

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

TAKIM ADI: KOUSTECH



SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

İçindekiler

1.	TEMEL SİSTEM ÖZETİ	4
1.1.	Sistem Tanımı	4
1.2.	Sistem Nihai Performans Özellikleri	5
2.	ORGANİZASYON ÖZETİ	6
2.1.	Takım Organizasyonu	6
2.2.	Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe	7
3.	DETAYLI TASARIM ÖZETİ	7
3.1.	Nihai Sistem Mimarisi.....	8
3.2.	Alt Sistemler Özeti.....	8
3.2.1.	Yapısal Alt Sistem	8
3.2.2.	Güç Alt Sistemi.....	9
3.2.3.	Tahrik Alt Sistemi.....	11
3.2.4.	Uçuş Kontrol Alt Sistemi	12
3.2.5.	Haberleşme Alt Sistemi	13
3.2.6.	Yer Kontrol Alt Sistemi.....	14
3.2.7.	Görev Kontrol Alt Sistemi	14
3.3.	Hava Aracı Performans Özeti.....	15
3.4.	Hava Aracı 3 Boyutlu Tasarımı.....	17
3.5.	Hava Aracı Ağırlık Dağılımı.....	18
4.	OTONOM GÖREVLER	20
4.1.	Otonom Kilitlenme	24
4.1.1.	Hedefin Belirlenmesi ve Hedefe Yaklaşma.....	24
4.1.2.	Hedef Tespiti	26
4.1.3.	Otonom Hedef Takibi	27
4.1.4.	Optimizasyon.....	29
4.2.	Kamikaze Görevi	29
4.2.1.	QR Koda Yaklaşma Fazı	30
4.2.2.	Dalış Fazı	30
4.2.3.	Pas Fazı	30
5.	YER İSTASYONU VE HABERLEŞME	30
5.1.	Hava Aracı İçi Haberleşme	31
5.2.	Hava Aracı - Yer İstasyonu Haberleşmesi	32

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

5.2.1. Telemetri Verisi ve komut aktarımı Haberleşmesi:	32
5.2.2. Yedek Telemetri Bağlantı Sistemi	32
5.2.3. Görüntü Aktarımı Haberleşmesi.....	33
5.2.4. Güvenlik Pilotu ile Hava aracı haberleşmesi.....	35
5.3. Uçuş Kontrol Arayüzü ile Görüntü İşleme Arayüzü Arası Haberleşme	36
6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI	36
6.1. Görev Kontrol Arayüzü Tasarımı.....	36
6.1.1. FPV Görüntü Bölümü.....	37
6.1.2. Harita Bölümü	37
6.1.3. Bildirim Bölümü	38
6.1.4. Olası Kilitlenilebilecek Takımlar Bölümü	38
6.1.5. Servislerle Etkileşim Bölümü	38
6.1.6. Görüntü Kaydı Takip Bölümü.....	40
6.2. Uçuş Kontrol Arayüzü Tasarımı	40
7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU	42
7.1. Yapısal Entegrasyon.....	42
7.1.1. Kuyruk Entegrasyonu.....	42
7.1.2. Kanat Entegrasyonu	42
7.1.3. İniş Takımı Entegrasyonu.....	43
7.2. Mekanik Entegrasyon	43
7.2.1. İtki Motoru Entegrasyonu	43
7.2.2. Alt Sistem Entegrasyonları.....	43
7.2.3. Kamera Entegrasyonu	44
7.3. Elektronik Entegrasyon.....	44
8. TEST VE SİMÜLASYON	45
8.1. Alt Sistem Testleri.....	45
8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi	47
8.2.1. Uçuş Simülasyonu.....	47
8.2.2. Uçuş Testleri	48
8.2.3. Uçuş Kontrol Listesi	53
9. GÜVENLİK	54

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ

1.1. Sistem Tanımı

Hava aracı istenilen tüm koşullarda görevleri yerine getirebilmesi için alt sistemlerinin oluşturulması ve ekiplerin müşterek çalışmasıyla temelde gerekten tüm görevlerin başarıyla sonuçlanması gerekmektedir. Teknolojinin hızla gelişmesine paralel olarak her geçen gün daha hızlı değişen savunma doktrinlerinde, geleceğin hava muharebelerinin insansız muharip jetlerle gerçekleştirileceği öngörmektedir[1]. Savaşan İHA yarışmasının temel amacı, gelecekte insansız muharip araçlarla gerçekleştirilecek muharebeleri hava – hava ve hava – kara muharebeleri olmak üzere iki görev altında kontrollü bir ortamda gerçekleştirmektir. Bu kapsamında hava aracının bu faaliyetleri gerçekleştirebilmesi için otonomi özelliği gelişmiş, dinamik hedeflerin bulunduğu bir çevrede farkındalığı olan, dinamik karar verme ve agresif takip yeteneğine sahip, seyir esnasında eş zamanlı olarak yer kontrol istasyonuna veri ve görüntü aktarma kabiliyetlerine sahip olması gerekmektedir. Tüm bu kriterler göz önüne alınarak tasarlanan sistem; bünyesinde barındırdığı alt sistemleri ile birlikte bu faaliyetleri gerçekleştirebilecek kabiliyettedir.

Yarışmanın temel isterini sağlayabilmek amacıyla sistem mimarisi; Yapısal Alt Sistem, Güç Alt Sistemi, Tahrik Alt Sistemi, Uçuş Kontrol Alt Sistemi (otopilot), Haberleşme Alt Sistemi, Yer Kontrol Alt Sistemi, Görev Kontrol Alt Sistemi olmak üzere 7 alt sisteme ayrılmıştır.

Yapısal Alt Sistem: Yapısal alt sistem gövde, kanat, kuyruk, uçuş kontrol yüzeyleri ve iniş takımı olmak üzere 5 bileşenden oluşmaktadır.

Güç Alt Sistemi: 6S 18000 mAh ve 3S 6000 mAh lik iki adet li-on batarya, aviyonik ve görev kontrol bilgisayarlarının beslemesi için iki adet 5V 10A gerilim regülatöründen, gerilim ve akım kesiciden oluşmaktadır. Bu alt sistemin görevi aviyoniklerin ihtiyaç duyduğu güç beslemesini güvenli bir şekilde sağlamaktır.

Tahrik Alt Sistemi: Tahrik alt sistemi hava aracının ihtiyaç duyacağı itki kuvvetini üretecek Dualsky XM6352-EA 560 KV motoru, motorun kontrolünü sağlayan Scorpion Commander 150A ESC ve hava aracının hareketli parçalarını kontrol eden MG995 servo motorlardan oluşmaktadır.

Uçuş Kontrol Alt Sistemi (otopilot) : Otopilot, pitot tüpü ve GPS komponentlerinden oluşur. Bu alt sistem, temel seyrüsefer, uçuş planlaması, yörünge tahmini ve performansın yanı sıra diğer yerleşik bileşenlere bir arayüz sağlamakta sorumludur.

Haberleşme Alt Sistemi: Hava aracı içi haberleşme ve hava aracı – yer kontrol istasyonu arası haberleşme olmak üzere ikiye ayrılır. Hava aracı içi haberleşme; sistemlerin birbirleri ile haberleşmesini sağlayan farklı protokoller ve seri ethernet dönüştürücüden oluşmaktadır. Yer kontrol istasyonu ile haberleşme ise görev verilerinin aktarılması için Rocket AC Lite, Powerbeam M5 400, Anten Takip Sisteminden, telemetri verilerinin aktarılması için ise RFD 868x ve FRSKY L9R kumanda alıcısından oluşmaktadır.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Yer Kontrol Alt Sistemi: Görevin kontrolünü sağlayan Savaşan Hava Aracı arayüzü, uçuş kontrolünü sağlayan mission planner, pilot tarafından hava aracına müdahale edilmesini sağlayan FRSKY Taranis Q X7 kumanda ve hakem sunucusundan oluşmaktadır.

Görev Kontrol Alt Sistemi: Her iki görevin en verimli şekilde gerçekleştirilmesi için yörunge tespit ve analiz algoritmaları, hava araçlarının ve QR kodun tespiti için iki adet Jetson NANO ve Raspberry 4b görev kontrol bilgisayarı ve görevin ortam ve zaman bağımsızlığını sağlayan dinamik PID ve uçuş güzergah belirleme algoritmalarından oluşmaktadır.

1.2.Sistem Nihai Performans Özellikleri

Sistemin performansı; sistem mimarisinin kararlaştırıldığı süreçte belirlenen sistem kriterlerinin görev icra edilirken asgari – azami düzeyde gerçekleştirilmesine endeksli bir ölçütür. Asgari düzeyi azami düzeye yükseltmek amacı ile sistem kendi içerisinde birçok alt sistem barındıran bir yapı haline getirilmiştir. Buradaki temel amaç sistemin var olan kabiliyetlerini alt sistemler aracılığı ile mükemmel seviyeye ulaşana kadar geliştirmektir. Tüm bunların sonucunda sistemin nihai performans özellikleri aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 1 Sistem Nihai Performans Özellikleri

SİSTEM NİHAI PERFORMANS ÖZELLİKLERİ	
Kalkış Ağırlığı	8 KG
Stall Hızı	11 m/s
Seyir Hızı	16 m/s
Max Hız	25
Spesifik Güç	280 watt/kg
Minimum Dönüş Yarıçapı	14 m
İtki/Ağırlık Oranı	1.02
Montaj Süresi	2 dk
Havada Kalış Süresi (minimum)	25 dk
Max Yatış Açısı	70 derece
Kamera Çözünürlüğü	1080p 30 FPS
Görüntü İşleme Konumu	Hava Aracı içerisinde
Görüntü İşleme Hızı	30 FPS
Maksimum Haberleşme Menzili	1.5 km
Maksimum Haberleşme Hızı	3.5 mb/s
Tam Otonom Kalkış - Seyir - İniş	
Anten Takip Sistemi ile Haberleşme Menzili İçerisinde Sürekli Link Desteği	
Seri Ethernet Dönüştürücü ile Kontrol Edilebilir Veri Akışı	
Sizdirmazlık Özelliği ile Tüm Hava Koşullarında Görev Yapılabilirlik	

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Yapay Zeka Desteği ile %96'ya Varan Başarılı Hedef Seçimi

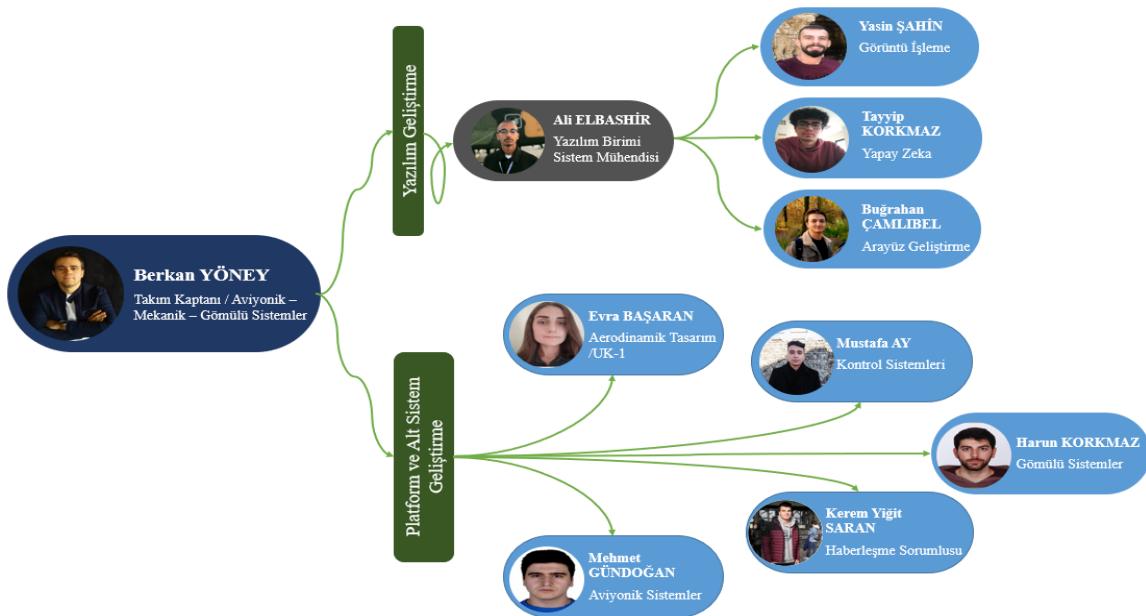
Dinamik Uçuş Rotası ile Ortam Bağımsız Görev Kabiliyeti

Rakip Hava Aracına yönelik dinamik performans değişimi (Dinamik PID)

2. ORGANİZASYON ÖZETİ

2.1. Takım Organizasyonu

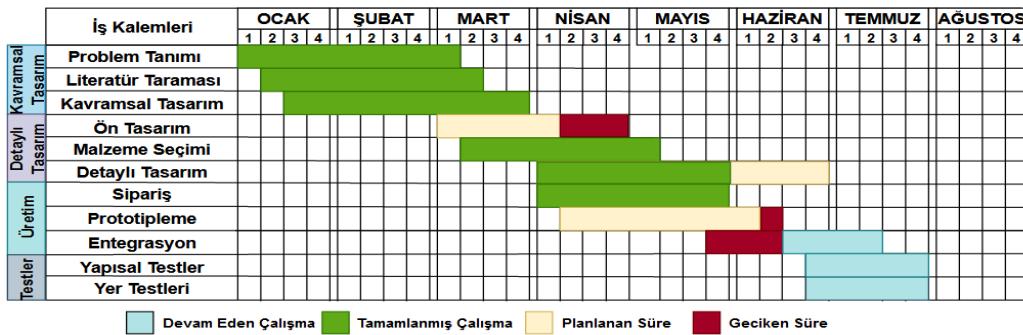
Hava araçları üzerinde ilk çalışmalarına 2017 yılında başlayan KOUSTECH ekibi olarak her sene geliştirilen hava aracı ve alt sistemleri daha profesyonel hale getirmekle kalmıyor, aynı zamanda çalışmalarımızı daha verimli hale getirmek için SCRUM ve IEEE 15288 gibi proje yönetim standartlarını ekibimizde uyguluyoruz. Bu bilinçle Savaşan Hava Aracı yarışması için kurduğumuz ekibi ‘Platform ve Alt Sistem Geliştirme’ ve ‘Yazılım Geliştirme’ olmak üzere iki gruba ayırdık. Platform ve Alt Sistem Geliştirme ekibinde yarışma için geliştirilen hava aracının aerodinamik, mekanik tasarım ve üretimi, aviyonik alt sistem için güç kartları ve yönetim sistemleri tasarımları, otonom uçuşun daha verimli hale getirilmesi için kontrol sistemleri geliştirilmesi ve son olarak haberleşme sistemi için anten yerleşimi ve haberleşme alt sistemleri geliştirilmesi gibi konularda çalışmalar yapılmaktadır. Yazılım Geliştirme ekibinde ise Savaşan İHA yarışması kapsamında otonom takip ve kamikaze İHA yarışlarının en iyi şekilde yerine getirilmesi için yapay zeka destekli algoritma tasarımları, hava aracının üzerindeki donanımlarda üzerinde çalışacak yüksek performanslı görüntü işleme yazılımları geliştirilmesi ve her iki görevinde yer kontrol istasyonundan kontrolünü sağlamak için arayüz geliştirilmesi yapılmaktadır.



Şekil 1 KOUSTECH Takım Organizasyon Şeması

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe



Ekibin planlan zaman akış çizelgesinin, gerçekleşen akış çizelgesine kıyasla belirlenen bazı süreçlerin geciktiği bazlarının erken tamamlandığı görülmektedir. Gecikmeler göz önüne alınarak aşağıda belirtilen takvim dahilinde sürece devam edilecektir.

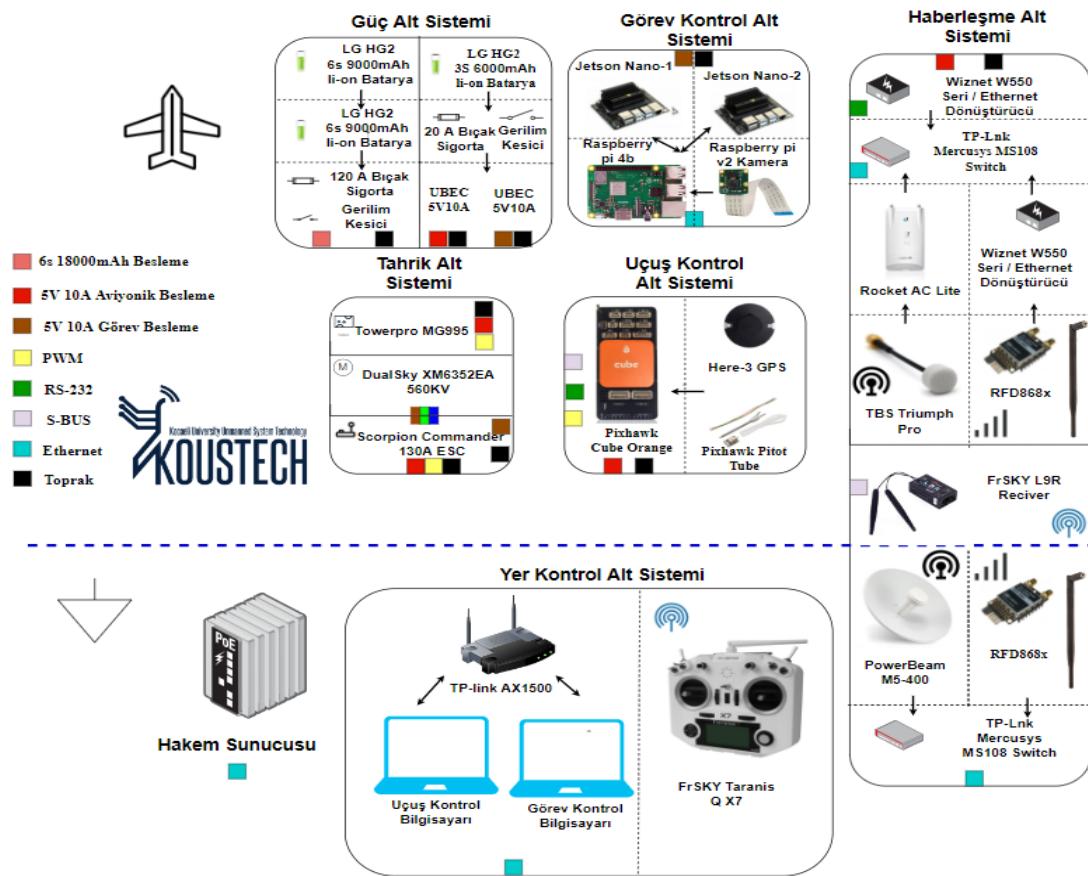
Tablo 2 Bütçe Planlaması

1	Kullanım Alanı	Malzeme	Alım Tarihi	Fiyat
2	Mekanik	JelKot	21 10 2021	84
3	Aviyonik	IHM07M1 Fatura	27 10 2021	161.9
4	Aviyonik	Aviyonik Malzeme	11 12 2021	598.36
5	Aviyonik	Dualsky XM6352 EA 560KV	24 01 2022	5818.35
6	Mekanik	5 Adet 15x8 Pervane	28 01 2022	246.44
7	Mekanik	Polisan Akrilik Vernik Faturası	28 01 2022	39.9
8	Mekanik	Çelik Halat	31 01 2022	204.93
9	Aviyonik	Dupond konnektör - Yan keski - Cimbiz	31 01 2022	154.02
10	Aviyonik	Gimbal PT1 Kart	23 02 2022	190.95
11	Mekanik	13x6,5 Pervane	21 02 2022	66
12	Mekanik	Akrilik Beyaz Sprey Boya	7 02 2022	65
13	Mekanik	Edding Plastik Astar	28 01 2022	67
14	Aviyonik	Gümrük Vergisi	2 02 2022	216.44
15	Aviyonik	Wiznet 5500	4 02 2022	148.5
16	Aviyonik	SMC05 Miknatıs	2 03 2022	139.6
17	Mekanik	Sıcak Silikon	9 03 2022	110
18	Aviyonik	Aviyonik Malzeme	9 03 2022	42.75
19	Mekanik	Alyan Anahtar Takımı	16 02 2022	95
20	Haberleşme	GL80 2 Adet	4 05 2022	5975.68
21	Aviyonik	Encoder Kart Üretilimi	17 05 2022	331.32
22	Yazılım	32Gb Hafıza kartı 2 adet	9 05 2022	196
23	Haberleşme	GL 80 KDV Ödemesi	3 06 2022	1080
24		Planlanan Fiyat	16032.14	
25		Gercekleşen	14839.42	
26		Açık	1192.72	

Planlanan malzeme listesi ile satın alımı gerçekleşen malzeme listesi arasında 1192 TL'lik bir fiyat farkı mevcuttur. Yarışma için kritik olan tüm malzemelerin tedarği gerçekleştirilmiş olup tedarik edilemeyen malzemeler öncelik olarak ikinci sıradadır.

