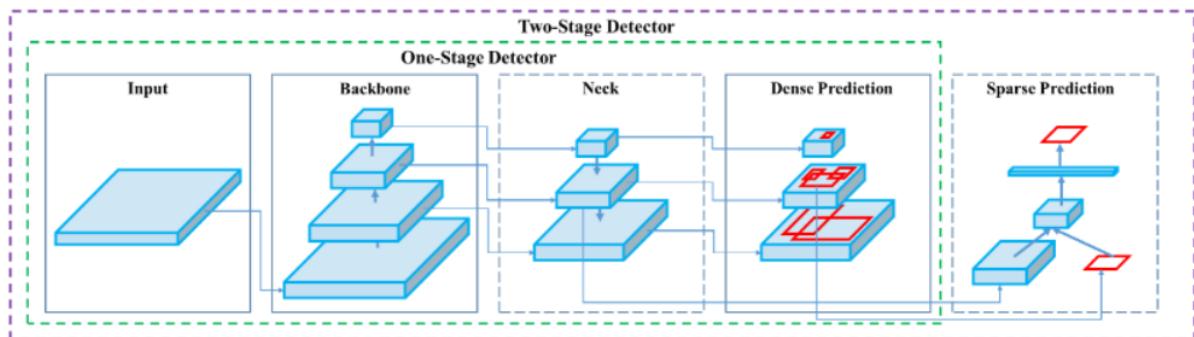
Yapılan kıyaslamalar sonucunda YOLO algoritması doğruluk oranı, Hız, ve takip algoritmalarına uyumluluğu açısından diğer algoritmala göre daha fazla öne plana çıkmıştır.

Şekil 27 Nesne Tespit Algoritmaları Kiyaslama Tablosu YOLO, SSD, Faster R-CNN algoritmaları hız ve doğruluk oranlarına göre kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamada YOLOv3 algoritmasının ön plana çıktığı görülmektedir.



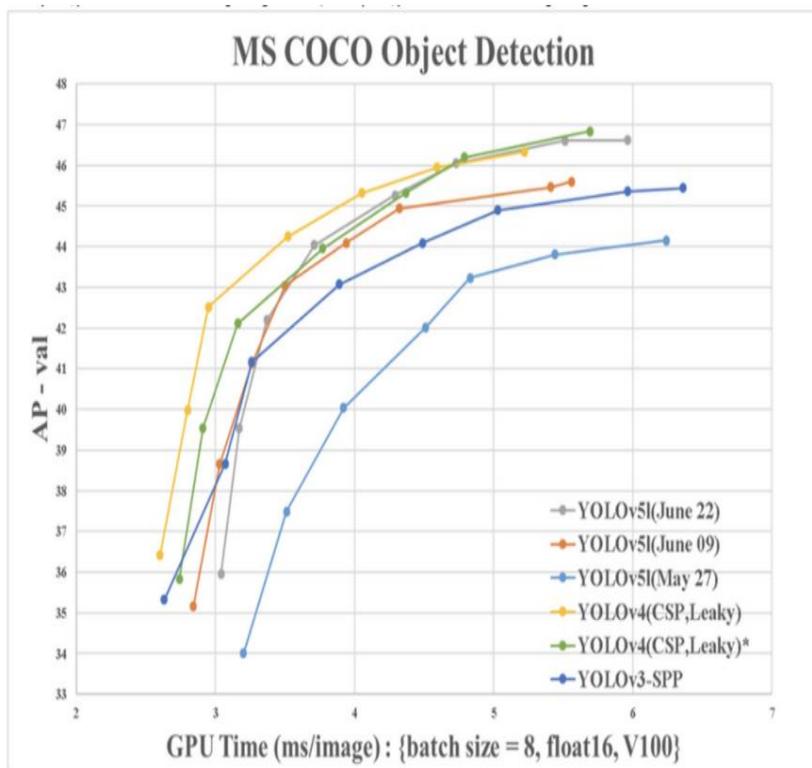
Şekil 26 Nesne Tespit Algoritmaları Kiyaslama Tablosu

YOLO algoritması tam görüntüye tek aşamalı bir sinir ağı uygular ve bu sinir ağı görüntüyü bölgelere ayırrır. Her bölge için olasılık hesaplar ve bu sayede FPS, Doğruluk oranı, Hız gibi özellikler bakımından diğer algoritmalarla göre ön plana çıkmış olur. *YOLO Model Yapısı* YOLO algoritmasının genel mimarisi görülmektedir.



Şekil 27 YOLO Model Yapısı

Kısaca YOLO algoritması şu şekilde çalışmaktadır: Girdi olarak alınan görüntü bölgelere ayrılarak Backbone kısmına girer. Bu kısımda bölgeler üzerinde özellik çıkarımı yapılır. Neck kısmı ise birçok katman olarak kullanılıp farklı katmanlarda farklı özellik haritaları çıkarır. En son olarak tüm özellikler kıyaslanıp head kısmına aktarılır. Head kısmında Dense Prediction ve Sparse Prediction işlemleri sonucunda en fazla eşleşme sağlanan bölge belirlenir.



Şekil 28 YOLO Model Kiyaslama Tablosu-1

En son aşama olarak YOLO algoritması olarak hangi modelin kullanılacağına nesne takip algoritması ile birlikte çalıştırılarak karar verilmiştir.

	Gecikme(ms)	Doğruluk Yüzdesi	FPS
YOLOv3	25-30	50-60	100-110
YOLOv4	35-45	30-45	45-65
YOLOv5	40-45	40-50	60-80

Şekil 29 YOLO Model Kiyaslama Tablosu-2

Yolo modelleri arasında 3 ana parametre üzerinden kiyaslama yapılmıştır. Tüm modeller nesne takip algoritması ile entegre olarak birçok farklı video kullanılarak aynı sistem konfigürasyonu üzerinde test edilmiştir. Alınan sonuçlar üst kısmındaki tabloda görülmektedir. Kiyaslamanın sonucunda nesne tespit algoritmasından en yüksek performansı alabilmek için en öne çıkan model olan YOLOv3 modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. YOLOv3 algoritmasının kullanılmaya karar verilmesinin ardından model eğitme adımı gerçekleştirilmiştir. Birbirinden farklı birçok sabit kanat İHA içeren bir model eğitim veri seri hazırlamıştır. Bu veri seti hazırlanırken birçok farklı video ve resim kullanılmıştır. Model çeşitli iterasyonlarda ve farklı hiper parametreler kullanılarak eğitilmiştir. Alt kısmda model eğitiminde kullanılan bazı etiketlenmiş resimler bulunmaktadır.

YOLO algoritmasının kendi versiyonları arasında yapılan kiyaslama sonucunda YOLOv5 algoritmasının en yüksek performans ve doğruluk oranına sahip olduğu görülmektedir. Ancak bu kiyaslama sırasında YOLO modelleri herhangi bir nesne takip algoritması ile birlikte kullanılmamıştır.



Şekil 30 Veri Seti Eğitim Görüşleri

YOLOv3 algoritması ile eğittiğimiz modelden daha yüksek verim alabilmek adına YOLOv3 algoritmasının genel mimarisi incelenerek model eğitimi öncesinde uygun parametreler belirlenmiştir. Aynı zamanda nesne takip algoritmamız da derin öğrenme tabanlı sınırsel ağlar ile çalıştığından dolayı model eğitimi parametreleri nesne takip algoritmasının katman yapısına uygun olarak dizayn edilmiştir.

4.2.2.2 Nesne Takibi

Savaşan İHA görevi için hazırlanan otonom kilitlenme algoritmamızın bir diğer adımı Görüntü üzerinde Nesne Takibidir. Yapılan araştırmalar sonucunda, görüntü üzerinden hedef tespiti ve sınıflandırılması, hedefe kilitlenme gibi görevler sadece hedef tespiti ile gerçekleştirildiğinde düşük doğruluk oranları ve düşük görev başarı oranları alınmaktadır. Ancak nesne tespitinin yapılmasının ardından devreye girecek olan bir nesne takip algoritması doğruluk oranlarını oldukça yükseltmekte ve görev başarı yüzdesini artırmaktadır. Bu doğrultuda hedef görev tanımları, yarışma şartnamesi incelenerek nesne takip algoritma yöntemleri araştırılmıştır.

Nesne takibi için yapılan analizler doğrultusunda 3 farklı yöntemin kullanılabileceği uygun görülmüştür. Bu 3 yöntem; Korelasyon Filtrelemeleri, Medyan Akış Filtresi ve Derin öğrenme tabanlı çalışan nesne takip algoritmalarıdır. Bu yöntemler 3 farklı özellik bakımından kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucunda Derin öğrenme tabanlı sınırsel ağlar ile çalışan

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

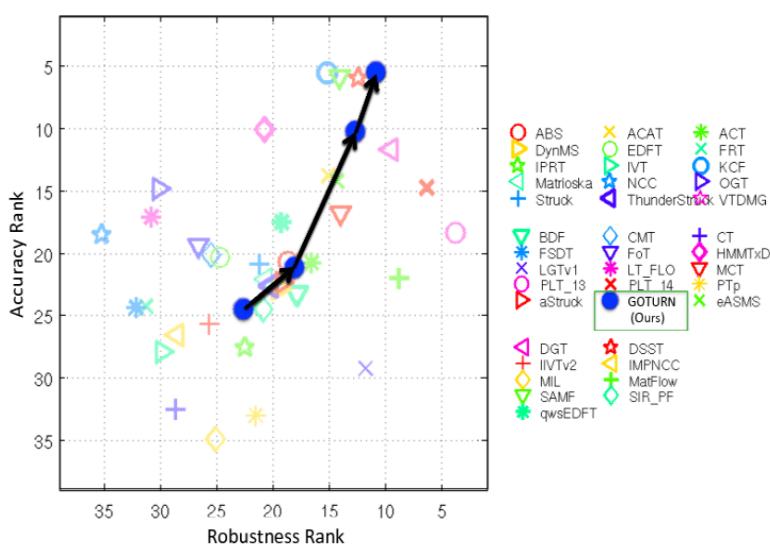
algoritmalar yüksek performans gösterdiği için kullanılmasına karar verilmiştir. Alt kısımda nesne takip algoritmalarının kıyas tablosu bulunmaktadır.