3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ

3.1. Nihai Sistem Mimarisi



Şekil 3 KOUSTECH Nihai Sistem Mimarisi

Savaşan İHA yarışması kapsamında geliştirilen hava aracının kavramsal tasarım raporundan sonra tasarım sürecinin derinleşmesi ile birlikte sistem 7 farklı alt sisteme ayrılmış ve nihaleşmiş sistem mimarisi aşağıda verilmiştir. Kavramsal sistem mimarisinden farklı olarak nihaleşmiş sistem mimarısında tahrîk sistemi bataryası itki motorunun maksimum akım değerini karşılayamadığı için 6s 15000mAh' dan 6s 18000mAh' e çıkarılmış, geliştirme süreçlerinde olan tedarik aksaklıkları sebebiyle batarya yönetim sistemi ve dağıtık mimari güç dağıtım kartı sistemden çıkarılmış ve son olarak tercih edilen kameranın donanım şifreleme özelliklerini karşılamadığı için Beaglebone Black 4G sistemden çıkarılarak Raspberry pi 4b sisteme eklenmiştir.

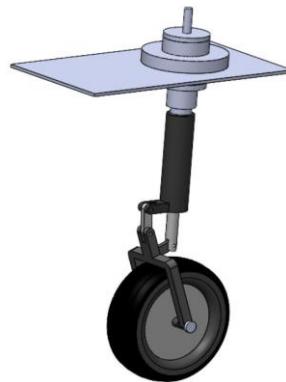
3.2. Alt Sistemler Özeti

3.2.1. Yapısal Alt Sistem

Yapısal alt sistemin tasarım süreci hava aracının modüler bir yapıya sahip olması noktası etrafında şekillendirilmiştir. Temel yaklaşım en az ekipmanla en kısa sürede montajı gerçekleştirmektir. Bu doğrultuda aviyoniklerin ulaşımına, mekanik elemanların değişimine kolaylıkla imkan sağlayacak şekilde kapak yuvaları belirlenmiş olup kanat içerisindeki servo ve kablolarına erişim kolaylığı sağlayan kanat kablaj kapakları, gövde içerisinde aviyonik

ekipmana erişim sağlayan gövde kapakları açılmıştır. Bununla birlikte sistemin gelişime açık olması da göz önüne alınarak harici bir komponent eklenmesi durumunda gövde yapısına zarar vermemesi amacıyla gövde kenarlarına da kapak yuvaları eklenmiştir.

Hava aracının taşınmasında iniş takımının olumsuz etkisi geçmiş tecrübelere dayanarak göz önüne alınmış ve gövde üzerinden kolaylıkla demonte edilebilir şekilde tasarlanmıştır. Iniş takımı; temelde hafiflik kriteri göz önüne alınarak alüminyum 6300 serisi tercih edilmiştir. Iniş takımındaki kontrolcü servo yapısında geleneksel servo tel kullanımında mukavemeti düşük olması sebebiyle hızlıca deform olmaktadır buna ek olarak değişim gerektiren durumlarda montajı zor olduğundan zaman kaybı yaratmaktadır. Bunun yerine kayış kasnak mekanizması tercih edilerek bu sorunun önüne geçilmiştir.



Şekil 4 Iniş Takımı

Ön tasarım raporunda bahsedildiği gibi hava aracının tüm hava koşullarında görev yapabilmesi amacıyla bağlantı noktaları arasında keçe yapıları tercih edilerek hava aracının sızdırmazlık kabiliyeti kazanması sağlanmıştır. Yarışma esnasında gerçekleştirilecek görevleri takiben hem dinamik hedef takibinde hem de kamikaze İHA görevinde hava aracının agresif manevra kabiliyetine sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle hava aracının maruz kalacağı gerilmeler göz önüne alınarak ön tasarım sürecinde belirlendiği üzere hava aracında kompozit bir iskelet yapısı kurulmuştur. Bu iskelet içerisinde tüm rib, boru ve yüzey yapısı karbonfiberden oluşmaktadır. Agresif manevra esnasında hava aracına gelecek 3G yük güvenlikli olarak belirlenip kanat içerisinde 12x10, kuyruk içerisinde ise 10x8 ölçülerinde karbon borular kullanılarak sistemin bu yüze karşı dayanım göstermesi sağlanmıştır. Ön tasarım raporunda belirlenen aerodinamik kriterler üzerinden hava aracının aerodinamik tasarımını gerçekleştirmiştir bunun sonucunda 0.70 m^2 lik kanat alanına sahip, V-kuyruk yapısında hızlı ve stabil bir araç olarak tasarlanmıştır. Görevin güvenle gerçekleştirilebilmesi ve sistemin performansının sahip olunan alt sistemlerle geliştirme amacı ile araç içerisinde kullanılan ekipmanların artması ile hava aracı kalkış ağırlığı 8 kilogramdır. Daha fazla yapısal ağırlık oluşturmamak amacı ile yüksek taşıma katsayısına sahip MH114 profili kullanılmıştır. Kuyruk konfigürasyonunun en temel belirleyicisi görev isteridir. Hedef takibinin gerçekleştirilebilmesinde öne sabit şekilde kameranın konumlandırılması gereğinden itki motoru itici şekilde arkada konumlandırılacaktır. Bu konfigürasyonda V-kuyruk tercih edilerek montaj kolaylığının yanında konvansiyonel kuyruğa göre daha az kesit alanı içerdiginden daha az sürükleme kuvveti oluşturulacaktır.

Gövde yapısında NACA 2412 kanat profili tercih edilmiştir. Gövde yapısı üst görünüşte simetrik, yan görünüşte kamburlu bir yapıya sahip olarak gövdeden kaldırma kuvveti elde etme amacı güdülmüştür. Keskin kenarlardan kaçınılarak, hava akışının gövde üzerinde düzgün dağıtılarak aerodinamik gövde yapısı tasarlanmıştır. Böylelikle hava aracının üreteceği parazit sürükleme kuvvetinin nispeten azaltılarak daha efektif bir uçuş sağlama hedeflenmiştir.

3.2.2. Güç Alt Sistemi

Güç alt sistemi savaşan İHA yarışması için tasarlanan hava aracının her iki görevi de yerine getirmesi için entegre edilen elektronik cihazların ihtiyaç duyduğu enerji beslemesini güvenli

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

bir şekilde sağlamak için tasarlanmış olan alt sistemdir. Güç alt sisteminin batarya, gerilim regülatörleri ve akım-gerilim kesici olmak üzere üç farklı bileşeni vardır.

Kavramsal tasarım raporunda belirtildiği gibi hava aracı üzerinde itki motoru ve diğer tüm aviyoniklerin birbirinden ayrı beslenmesi için 6S 18000 mAh ve 3S 6000 mAh lik iki adet li-on batarya bulunmaktadır. Her iki bataryanın da üretimi için LG HG2 3000mAh 20A deşarj akımına sahip li-on hücreler kullanılmıştır. Li-on bataryaların kullanılması barındırdıkları yüksek güç yoğunluğu sebebi ile aracın daha az batarya ağırlığıyla daha uzun süre uçuş yapabilmesini sağlamıştır. İtki motoru bataryasının değeri seçilen motorun maksimum akım değerini karşılamadığı için 15000 mAh den 18000 mAh a çıkarılmıştır ve ‘Hava Aracı Performan Özeti’ bölümünde detaylıca belirtildiği gibi hava aracının yarışma için yeterli sürede havada kalmasını sağlayacaktır. 3S 6000 mAh olarak belirlenen aviyonik bataryası ise aşağıdaki yaklaşımla belirlenmiştir.



Şekil 5 LG HG2 Li-on Pil

Tablo 3 Aviyonik Güç Tüketim Tablosu

Aviyonik Malzeme	Gerilim (V)	Akım (A)	Güç (W)
Pixhawk Cube Orange Here3 GPS ve Pitot tüpü	5V	2,5A	12,5W
Jetson Nano - 1	5V	4A	20W
Jetson Nano - 2	5V	4A	20W
Raspberry Pi 4B ve V2 Camera	5V	3A	15W
Servo Motor 5 Adet	5V	1,5A	7,5W
Rocket AC Lite	5V	0,5A	2,5W
RFD 868x	5V	0,5A	2,5W

Aviyonik güç tüketimi tablosunda belirtilen tüm cihazların toplamda 80W/h lik güç tüketimi vardır, 3S 6000 mAh lik aviyonik bataryası ise yaklaşık 72W/h güç barındırmaktadır. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda aviyonik bataryası 54 dakikalık uçuş boyunca ihtiyaç duyulacak enerjiyi karşılayabilecek kabiliyettedir.

Hava aracı üzerinde kullanılan tüm aviyonikler 5V ile beslenmektedir. Aviyoniklerin ihtiyaç duyduğu besleme 3S 6000 mAh batarya bağlanmış olan iki adet Hobbywing UBEC 5V 10A gerilim regülatörü tarafından karşılanmaktadır. Bir gerilim regülatörü servo motorların, otopilotun (pixhawk cube orange), Here-3 GPS'in, pitot tüpünün, RFD868x ve Rocket AC Lite'in beslemesini yaparken, diğer gerilim regülatörü Jetson Nano 1-2 ve Raspberry pi 4B - V2 kamera beslemesini yapmaktadır. Rocket AC Lite'in ihtiyaç duyduğu 24 V'luk gerilim beslemesi ise Meanwell SKE15A-24 tarafından karşılanacaktır.



Şekil 6 UBEC Gerilim Regülatörü



Hava aracında iki adet pil bulunduğu için iki adet gerilim ve akım kesici bulunması gerekmektedir. İtki motoru maksimum 113A akım çektiği için motorun 120 A'lık bir bıçak sigorta üzerinden ve bu akıma dayanabilecek gerilim kesici üzerinden geçirilmiştir. Aviyoniklerin beslemesi için yerleştirilen iki adet UBEC'in beslemesi ise 20 A'lık akım kesici ve gerilim kesici üzerinden yapılmıştır. Hava aracı üzerinde modülerlik ve hızlı müdahale sağlanması için tüm sigorta ve gerilim kesiciler uçağın sol ön tarafından erişilebilen kontrol paneli üzerine yerleştirilmiştir.

Şekil 7 Bıçak Sigorta

3.2.3. Tahrik Alt Sistemi

Tahrik sistemi hava aracının hareket ve yönelimini sağlayan tüm eyleyicileri ve bu eyleyicilerin sürücülerini kapsamaktadır.

İtki motoru hava aracının manevra kabiliyeti, uçuş süresi ve verimliliği gibi birçok performans kriterini etkilediği için hava aracı üzerindeki en önemli bileşenlerden biridir. Motorun seçilmesi sırasında yapılan uzun literatür taramalarının sonucunda elde edilen tüm matematiksel denklemler Microsoft excel programında modellenmiş ve 8 kg bandında itki üreten tüm motorların veri tabanı oluşturulmuştur. Analiz sürecinin tamamlanmasıyla karşılaşılan en verimli motor olan Dualsky XM6352EA tercih edilmiştir. Analiz sonucu son 4'e kalan motorların listesi tablo x de verilmiştir. Motorun tedarığının gerçekleştirilmesi ile birlikte motor 15x8 pervane kombinasyonunda alt sistem testleri kısmında detayları paylaşıldığı gibi itki test düzeneğinde test edilmiş ve motor veri sayfasında paylaşılan değerleri sağlayıp sağlamadığı



Şekil 8 15x8 Pervane



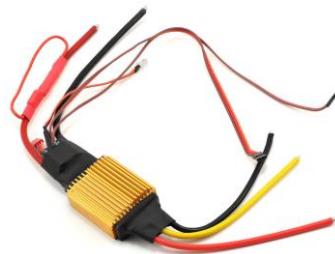
Şekil 9 DUALSKY XM6352 EA Motor

değerlendirilmiştir. Testlerin tamamlanmasıyla birlikte motorun bataryadan %100 gaz kelebeğinde yaklaşık 110 A akım çektiği, 8100 gr itki ürettiği, 20 dakikalık uçuş sonrasında 62 derece sıcaklığa ulaştığı ve Hançer PT3 hava aracının seyir irtifa ve hızında ortalama %45 gaz kelebeği kullanılarak uçuşu sağladı sonuçlarına varılmıştır. Pervane seçimimde ise motorun veri sayfasındaki pervane kombinasyonlarının test sonuçları incelenmiş ve 6S gerilim seviyesinde en verimli olan 15x8 APC elektrik pervanesi kombinasyonu seçilmiştir.

Tablo 4 Motor Karşılaştırma Tablosu

Motor	Gerilim (V)	Akım (A)	Pervane	Yorum
MAD X4229	6S	82.16 A	18x8	Pervane hava aracı için büyük.
Sunnysky X4125	7S	89 A	16x10	ESC Motorun gerilim değerini Karşılıyor.
GA2000R	5S	100.4 A	18x10	Pervane hava aracı için büyük.
XM6352EA	6S	113,2 A	15x8	Yüksek akıma rağmen verimli.

Hava araçlarında yüksek hızlara çıkabilmesi, yüksek verimliliğe ulaşabilmesi ve bakım gerektirmemesi gibi sebeplerle fırçasız doğru akım motorları tercih edilmektedir. Fırçasız doğru akım motorlarının hız kontrolünün yapılabilmesi için ise ESC'ler kullanılmaktadır. Hançer PT3 hava aracında sahip olduğu 130A sürekli akıma dayanabilme, yumuşak kalkış desteği sayesinde pil üzerinde gerilim dalgalanmasını engelleme ve gelişmiş fin yapısı sayesinde termal dayanıklılık özellikleri sonucunda Scorpion Commander 130A ESC tercih edilmiştir.



Şekil 10 Scorpion Commander 130 A ESC

Hava aracında dikilme, yatis ve yönelme hareketleri kanat ve kuyrukta bulunan hareketli parçalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Hareketli parçaların otopilot üzerinden gelen hareket verileri ise servo motorlar tarafından harekete dönüştürülmektedir. Yüksek torka sahip olması, metal dişli yapısı sayesinde dayanıklı olması ve kolay ulaşılabilir olması gibi sebeplerle MG995 servo motor tercih edilmiştir.

3.2.4. Uçuş Kontrol Alt Sistemi

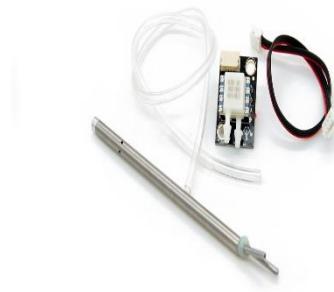
Savaşan İHA yarışmasının temel isteri sistem tanımı başlığında belirtildiği üzere insansız muharip araçlara yüksek otonomi ve çevresel farkındalık kazandırmaktır. Bu nedenle hava

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

aracına otonomi özelliği kazandıran uçuş kontrol alt sistemi ve komponentleri büyük önem arz etmesiyle beraber, alt sistemin sahip olduğu sensörlerin kabiliyeti tüm sistemin kabiliyetini etkilemektedir. İçerisinde barındırdığı MPU9250 jiroskop/ivmeölçer, MS5611 barometre, LSM303D ivmeölçer/pusula ve L3GD20 jiroskop sensörleri ile açık kaynak kodlu, STM32 tabanlı olan “Pixhawk The Cube Orange” modeli tercih edilmiştir.



Şekil 11 Pixhawk Cube Orange



Şekil 13 Pitot Tüpü

ArduPilot ve PX4

uçuş kontrolörlerinin bazı noktalarda birbirleri üzerinde avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. PX4 yapısı ticari amaçlı kullanıldığı için daha güvenilir bir yazılım olmasına rağmen ekibin geçmiş yillardan gelen ArduPilot tecrübesine dayanarak geliştirme sürecinin hızlanması için ArduPilot tercih edilmiştir. Açık kaynak kodlu bir yazılım yapısının kullanılması sayesinde yarışma isterleri gereği revize edilmesi gereken durumlarda koda müdahale avantage sunmaktadır. ArduPilot yazılımı uçuşu, üç farklı kontrol yapısı ile sağlamaktadır. Bunlar PID kontrol, PID kontrolü destekleyen TECS ve NAVL1 kontrol yapılarıdır. TECS kontrolcüsünü faal olarak kullanma amacıyla MS 4525DO hava hızı sensörü kullanılmıştır. Böylelikle hava aracının performansının artırılması hedeflenmiştir.

Hava aracının konum bilgilerinin doğruluğu doğrudan otonomi özelliğini ve güvenilirliğini etkilemektedir. İçerdeği u-blox M8 yüksek kesinlikli GNSS modülüyle sunduğu doğruluk ve RTK modülünü destekleyici yapısıyla sağladığı avantajlar doğrultusunda Here3 GPS modülü tercih edilmiştir.

3.2.5. Haberleşme Alt Sistemi



Şekil 12 Here 3 GPS

Savaşan İHA görev isterleri bakımından disiplinler arası bir yarışma olduğundan dolayı sistemin yapısal, aviyonik, yazılımsal ve haberleşme açısından içerisinde birçok özelliği barındırması gerekmektedir. Yarışma alanında birçok ekip olduğu için alandaki sinyal yoğunluğu oldukça yüksektir bu durum tüm takımları sistemleri ne kadar iyi olursa olsun olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple Savaşan İHA 2022 yarışması hazırlık sürecinde ekip bünyesinde kurulan haberleşme alt biriminde birçok haberleşme sistemi geliştirilmiş ve hazır sistemler en uygun şekilde sisteme adapte edilmiştir. Geliştirme sürecinde haberleşme sistemi hava aracı içi haberleşme, hava aracı - yer kontrol istasyonu arası haberleşme ve uçuş kontrol arayüzü ile görüntü işleme arayüzü arası haberleşme olarak incelenmiştir. Hava aracı içi haberleşmede veri kontrolünün sağlanması, çoklu veri dağıtım ve sistemler arası iletişim özelliklerinin kazandırılabilmesi için ekip bünyesinde Wiznet W5500 kullanılarak seri-ethernet dönüştürücü geliştirilmiştir. Hava aracı ile yer kontrol istasyonu arasındaki haberleşmenin

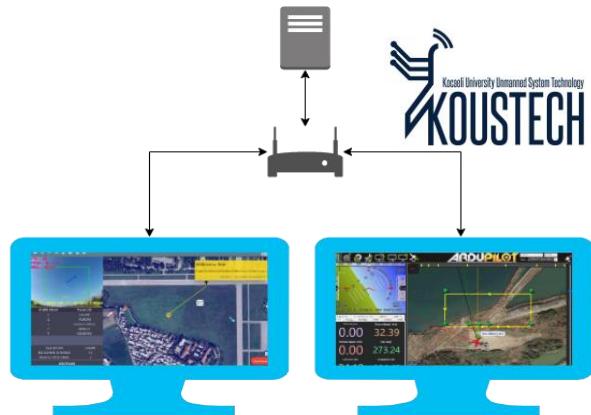
kesintisiz bir şekilde sağlanabilmesi için hava aracı üzerinde çok yönlü antenler ve yüksek çıkış gücüne sahip Rocket AC lite tercih edilirken, yer kontrol istasyonunda yöneltilmiş anten ve powerbeam M5 400 tercih edilmiştir. Yöneltilmiş antenin sürekli olarak hava aracını takip edebilmesi için ekip bünyesinde Anten Takip Sistemi geliştirilmiştir. Telemetri verilerinin YKİ'ye aktarılması için ise RFD868x tercih edilmiş ve yine bağlantı durumunun kötüleşmesi durumunda görev için kullanılacak olan rocket AC Lite ve Powerbeam M5-400 üzerinden verilerin aktarılmasını sağlayan yedek telemetri bağlantısı yazılımı geliştirilmiştir. Bu kısımda tercih edilen donanımların özelliklerinden konu bütünlüğünün daha iyi sağlanabilmesi için yer kontrol istasyonu ve haberleşme bölümünde bahsedilmiştir.



Şekil 14 Anten Takip Sistemi

3.2.6. Yer Kontrol Alt Sistemi

Savaşan İHA yarışmasında görevlerinin en iyi şekilde gerçekleştirilebilmesi için uçuşun ve görevin ayrı ayrı kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple iki farklı kontrol bilgisayarı kullanılır. Bir bilgisayar üzerinden uçuş kritik kontrolleri yapılrken diğer bilgisayar üzerinden görev kritik kontrolleri yapılmaktadır. Böylelikle uçuş kontrolü ikiye bölünerek uçuş güvenliğini artırmayı yanında görev başarısının artırılması da hedeflenmiştir.



Şekil 15 Yer Kontrol Alt Sistemi

Yer kontrol arayüzünde sunulan uçuş kritik bilgileri aracılığıyla hava aracının durum takibi gerçekleştirilmektedir. Temelde sunduğu irtifa, hız, yönelim bilgileri ile hava aracının uçuş güvenliği takip edilmekte olup olumsuz bir durumda müdahaleye imkan tanımaktadır. Yer kontrol arayüzü 6.2. uçuş kontrol arayüzü bölümünde detaylı şekilde açıklanmıştır. Görev Kontrol Arayüzü, kullanıcıya görev kritik bilgileri görselleştirilmiş ve anaması kolay bir biçimde sunar. Sunulan bu bilgilerden bazıları üzerinde güncelleme yapma imkanı da sunarak görevin gerçekleştirilemesinde önemli bir rol oynar. Görev Kontrol Arayüzü'nün işlevleri 6.1 görev kontrol arayüzü tasarımları bölümünde detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Görev Kontrol Araçları Flutter çerçevesi (framework) ile geliştirilmiştir. Buradaki tercih kriterleri Flutter'in yüksek performanslı olması, YKİ'de bulunan takım üyelerinin bilgisayarlarında kullandıkları işletim sistemlerine uygun stabil sürümlerinin bulunması, hızlı öğrenme ve geliştirme sağlamasıdır.

3.2.7. Görev Kontrol Alt Sistemi

Otonom kilitlenme ve kamikaze İHA görevlerinin gerçekleştirilmesi için hava aracı üzerinde çalışacak şekilde görev kontrol alt sistemi tasarımları yapılmıştır. Her iki görevin de gerçekleştirilebilmesi için hakem sunucusundan gelen veriler ile birlikte hava aracı üzerinde üretilen görüntü verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Haberleşmeden kaynaklı gecikmeleri

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

engelleyebilmek için tüm sistem mimarisi hava aracı üzerinde çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Hava aracı üzerine yerleştirilebilecek donanımların işlem kapasitesi sınırlı olduğundan çoklu donanımlar kullanarak paralel işlem gerçekleştirilmiştir.

Hançer'in yardımcı bilgisayarı olarak Raspberry Pi 4B'nin kullanılmasına karar verilmiştir. Yardımcı bilgisayar, telemetri verilerini iletmek, yazılımsal sistem servislerini yönetmek, görüntüyü kaydetmek ve yönlendirmekten sorumludur. Raspberry Pi 4B'nin Donanım H.264 kodlayıcının bulunması en temel seçim kriteridir. H.264 hafızalı bir işaret olarak kodlanabildiğinden, geçmiş görüntü



Şekil 16 Raspberry Pi 4b



Şekil 17 Raspberry Pi V2 Kamera

karelerdeki değişiklikleri tutarak verileri iletebilmektedir. Bu nedenle diğer hafızasız işaretli görüntü kodlama yöntemlerinden (örn. MJPEG) daha küçük bir boyuta sahiptir, bu da haberleşme konusunda kolaylık sağlamaktadır. Raspberry Pi ile uyumluluk, 1080p çözünürlük ve saniyelik 30 kare sayısıyla Raspberry Pi V2 kamerası tercih edilmiştir.

Raspberry Pi 4B'nin donanım seviyesinde görüntü kodlaması, yazılım seviyesinde kodlamadan 6 kat daha hızlıdır. Üstelik 5 kat daha az bellek tüketimi ve 3-4 kat daha az işlemci zamanı kullanımına sahiptir. [Safin, Ramil & Garipova, Emilia & Lavrenov, Roman & Li, Hongbing & Svinin, Mikhail & Magid, Evgeni. (2020). Hardware and software video encoding comparison. 10.23919/SICE48898.2020.9240439]. Bu da sistem gecikmesini azalttığından kamikaze ve otonom kilitlenme görevlerinin geribildirim döngülerinin hızlarını olumlu bir şekilde etkilemektedir. Otonom kilitlenme görevinde tek bir jetson nano nun yeterli FPS'te görüntü işleyemediği için 1 Jetson Nano yerine, 2 Jetson Nano'nun kullanılmasına karar verilmiştir. Kullanılacak sistemde, hava aracı tespiti ve hava aracı takip işlemleri karmaşık ve kaynak tüketimi yüksek olduğundan, 20 FPS 'in altında kalmaktadır. Bu nedenle bölüm 4.0 otonom görevler sistem tasarımı bölümünde detayları verilen, yazılımsal konfigürasyon A'da Takip Servisi, 2 Jetson Nanya dönüştürülmüş bir şekilde saf görüntü kareleri göndererek, hem nesne tespiti hem de nesne takibinin 2 kat hızıyla çalışması sağlanmıştır. Görüntü kareleri 2 ayrı GStreamer pipeline ile sağlanmaktadır. İşlenmiş görüntü ise ZeroMQ ile geri gönderilip birleştirilmektedir. Görüntü karelerinin doğru bir şekilde sıralanıp birleştirilmeleri için, kare sayısı ile birlikte geri gönderilmektedir.



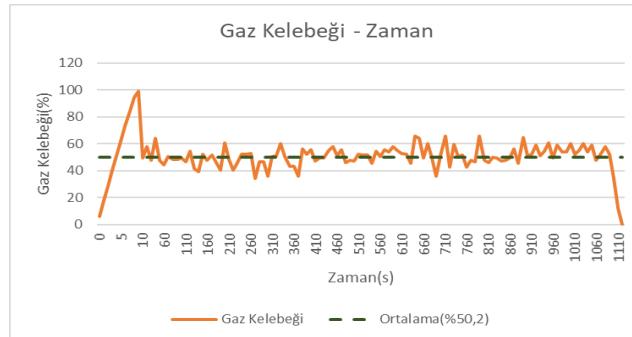
Şekil 18 Jetson NANO

3.3. Hava Aracı Performans Özeti

Hava aracının otonom uçuş sırasında gaz kelebeği miktarı, uçuş kontrol alt sisteminde bulunan rüzgar hızı sensörü ve GPS ten gelen verilerle otopilot tarafından belirlenmektedir. Otonom kilitlenme ve kamikaze İHA görevlerinde ise gaz kelebeği miktarı yine bu sensörlerden gelen verilerle görev kontrol alt sistemi tarafından belirlenmektedir. Alt sistemler özette detayları belirtildiği gibi tıhrik alt sisteminin ihtiyaç duyduğu enerji 6s 18000 mAh batarya

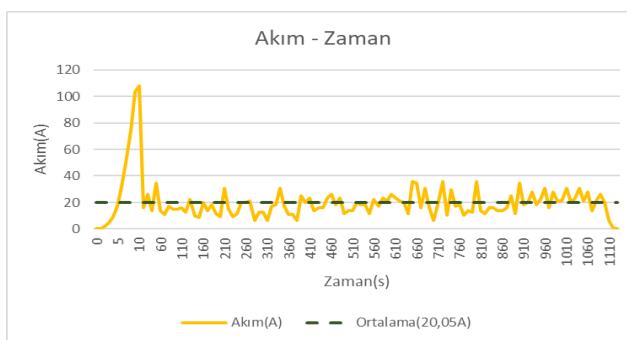
SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

tarafından karşılaşacaktır. Tahrik bataryasının dayanım testi mümkün olabilecek en kötü senaryo ve gerçek uçuştan alınan uçuş kayıtlarının ekip bünyesinde geliştirilmekte olan döngüde donanım (HITL) sistemine girdi olarak verilmesi ile, iki farklı şekilde yapılmıştır.



Grafik 1 Gerçek uçuştan türetilmiş gaz kelebeği değerleri

Tahrik bataryası kabiliyetlerinin daha gerçekçi bir şekilde ölçülebilmesi için, 2021 savaşan İHA yarışmasında yarışmış olan ‘Hançer PT2’ den alınan veriler, bu sene geliştirilmekte olan ‘Hançer PT3’ ün aerodinamik, kütlesel ve itki sistemi farklılıklarını göz önünde bulundurularak resim 1 de verildiği gibi ölçeklendirilmiştir.



Grafik 2 HITL sisteminde ölçülen anlık tüketim değerleri.

Resim 1 de verilen türetilmiş verilerin HITL sistemine girdi olarak verilmesi ile 2022 savaşan İHA yarışması için tasarlanmakta olan ‘Hançer PT3’ 2021 savaşan İHA yarışmasına katılmış gibi uçurulmuş ve Resim 3 te verilen tüketim grafiği elde edilmiştir. Tüketim grafiğinin integralinin alınmasıyla 18,5 dakikalık uçuşta motor tarafından 6103 mAh güç tüketilmiştir. Tahrik sisteminin bir diğer bileşeni olan servo motorların da toplam tüketimi olan 800 mAh’ın de hesaba katılmasıyla birlikte toplamda 6903 mAh güç harcanmıştır. Bu tüketim verisi doğrultusunda;

$$\frac{18000 \text{ mAh}}{6903 \text{ mAh}} \times 18,5 \text{ dk} = 48 \text{ dk}$$

Formül 1 Türetilmiş verilerden elde edilen uçuş süresi

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

2021 Savaşan İHA verilerinden elde edilen veriler kullanılarak 48 dakikalık uçuş süresi elde edilmiştir ve bu süre savaşan İHA yarışması için fazlaıyla yeterlidir. Ancak yapılan testte kullanılan verilerde otonom takip - kamikaze İHA ve kaçış fazları bulunmadığı için ve bu fazlarda çok yüksek enerji tüketildiği için mümkün olan en kötü senaryonun hesaplamalarında yapılmıştır.

Uçuş verileri ve geliştirilen İHA lardan elde edilen tecrübeler doğrultusunda en kötü senaryoda itki motoru ortalama %80 gaz kelebeği oranıyla uçmaktadır. İtki motorunun %80 gaz kelebeği oranında 62,5 Ah ve servoların zorlama durumunda toplamda 1,75 Ah güç harcadığı göz önüne alındığında;

$$\text{İtki motoru tüketimi} + \text{Servo motorların tüketimi} \rightarrow 62500 \text{ mAh} + 1750 \text{ mAh} = 64250 \text{ mAh}$$

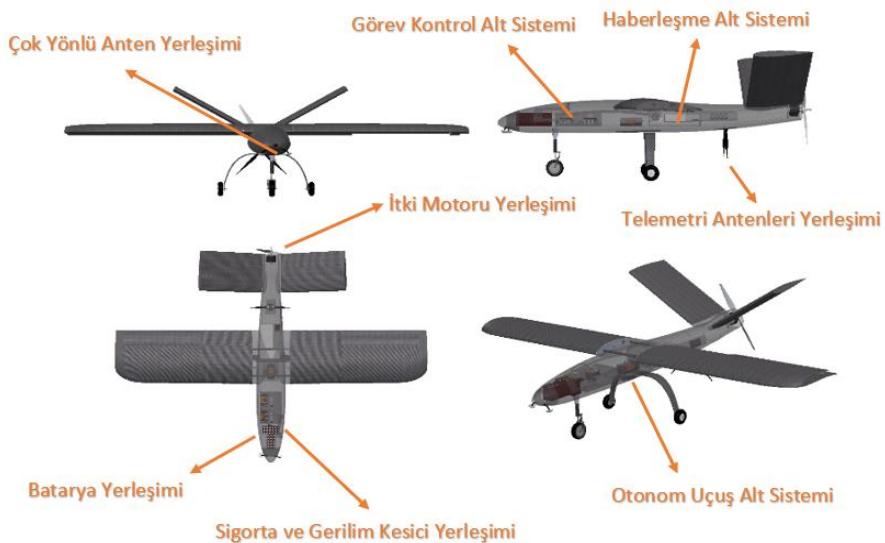
$$\frac{64250 \text{ mAh}}{60} = 1070,83 \text{ mA dák}$$

$$\frac{\text{Tahrik bataryası yükü}(q)}{1 \text{ dakikalık tüketim}(q)} = \frac{18000}{1070,83} = 16,8 \text{ dk}$$

Formül 2 Kötü senaryodaki uçuş süresi

Yukarıda verilen her iki yaklaşımında da hesaplanan uçuş süresi, savaşan İHA yarışmasında yapılacak olan 15 dakikalık uçuştan fazla olduğu için, Hançer İHA belirtilen süre zarfında görev yapabilecek kabiliyete sahiptir.