Korelasyon Filtrelemeleri	Medyan Akış Filtresi	Derin Öğrenme Tabanlı
FPS	80-100	115-135
Gecikme (ms)	20-60	180-220
Doğruluk	0.50-0.60	0.60-0.70
Genel Puan	70.8	79.1
		89

Şekil 31 Nesne Takip Yöntemleri Kıyaslama Tablosu

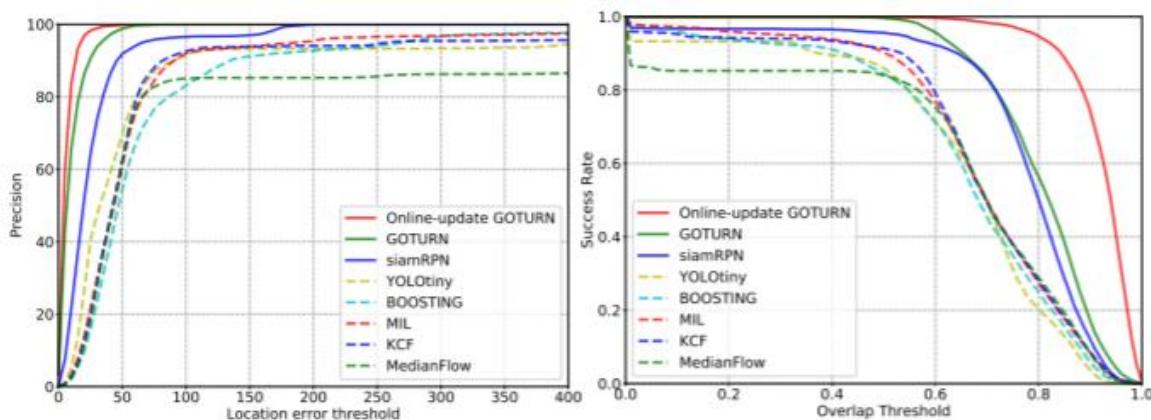
Yöntem olarak derin öğrenme tabanlı nesne takip algoritmasının kullanılmasına karar verilmesinin ardından birçok derin öğrenme tabanlı algoritma incelenmiştir. Doğruluk, Hız, FPS, işlem gücü gereksinimi gibi özellikler bakımından tüm algoritmalar karşılaştırılmıştır. Nesne tespit ve takip algoritmasının aynı sistem konfigürasyonu üzerinde tek bir algoritma şeklinde çalışması planlanmıştır.

Şekil 33 Nesne Takip Algoritmaları Kıyaslama Tablosu-2 üzerinde birçok algoritma Doğruluk ve Performans Stabilitesi açısından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan algoritmalar arasında GOTURN algoritması başarılı bir grafik çizmektedir.



Şekil 32 Nesne Takip Algoritmaları Kıyaslama Tablosu-2

Alt kısımda bulunan farklı iki grafikte ise algoritmalar Doğruluk- Konumsal Sapma ve Doğruluk Oranı - Örtüşme bakımından kıyaslanmıştır. GOTURN algoritmasının her iki grafik üzerinde de ön plana çıktığını görmekteyiz.



Şekil 33 Nesne Takip Algoritmaları Kiyaslama tablosu-3

Yapılan grafiksel analiz ve kıyaslamalar doğrultusunda GOTURN algoritmasının başarılı bir grafik vermesi sonucu kullanımına karar verilmiştir. GOTURN evrişimsel sinir ağlarını (Convolutional Neural Network) kullanarak nesne takibi yapmaktadır. OpenCV kütüphanesi çerçevesinde de bulunan GOTURN caffe implementasyonuna da sahiptir.

Sinirsel Ağ yapısında 11 farklı çeşit Katman(Layer) bulunmaktadır. Bu katmanların 8 çeşidi evrişimsel sinir ağları(CNN) yapısından kullanılmakta iken 3 adedi ise Caffe modeli yapısından kullanılmaktadır. Toplamba ise 43 adet katman bulunmaktadır. Alt kısımda modelimizin yapısında bulunan katmanların tablosu yer almaktadır.

Caffe	İsim	Adet	YAPI TABLOSU	
			İsim	Adet
CNN	Inner Product	4	Concat	1
	Power	1	Dropout	1
	Reduction	1	Flatten	1
	Relu	13	Eltwise	1
	Convolution	10		
	Poolink	6		
	LRN	4		

Şekil 34 GOTURN Yapı Tablosu

GOTURN algoritmasının nesne tespit algoritması ile birlikte çalışma prensibi ise detaylı olarak 4.2.2.3. Kısmında açıklanmıştır.

4.2.2.3 Nesne Takip ve Tespit Algoritmasının Çalışma Şeması

Savaşan İHA görevi için yapılacak olan otonom kilitlenmenin görüntü üzerindeki rakip İHA tespiti ve takibinin tek bir entegre algoritma ile yapılması sağlanacaktır. Nesne tespiti için YOLOv3 algoritmasının, nesne takibi için GOTURN algoritmasının seçilme nedenleri

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

arasında daha önceden yapılan araştırmalarda bulunan GOTURN-YOLOv3 uyumu yer almaktadır. Uyumun yanı sıra her ikisi için de kullanılan OpenCV kütüphanesinin Derin Sinirsel Ağlar (Deep Neural Network) destekli kurulumu ve çalışması aldığımız performansı üst seviyelere taşımaktadır. Ayrıca Caffe Model implementasyon desteği ve PyTorch kütüphanesi kullanması ile çok yüksek seviyelerde performanslar elde edilmektedir.

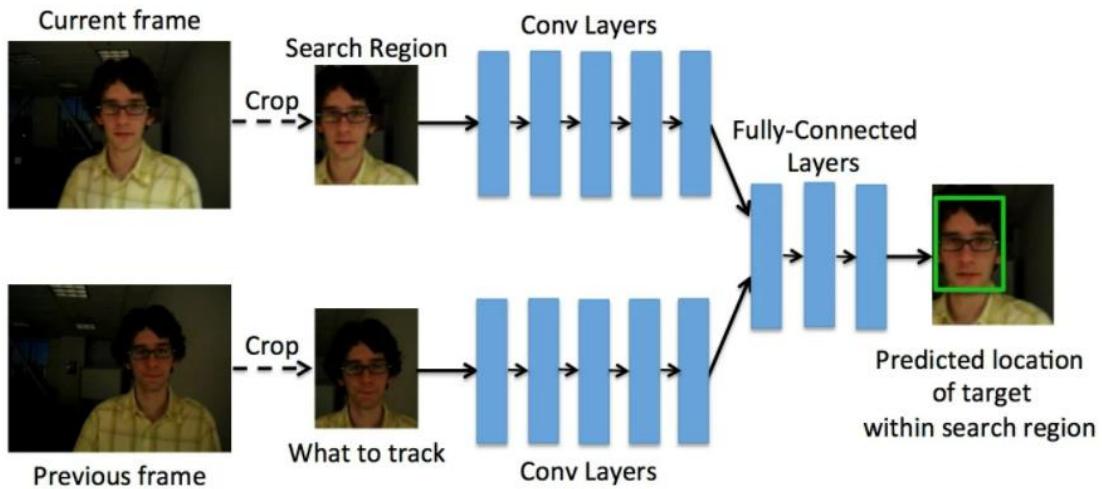
Derin öğrenme tabanlı kullanılan iki algoritma ve bu algoritmaların yüksek performans göstermesi için kullanılan derin öğrenme kütüphaneleri ve frameworkleri(Yazılım İskeleti) oldukça yüksek işlem gücü gerektirmektedir. Bu işlem gücünü normal bir Grafik işlemci biriminin yüksek performanslarda gerçekleştirmesi son derece zordur. Görev bilgisayarında kullanılacak olan GPU'nun kullanılan derin öğrenme tabanlı algoritmalar ile uyumlu hale getirilip, derin öğrenme kütüphaneleri destekli mimari ve teknolojilerin alt yapısını kullandığı zaman çok yüksek seviyelerde performans gösterdiği yapılan araştırmalar sonucu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda Nvidia CUDA (Compute Unified Device Architecture) mimarisi görev bilgisayarı üzerinde bulunan GPU üzerine kurulmuştur. Ayrıca kurulum sırasında CUDA ve Ekran Kartı Sürücü tam uyumlu ve yüksek performans göstermesi için gerekli versiyon doğrulamaları yapılmıştır. CUDA'nın ardından NVİDİA'nın geliştirmiş olduğu cuDNN(Cuda Deep Neural Network library, Cuda Derin Sinirsel Ağlar Kütüphanesi) GPU hızını yaklaşık 5 kata kadar arttırdığı için kullanılmasına karar verilmiştir. Kurulum aşamasında Ekran Kartı Sürücü - Cuda - cuDNN Versiyonlarının uyumları araştırılıp kurulumu gerçekleştirilmiştir.

Yapılan kurumların ardından test edilen Nesne tespiti ve takibi entegre algoritması oldukça yüksek performans ve doğruluk oranı göstermektedir. Kurulumların öncesi ve sonrası oluşan farklar alt kısımdaki tabloda ifade edilmiştir.