3.4. Hava Aracı 3 Boyutlu Tasarımı



Şekil 19 Hava Aracı 3 Boyutlu Tasarımı

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Tablo 5 HANÇER PT3 Boyutları

	Kanat	Ruddervator	Hançer Pt3 Boyutları ve Özellikleri	
Kanat Profili	MH114	NACA0012	Uzunluk	1.40 [m]
Açıklık	2 [m]	0.42 [m]	Genişlik	0.15 [m]
Alan	0.70 [m^2]	0.20 [m^2]	Yükseklik	0.35 [m]
Sivrilme Oranı	0.75	0.85	Toplam Kalkış Ağırlığı	8 [kg]
Açıklık Oranı	5.71	3.5	Faydalı Yük Ağırlığı	1.2 [kg]
Kök Veter Uzunluğu	0.36 [m]	0.26 [m]	Pervane Boyutu	15x8 inç
Uç Veter Uzunluğu	0.27 [m]	0.22 [m]	Uçuş Süresi (min)	25 dk

3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı

Hava aracının ağırlık merkezi doğrudan stabiliteyi etkilediği için önemli tasarım kriterlerinden biridir. Ağırlık merkezi referans eksen takımı, hava aracının referans eksen takımına paralel olacak şekilde şekil-1 de gösterildiği gibi belirlenmiştir. X eksenindeki 0 noktası, kanat başlangıcını - Y eksenindeki 0 noktası, gövdenin ortasını - Z eksenindeki 0 noktası, itki vektörünü temsil etmektedir. Yapılan aerodinamik, stabilite ve kütle dağılımı analizleri sonucunda hava aracının ağırlık merkezi olarak X: 8,5 cm, Y: 0 cm ve Z: -2,3 cm olarak belirlenmiştir. Belirlenen ağırlık merkezini sağlayacak komponent yerleşimleri tablo-1 de verildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 20 Hançer İHA Ağırlık Merkezi Eksen Takımı

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Tablo 6 Ağırlık Dağılımı Tablosu

Komponent	Ağırlık (gr)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Dualsky XM6352EA	602	825	0	0
15x8 Pervane	63	874	0	0
Scorpion Commander 130A ESC	237	697	0	-10
Kuyruk	410	725	0	125
RFD 868 Antenleri	53	509,22	0	-79,47
Rocket AC Lite	250	310,5	28	-40,97
RFD 868	14,5	370	-41,33	-53,63
Tp-link Mercusys Switch	35	118,65	-6,5	-48,47
Gövde	1480	163,28	0	-30
Arka İniş Takımı	209	160,51	0	-110
Kanat	885,125	100	0	50
Pixhawk Cube Orange	73	85	0	-55
3S 6000mAh Görev Bataryası	312,72	0	-26	-79,47
UBEC 5V 10A (UK)	50	0	0	-79,47
FRSky L9R	40	-113	0	-90
Here 3 GPS	50	0	0	50
Jetson Nano-2 ve FAN	162	-113	28-15	-55,17
Jetson Nano-1 ve FAN	162	-223	28,15	-55,17
UBEC 5V 10A (GK)	50	-192	0	-79,47
Ön İniş Takımı	275	-275	0	-110

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Kontrol Paneli	100	-300	-50	0
Raspberry Pi 4b	46	-502,44	0	0
6S 9000mAh Tahrik Bataryası -1	938,16	-315	0	-46,87
6S 9000mAh Tahrik Bataryası -2	938,16	-400	0	-46,87
TBS Triumph Pro Mantar Anten	26	-480	0	-79,47
Raspberry Pi v2 Kamera	5	-502,44	0	0

4. OTONOM GÖREVLER

Yazılımsal Sistem Mimarisi

Hedef takibi ve Kamikaze görevlerini gerçekleştirmek için iki farklı yazılım sistem mimarisi düşünülmüştür. Bu sistem mimarileri Monolitik sistem mimarisi ve Dağıtık sistem mimarisidir. Monolitik sistem mimarisi; tüm görev kontrol ve komuta işlemlerinin tek bir süreç üzerinde yürütüldüğü mimari iken dağıtık sistem mimarisi farklı makine ve süreçler üzerinde farklı görev kontrol ve komuta işlevlerinin gerçekleştiği mimaridir.

Tablo 7 Yazılım sistem mimarı karşılaştırması

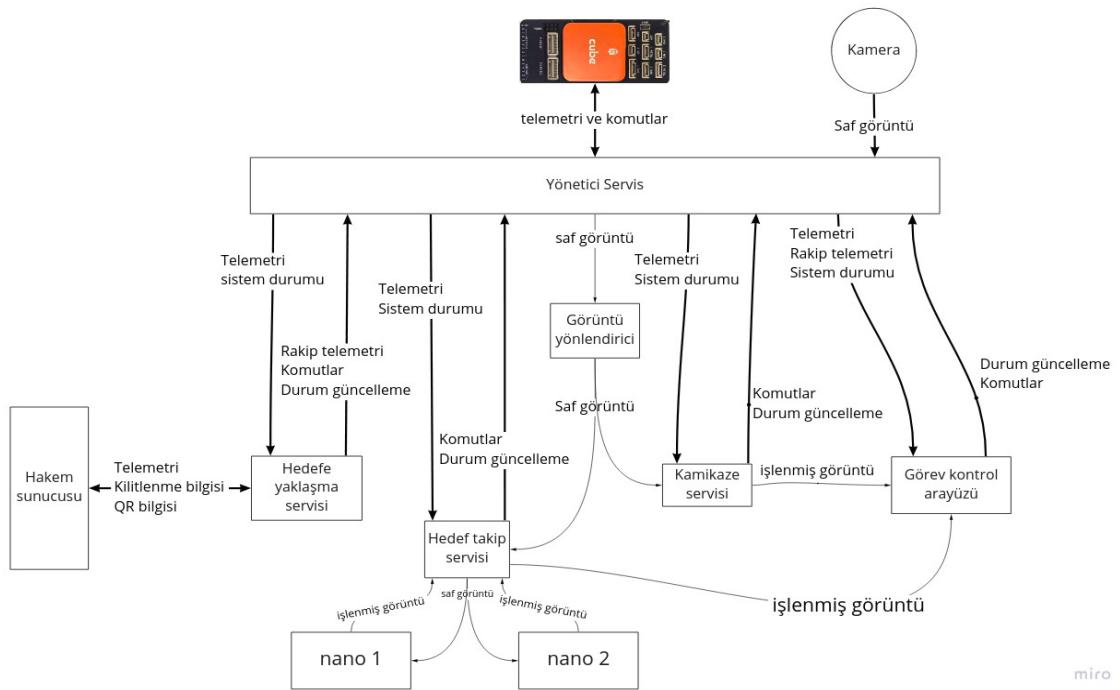
Kriter	Mikroservis Mimarisi	Monolitik Mimarisi
Programlama dili kullanımı	Bir veya birden fazla	Sadece bir dil
Ekip tarafından geliştirilme hızı	Hızlı ve asenkron	Yavaş ve senkron
Karmaşıklığı	Karmaşık	Basit
Kurulum hızı	Yavaş	Hızlı
Test edilebilirliği	Kolay	Zor
Dayanıklılık	Yüksek; bir servis çökse dahi sistem çalışmaya devam edebilir.	Düşük; küçük bir bileşenin çalışmaması bütün sistemin çökmesine neden olabilir.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Programlama dili seçiminde sağladığı esneklik, yüksek dayanıklılık, ekip çalışmasını hızlandırması ve modüler yapısından kaynaklı kolay test edilebilirliği sayesinde, mikroservis mimarisi seçilmiştir. Görevlerin gereksinim analizleri yapıldıktan sonra yazılım mimarisi; hedefe yaklaşma, hedef takibi ve kamikaze kilitlenme olarak 3 temel servise ayrılmıştır. Telemetri verilerini, sistem durumunu, saf görüntüyü ve işlenmiş görüntüyü doğru servislere yönlendirmek için bir yönetici ve bir görüntü yönlendirici programı kullanılacaktır. Bütün servisler, bir IP ağ üzerinden birbirlerine bağlanacaktır.

Tasarım Etkenleri

Yarışmadaki bilinmeyen koşullar nedeniyle yüksek konfigüre edilebilirlik sağlamak için yarışma ortamına göre 2 konfigürasyonun kullanılacağı varsayılmıştır. Görüntü işlemenin Hançer PT3'de gerçekleştiği Konfigürasyon A ve görüntü işlemenin Yer Kontrol İstasyonunda gerçekleştiği konfigürasyon B durumları mevcuttur. Platformlar arası bağlantılar (HA-YKİ) 5.8 GHz kablosuz bağlantı aracılığıyla bölüm 5 yer kontrol istasyonu ve haberleşme kısmında detayları belirtildiği gibi sağlanır, bu nedenle kablolu bağlantılar aracılığıyla sağlanan platform içi bağlantılardan farklı olarak güvenilir olmayan bir bağlantı olduğu varsayıılır. Ayrıca, kablosuz bağlantının sınırlı bant genişliği nedeniyle TCP gibi taşıma katmanı güvenilir dağıtım yöntemleri, alındı mesajlarıyla bant genişliği tüketikleri için tercih edilmemiştir. Bu nedenle platformlar arası iletişim sayısı hem bağlantı miktarı hem de aktarılan veri boyutu açısından minimumda tutulmuştur.



Şekil 21 Yazılımsal Sistem Mimarisi

Sistem Durumu

Tasarlanan sistemin servisleri 2 ayrı başlıkta incelenmiştir:

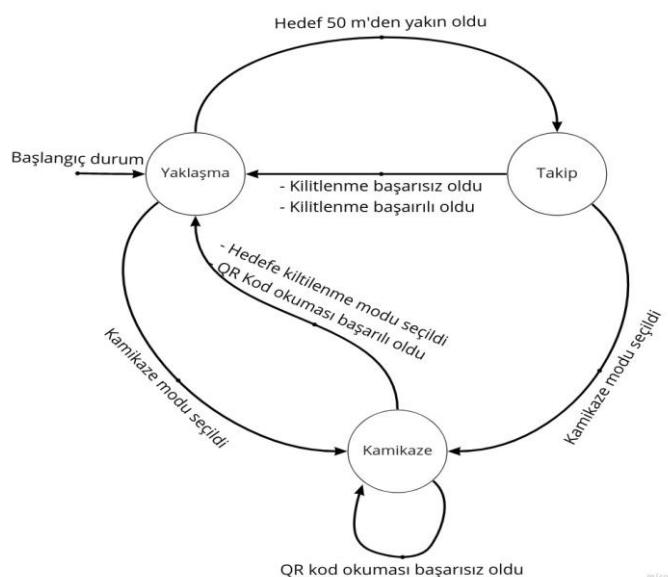
- Görev Kontrol Servisleri
 - Hedefe Yaklaşma Servisi

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

- Hedef Takip Servisi
- Kamikaze Servisi
- Görev Kontrol Arayüzü
- Yardımcı Servisler
 - Yönetici Servis
 - Görüntü Yönlendirici Servis

Her görev kontrol servisi, komut göndererek Hançer PT3'ü hareket ettirebilmektedir. Birden fazla servisin aynı anda komut göndermemesi için, durumun yönetilmesi gerekmektedir. Sistemi deterministik sonlu özdevinir olarak modelleyerek 3 temel durum elde edilmiştir. Sistem durumuna göre hangi servisin komut gönderme hakkına sahip olduğuna karar verilir. Böylece hiçbir zaman birden fazla servis aynı anda komut gönderemez. Elde edilen durumlar ve durum geçiş fonksiyonları Şekil 22'de gösterilmektedir.

Bahsi geçen durum, sistemin hangi aşamada olduğunu göstermekte olup sistem durum bilgisinin görev kontrol servisleri arasında paylaşılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle yönetici servis her zaman sistem durumunu saklamaktadır. Sistem durumu değiştiğinde bütün servislere durum değişikliği olduğuna dair mesaj göndererek servislerin senkron çalışmalarını sağlamaktadır. Örnek olarak hedefe yaklaşma durumundan hedef takip durumuna geçiş olduğunda hedefe yaklaşma servisi durum güncellemesini yönetici servise gönderir, yönetici servis de hedef takip servisine gönderir. Hedef takip servisi bu güncellemeyi aldıında, hedef tanıma ve takip işlemlerine başlayarak Hançer PT3'e komut gönderir.



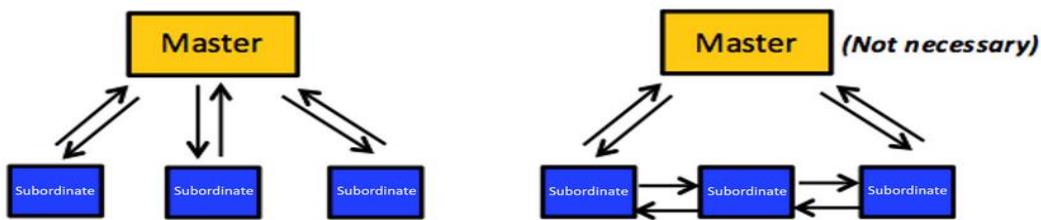
Şekil 22 Sistemin deterministik sonlu özdevinir modeli

Servisler Arası Haberleşme

Şekil 1'de gösterildiği gibi çoğu servis, yönetici servis vasıtasyyla veri alışverişi yapmaktadır. Simetrik yöneticisi olmayan bir sistem yerine asimetrik yönetilmiş bir sistemin kullanılmasına karar verildi. Bunun nedeni simetrik sistemlerin asimetrik sistemlere kıyasla geliştirme ve hata ayıklama açısından daha zor olmasıdır. Buna ek olarak sistem durumun tutulması ve

paylaşılması gerekiği için simetrik bir sistemin kullanılması servisler arası bağlantı sayısının yükselmesine neden olurdu.

Şekil 23'de gösterildiği gibi çoğu servis, yönetici servis vasıtasıyla veri alışverişi yapmaktadır. simetrik sistemlerin asimetrik sistemlere kıyasla geliştirme ve hata ayıklama açısından daha zor olması ve sistem durumun tutulması ve paylaşılması gerekiği için simetrik bir sistemin kullanılması servisler arası bağlantı sayısının yükselmesine neden olduğundan Simetrik yöneticisi olmayan bir sistem yerine asimetrik yönetilmiş bir sistemin kullanılmasına karar verildi.[



Şekil 23 Soldan sağa Asimetrik ve Simetrik dağıtık mimarileri

Yönetici servis, bildirim tabanlı bir olay paylaşım sistemi uygulamaktadır. Bir olay olduğunda (durum geçişi, başarılı kilitlenme vs), ilgili bileşene mesaj göndererek o olayı paylaşmaktadır. Bunun alternatif bir istek tabanlı olay paylaşım sistemi olmasıdır. Fakat bu servislerin belirli aralıklarla bilgi istemelerini gerektirmektedir. Bahsedilen yaklaşımın geliştirilmesi daha kolay olmasına rağmen sistemin performansını olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Her olayın bildirilmesi bir istek ve bir dönüşün olmasını gerektirmektedir. Bildirim tabanlı bir olay paylaşım sistemi seçilmesi ile bir değişiklik olmadığından gereksiz istek mesajı gönderimi engellenmektedir.

Servisler arası haberleşmede sürekli veri iletken bir ve iki taraflı yayılama yapılarına ihtiyaç duyulmuştur. gRPC, veri yayılmayı desteklediği için iki taraflı yayın yapısıyla bu konuda REST API yerine gRPC'ı mimarisinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bunun tek istisnası Hedefe yaklaşma servisi ile hakem sunucusu arasındaki veri iletişimidir. Hakem sunucusu (REST API) ile haberleşme istek-dönüş yapısıyla gerçekleştirilmektedir.

gRPC, REST API'lardan daha hızlı olmasıyla birlikte, veriler JSON yerine Protocol Buffer formatında gönderildiğinden REST API'ların mesaj boyutundan ortalama 4 kat daha küçük olmaktadır. Buna ek olarak, ProtoBuf encode ve decode işlemleri daha hızlı olduğundan sistem gecikmesini de azaltmaktadır.

Kullanılan Teknolojiler

Her servisin gereksinimleri farklı olduğundan dolayı, bazı servisler farklı diller ve teknolojiler ile geliştirilmiştir. Go dili, düşük işlemci ve bellek tüketimi olan hafif threadleri, eşzamanlılık desteği ve derlenmiş olmasından dolayı, yüksek veri alışverişi servislerde kullanılmaya karar verilmiştir. Python ise bulundurduğu görüntü işleme, veri analizi ve stabil MAVLink

kütüphanelerinden (pymavlink) dolayı seçilmiştir. Arayüz için Flutter kullanılmasının nedeni, “hot restart” özelliği, derlenip dağıtılabılır olması ve hızlı olmasından dolayı seçilmiştir.

Tablo 2’de her servis ve kullandığı teknolojileri içermektedir.

Tablo 8 Servis Teknolojileri

Servis	Kullanılan Teknolojiler
Yönetici	Go dili, gRPC, Gstreamer
Görüntü Yönlendirici	Go dili, Gstreamer
Hedefe Yaklaşma	Python dili, SciPy, pymavlink, gRPC
Hedef Takip	Python dili, pymavlink, gRPC, Gstreamer, ZeroMQ
Kamikaze	Python dili, pymavlink, gRPC
Görev Kontrol Arayüzü	Dart dili, Flutter, gRPC

4.1. Otonom Kilitlenme

4.1.1. Hedefin Belirlenmesi ve Hedefe Yaklaşma

Hançer PT3’ün otonom takip görevini başarılı bir şekilde yapabilmesi için hedef hava aracının görüş açısında olması gerekmektedir. Kameranın görüş açısına rakip hava aracının girmesini beklemek görevin başarı oranını düşürmektedir. Bu sebeple Hançer PT3’ün kamerası kullanılmadan, oluşturulan veri tabanından yapay zekâ desteğiyle en uygun hava aracı belirlenip oluşturduğu yörüngeyi izleyerek yaklaşım yapılması sağlanmaktadır. Aday hedefin belirlenmesinin asıl amacı Hançer PT3’ün dinamiklerini göz önünde bulundurarak hedef hava araçlarına kilitlenmesini kolaylaştırmaktır. Gerekli literatür taraması ile Havacılık Tasarım Standardı (ADS-33E) ile davranış çabukluğuna göre hava araçlarını sınıflandırılması planlandı. Havacılık Tasarım Standardı girdi olarak hava aracının maksimum açısal hızının (yatış, dikilme, yönelim) davranış değişimine göre çıktı olarak çeviklik kat sayısını verir. Bu katsayının yatış, dikilme ve yönelim açılarının değişimine göre 3 kategoriye ayrılmıştır. Davranış çabukluğu **Formül 1** ile bulurken kategori seviyeleri **Şekil 1**’de gösterilmiştir. Seviye 1 en çevik hava aracı sınıfı olarak belirlenirken seviye 3 en hantal hava aracı sınıfı olarak belirlenmiştir.

$$\dot{\alpha} = [p_{peak}, q_{peak}, r_{peak}]$$

$$\Delta\alpha = [\Delta\phi, \Delta\theta, \Delta\varphi]$$

$$Q = \frac{\dot{\alpha}_{p_{peak}}}{\Delta\alpha}$$

p = Yatış oranı ($^{\circ}/s$)

q = Dikilme oranı ($^{\circ}/s$)

r = Yönelme oranı ($^{\circ}/s$)

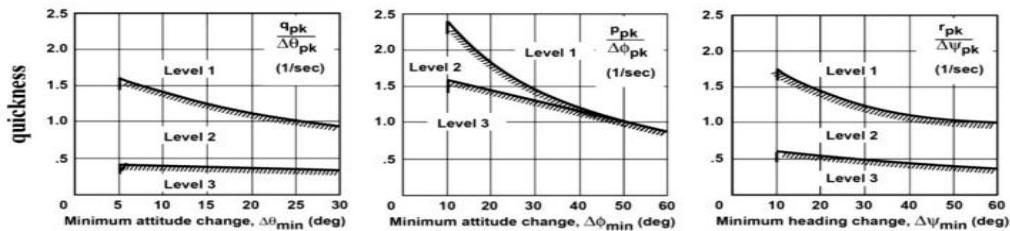
θ = Dikilme Açısı ($^{\circ}$)

Q = Davranış Çabukluğu (Çeviklik) ($1/s$)

α = Davranış Açısı ($^{\circ}$)

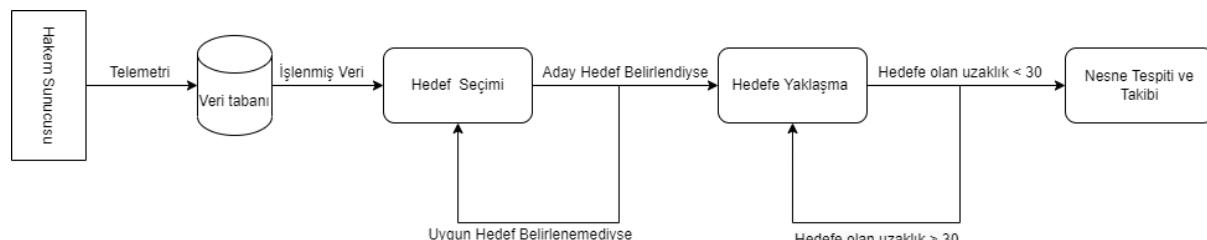
ϕ = Yatış Açısı ($^{\circ}$)

φ = Yönelme Açısı ($^{\circ}$)



Grafik 3 Çeviklik Seviyeleri

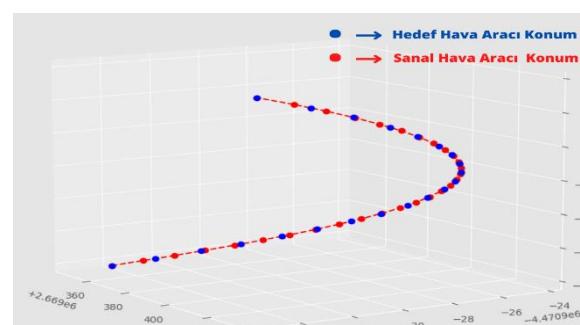
Hakem sunucusundan alınan telemetri verileri veri tabanında her hava aracı için ayırtılarak en uygun aday hedef hava araçlarının belirlenmesi sağlanmıştır. En uygun hedef hava aracı için makine öğrenimli sınıflandırma yöntemi ile girdi olarak enlem, boylam, yönelim, maksimum ve minimum hız ve çeviklik kat sayısı alırken çıktı olarak aday hedef sıralaması verir. Hedef belirleme algoritması otonom olarak seçilen hedef hava aracının mevcut konum verilerini hedefe yaklaşma algoritmasına ileterek hedefe yaklaşma sağlanır.



Şekil 24 Hedef Seçimi ve Hedef Yaklaşma Algoritma Şeması

Hedefe Yaklaşma

En uygun hedef hava aracı belirlenmesiyle hedef hava aracının görüş açısına girebilmesi ve nesne tespitinin başlatılması beklenmektedir. Hedefe yaklaşma algoritması, hedef hava aracına minimum uzaklığa ulaşana kadar GPS tabanlı bir takip algoritmasıdır. Hedef hava araçların hakem sunucusundan gelen verilerin doğruluğu ve birim zamanda gelen veri sayısının az olmasından dolayı mevcut konumuna yönelik efektif bir çözüm olmadığından, hedef hava aracına yaklaşmak için hedef hava aracının yörüngesine oturtulması planlanmıştır. Hedefe yaklaşma algoritması **Şekil 3'** deki gibi hedef hava aracının 10 saniye önceki konumuna yönelik o noktadan sonraki her 4 konum verisindeki sıralı iki konum verisinin arasına interpolasyon yöntemi ile hedef hava aracının uzaklığuna bağlı olarak sanal konum verileri oluşturmaktadır. Bu sayede hakem sunucusundan gelen saniye başına en az 1 veri interpolasyon yöntemi



Şekil 25 Hedefe Yaklaşma Testi

kullanılarak daha fazla veriye üretilicektir. Bu yöntemle Hançer PT3’ün 1 saniyeden daha hızlı tepki vermesi planlanmıştır. Hançer PT3’ün hedef hava aracına ait oluşturululan sanal konumlara sırası ile yönlendirilmesiyle hedef hava aracının takibinin başarılı olması planlanmaktadır. Hançer PT3’ün hedef hava araçlarının arasındaki uzaklık hesaplanarak çarpışmayı engellemektedir. Hançer PT3’ün hedef hava aracının belirlenen minimum uzaklığa kadar GPS tabanlı takibi gerçekleştirdikten sonra nesne takip algoritması ile takip başlatılacaktır.

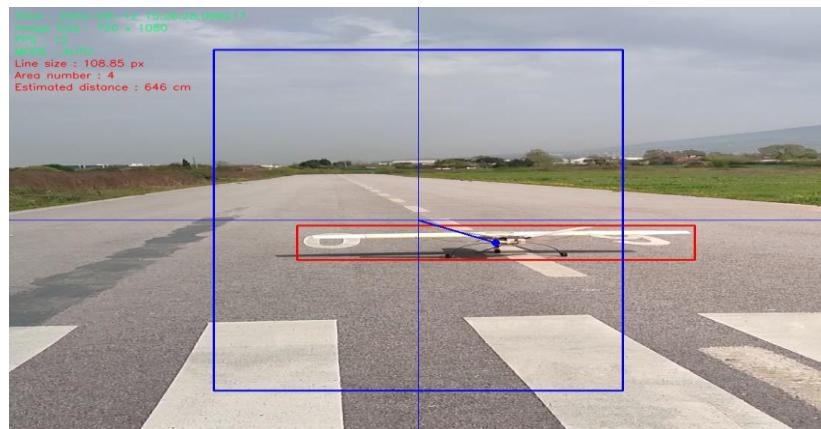
4.1.2. Hedef Tespiti

YOLO, konvolüsyonel sinir ağları kullanarak nesne tespiti yapan bir algoritmadır. Sıklıkla tercih edilmesinin sebebi hızlı ve tek seferde nesne tespiti yapabilmesidir. Hava aracının üzerinde bulunan kamera ile alınan görüntüler üzerinde görüş açısından bulunan düşman hava araçlarını tespit etmek kullanılmıştır. Hedef tespit işleminden sonra görüntü üzerinde hedefi çevreleyen bir alan oluşturmaktadır. Tespit edilen hava aracının merkez (x,y) noktaları elde edilmektedir. Takip algoritmasında kullanılmak üzere tespit çerçevesinin alan bilgisi de aktarılmaktadır. Hava aracı üzerinde kullanılması kararlaştırılan nvidia jetson nano bilgisayarı üzerinde YOLO algoritmalarının performans araştırması yapıldı. Feng yaptığı çalışmada jetson nano üzerinde YOLO algoritmalarının performanslarını hesaplamıştır. Tablo 1’de performans tablosu gösterilmiştir [1]. YOLO tiny model güven skorlarında kayıp karşılığında fps de artış görülmektedir. Tespit işleminin sürekli devam etmeyeceği göz önünde bulundurulduğunda güven skoru daha önemli bir ölçüt olarak kararlaştırıldı.

	Model	Ortalama güven (%)	FPS	CPU kullanımı (%)	RAM kullanımı (GB)	GPU güç (W)	Enerji tüketimi (kJ)
Video 1	YOLOv4	94.2	1.6	26.8	1.22	4.0	7.92
	YOLOv4-tiny	67.1	15.0	34.3	0.98	3.9	0.86
Video 2	YOLOv4	75.6	1.6	29.5	1.36	3.5	3.78
	YOLOv4-tiny	61.9	14.2	54.5	1.10	3.4	0.57

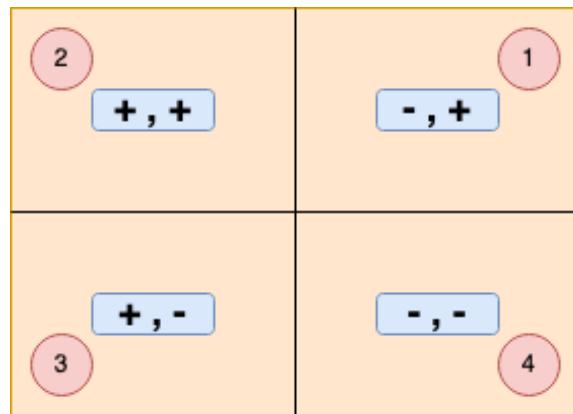
Şekil 26 Jetson nano üzerinde YOLOv4 ve YOLOv4-tiny algoritmalarının performansları

Hava aracının hızlı tespit edilmesi ne kadar önemli olsada bu tespit işlemi takip için sürdürülebilir değildir. Bu doğrultuda tespit işlemi için kesinlik ve sınırlayıcı kutunun duyarlılığı önemlidir. Hava aracı tespiti için YOLOv4 algoritması kullanıldı. Güven skoru yüksek tespit işlemi gerçekleştirildikten sonra hedef hava aracına ait sınırlayıcı kutu bilgileri hedef takip algoritmasına aktarılmaktadır. Hedef hava aracının tespit senaryosuna ait görüntü Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 27 Hava aracı tespiti ve hesaplanan veriler

Hedef hava aracı tespiti yapılan görüntü üzerinde koordinat düzlemi çizilmiştir. Hedef hava aracının merkez noktasının bulunduğu alan bir işaret kümesi üretilmektedir. Koordinat düzlemi üzerinde işaretlerin gösterilmesi Şekil 2'de gösterilmiştir. Üretilen işaretler Hançerin dikilme, yönelme, yatis açılarının işaretlerini belirlemektedir. Açı değerleri görüntü merkez noktasından hedef hava aracının merkez noktasına olan uzaklığı ölçeklenerek komut olarak verilmektedir.



Şekil 28 Bölgelere göre işaret kümeleri

4.1.3. Otonom Hedef Takibi

Takip için pitch ve roll değerleri nasıl ayarlanıyor. Uçağın hareketi nasıl sağlanıyor. Bu bilgileri ve takip işinin nasıl yapıldığı hakkında bilgi yaz.

SIFT, algoritması bir görsel üzerinde belirli özelliklere sahip anahtar noktaları tespit eder. Anahtar noktaların belirlenmesinde kenar bilgisi, renk uzayı, köşe bilgisi gibi özellikler kullanılır. Bulunan özellikler için anahtar noktada iki yönde gradyan alınır. Gradyanların ikiside küçükse bölge düz bölge, biri küçük biri büyük ise bir kenar geçiş olduğu anlaşıılır. Anahtar noktaların çıkarılarak Hançer uçuş videosu üzerinde takip edilmesine ait görüntü Şekil 3'de gösterilmiştir. **Şekil 3.** SIFT algoritması ile anahtar noktaların çıkarımı ve takip edilmesi



Şekil 29 SIFT Algoritması

Anahtar nokta tespit işlemi için bulunan anahtar nokta özellikleri bir eşik değerinden geçirilir. Eşik değerinin üzerinde kalan noktalar tutulur. Eşik değerinin üzerinde kalan noktalar ile yeni görüntü üzerinde en yakın komşu algoritması yardımıyla benzer noktalar tespit edilir. Bu benzer noktalar arasında bir eşleme yapılır. Hedef hava aracı takibi için algoritma belirli aşamalardan geçer. Bu aşamalar;

1. Görüntü üzerinde hedef tespiti gerçekleştirilir.
2. Tespit edilen hedef uçağın sınırlayıcı kutu bilgileri alınır.
3. Görüntü üzerinden sınırlayıcı kutu görüntüsü kırılır.
4. Akıştaki bir sonraki görüntü karesi üzerinde en yakın anahtar noktalar ile eşleme yapılır.
5. Her on görüntünün sonra tekrar tespit işlemi gerçekleştirir.
6. Tespit edilen hedef uçağı eski referans görüntüsü ile değiştirilir.

ORB, algoritması eşleştirme işlemini basit görüntü özellikleri üzerinde gerçekleştirdiği için daha hızlı çalışmaktadır. Hedef takip hızı yüksek olmasının karşılığında mesafe uzaklaşıkça takip işlemini başarısız olmaktadır. ORB algoritması SIFT algoritmasının daha basit yöntemle yapılmış halidir. Bu sebeple kesinlik skoru SIFT algoritmasına göre daha düşük olmaktadır. ORB algoritması ile anahtar noktaların çıkarılarak Hançer uçuş videosu üzerinde takip edilmesine ait görüntü Şekil 32'de gösterilmiştir.



Şekil 30 ORB algoritması ile anahtar noktaların çıkarımı ve takip edilmesi

Kalman滤波器, görüntü üzerinde belirli alanda bulunan özelliklerin sonraki görüntü karesinde takibinin sürdürülmesi için kullanılabilir almaktadır. Tespit edilen hava aracının sınırlayıcı kutusunun ağırlıklı renk tonları özellikleri veya kenar özelliklerini tutarak diğer karede bu özelliklerin takibini yapabilmektedir. Görüntü üzerinden alınan özelliklerin kalitesi ile doğru orantılı olacak şekilde başarılı takip yapabilmektedir. Görüntü üzerinden kaliteli özellik verisi alınmaması durumunda bir sonraki adımlarda takip etmesi gereken güzergah bilgisi için doğru ölçüm yapılamamaktadır. Kullanılan takip algoritmalarının avantaj ve dezavantajlarının bulunduğu durumlar Tablo 9'de verilmiştir.

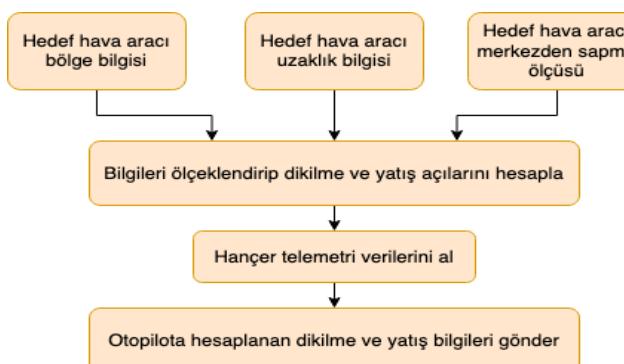
Tablo 9 Takip algoritmalarının karşılaştırılması

Algoritma	Avantajları	Dezavantajları
SIFT	<ol style="list-style-type: none"> 1. En yakın komşu algoritması kullanıldığı için takip durumunda daha yüksek kesinlik değeri oluşmaktadır. 2. Hedef takibi 40 metrelere kadar devam edebilmektedir. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. En yakın komşu algoritması kullanıldığı için görüntü akışında yüksek fps oranı elde edilememektedir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

ORB	1. Makine öğrenmesi algoritması kullanmadığı için fps oranı çok yüksektir.	1. Makine öğrenmesi algoritması kullanmadığı için kesinlik hedef 15 metre mesafenin üzerindeyken sonuç üretmemektedir.
Kalman Filtresi	1. Hızlı yol tahmini yapabilmektedir.	1. Takip tahmini yapılacak hava aracı görüntüsünden çıktıgında sınırlayıcı kutu sapmaları yaşanmaktadır.

Takip algoritmalarının karşılaştırılması sonucunda, her algoritmanın avantajları ve dezavantajları göz önünde bulundurulduğunda **hibrit** takip algoritması geliştirilmeye karar verilmiştir. Hedef hava aracının bulunduğu sınırlayıcı kutu üzerinde kalmanfiltresi uygulanarak bir sonraki görüntüde tahmini yol çıkarıldı. Bu tahmini yol üzerinde bölgesel kırpmacı işlemi uygulanarak 0-20 metre aralığında ORB algoritması ile takip işlemi sürdürülecektir. Mesafe 20 metre ve üzerine çıktıgı durumda SIFT algoritması ile takip işlemi devam ettirilecektir. Takip işlemi sürecinde izlenecek akış Şekil 33'de gösterilmiştir.



Şekil 31 Hançer hareket yönetiminin izlencesi

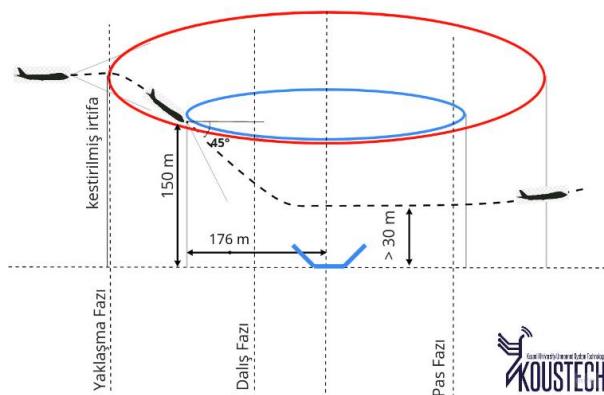
4.1.4. Optimizasyon

TensorRT, görüntü sınıflandırma, segmentasyon ve nesne algılama sinir ağları için yüksek performanslı derin öğrenme çıkarım çalışma zamanıdır. Evrişimsel ve deconv sinir ağları için çalışma zamanı bellek ayak izini azaltmanın yanı sıra derin öğrenme çıkarımını da hızlandırır.

4.2. Kamikaze Görevi

Kamikaze İHA görevi uçuş alanı içerisinde yerleştirilmiş ve konumu hakem sunucusundan alınacak olan QR kod üzerine dalış yaparak kod içerisinde saklı olan mesajın işlenip hakem sunucusuna aktarılmasını amaçlamaktadır. Bu işlem QR koda yaklaşma, dalış ve pas fazlarından oluşmaktadır. Görev otomatik takip görevine nazaran daha basit bir görev olduğu için tek bir servis tarafından kontrol edilecektir. Kamikaze İHA görevinin en zor kısmı doğrudan tüm sistemin dayanımını etkilediği için dalış ve pas fazlarıdır. Bu fazlar sırasında hava aracının maksimum yapısal dayanımı olan 3G'lik kuvveti geçmemesi gerekmektedir. Bu nedenle dalışın ve pasın hangi yükseklikte ve ne kadarlık dikilme açısında yapılacağı büyük önem arz etmektedir. Hava aracı üzerinde yapılan testler ve görev isterleri incelediğinde dalış

İçin en uygun açının 45 derece olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil x de 45 dereceli dalış için gerçekleştirilecek olan aşamalar gösterilmektedir.