Özellikler	Kurulumdan Önce	Kurulumdan Sonra
FPS	50-60	100-110
Doğruluk	60-70	75-90

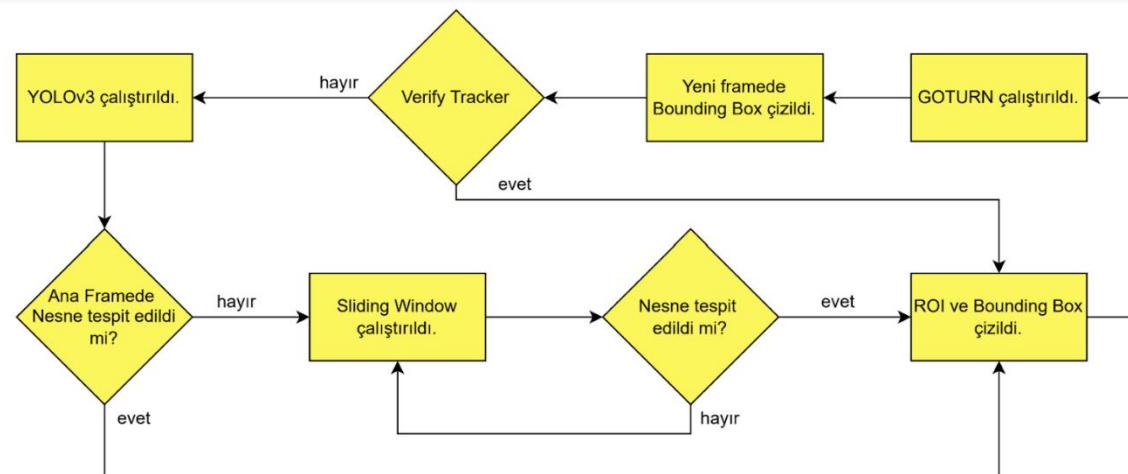
Şekil 35 Entegre Algoritma Performans Kıyaslama Tablosu

Ana hatları ile çalışma algoritma prensibimiz alt kısımdaki şekilde yer almaktadır. Entegre algoritmamız içerisinde Evrişimsel sinir ağları(Convolutional Neural Networks) hem nesne tespiti kısmı için hem de nesne takibi kısmı için farklı katman çeşitleri ve sayıları ile kullanılmaktadır. Nesne tespit ve takip entegre algoritmamızın detaylı çalışması şu şekildedir: Algoritmanın başlamasının ardından alınan ilk frame(kare) üzerinde YOLOv3 algoritması ile nesne tespit Sliding Window(Kayan Pencere) kullanılarak ana frame kırpılıp küçük bölgeler içinde nesne tespit edilmeye çalışılır.



Sekil 36 Entegre Algoritması Çalışma Şeması

Nesnenin tespit edilmesinin ardından devreye GOTURN algoritması girmektedir. İlk olarak nesnenin tespit edildiği kare üzerinde nesne tespit edilen bölge ROI(region of interest , ilgili bölge) olarak seçilir ve sınırlayıcı kutu(bounding box) çizilir. Ardından Nesnenin tespit edildiği bölge kırılır ve bir sonraki kareye geçilir. Bir önceki kareden sınırlanan bölge üzerinde GOTURN algoritması çalışarak takip yapan sınırlayıcı kutu(bounding box) çizilir ve bölge tekrardan kırılıp bir sonraki kareye aktarılır. En son adım ve performansı en yükseklerde çıkan adım olarak, en son olarak kırılan bölge bir sonraki kareye geçmeden önce belirli bir oranda genişletilip bu bölge içerisinde YOLOV3 algoritması çalışarak yapılan takip algoritmasının doğrulanması(Verify Tracker) sağlanır. Nesne takibinin doğrulanmaması durumunda algoritma başa dönerek tekrardan Kayan pencereler ile nesne tespit edilmeye çalışılır. Algoritamızın akış şeması alt kısımda yer almaktadır.



Sekil 37 Nesne Tespit ve Takip Algoritması Akış Şeması

4.2.3 Fiziksel Otonom Takip

Savaşan İHA görevi için gerçekleştirilen otonom kilitlenme algoritmasının son kısmı olan fiziksel otonom takip için uygulanabilecek çeşitli yöntemler birçok parametre bakımından karşılaştırılmıştır. En uygun yöntem seçilirken fiziksel otonom takibinin nesne tespiti ve takibinin ardından devreye gireceği göz önüne alınmıştır. Fiziksel otonom takibin yapılabilmesi için rakip İHA'nın hareket ve yönelimlerine göre SAFDER İHA'nın da aynı hareket ve yönelimi gerçekleştirmesi ve bu hareketi de otonom uçuş modunda gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu sayede görüntü üzerinde tespiti ve takibinin yapılmasının ardından fiziksel olarak da takibin yapılarak otonom kilitlenmenin tam olarak gerçekleşmesi sağlanacaktır.

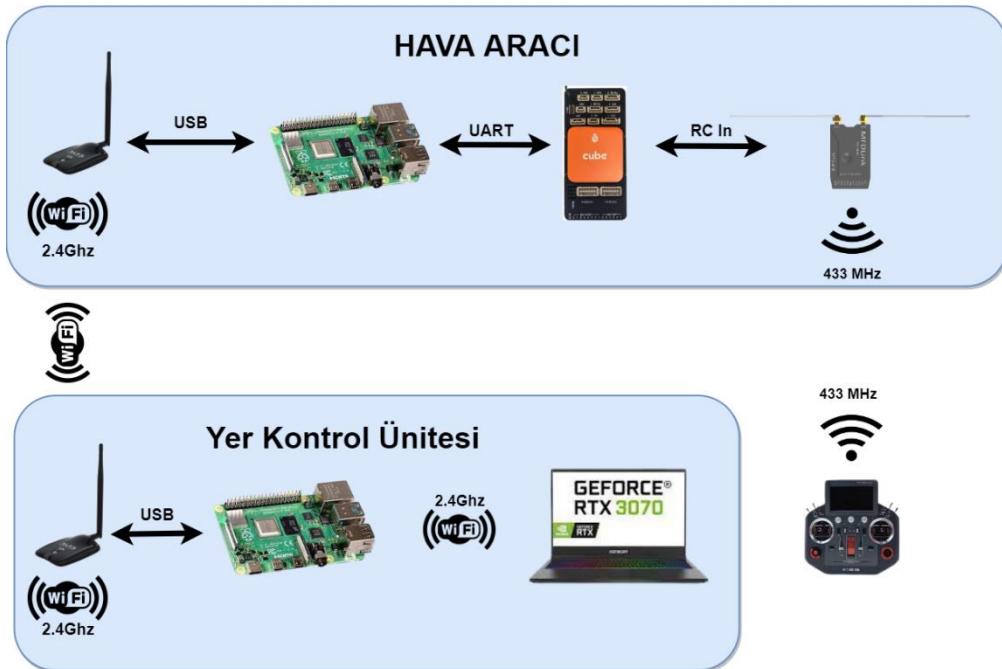
Takibi yapılan İHA'nın görüntü üzerindeki konumunun bilinmesinden dolayı SAFDER İHA'nın yapacağı manevranın bu şekilde hesaplanması uygun bulunmuştur. Manevra hesaplanması之后 Otopilota aktarımı için ise Mavlink protokolü kullanılarak Yer Kontrol Ünitesinden - SAFDER İHA'ya aktarım sağlanacaktır.

Geliştirilen algoritma adımları şu şekildedir:

- Görüntü merkezi ile rakip İHA görüntü üzerindeki konumu bir çizgi ile birleştirilip X ve Y eksen izdüşümleri alınarak bir üçgen oluşması sağlanacaktır.
- Bu üçgende Rakip İHA ve merkez noktasındaki açının Tanjant değeri hesaplanacaktır
- Hesaplanan Tanjant değeri Servo sinyal Komutlarına çevrilecektir.
- Servo sinyal komutları ise Mavlink protokolü ile otopilota aktarılacaktır.
- Otopilot aldığı sinyalleri anlık olarak gerçekleştirerek Fiziksel Otonom Takibin yapılması sağlanacaktır.

5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME

Yarışma yönetmeliği ve haberleşme şartnamesi ve dökümanı değerlendirilip uygun şartlara sahip haberleşme sistemleri araştırılmıştır. En optimal haberleşme sistemini kullanabilmek için birçok açıdan haberleşme üniteleri kıyaslanmıştır. Geçmiş yillardaki yarışma tecrübelerine dayanarak bu kıyas faktörleri arasından en önemlilerinden bir tanesi olarak müsabaka esnasında rakip İHA'ların haberleşme sistemlerinden kaynaklanan bağlantı sorunları yaşamayacak özelliğe sahip olması olarak görülmüştür. Uçtan uca şifrelemeye ve yüksek bağlantı kalitesine sahip olma da bu kıyaslamalar arasındadır. Kıyaslama sonuçunda Hava aracı – Yer istasyonu arasındaki Görüntü aktarımı ve Telemetri iletişimimin tek bir haberleşme sistemi üzerinden yapılmasının birçok avantaj sağladığı görülmüştür ve bu doğrultuda tek bir iletişim sistemi kullanılması kararlaştırılmıştır. Haberleşme sisteminin detayları alt kısımda bulunan başlıklarda açıklanmıştır.



Şekil 38 Haberleşme Şeması

5.1 Hava Aracı İçerisindeki Haberleşme

Hava aracı içerisindeki haberleşme uçuş kontrol kartı-uçuş bilgisayarı ve kumanda alıcısı-uçuş kontrol kartı arasında gerçekleşecektir. Uçuş kontrol kartının Telem1 portu ile uçuş bilgisayarımız UART haberleşmesi ile birbirine bağlanıp haberleşmesi sağlanacaktır. Bu sayede Telemetri verilerimiz uçuş kontrol kartımız üzerinden uçuş bilgisayarımız üzerindeki iletişim sistemimize aktarılacaktır. Kumanda alıcısı ile uçuş kontrol kartı ise gerekli RC In ve güç bağlantıları sağlanacak haberleşmesi sağlanacaktır. Bu sayede kumandanın kumanda alıcısına gelen veriler, komutlar uçuş kontrol kartına aktarılacaktır.

5.2 Hava Aracı – Yer Kontrol Ünitesi Haberleşmesi

Ana haberleşme sistemimiz Hava aracı – Yer kontrol ünitesi arasında çalışacaktır. Uçuş kontrol kartı üzerindeki Telemetri verileri uçuş bilgisayarına aktarılacaktır. Aynı zamanda uçuş bilgisayarına bağlı olan kamera ile görüntü alınacaktır. Hava aracında bulunan hem uçuş bilgisayarı hem de iletişim sistemi için kullanılan Raspberry 4B ile Yer kontrol ünitesinde bulunan ikinci bir Raspberry Pi 2.4GHz frekans üzerinden çalışan WiFi Aparatları (dongle) ile birbire bağlanacaktır. 2.4GHz ile görüntü aktarımı gerçekleştirilecek olup, telemetri iletimi ise hem 2.4GHz üzerinden hem de 868MHz üzerinden gerçekleştirilebileceği için anlık olarak sinyal kalitesi kontrol edilerek uygun frekans bandı tercih edilecektir. Yarışma sırasında olası bağlantı sorunlarının büyük bir kısmını engelleyen haberleşme sistemimize ek olarak hem hava aracında hem de yer kontrol ünitesinde WiFi Boosterlar kullanılacaktır. Bu sayede çok güçlü bir şekilde sinyal iletimi sağlanacaktır.