Şekil 32 Kamikaze İHA Şablonu

4.2.1. QR Koda Yaklaşma Fazı

Görev kontrol arayüzü üzerinden kamikaze İHA servisinin aktif edilmesi ile birlikte hava aracı GUIDED moduna alınacak ve uçuş sahasının orta noktasında loiter atarak testler sırasında Raspberry Pi V2 kamera ve Hançer PT3 kabiliyetlerinden belirlenmiş olan 150 m + 6.seviye autotune değerindeki dikkilme tepkisinden kestirilmiş olan 45 dereceye ulaşma irtifası kadar yükseğe tırmılacak. Sonrasında Şekil x te gösterilen kestirilm irtifasının oluşturduğu eğriye ulaşıcaya kadar QR kodun koordinatına ilerleyecektir.

4.2.2. Dalış Fazı

Kestirilmiş irtifanın oluşturduğu eğriye ulaşılması ile birlikte otopilot -45 derece dikkilme açısı isteri verilecek ve -45 derecelik dalış açısına ulaşılması beklenecek. -45 derecelik dalış açısına ulaşılması ile birlikte yapılan kestirim işlemleri sayesinde hava aracının yönelimi QR kodun merkezine hizalanmış olacak. Hava aracı -45 derecelik ekseni testler sırasında belirlenmiş olan 55m güvenli irtifaya ulaşıcaya kadar izlemeye devam edip QR kodu işleyecektir. Belirtilen bu işlemlerin gerçekleşmesinin yaklaşık olarak 3,5sn sürmesi beklenmektedir. Geliştirme süreci devam eden QR kod algoritmasının bu süre zarfında QR kodu işlemesi gerekmektedir.

4.2.3. Pas Fazı

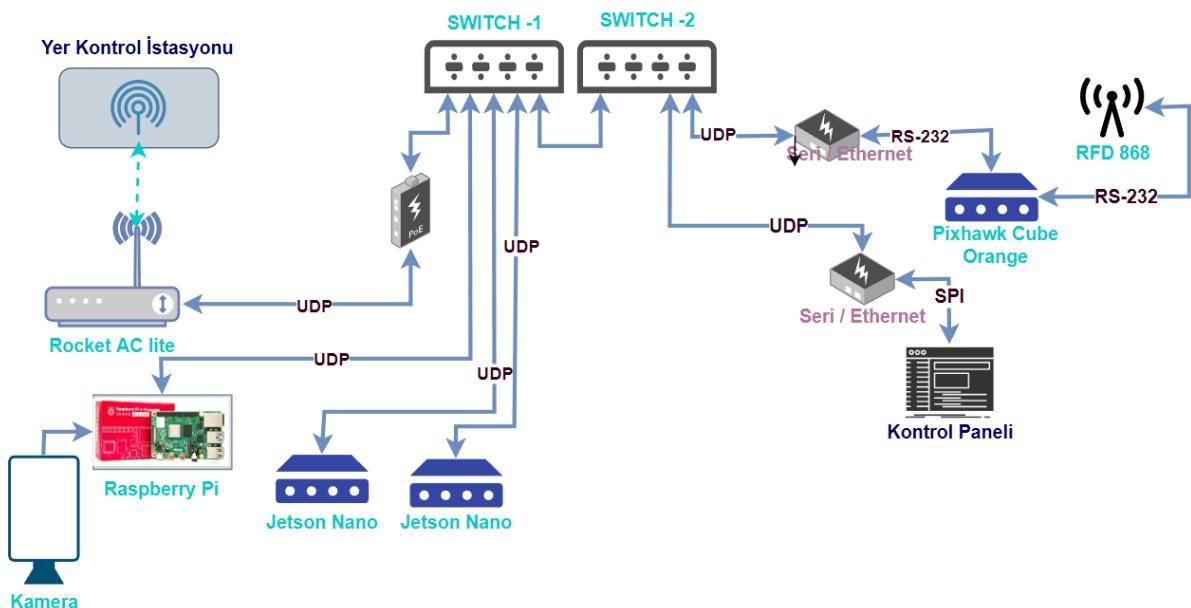
Hava aracı dalış sırasında irtifa kaybettiği ve sürekli olarak kendini 45 derecelik bir dalış eğrisinde tutmaya çalıştığı için hız kazanmaktadır. Bu nedenle tüm görev boyunca Hançer PT3 üzerindeki en büyük yapısal zorlanma pas fazında gerçekleşecektir. Bu nedenle güvenli irtifaya ulaşımıyla birlikte hava aracına yüksek dikkilme girdisi verilmeyecek hava aracının dikey hızı testler sırasında belirlenecek olan güvenli bir değere ulaşıcaya kadar yatay bir eğride uçurulacaktır. Güvenli dikey hızza ulaşımıyla birlikte normal uçuş seyrine geri dönülecektir.

5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME

Haberleşme sistemi Hava Aracı İçi Haberleşmesi, Hava Aracı - Yer İstasyonu Haberleşmesi ve Uçuş Kontrol Arayüzü ile Görüntü İşleme Arayüzü Arası Haberleşme olmak üzere 3 ana başlık altında incelenmektedir.

5.1. Hava Aracı İçi Haberleşme

HANÇER İHA AĞ HARİTASI



Şekil 33 Hançer İHA Ağ Haritası

Otonom takip ve kamikaze İHA görevlerinin her ikisi de araç üzerinde gerçekleştirileceği için Hançer PT3 üzerindeki haberleşme sistem mimarisi klasik yöntemler kullanıldığından oldukça karmaşık hale gelmektedir. Bunun temel sebebi ise donanım seviyesinde çalışan Pixhawk Cube Orange - RFD 868x gibi cihazların farklı haberleşme protokollerini kullanmasıdır. Bu karışıklığın önüne geçmek için ekip bünyesinde Wiznet W5500 entegresi kullanarak seri-ethernet dönüştürücü geliştirilmiştir. Seri-Ethernet Dönüşürücü, kablolu veya kablosuz Ethernet üzerinden seri veri iletimi için seri arayüzleri olan yerel ağlara bağlar. Buradaki yerel ağ KOUSTECH ağ sistemidir. Seri veri sinyallerini Ethernet (TCP veya UDP) paketlerine dönüştürerek ya da bunun tersini yaparak, diğer cihazlara veya ağ sunucusu uygulamalarına güvenilir veri iletimi sağlarlar.

Bu sisteme ihtiyaç duyulmasının temel sebepleri başlıca aşağıdaki gibidir.

- Sistem içerisinde üretilen verilerin birçok sistemde kullanılıyor olması.
- Cihazlar arası haberleşmenin gözlemlenebilirliğin az olmasından dolayı hataya açık olması.
- Cihazlar arası haberleşme kablolarındaki uzunluk ve elektromanyetik alan etkisi altında paket kayıplarının artması.
- Standart yapıdaki Pixhawk çevresel mimarisinin görev adaptasyonunun uzun vakit alması.

Hava aracında kullanılacak olan sistemlerin farklı haberleşme protokollerine sahip olması dezavantaj olarak görülmüştür. Çeşitli çevre birimlerinde ve donanımında, ethernet protokolüne ihtiyaç duyulmasından dolayı böyle bir çözüm üretilmiştir. Ethernet bağlantısı sisteme esneklik, hız ve güvenilirlik katmaktadır. Bu sebep ile sistem haberleşmesinde ortak bir ethernet protokolü ile sağlanması amaçlanmıştır.

5.2. Hava Aracı - Yer İstasyonu Haberleşmesi

Hava aracı ve yer istasyonun arasında kurulacak olan haberleşme hattının iki yönlü olması gerekmektedir. Bu iki yönlü hat hava aracından yer istasyonuna telemetri, görüntü verileri ve yer istasyonundan hava aracına gerekli komutların gönderilmesi için kullanılacaktır.

5.2.1. Telemetri Verisi ve komut aktarımı Haberleşmesi:



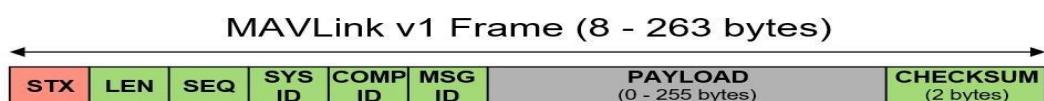
Şekil 34 Telemetri Veri Haberleşmesi

Uçuş bilgisayarı olan Pixhawk Cube ile yer istasyonu arasında haberleşme hattı için alıcı-verici olarak görev yapan RFD 868x eş modemler tercih edilmiştir. RFD 868x 868 MHz frenkans bandında çalışan iki adet anten çıkışına sahip olan bir alıcı-vericidir. RFD868x'te kullanılan antenler 3 Dbi anten kazancına sahiptir. Kesintisiz bir haberleşmenin sağlanması için kullanılan bu iki anten birbirine dik bir şekilde yerleştirilmiştir.

5.2.2. Yedek Telemetri Bağlantı Sistemi

Savaşan İHA yarışması kapsamında gerçekleştirilecek olan uçuşlar sırasında hava aracıyla yer kontrol istasyonu arasında sürekli olarak uçuş ve görev verileri iletilecektir. Tüm haberleşme sistemlerinin kaliteli olması durumunda telemetri verileri yer kontrol istasyonuna RFD 868x üzerinden, görev kontrol verileri ise Rocket AC lite ile Power Beam M5 400 üzerinden gönderilecektir. RFD 868 üzerinden gönderilen telemetri verilerindeki paket kaybının artmasıyla yedek telemetri bağlantı sistemi sayesinde telemetri verileri Rocket AC Lite ve PowerBeam M5-400 üzerinden gönderilecektir.

Paket kaybı, MAVLink mesaj çerçevelerin frame sırasını tutan "SEQ" byteındaki değişiklikleri ölçerek sağlanacaktır.

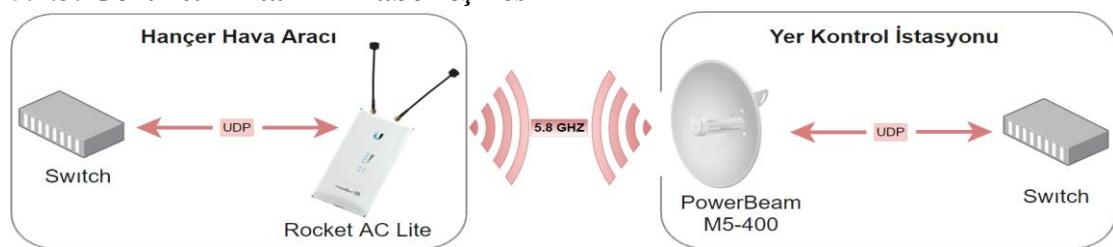


Şekil 35 MAVLink v1 paket yapısı

YTB sistemi, paket kaybını uçuş boyunca gerçek zamanlı olarak hesaplayarak, hangi bağlantının daha az paket kaybına sahip olduğunu gösterecektir. YKİ'ye gelen paket kaybının Hançer'e giden paket kaybı ile orantılıdır. Gönderilecek komut paketlerinin en düşük paket kaybına sahip bağlantı üzerinden gönderilerek, Hançer'e ulaşma olasılığı daha yüksek olacaktır.

Paketleri yeniden sıralama yöntemi; birden fazla bağlantıdan gelen paketlerin sıralarının karşılaştırılıp, bağlantılarından gelen farklı paketleri sıralayarak, paket kaybını en aza indirmeye yönelik bir çalışmadır. Bağlantı değiştirme yönteminden farklı olarak, paket kaybı fazla olan bağlantı kesilmez, tüm bağlantılar çalışmaya devam eder. Gelen paketler karşılaştırılır ve bağlantılarından gelen paketlerden farklı olanlar bulunur ve sıralanır. Kuyrukta sistem gecikmesini olumsuz etkilemeyecek kadar bekletildikten sonra yer kontrol bilgisayarına aktarılır.

5.2.3. Görüntü Aktarımı Haberleşmesi



Şekil 36 Görüntü Aktarım Haberleşmesi

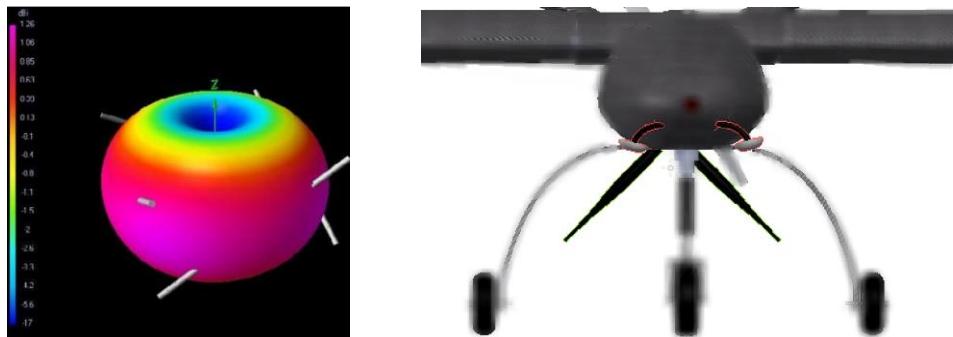
Görüntü verisi aktarımı için hazır modemle, antenler ve ekip bünyesinde geliştirilen anten takip sistemi kullanılmıştır. Görüntü aktarımı 5.8 GHz bandını kullanan Wi-Fi bağlantısı kullanılarak gerçekleştiriliyor. Bu bağlantı uçaktan alınan görüntü verisini yer istasyonuna aynı zamanda görev kontrol verilerini hava aracına aktarır. Görüntü aktarımı için uçağın uçuş kabiliyetinin sınırlanmaması, uzun menzilli ve yüksek veri hızı özelliklerini taşıyan ekipmanlar tercih edilmiştir.

Hava Aracı Üzerindeki Haberleşme Donanımları:

5.8 GHz frekans bandını kullanan iki adet TBS Triumph Pro modeli çok yönlü anteni tercih edilmiştir. Hava aracının uçuş kabiliyetinin kısıtlanması için yönlü bir anten kullanılmayıp 1.6 dBi kazanca sahip yönsüz bir anten kullanılmıştır. Yönsüz antenler tüm yönlerde ışma yapmalarına rağmen radyasyon paternleri incelendiğinde şekilx'te görüldüğü üzere kendi altlarına ve kendi üzerlerine ışma yapamadıkları gözlemlenmektedir. Hava aracının havadaki seyri esnasında yönsüz antenin altı veya üstü yer kontrol istasyonuna denk geldiğinde bağlantı sorunlarının olmaması için iki adet yönsüz anten, aralarında 50 derece açı olacak şekilde yerleştirilmiş ve hava aracı etrafındaki radyasyon paterninde herhangi bir kör nokta bırakılmamıştır. Hava aracı üzerine iki adet anten yerleşimi yapıldıktan sonra hava aracının içine herhangi bir çöklayıcıya ihtiyaç duymadan kendi üzerinde iki adet anten çıkışları olan UBIQUITI Rocket Ac Lite 5.8 GHz frekans bandını kullanan Wi-Fi modemi tercih edilmiştir. 250 gram ağırlığa sahip bu modem 5.1 GHz ile 5.8 GHz arasında bulunan frekanslarda yayın yapabilmekte ve aynı zamanda Ubiquiti üreticisine ait Air Os ve Spectral Analysis yazılımını

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

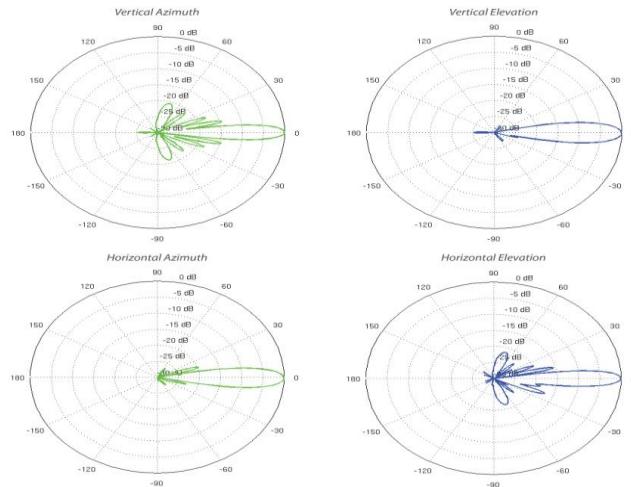
içinde barındırmaktadır. Air Os ve Spectral Analysis yazılımları yer anteni bölümünde detaylandırılmıştır.



Şekil 37 Anten Paternleri ve Anten Yerleşimi

YKİ haberleşme donanımları:

Yönsüz antenler her yöne yayın yapan fakat düşük kazançlı antenlerdir. Daha uzun menzilli bir bağlantı kurulabilmesi için yer istasyonunda kendi içinde 25 dBi kazanca sahip Ubiquiti PowerBeam M5-400 yönlü anten tercih edilmiştir. Yönlü antenler sekil x de görüldüğü gibi sadece kısıtlı bir alana yayın yaptıklarından haberleşmenin kesintisiz bir şekilde gerçekleşmesi için yer kontrol istasyonundaki antenin uçuş boyunca HANCER PT3'e doğru yönlendirilmesi gereklidir. Hava aracı görüş mesafesinden uzakta iken bu yönlendirmenin manuel bir şekilde yapılamayacağı geçmiş tecrübelere dayanarak görülmüştür. Bu nedenle ekip bünyesinde GPS tabanlı Anten Takip Sistemi geliştirilmiş ve üzerine yer kontrol istasyonunda bulunan PowerBeamM5-400 ve RFD 868x antenleri yerleştirilmiştir. Yer istasyonu ve hava aracı üzerinde aynı marka modem kullanılmasının sebebi her iki modemin de Ubiquiti'ye ait Air Os yazılımına sahip olup Airmax ve Spectral Analysis teknolojisini içinde bulundurmasıdır.