5.3. Sunucu ile Haberleşme

Yarışma sunucusu ile bağlantı ve haberleşme Savaşan İHA haberleşme dökümanlarında belirtilen tüm formatlara uygun olarak gerçekleştirilecektir.

MavLink bağlantı protokolünü kullanarak DroneKit-Python API aracılığıyla gerekli veriler SAFDER'den yer kontrol ünitesine alınacaktır. Gelen veriler API üzerinden JSON veri paketleri şeklinde saniyelik olarak yarışma sunucu ağının IP adresine aktarılacaktır. Veri aktarım işleminin gerçekleşmesi için öncelikle POST request ile “/api/giris” adresinde oturum açılacaktır. Tekrar POST request aracılığıyla yarışma boyunca kilitlenme bilgileri ile telemetri verileri sırasıyla “/api/kilitlenme bilgisi” ve “/api/telemetri_gonder” adreslerine aktarılacaktır. GET request ile “/api/telemetri_gonder” adresinden rakip İHA'ların anlık konum bilgilerine JSON veri paketi formatında ulaşılıp yer kontrol ünitesinden SAFDER İHA'ya gönderilecektir. Anlık video yayını, UDP protokolü ile gerçekleştirilecektir. Videolar, H264 sıkıştırma algoritması kullanılıp MPEG-TS taşıyıcısı kullanılarak ana sunucuya gönderilecektir.

6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

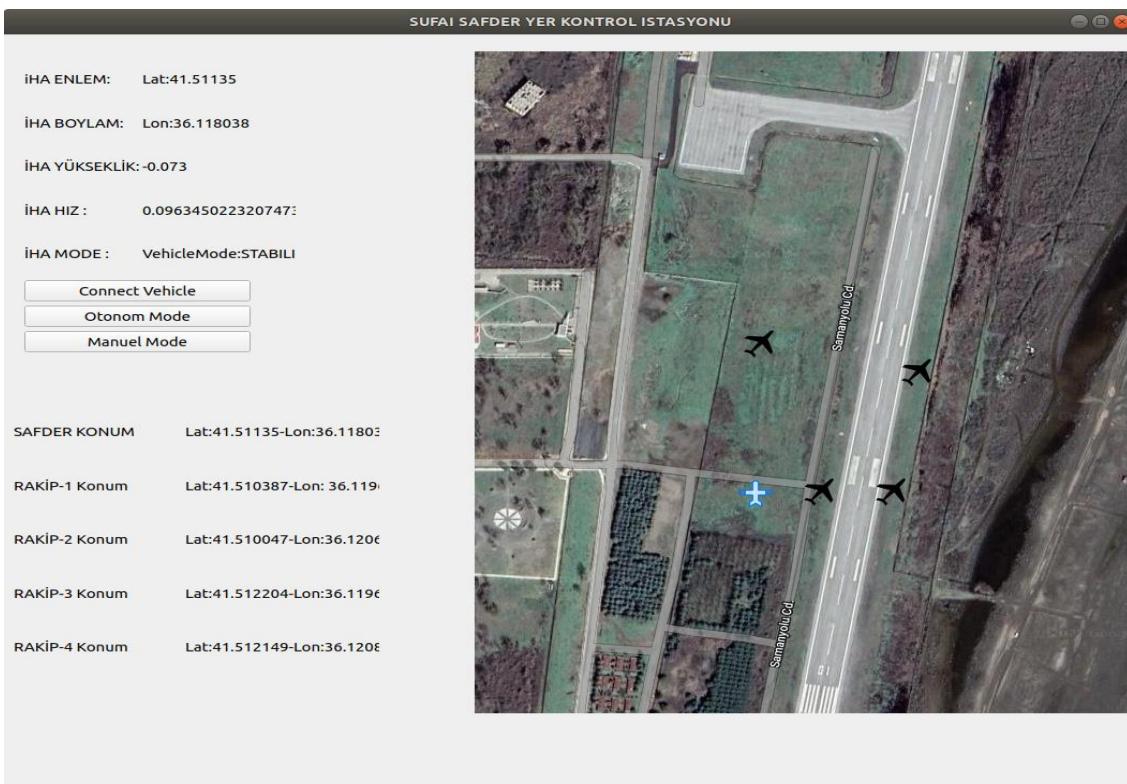
Savaşan İHA yarışması kapsamında kullanılması planlanan bir kullanıcı arayüzü tasarımı yapılmıştır. Arayüz tasarımı yapılrken yarışma şartlarına uygun ve müsabaka esnasında gerekli müdahalelerin yapılabildiği bir tasarım yapılmasına özen gösterilmiştir. Ayrıca gerekli tüm verilerin takibinin de anlık olarak yapılması sağlanmıştır. Tasarlanan arayüz 2 ana bölümden oluşmaktadır. Alt kısımlarda ana bölümler detayları ile açıklanmıştır.

Plananan arayüz ve geliştirilmeye devam edilen arayüzün anlık durumu alt kısımdaki görsellerde bulunmaktadır.



Şekil 39 Planlanan Arayüz

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 40 Geliştirilmeye Devam Edilen Arayüz

6.1 Görüntü ve Kontrol Paneli

Tasarlanan arayüzün ilk ana bölümü uçaktan canlı olarak görüntü alındığı ve uçağa anlık olarak müdahale edilebildiği bölümüdür. Uçaktan alınan canlı ve işlenmiş görüntü ilk ana bölümün üst kısmında yer olacaktır. İletişim sistemimiz sayesinde görüntü aktarımı yapılan bant üzerinden uçağa ait konum, yükseklik, hız gibi telemetri verileri de alınarak canlı görüntünün üst kısmına yazdırılacaktır. Bu sayede aynı ekran üzerinden görüntü ve veri takibi anlık olarak yapılabilecektir.

Görüntü panelinin alt kısmında ise kontrol paneli yer almaktadır. Kontrol paneli içerisinde uçağa anlık olarak müdahale etmek için gerekli olan komutlar yer almaktadır. Uçağa ait mod değişimleri, hız -yükseklik değişimi paneli, uçuş rota planlaması, otonom uçuş moduna müdahale paneli gibi bölümler yer almaktadır. Bu paneller sayesinde uçuş sırasında veya uçuştan önce uçuşa ait birçok noktaya müdahale edilebilecektir.

6.2 Canlı Harita Ekranı

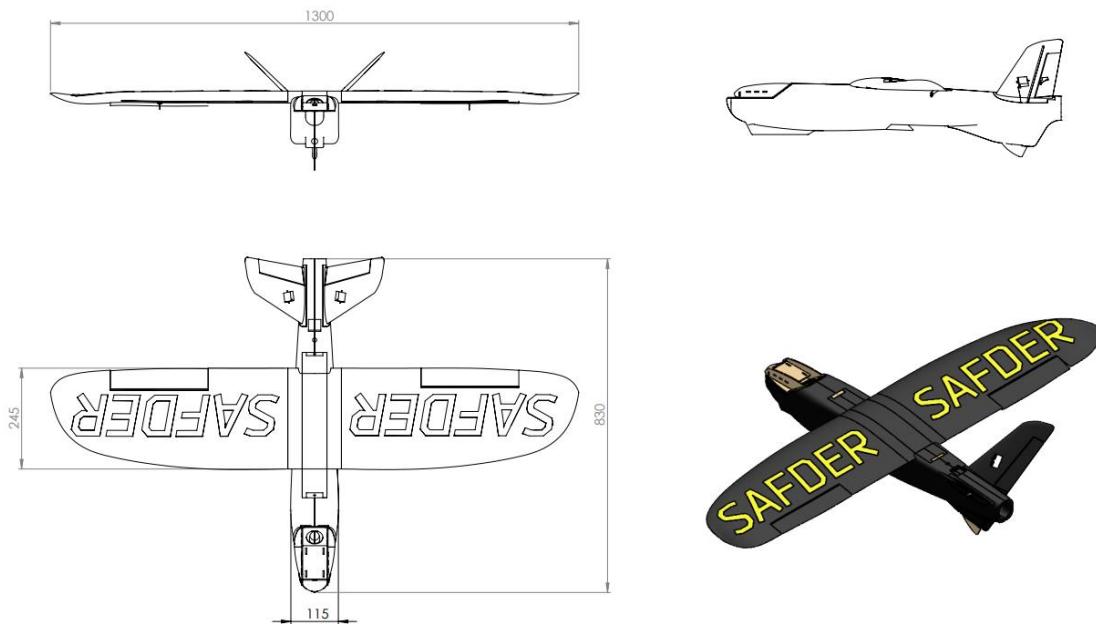
İkinci ana bölümde ise Savaşan İHA yarışmasının en önemli gereksinimlerinden biri olan müsabaka canlı harita takip ekranı yer olacaktır. Müsabaka boyunca rakip İHA'lara ait konum, yönelme gibi verileri yarışma sunucusundan alınarak arayüzümüzdeki harita üzerinde görselleştirme işlemi yapılacaktır. Bu görselleştirme sayesinde müsabakanın canlı olarak takibi

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

yapılabilecektir. Ayrıca Otonom kilitlenme hedefinin tespiti ise bu canlı müsabaka takip ekranı üzerinden gerçekleşecektir.

7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU

7.1.Yapısal Entegrasyon



Şekil 41 SUFAI SAFDER Savaşan İHA Teknik Resim



Şekil 42 Savaşan İHA Üretim Aşamaları

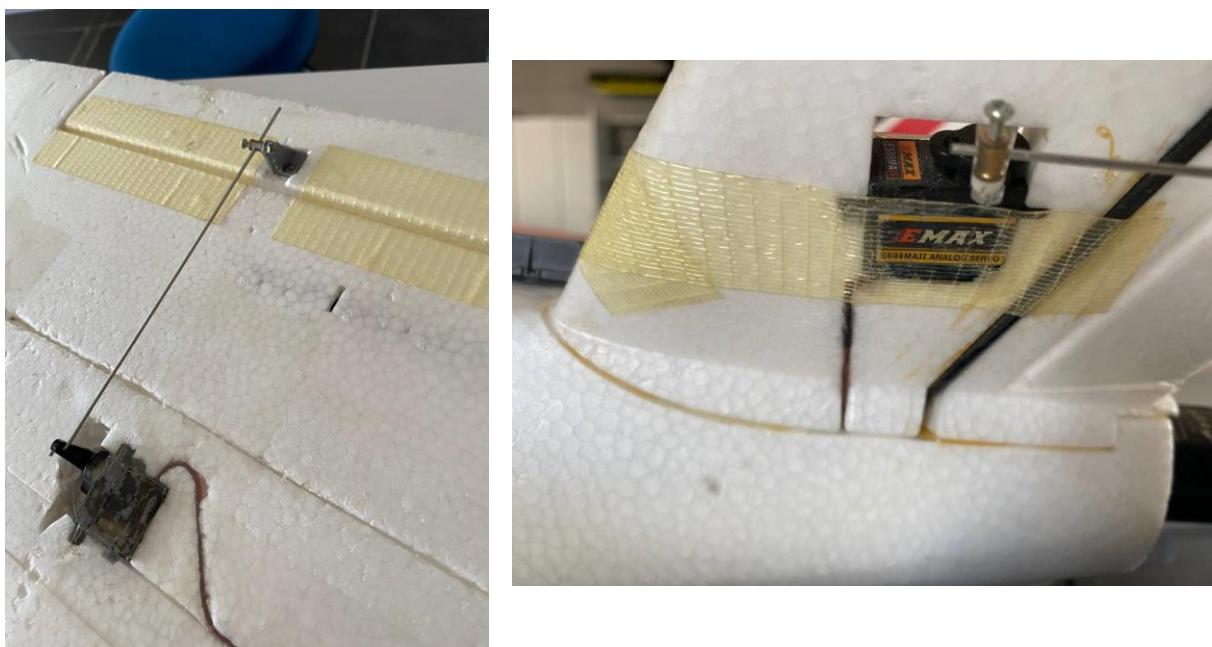
SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

İki parçadan oluşan Mini Talon gövdesini birleştirmeden önce her bir parçanın içine iki gövde arası uzanan ahşap parçaların bağlanacağı parçalar; burun ve motorun yerleştirileceği kısım için gereken ahşap parçalar ve gövde mukavemetini artırmak amacıyla iki parça da uzanan karbon borular yerleştirilmiştir. Tamamlanan gövde kesitleri, epoksi karışımı ile yapıştırıldıktan sonra destek elemanları yardımıyla sabit halde tutularak kuruması beklenmiştir.



Şekil 43 Savaşan İHA Üretim Aşamaları

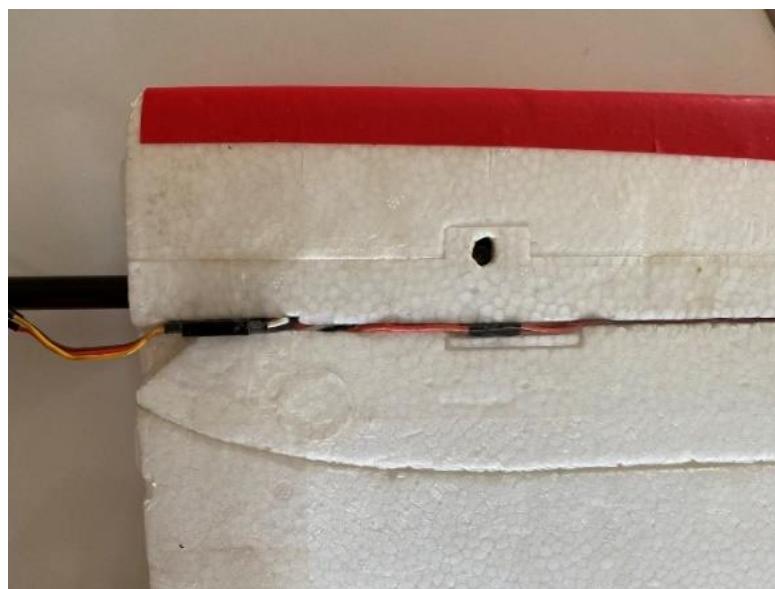
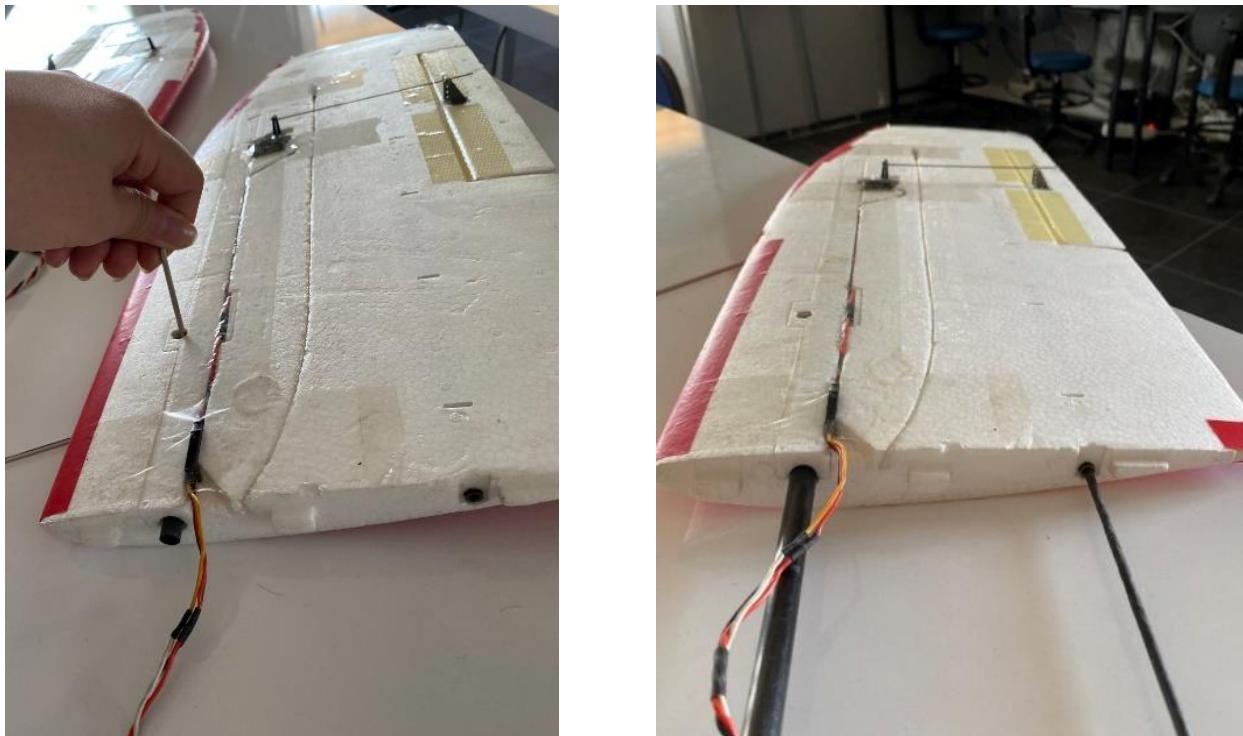
Bütün bir gövdeye ulaşıldıktan sonra kuyruk montajı için iki kuyruk önce karbon borularla sağlamlaştırılmış daha sonra gövdeye yapıştırılarak V kuyruk tamamlanmıştır.



Şekil 44 Savaşan İHA Üretim Aşamaları

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Kanatta karbon borular için şekillenmiş oyuklara 10 mmlik boruların epoksi ile gömülmesi sağlanarak mukavemetleri artırılmış, gövdeye bağlanacağı noktaya kontrplak yapıştırılmıştır. Aynı kontrplaktan kanadın üzerine de yerleştirilerek kanat, gövdeye metal vida ile monte edilmiştir. Bu sırada fiberli somun kullanılarak titreşim kaynaklı sorunlara karşı önlem alınmıştır. Mukavemet kazandırmak amacıyla yıpranma olasılığı olan bölmelere lifli tamir bandı ile kaplama yapılmıştır.



Şekil 45 Savaşan İHA Üretim Aşamaları

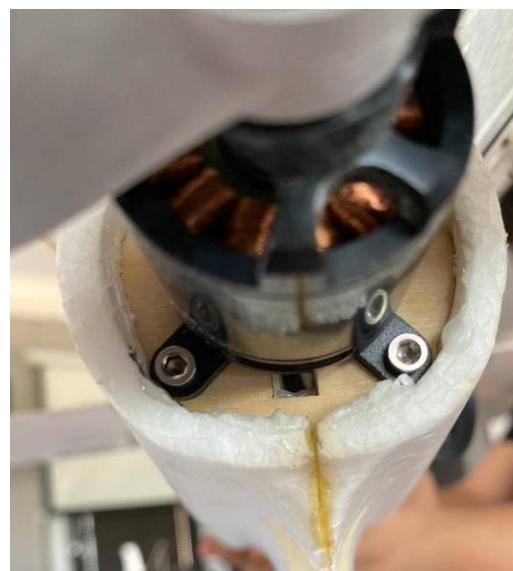
7.2. Mekanik Entegrasyon

Yapısal üretimin ardından gerekli emniyet önlemleri alınarak mekanik entegrasyonu kısmına geçilmiştir. Öncelikle düzenli bir montaj sağlanabilmesi için maksimum akımı kaldırabilecek ve ısınmaya karşı dayanıklı olan kablolar kesilmiş, gereksiz uzunluktan kaçınılmıştır.

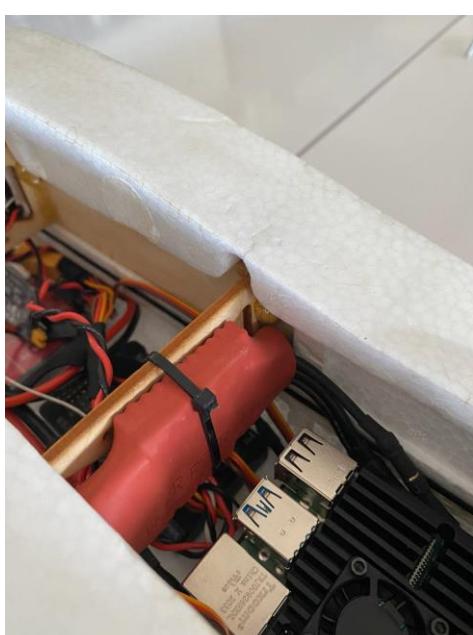
Motor, yapısal entegrasyon kısmında Mini talon'un arkasına yerleştirilen kontrplak motor tutucu parçaya vidalanmış, muz konnektör ile lehimlenen kablolar ile ESC ile bağlantısı sağlanmıştır.