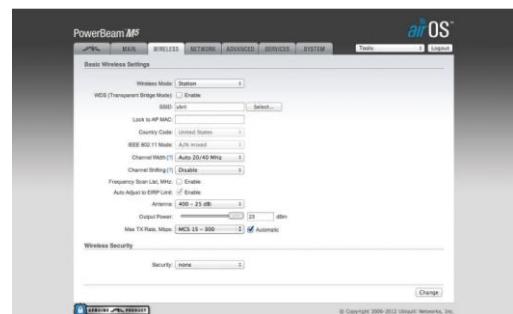
Şekil 38 Anten Paternleri

Air OS yazılımı:

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Ubiquiti tarafından Ubiquiti marka modemler için geliştirilen bir yazılımdır. Bu yazılım;

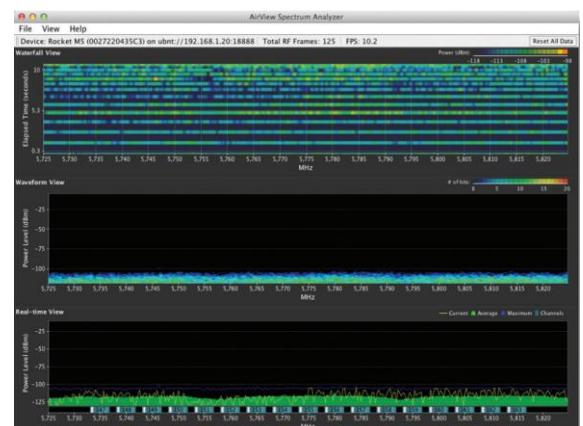
- modem modlarını manuel veya otomatik olarak ayarlanması.
- transmit güç ayarının manuel veya otomatik olarak ayarlanması
- otomatik kanal seçimi.
- otomatik veya manuel mesafe ayarı.
- Gönderilen ve alınan verinin WPA2 modülasyonu ve demodülasyonu, için kullanılır.



Şekil 39 Air OS yazılımı

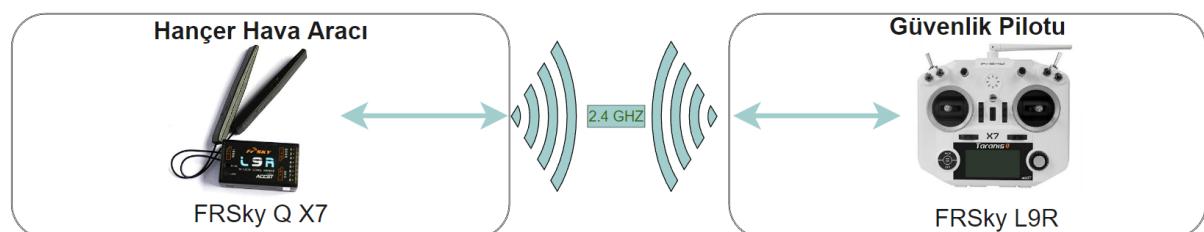
Spectral Analysis yazılımı:

Ubiquiti tarafından geliştirilen bir yazılımdır. Bu yazılım 5.1 GHz - 5.8 GHz frekans bantları arasında tarama yaparak gerçek zamanlı olarak frekans aralıklarındaki veri alışverişini ve gürültü değerlerini göstermektedir. Yarışma sahasında deneme uçuşlarında bu teknoloji ile doğru frekans kanalı tayin edilmektedir.



Şekil 40 Spectral Analysis

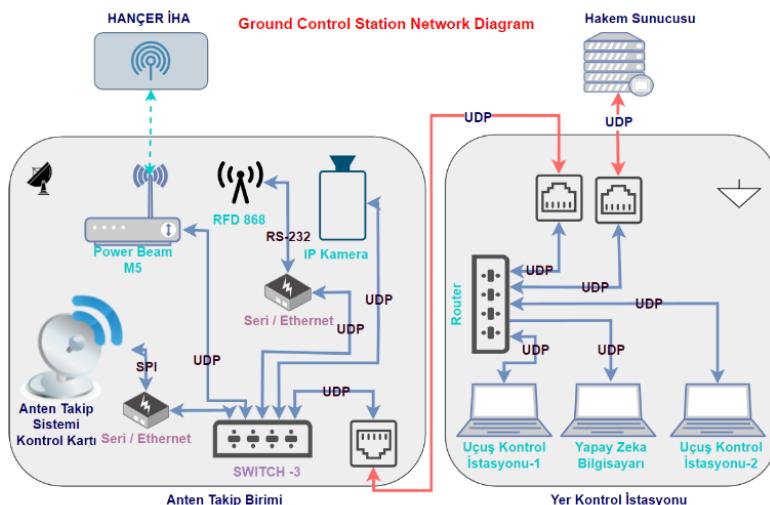
5.2.4. Güvenlik Pilotu ile Hava aracı haberleşmesi



Şekil 41 Güvenlik Pilotu ile Hava Aracı Haberleşmesi

Güvenlik pilotu ile Hançer hava aracı arasındaki haberleşme FRSky L9R ve FRSky Qx7 ile sağlanmaktadır. Bu haberleşme tek yönlüdür ve 2.4 Ghz frekans bandını kullanarak pilottan alınan komutları hava aracına gönderir. QPSK modülasyon demodülasyonu kullanır.

5.3. Uçuş Kontrol Arayüzü ile Görüntü İşleme Arayüzü Arası Haberleşme



Şekil 42 YKİ Network

6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

6.1. Görev Kontrol Arayüzü Tasarımı

Görev Kontrol Arayüzü'nün geliştirme amacı halihazırda kullanılan yer kontrol istasyonu programlarının yarışma isterlerini yerine getirmek için yeterli olmamasıdır. Görev Kontrol Arayüzü, yer kontrol istasyonunda bulunan takım görevlilerine yarışma isterlerini gerçekleştirmek için hakem sunucusundan gelen bilgileri ve hava aracında bulunan sistemlerden gelen bilgileri kolay ve anlaşılır bir şekilde iletmek ve kontrol edebilmelerine olanak sağlamaktadır.

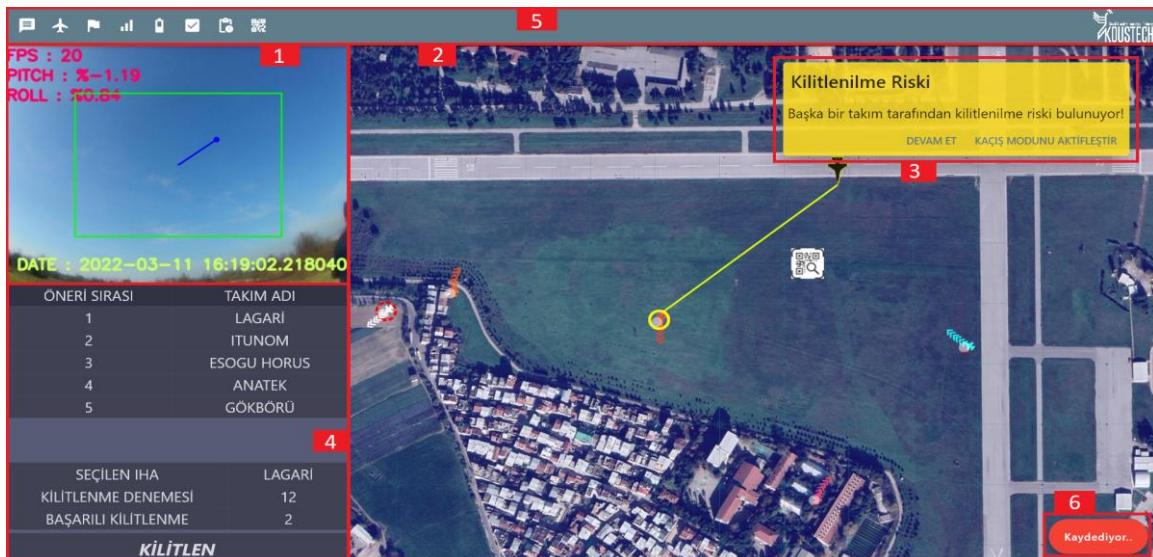
Görev Kontrol Arayüzü takım tarafından geliştirilen servislerden gelen verilerle ve hakem sunucusundan gelen verilerle çalışmaktadır. Servislere ve hakem sunucusuna bağlanmak için JSON formatında bulunan bir yapılandırma dosyasında hakem sunucusu ve diğer servislerin IP adresleri, portları ve takımın hakem sunucusuna erişim verileri kaydedilecektir. Arayüz açıldığında otomatik olarak bu veriler kullanılarak hakem sunucusu ve takım servislerine bağlantı kurulacaktır. Arayüz tamamen takım üyelerince tasarlanıp geliştirilmektedir. GitHub entegrasyonu ve Jira gibi takım halinde geliştirme yaparken iş birliği sağlamaya yardımcı olan teknolojiler de kullanılmıştır. İleride takım isterlerinin değişim能力和 göz önüne alınarak kodun temizliği ve sürdürülebilirliğine özen gösterilmiştir. 3'ten fazla hava aracıyla aynı anda test yapamayacağımız için test amaçlı simülasyon verileri kullanarak sistem 10 uçağa kadar test edilmiştir.

Performanslı olması, hızlı geliştirme yapılması, kolay öğrenilmesi, birçok platform ile uyumlu ve stabil versiyonlarının çıkışlarıyla birlikte Görev Kontrol Arayüzü Flutter çerçevesi (framework) ile geliştirildi. Görev Kontrol Arayüzü geliştirilirken görev isterleri, takım arkadaşlarımızın istekleri ve kullanım alışkanlıkları göz önüne alındı. Şekil 46'de geliştirilen arayüze ait bölümlerin kolay anlaşılabilmesi için bir görsel bulunmaktadır.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Numara	Açıklaması
1	FPV Görüntü Bölümü
2	Harita Bölümü
3	Bildirim Bölümü
4	Olası Kilitlenilebilecek Takımlar Bölümü
5	Servislerle Etkileşim Bölümü
6	Görüntü Kaydı Takip Bölümü

Şekil 43 Görüntü İşleme Arayüzü Bölümleri



Şekil 44 Görev Kontrol Arayüzü

6.1.1. FPV Görüntü Bölümü

Bu bölümde kameraldan gelen işlenmiş görüntüler yer kontrol istasyonundaki kullanıcıya gerçek zamanlı bir şekilde aktarılmaktadır. Görüntü her zaman ekranada görünecek ve anlaşılır hale getirilecektir. Kilitlenme dörtgeni ile birlikte görüntünün tazelenme hızı, dikilme, yatis, tarih ve saat bilgileri de bu bölümde gösterilmiştir.

6.1.2. Harita Bölümü

Harita bölümünde yarışma sunucusundan rakip hava araçları hakkında gelen bilgiler, takım hava aracından gelen bilgiler ve QR kod görselleştirilmiştir. Bunun yanında takımımızın yaptığı hedefe yaklaşma ve kilitlenme servisleri de görselleştirilerek kullanıcıların anlayabileceği bir formda gösterilmiştir. Olası hedefler kırmızı kesikli çizgilerden oluşan bir çember içerisinde gösterilirken, kilitlenilmiş hedefler sarı bir çember içerisinde ve Hançer'e giden sarı bir çizgi

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

ile gösterilir. Rakip hava araçlarının ve QR kodların gerçek hayatı konumları kullanıcı tarafından daha kolay anlaşılabilmesi için Görev Kontrol Arayüzü’nde uydu görüntüsü üzerinde gösterilmiştir. QR kodların konumları harita bölümünde gösterilmek üzere Görev Kontrol Arayüzü’nde bulunan QR kod ekleme bölümünden koordinatlarıyla birlikte eklenir. QR kodların konumları eklendikten sonra harita üzerinde gösterildiği gibi sembolik QR kodlar olarak gösterilir.

6.1.3. Bildirim Bölümü

Bu bölümde sistemlerden gelen mesajlar (hata mesajı veya bildirimler) harita bölümünün üzerinde belirecek şekilde gösterilir. Çıkan mesaja göre alınabilecek aksiyonlar da mesajın altında butonlar sayesinde gerçekleştirilebilecektir. Kullanıcının durumu kolay olarak anlayabilmesi için bu bölüm duruma göre farklı renklerde olacaktır. Kullanıcı aksiyonu seçtiğinde veya gereken süre içerisinde bir giriş yapmadığı durumda bu bölüm kendiliğinden kaybolur.

6.1.4. Olası Kilitlenilebilecek Takımlar Bölümü

Bu bölümde takımımız tarafından geliştirilmiş bir servis aracılığıyla Hançer’ın kilitlenebileceği olası rakip hava araçları ve görev durumu hakkında bilgiler bulunmaktadır. Olası hava araçları bir tablo üzerinde öneri sırası yukarıdan aşağıya, başarılı yakalama ihtimali en yüksektenden en düşüğe göre takım isimleriyle birlikte gösterilir. Tablo üzerindeki veriler X.X bölümünde anlatılan ölçüte göre oluşturulmuş verilerdir. Seçilen rakip hava araçları takım ismiyle belirtilir. ‘Kilitlen’ butonu, Hançer P3’ün uçuş sırasında yaptığı toplam kilitlenme denemesi (başarılı ve başarısız tüm kitlenme denemeleri) ve başarıyla gerçekleştirilen kilitlenme sayılarının toplamını gösterilir.

6.1.5. Servislerle Etkileşim Bölümü

Bu bölümde takım tarafından geliştirilen ‘Anten Takip Sistemi’ ve servislere erişim sağlanır. Bu bölümde birçok seçenek olduğu için kullanıcıların hangi servisi seçiklerini anlayabileceği basit ikonlar kullanılmıştır. Yarışma anında hızlı bir şekilde erişim sağlanması gerekeceği için ikonlar üzerine fare imleci getirildiğinde bir mesaj kutusu ekranda belirecek ve istenilen bölümün sunduğu bilgilere erişilecektir. İlgili bölüme ait ekran alıntısı gösterilmiştir.



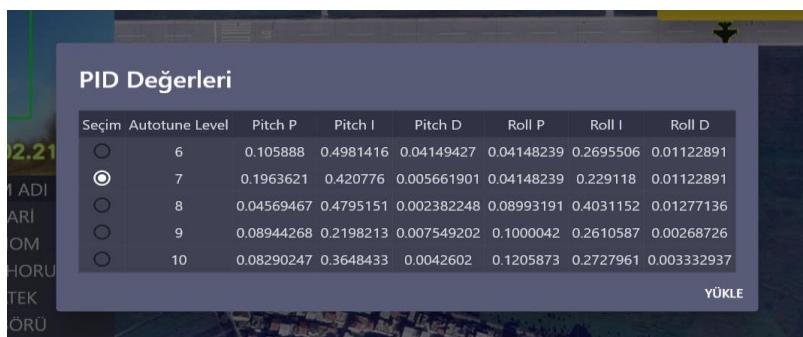
Sekil 45 Servislerle Etkileşim Bölümü

Mesajlar Alt Bölümü

Bu alt bölümde ‘Anten Takip Sistemi’ ve sistemlerden gelen mesajların yazılı olduğu bölümdür. Bu bölümde sistemlerden gelmiş olan mesajların hepsi silinmeden listelenecaktır. Yani sistemden gelen mesajların kayıt olduğu bir sayfa görevi görecektir. Bu bölüme yönlendirme yapan ikonun rengi varsayılan olarak beyaz renk olup mesaj geldiğinde sarı olacaktır.

Uçuş Kontrol Alt Bölümü

Bu alt bölüm üzerinden PID parametreleri gibi uçuş karakteristiği parametreleri değiştirebilecektir. Görüldüğü gibi kullanıcı tablodaki seçim sütunu üzerinden istediği PID parametrelerini seçebilecektir. Kullanıcı seçimini yaptıktan sonra ‘YÜKLE’ butonu ile sisteme verilen seçeneğin yüklemesini yapabilecektir.



The screenshot shows a software interface for a UAV. On the left, there's a vertical menu with options like 'ADI', 'ARI', 'OM', 'HORU', 'TEK', and 'ÖRÜ'. In the center, a window titled 'PID Değerleri' (PID Parameters) is open. It contains a table with columns: 'Seçim' (Selection), 'Autotune Level', 'Pitch P', 'Pitch I', 'Pitch D', 'Roll P', 'Roll I', and 'Roll D'. There are five rows, each with a radio button next to the 'Seçim' column. Row 7 is selected, indicated by a checked radio button. The data for row 7 is: Autotune Level 7, Pitch P 0.1963621, Pitch I 0.420776, Pitch D 0.005661901, Roll P 0.04148239, Roll I 0.229118, Roll D 0.01122891. At the bottom right of the window is a 'YÜKLE' (Upload) button.

Şekil 46 Dinamik PID Parametreleri

Görev Kontrol Alt Bölümü

Bu alt bölümde görev cihazlarıyla, servislerin ve görev gidişatıyla ilgili bilgilerin bulunduğu bir sayfa yer almaktadır. Bu bölüme yönlendirme yapan ikonun rengi varsayılan olarak beyazken hata mesajı geldiğinde kırmızı, bilgi mesajı geldiğinde ise sarı olacaktır.

İletişim Alt Bölümü

Bu alt bölümde haberleşme bağlantısının kalitesi ile ilgili bilgiler verilecektir. Bu bölüme yönlendirme yapan ikon, bağlantının kalitesini gösterecektir. İkonun üzerine gelindiğinde bağlantı ile ilgili bilgilerin bulunduğu bir diyaloga yönlendirme yapılmaktadır.

Batarya Yönetim Sistemi Alt Bölümü

Bu alt bölümde HA üzerinde bulunan bataryaların durumları anlık olarak gösterilecektir. Sayfaya yönlendirme yapan ikon bataryanın seviyesini göstermektedir. İkonun üzerine fare ile gelindiğinde batarya seviyeleri ve bataryalardan çekilen anlık akım verileri gösterilecektir.

Modlar Alt Bölümü

Bu alt bölümde motor ARM durumu ve o sıradaki uçuş modu bilgileri yazı olarak kullanıcıya gösterilecektir.

Uçuş Süreci Alt Bölümü

Bu kısımda hangi görevin yapıldığı hakkında bilgi kullanıcıya sunulmaktadır.

QR Kod Alt Bölümü

Bu kısımda yarışmada alanındaki QR kodların arayüze ekleneceği bölümdür. İkona tıkladıktan sonra açılan pencere üzerinden QR kodun konumu girildikten sonra onay verilmesiyle QR kod arayüze eklenmiş olur.