Şekil 46 Savaşan İHA Üretim Aşamaları



ESC, dış deformasyonlardan korunmak için ısıyla daralan makaron ile kaplanmış ve kelepçe kullanılarak planlanan konuma sabitlenmiştir.



Şekil 47 Savaşan İHA Üretim Aşamaları

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Servolar; kanat ve kuyrukta bulunan oyuklarına yerleştirilmiş, sağlamlık sağlama adına üstlerinden tamir bandıyla geçirilmiştir. Plastik yekeler sıcak silikon ile yapıştırılarak servolar ile bağlantıları sağlanmıştır.

Kamera, X UAV Mini talon'un ön kısmına monte edilen cam fanusun içine yapısal entegrasyon kısmında yerleştirilmiş olan ahşap parçaya monte edilmiştir.

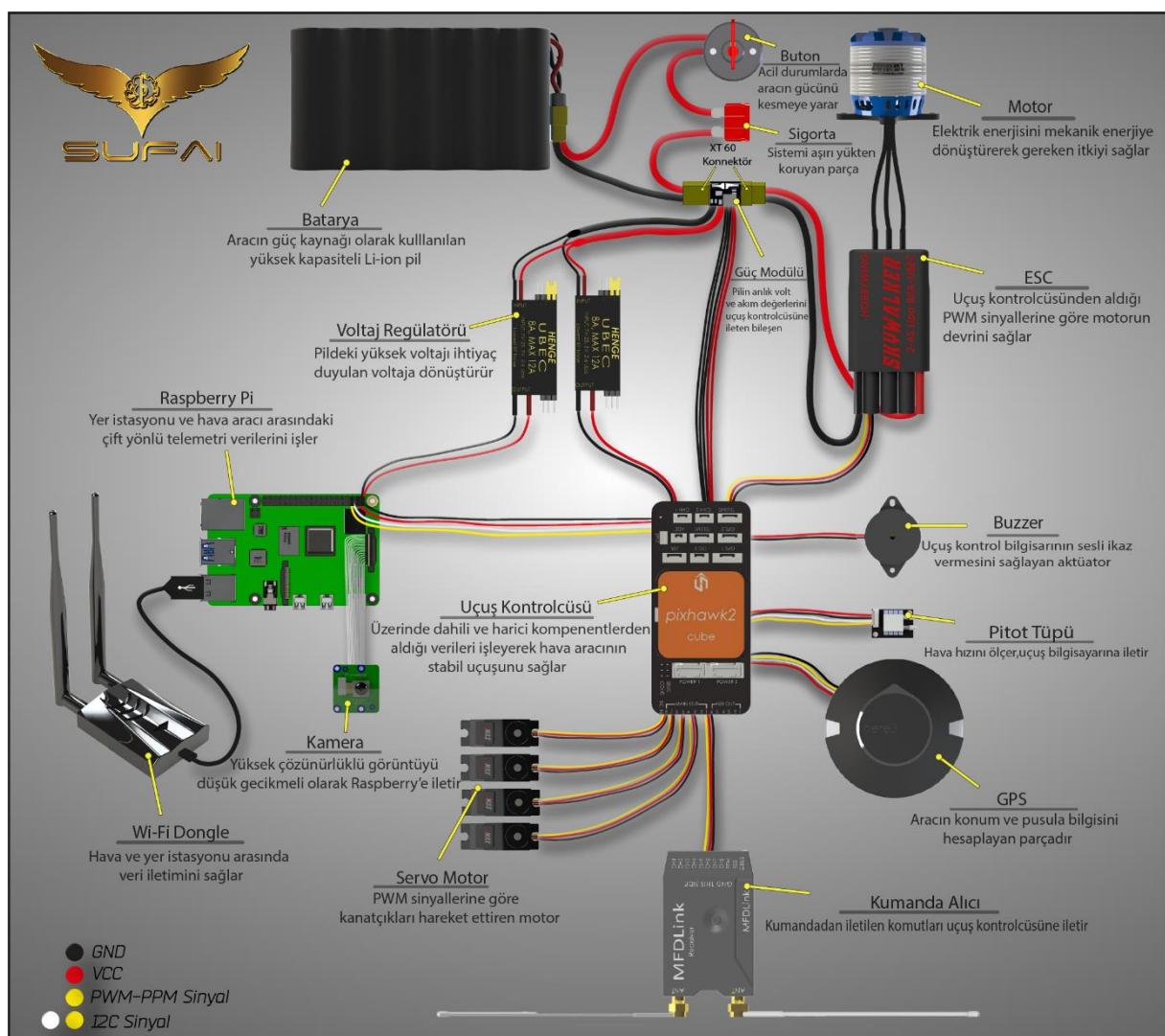
Pilin konumu; ağır olması sebebiyle ağırlık merkezini dengede tutmak için önemlidir, cırtlı kayış ile sabitlenerek uçuş sırasında konumunu koruması amaçlanmıştır.

Bu aşamalarda önlem amaçlı pervane motora monte edilmemiştir.



Şekil 48 Savaşan İHA Üretim Aşamaları

7.3.Elektronik Entegrasyon



Şekil 49 SUFAI SAFDER Savaşan İHA Sistem Şeması

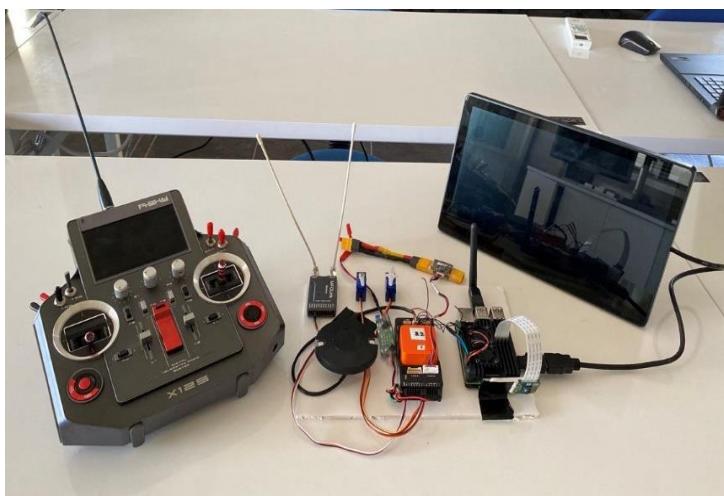
SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Elektrik Elektronik Entegrasyon Süreci tehlikeli kısımlar içerdiği için öncesinde ayrıntılı bir planlama yapılmış ve alınması gereken güvenlik önlemleri belirlenmiştir. Yangın söndürücü çalışma alanına yakın bir konumda tutulmuştur. Montaj sırasında testler için kullanılacak olan li-po batarya %30 dolu olacak şekilde şarj edilmiştir. Elektronik ekipmanlar ile ilgili çalışma yapılan ortamdan tüm yanıcı malzemeler ve sıvılar uzaklaştırılmış çalışma alanı anti statik örtü ile kaplanmıştır.



Şekil 50 Savaşan İHA Üretim Aşamaları

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 53 Savaşan İHA Üretim Aşamaları



Şekil 52 Savaşan İHA Üretim Aşamaları

Montaja önce kablolama ile başlanmıştır. Daha önceden akım değerleri hesaplanarak maksimum akımın %40 fazlasını kaldırabilecek olan ve ısınmaya karşı dayanıklı olan kablolar kullanılacakları yerin uzunluğu gövde üzerinde ölçülerek uygun şekilde kesilmiştir. Bu sayede gövde içerisinde yapılacak olan kablolamada gereksiz uzun kablolar kullanılmamış daha düzenli bir montaj yapılmıştır. Motor ESC arasında kullanılacak olan kabloların her iki uçlarına 3.5mm muz konnektör lehimlenmiş ve montajı yapılmıştır. Motor gövdeye daha önceden yapıştırılmış olan motor tutucuya 4 adet m3 metal vida ve fiberli somun kullanılarak monte edilmiştir. Motor ve Esc bağlantısı yapılmıştır. Tüm bu aşamalar sırasında oluşabilecek herhangi bir kazaya karşı önlem amaçlı olarak pervane motora monte edilmemiştir. Sistem kısa devre testi yapılana kadar güç verilmemiştir



Şekil 51 Savaşan İHA Üretim Aşamaları



Şekil 55 Savaşan İHA Üretim Aşamaları



Şekil 54 Savaşan İHA Üretim Aşamaları

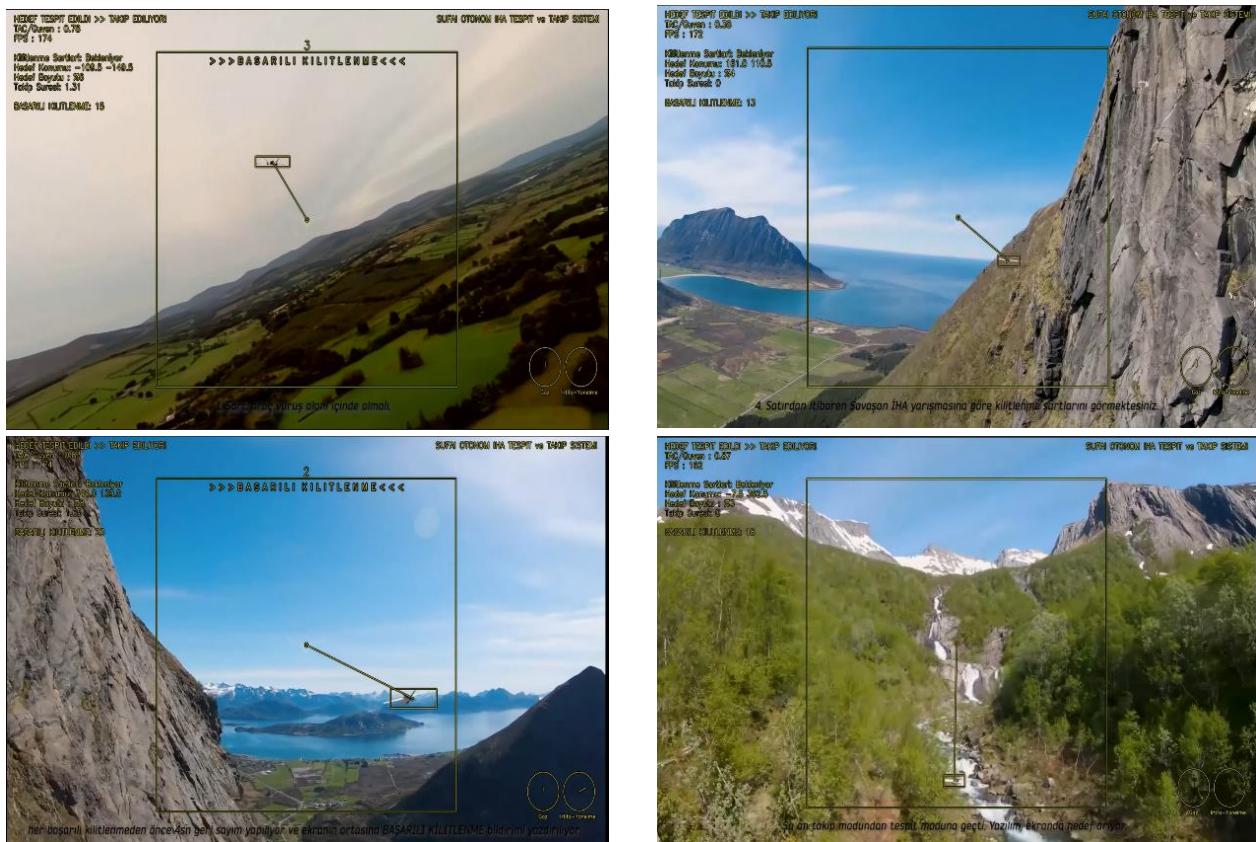
8. TEST VE SİMÜLASYON

8.1.Alt Sistem Testleri

Bu bölümde SAFDER İHA'nın tasarım, üretim ve test aşamalarında uygulanan ve geliştirilen testler yer almaktadır. Hem yazılımsal hem yapısal testler SAFDER üzerinde uygulanmıştır. Yapılan testlerde teorik veriler deneyel veriler ile karşılaştırılmıştır. Alınan sonuçlar ile optimize edilen bileşenler ve yazılımsal iyileştirmeler SAFDER'in daha optimal performans göstermesini sağlamaktadır.

8.1.2 Kilitlenme Testi

Alt sistem testleri olarak gerçekleştirdiğimiz testlerden bir tanesi de Otonom kilitlenme algoritmamızın testini gerçekleştirdiğimiz kilitlenme testidir. Nesne tespit ve takip entegre algoritmamız birçok test videosu üzerinde test edilmiştir. Test videosu olarak kullanılan videoların Savaşan İHA yarışma müsabakasına benzer özellikler göstermesine dikkat edilmiştir. Kilitlenilmeye çalışan İHA'nın görüntü üzerindeki kapladığı alanın sürekli değişimi ve yöneliminin sürekli değişimi yarışma müsabaka parametrelerine benzer özellikler göstermektedir. Gerçekleştirdiğimiz testlere ait örnek görüntüler alt kısımda yer almaktadır.



Şekil 56 Kilitlenme Testi

8.1.3 Haberleşme Testi

Yarışma standartlarına göre hazırlanan iletişim sistemimizin menzili, bağlantı ve sinyal kalitesi farklı ortamlarda test edilmiştir. Telemetri veri iletimi ve görüntü aktarımının yapıldığı iletişim sistemimizin testleri hem uçuş sırasında hem de yerde gerçekleştirılmıştır. Uçuş sırasında yapılan testlerde yine 2.4GHz üzerinden farklı Wi-Fi iletişim modülleri de çalıştırılarak olası sinyal kesilmesi, bozulması gibi olayların test edilmesi sağlanmıştır. Bu sayede yarışma ortamı simüle edilerek yarışma sırasında yaşanabilecek olası sorunların önüne geçilmiştir. Alt kısımda ise yapılan testlerden alınan veriler yer almaktadır.

MENZİL	SİNYAL KALİTESİ	ORTALAMA MBİT
0-2KM	%95-%97	4.5-5
2-5KM	%90-%95	4.0-5
5-10KM	%90-%95	4.0-4.5
10-15KM	%85-%95	3.8-4.5

Şekil 57 Haberleşme Testi Verileri

8.1.4 Kanat Yükü Testi

Bu testin yapılmasıındaki amaç uçuş sırasında kanatların dayanabileceği en fazla kuvveti hesaplamak ve olası herhangi bir kırımın önüne geçmektir. Uçak kanadının uçlarından sabitlenmiş olup, kanatların birleşme noktasına toplam 4 kg yük yerleştirilmiştir. Böylelikle hava aracının maruz kalacağı kuvvet, uçuş ağırlığının 3 katına denk gelmektedir.



Şekil 58 Kanat Yükü Testi

8.1.5 İtki Testi

İtki testi standı yaygın motorlar için uygun tasarıma sahip olmalı ve ölçüdüğü değerleri kullanıcıya minimum hatayla aktarmalıdır. Bunu sağlamak amacıyla SUFAİ ekibi tarafından, standın tüm parçaları Solidworks programı üzerinden modellenerek analizi yapılmıştır. Kullanılacak bağlantı elemanları özenle seçilmiş, kuvvet aktarımının doğru olduğuna emin olunmuştur. Standart makine elemanları arasında bulunmayan parçalar 3B yazıcıda basılacak şekilde tasarlanmıştır. Motorun kuvvet uyguladığı noktanın sigma profilin ucuna kadar olan mesafe, sigma profilin tartıyla temas ettiği noktanın profilin ucuna kadar olan mesafeye eşit olacak şekilde montajlanmıştır.

Tasarlanan test standı sayesinde SunnySky 2814 1100KV motor ve 4S Lityum pil ve yeterli amperi karşılayabilen ESC kullanılarak yapılan testlerde motorun seyir hızı için gerekli olan yaklaşık 1000 gr'luk itki kuvveti üretirken 10.8A çektiği gözlenmiştir. Ayrıca %100 gaz durumunda 44.9 amper çektiği saptanmıştır. Bu değerler eCalc üzerinden yapılan hesaplamalara uygundur. Bu motor ve pervane kombinasyonu istenilen kriterleri sağladığı için kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 59 İtki Testi

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

8.1.6 Pervane Ucu Hava Hızı Testi

Bu testin amacı seçilen motor-pervane kombinasyonu itki test düzeneğine kurulup anemometre kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 60 Pervane Ucu Hava Hızı Testi

8.1.7 Pervane Balans Testi

Uçuş öncesinde pervane balans test standı yardımıyla kullanılacak olan pervanelerin dengesi test edilmiştir. Balansı düzgün olmayan pervaneler, bant yardımıyla balanslanmıştır. Bu sayede pervanenin oluşturacağı titreşimini önüne geçilerek daha verimli bir uçuş sağlanmış, titreşimden kaynaklı motora ve diğer bileşenlere verilebilecek hasarın önüne geçilmiştir.



Şekil 61 Pervane Balans Testi

8.2 Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi

8.2.1 Uçuş Testi

SAFDER İHA ile yapılan deneme uçuşlarında sistem performansları, uçuş performansları, uçuş süresi ve birçok gerekli parametre test edilmiştir. Bu testler sonucunda alındı sonuclarla ve verilere göre SAFDER daha fazla optimize edilerek en yüksek uçuş ve sistem performansını vermesi sağlanacaktır.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

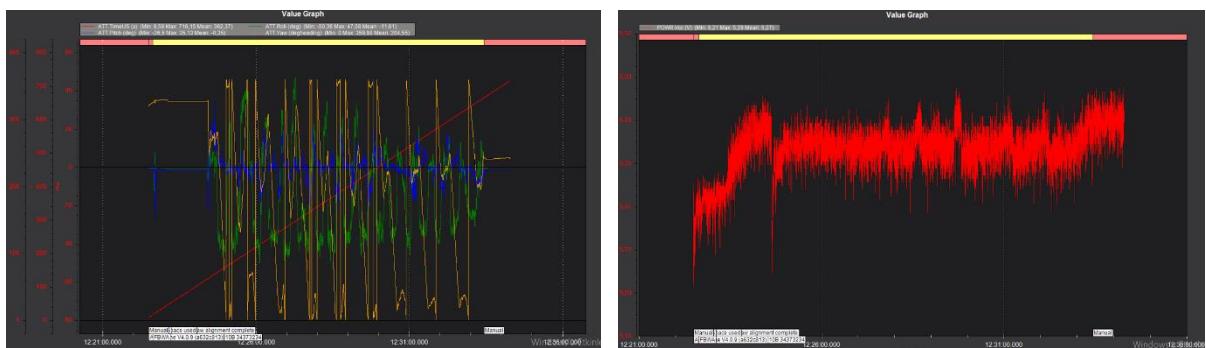
Alt kısımda yapılan iki farklı uçuşun görselleri ve grafikleri yer almaktadır.



Şekil 62 Uçuş Görüşleri



Şekil 63 Uçuş Verileri



Şekil 64 Uçuş süresi ve Uçuş Ana Eksenleri Grafiği

8.2.2 Uçuş Kontrol Listesi

SAFDER İHA deneme uçuşlarında ilk önce insan ve çevre güvenliği sonrasında da uçağın güvenliği için “Uçuş Öncesi Kontrol Listesi” oluşturuldu. Bu liste sayesinde uçuş öncesinde yapılması gereken kontrollerin hiçbirini unutulmadan güvenli ve hatasız şekilde deneme uçuşları tamamlandı. Ayrıca uçuş kontrol listesi sayesinde uçak aviyoniklerine verilebilecek zararlardan korundu böylece maddi kayıpların önüne geçildi. Uçuş öncesi kontrol listesi aşağıda yer verilmiştir

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Kontrol Ögesi	Kontrol Açıklaması	Kontrol
Görsel Kontrol – Dış		
Kaplama ve Yüzey Kontrolü	<ul style="list-style-type: none"> - Kaplamadaki delikler ya da aşınmalar var mı ? - Uçağın dış yüzeyinde dıştan görülebilir bir hasar var mı ? - Uçusta sıkıntı çiakarabilecek herhangi bir dayaniksız parça var mı ? 	
Pervane Ünitesi	<ul style="list-style-type: none"> - Pervane somunu düzgün şekilde sabitlenmiş ve iyice sıkıştırılmış mı? - Pervane yönü ile motor dönüş yönü birbirleriyle uyumlu mu? - Pervane yapısında çizik, centik var mı? - Bükülmüş ya da başka türlü bir hasar var mı? - Pervane dengeli mi? 	
Motor	<ul style="list-style-type: none"> - Motor herhangi bir sürtünmeye maruz kalmadan serbestçe dönüyor mu? - Motordan fıkırılı sesleri veya başka bir arıza sesi geliyor mu? - Motor ve motor yuvası bağlantısı sağlam mı? - Motorun sabitliğinden emin olmak için motor milinden ya da pervaneden biraz çekme uygulayın ve sabitliğinden emin olun. 	
Motor Koruması	<ul style="list-style-type: none"> - Motorun yanlışlıkla çalıştırılmasını önlemek için anahtar açık mı? - Motorun gücü acil bir durumda hızlı bir şekilde kesilebilir mi durumda mı? - Anlık çekilen yüksek akımdan motoru ve uçağı korumak için sigorta bulunuyor mu? 	
Kontrol Yüzeyleri	<ul style="list-style-type: none"> - Tüm yüzeylerdeki servo bağlantıları ve servo çalışma yönleri doğru mu? - Servoların sabitlendiği yerler sağlam mı? - Hafif hareketlerle servonun mekanik kontrollerini yap. 	
Uçuş Yüzeyleri	<ul style="list-style-type: none"> - Kanatlarda ve kuyrukta büükümeye veya kırılma var mı? - Kanat ve kuyruk uçlarında soyulma var mı? - Sağlıklı bir uçuş için yeterli sağlamılıktır mı? - Kanat hücum açısı kabul edilebilir aralığta mı? 	
Elektriksel Bağlantılar	<ul style="list-style-type: none"> - Tüm alıcı, servo, ESC, pil ve eklienti bileşenler tam olarak takılı mı? - Sirayla ve düzgün şekilde bağlanmışlar mı? 	
1. Batarya	<ul style="list-style-type: none"> - Pil hasarsız mı ve normal görünüyor mu? - Li-PO pilin paketi şışmiş görünüyor mu veya pil sıcak mı? - Şışmiş ve sıcak olduğunu hissediliyorsa DOKUNMA!!! Pilin hasarı olmadığından emin olduktan sonra; Pil tam olarak şarj edilmiş mi? - Pil yerine güvenli bir şekilde sabitlenmiş mi? 	
2. Batarya	<ul style="list-style-type: none"> - Tam olarak şarj edilmiş mi? - Pil yerine güvenli bir şekilde oturdu mu? 	
Alicı Anten	<ul style="list-style-type: none"> - Anten sağlam şekilde yerine sabitlenmiş mi? - Antende yapısal bozukluk var mı? - Verici ile olan bağlantı kontrol edildi mi? - Elektronik gürültüden en az şekilde etkilenmesi ve diğer elektronikleri en az etkilemesi için uçağta en uygun yere yerleştirilmiş mi? 	
Yer Kontrol Sistemi Kontrolü	<ul style="list-style-type: none"> - Video Alıcı ile kontrol vericilerinde herhangi bir sıkıntı var mı? - Yer kontrol sistemine telemetri verileri ve fpv kamerası görüntüsü sağlıklı şekilde geliyor mu? - Kumanda verileri uçağa sağlıklı şekilde iletiliyor mu ve uçak doğru şekilde tepkiler veriyor mu? 	

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Kontrol Ögesi	Kontrol Açıklaması	Kontrol
Görsel Kontrol - İç		
Yabancı Materyal	<ul style="list-style-type: none"> - Gövdede gereksiz montaj parçası veya yabancı bir cisim var mı? - Uçak ele alınıp sallandığında veya çevrildiğinde herhangi bir taklit veya yabancı bir cisme ait ses duyuluyor mu? 	
Kablolama	<ul style="list-style-type: none"> - Kablolama sistem devre şemasına göre yapılmış mı? - Servolar uçuş kontrolcüsüne doğru portlardan bağlı mı? - Servo ve diğer aviyoniklerin kabloları yeterince tolerans verilerek sıkı ya da gevşek olmadan bağlı mı? - Kumandanın gerekli komutlar verilerek servo kontrolü yapıldı mı? 	
Denge ve Ağırlık Merkezi		
Boyuna Denge	<ul style="list-style-type: none"> - Uçağın burnunun ortasından ve motor milinden tutularak bakıldığından bir tarafa doğru yuvarlanma hareketi yapıyor mu? 	
Ağırlık Merkezi	<ul style="list-style-type: none"> - Tüm bileşenler uçağa yerleştirildikten sonra iki baş parmağın ucuya belirlenen ağırlık merkezinden tutularak bakıldığından öne veya arkaya gereğinden fazla yönelim gösteriyor mu? - Gösteriyorsa dengeleme için yönelimin olduğu tarafın tersine bir ağırlık koyarak uçağı dengeye getirin. 	
Verici ve Kumanda Kontrolü		
Batarya	<ul style="list-style-type: none"> - Alıcı-verici arasındaki kanal ve frekans uyusuyor mu? 	
Verici Kanal Kontrolü	<ul style="list-style-type: none"> - Bataryası tam şarj durumunda mı? 	
Batarya	<ul style="list-style-type: none"> - Kumanda da tüm modlar kontrol edildi mi? - Uçağın modlara vermesi gereken tepkiler kontrol edildi mi? 	
Fonksiyonel Testler		
Motor	<ul style="list-style-type: none"> - Motordan takırtı ya da sürtünme sesi geliyor mu? - Gereğinden fazla tırtırma yapıyor mu? - Gaz kolu aralığında doğru itkiyi veriyor mu? - Motor dönmeye yönü doğru mu? 	
Aileron	<ul style="list-style-type: none"> - Aileronlar manuel modda istenilen şekilde çalışıyor mu? - Aileronlar yarı otomatik modda uçağı doğru şekilde dengelebiliyor mu? - Aileronlar birbirlerine ters yönde çalışıyor mu? 	
Elevator	<ul style="list-style-type: none"> - Elevatorlar manuel modda istenilen şekilde alçalma ya da yükselme hareketlerini yapıyor mu? - Elevatorlar yarı otomatik modda doğru şekilde uçağı dengelebiliyor mu? - Aileronlar birbirleriyle aynı yönlü çalışıyor mu? 	
Rudder	<ul style="list-style-type: none"> - Rudder hem rudder hem de elevator işini görüyor mu? - Hem manuel modda hem de yarı otomatik modda istenildiği şekilde çalışıyor mu? 	
Radyo Haberleşme Menzil Testi	<ul style="list-style-type: none"> - Uçuş bölgesinde en uzak bölgeye gidip hala uçağın kontrolünün sağlanabilibiliği kontrol edildi mi? 	
Kumandadaki Anahtarların Kontrolü	<ul style="list-style-type: none"> - Kumanda anahtarlarının maksimum ve minimum değerleri aralığı uçuş bilgisayarıyla kalibre edildi mi? - Servolar maksimum ve minimum hareket açı değerleri kontrol edildi mi? 	
Uçuş Öncesi Kontrol Listesi TAMAMLANDI		

9. GÜVENLİK

- Kısa devre problemini engellemek için ek kablo bağlantıları gibi işlemlerde lehim ve makaron kullanılmıştır ve kısa devre ihtimaline karşı aviyonikleri korumak amacıyla sigorta yerleştirilmiştir.



Şekil 65 Güvenlik Ekipmanları

- Test için güvenlik önlemleri alınmadan, özellikle pervane takılıken motorun çalıştırılmamasına dikkat edilmiştir.
- Olası yaralanmalara karşı çalışma ortamı içerisinde ilk yardım çantası bulundurulmuştur.
- Uçağın kontrolünü kaybetme durumuna karşı uçuş kontrol yazılımına failsafe özelliği eklenmiş acil durumlarda uçağın ilk kalkış yaptığı konuma geri dönmesi
- Motorun yarattığı titreşiminden dolayı bağlantı elemanlarından oluşabilecek gevşemenin ve yıpranmanın önüne geçebilmek için vidalı bağlantılar fiberli somun kullanılarak sabitlenmiştir.
- Bataryanın şarjının azalması durumunda kaza kırımının önüne geçmek amaçlı yer kontrol yazılımına sesli ve görsel uyarılar eklenmiştir. Pil kritik voltaja çok yaklaşması durumunda uçuş kontrol kartının otomatik olarak failsafe moduna geçmesi sağlanmıştır.

- Failsafe ayarları kontrol edilmiş ve her uçuş denemesinde test edilmiştir.
- Uçuş esnasında hareket etme olasılığı olan parçalarda ve özellikle kontrol yüzeylerinde karbon fiber ve lifli tamir bandı ile güçlendirilmiştir.
- Uçuş sırasında oluşabilecek riskleri görmek ve önlem almak için gerekli simülasyonlar ve yazılımsal testler yapılmıştır.
- Acil durumlarda erişilmesi kolay bir konuma, yeterli akımı taşıyabilen akım kesici eklenmiştir.
- Bataryalar, özel olarak üretilmiş yanmaz pil saklama çantasında ve optimum koşullarında muhafaza edilmiştir. Pillerin zarar görmemesi için kritik voltajla düşülmemesine ya da kritik voltajın aşılmasına dikkat edilmiştir.
- Uçuş öncesinde gerekli kontrollerin eksiksiz yapılması amacıyla kontrol listesi hazırlanmıştır.
- Herhangi bir kaza kırım veya test esnasından oluşabilecek yangınlara karşı atölyede ve uçuş sahasında yanın tüpü hazırda bulundurulmuştur.



Şekil 66 Güvenlik Ekipmanları

10.REFERANSLAR

Valavanis, K., P., & Vachtsevanos, G., J. (2015). Handbook of unmanned aerial vehicles.

(PDF) Deep Learning for Multiple Object Tracking: A Survey (researchgate.net)

Qr | LearnOpenCV

<https://dronekit-python.readthedocs.io/en/latest/automodule.html>

<https://docs.opencv.org/4.x/index.html>

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

<https://pytorch.org/docs/stable/index.html>