Takım Logosu Alt Bölümü

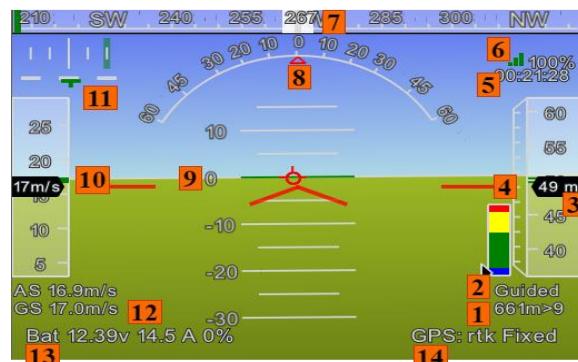
Bu kısım arayüzün tamamen takım tarafından geliştirildiğini belirtmek için koyulmuştur. Takımın süreç içerisinde verdiği emeği hatırlatmanın kullanıcıya motivasyon vereceği düşünülerek hazırlanmıştır.

6.1.6. Görüntü Kaydı Takip Bölümü

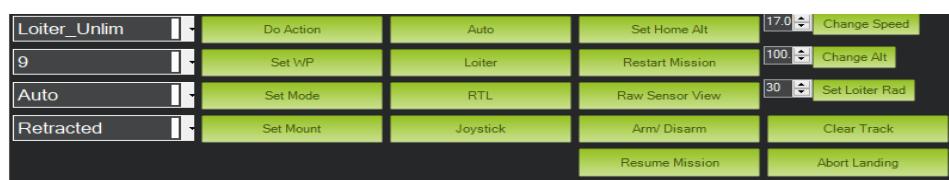
Bu bölümde Hançer'den gelen görüntünün kaydedilip edilmediği bilgisi görünecektir. Yer kontrol istasyonundaki kullanıcının, görüntü kayıt sisteminin düzgün çalışıp çalışmadığından haberdar olması için sürekli ekranda gözüken ve bir değişiklik olduğunda ise hemen fark etmesi gereken bir bölüm gereksinimi mevcuttur. Bu ihtiyaç doğrultusunda takımımız tarafından bu bölüm geliştirilmiştir. Eğer gelen görüntü sistem tarafından kaydediliyorsa bu bölümde ‘Kaydediliyor...’, eğer kaydedilmiyorsa ‘Kaydedilmiyor’ yazacaktır. Kullanıcının durum geçişlerini farkedebilmesi için durum geçişlerinde bu bölümün renkleri değişecektir.

6.2. Uçuş Kontrol Arayüzü Tasarımı

Hava aracının PID, TECS, L1 Navigasyon, uçuş parametreleri ve uçuş hattı gibi otonom uçuş odaklı ayarlamalarının yapılabilmesi için Uçuş Kontrol Arayüzü olarak açık kaynak kodlu olan “Mission Planner” tercih edilmiştir. Ekip tarafından görev odaklı olarak Görev Kontrol Arayüz geliştirilmiş olup Mission Planner uçuş esnasında uçağın davranışlarının gözlemlenmesi, otonom iniş ve kalkışın gerçekleştirilmesi ve acil durumlarda alınacak olan aksiyonlar için kullanılacaktır. Uçuş esnasında önemli olan verilerin okunduğu HUD ekranı gösterilmiştir. Aynı şekilde istasyon sorumlusunun hava aracına komut vermesi gerektiğinde kullanacağı “Action” sayfası Şekil 51'de gösterilmiş olup aktif olarak kullanılan komutlar Tablo 10 de açıklanmıştır.



Şekil 47 MissionPlanner HUD Ekranı



Şekil 48 MissionPlanner Action Ekranı

Tablo 10 Kullanılan Komutlar

Numara	Açıklaması
1	Hava aracının sıradaki uçuş noktasına olan mesafeyi gösterir

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

2	Hava aracının anlık uçuş modunu gösterir
3	Hava aracının metre cinsinden irtifasını gösterir
4	Hava aracının dikey hızını m/s cinsinden gösterir
5	Hava aracının bağlantıda olduğu süreyi gösterir
6	Hava aracının YKİ ile bağlantı kalitesini yüzdelik cinsinden gösterir
7	Hava aracının baş yönelimini derece cinsinden gösterir
8	Hava aracının yuvarlanma açısını derece cinsinden gösterir
9	Hava aracının yunuslama açısını derece cinsinden gösterir
10	Hava aracının hava hızını m/s cinsinden gösterir
11	Hava aracının sapma miktarını gösterir
12	Hava aracının yer hızını m/s cinsinden gösterir
13	Hava aracının batarya durumunu gösterir
14	Hava aracının GPS durumunu gösterir

Tablo 11 Mission Planner “Action” Sayfası

Komut	Açıklaması
Arm/Disarm	Hava aracının ARM/DISARM durumunu değiştirir
Auto	Hava aracının uçuş modunu AUTO olarak değiştirir
Change Speed	Hava aracının mevcut hava hızını değiştirir
Change Alt	Hava aracının mevcut irtifasını değiştirir
Change Loiter Radius	Hava aracının mevcut loiter yarıçapını değiştirir
Abort Landing	Hava aracının iniş sekansını iptal eder
Set Mode	Hava aracının mevcut uçuş modunu değiştirir

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Set WP	Hava aracının sonraki uçuş noktasını değiştirir
--------	---

7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU

7.1. Yapısal Entegrasyon



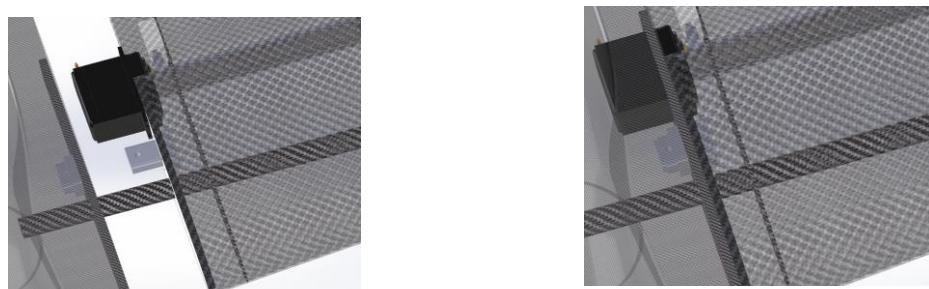
Şekil 49 Yapısal Entegrasyon

7.1.1. Kuyruk Entegrasyonu



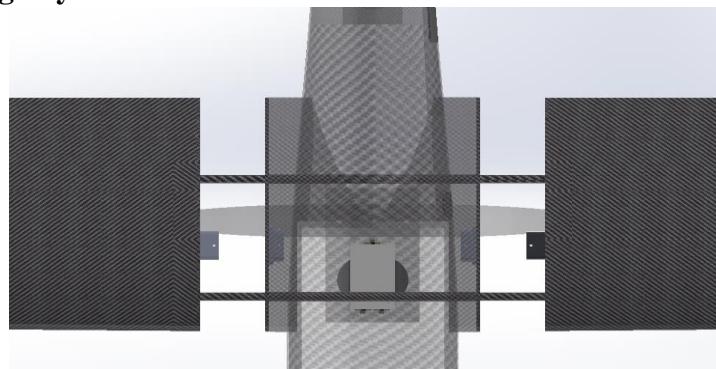
Şekil 50 Kuyruk Entegrasyonu

Kuyruk ile gövdenin montajı lazer kesim ve talaşlı imalat yöntemiyle üretilen alüminyum parçalar kullanılarak yapılmaktadır. Parçalar birbirlerine M3 vida kullanılarak sabitlenmektedir. Bu kısımda üretilen alüminyum parçalar sayesinde kuyruk ve gövde rıjît yapıda birbirine sabitlenirler.



Şekil 51 Kuyruk Montaj Resimleri

7.1.2. Kanat Entegrasyonu

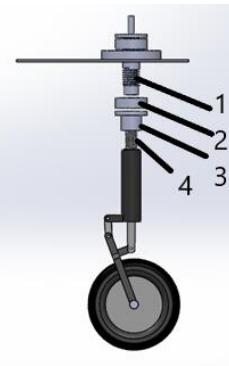


Şekil 52 Kanat Entegrasyonu

Gövdenin üzerindeki kapak kaldırılarak sağ ve sol taraftan kanadın içerisinde yer alan borular gövdede bulunan montaj parçasına içerisinden geçirilir ardından montaj parçaları birer adet m3 vida ile birbirlerine sabitlenir.

7.1.3. İniş Takımı Entegrasyonu

Ön iniş takımının montajı 4 temel parçadan oluşmaktadır. Herhangi bir ekipman kullanmadan birbirlerine kolaylıkla bağlanır-sökülür bir yapı tercih edilerek modülerlik amacıyla uygun şekilde tasarlanmıştır. Şekilde gösterilen 1. eleman gövde üzerinde kalacak şekilde yerleştirilir. Bunu takiben 2 numaralı rulman elemanı yatay olarak ana boru üzerinde konumlandırılır. 3 numaralı ve 1 numaralı elemanlar üzerlerine açılan dişler vasıtasiyla birbiri üzerine sıkılır ve gövde üzerine montajı yapılır. Hava aracının taşınması esnasında kolaylık sağlama amacıyla 4. eleman yine açılan dişler aracılığıyla 1 numaralı eleman üzerine bağlanır-sökülür yapıda tasarlanmıştır. Bu elemanın 1 numaralı elemana bağlantısının gerçekleştirilemesi ile iniş takımının montajı tamamlanır. Arka iniş takımının montajı da iki adet M6 vida kullanılarak gövdeye açılmış olan dişlere yapılmaktadır.



Şekil 53 İniş Takımı
Montajı

7.2. Mekanik Entegrasyon

Hançer PT3 hava aracı kullanım süresi boyunca pek çok farklı uçuş sahasında uçuş gerçekleştirecektir. Bu durum tasarlanan sistemin kolay bir şekilde bağlanır - sökülür yapıda olmasını gerektirmektedir. Bu gereklilik göz önünde bulundurularak tüm alt sistemler modüler bir şekilde tasarlanmıştır.

7.2.1. İtki Motoru Entegrasyonu



Hava aracında hareketi sağlayan temel bileşen motor olduğu için bu kısımda gerilme ve titreşimler fazlasıyla görülmektedir. Bu nedenle motorun entegrasyonu için ahşap ve karbon fiber kompozit montaj parçası tasarlanmıştır. Gövde üzerinde motorun sabitleneceği kısım ise kolay bir şekilde montajının sağlanması için modüler bir şekilde tasarlanmıştır. Motorla birlikte gelen alüminyum montaj parçası motora sabitlendikten sonra 4 adet M4 vida kullanılarak hava aracına sabitlenmektedir.

Şekil 54 Motor Bağlantısı

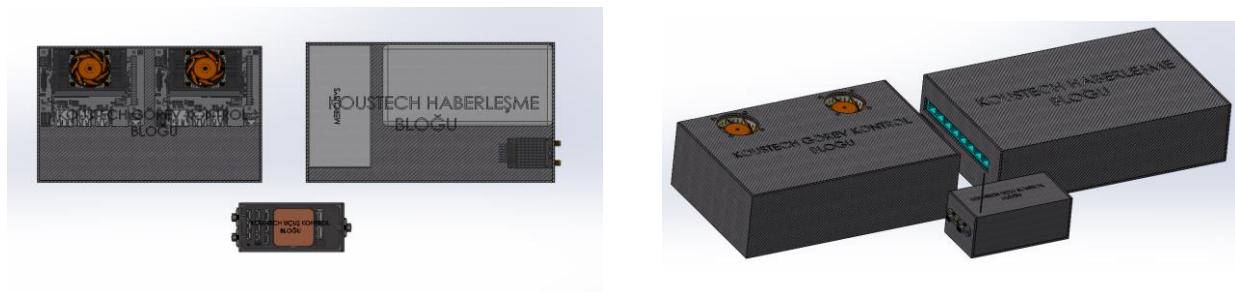
7.2.2. Alt Sistem Entegrasyonları

Alt sistemler özeti kısmında detayları paylaşılan tüm alt sistemlerin düzenli ve kompakt bir yapıda olması için mekanik modüller tasarlanmıştır. Bu yapı sistem içerisindeki kablo karmaşasını engellemesinin yanı sıra hava aracının herhangi bir kaza kırımlı durumunda içerisindeki elektronik cihazların zarar görmesini engellemektedir. Her bir alt sisteme ait

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

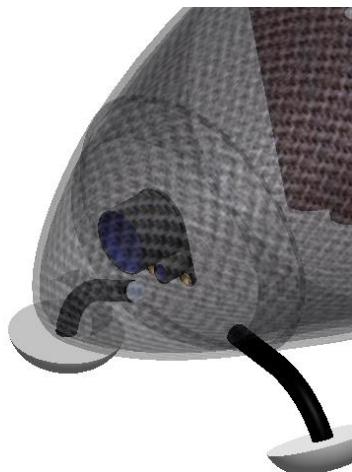
bileşen, uçağın içlerine yerleştirilmeden önce ilgili modüle yerleştirilerek kablo bağlantıları yapılır, sonrasında modül gövde içlerine yerleştirilerek monte edilir. Bu yapı sayesinde araç içi yerleşim daha profesyonel bir hale gelmiştir. Mekanik modüller haberleşme bloğu, uçuş kontrol bloğu ve görev kontrol bloğu şeklinde 3 adettir.

Haberleşme bloğu içinde switch, Rocket AC Lite ve RFD868X yer almaktadır. Uçuş kontrol bloğu içerisinde de Pixhawk, 1 adet Hobbywing UBEC 5 V 10 A gerilim regülatörü yer alırken görev kontrol bloğu içerisinde de 2 adet Jetson Nano, 2 adet fan, 1 adet Raspberry Pi 4b, 1 adet Hobbywing 5V 10 A gerilim regülatörü bulunmaktadır.



Şekil 55 Alt Sistem Modülleri

7.2.3. Kamera Entegrasyonu

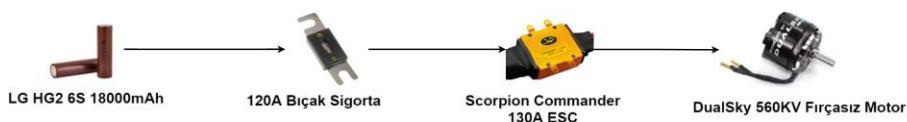


Savaşan İHA yarışmasında otomatik kilitlenme ve kamikaze İHA görevlerinin her ikisinde de kamera hava aracının gidiş yönüne bakacak şekilde burun kısmına konumlandırılmıştır. Hava aracı gövdesinden gelen titreşimin görüntü kalitesini bozmaması için kamera kauçuk sönümleyici kullanılarak gövdeye sabitlenmektedir.

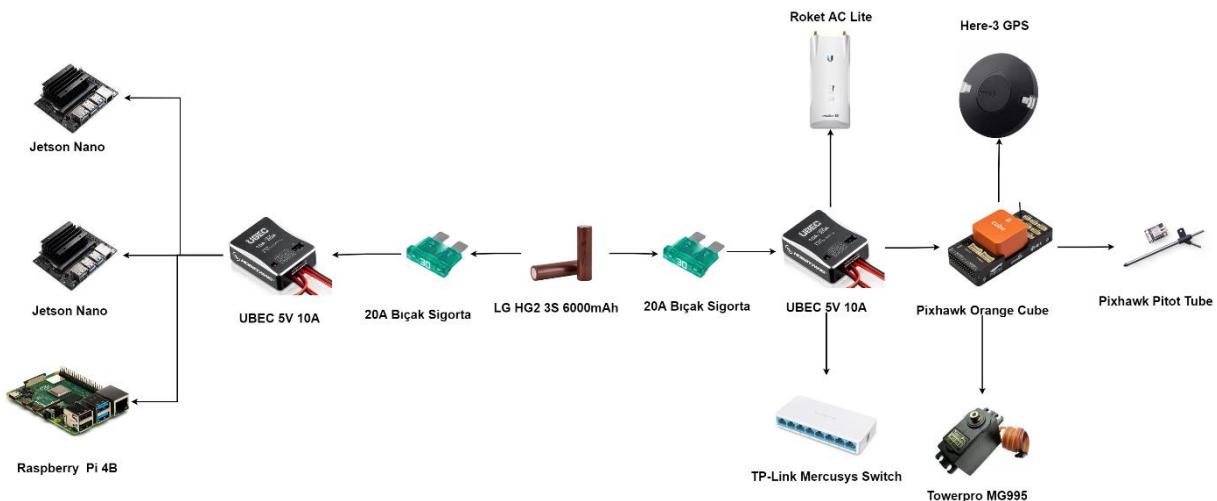
Şekil 56 Kamera Yerleşimi

7.3. Elektronik Entegrasyon

Hava aracının aviyonik yapısı aşağıdaki şemada gösterilen komponentlerden oluşmaktadır.



SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Şekil 57 Aviyonik Yerleşim

Sistem mimarisinde belirlenen modülerlik ve güvenirlilik isterleri doğrultusunda elektronik entegrasyon gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte elektronik kartları korumak ve sistemi modüler yapabilmek için mekanik modül yapıları kurulmuştur. Tüm kablo hatları birbirinden izole edilip, güç hattı boyunca yüksek akım değerlerine uygun kablo seçilmiştir. Elektronik bileşenlerin düzenli kablolama yapılarak sorun olması dahilinde kolayca müdahale edilmesi planlanmıştır. Kablolamada sağlamlığı artırmak ve modüler bir sistem için kilitli konnektör yapıları seçilmiştir. Alt sistemlerin gövde üzerindeki yerleşimleri mekanik entegrasyon bölümünde detaylıca bahsedildiği gibi yapılacaktır. Alt sistem modülleri arasındaki elektronik bağlantılar DB9 ve askeri konnektörler kullanılarak yapılmıştır. Seri ethernet dönüştürücünün tasarlanmasıyla birlikte pixhawk ve RFD868x modülleri de sisteme ethernet kablolarıyla bağlanmıştır. Kurulan ethernet tabanlı haberleşme sistemi kablaj kalitesin büyük ölçüde iyileştirmiştir.



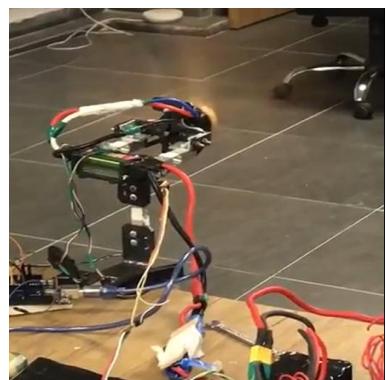
Şekil 58 Askeri Bağlantı Konnektörleri

8. TEST VE SİMÜLASYON

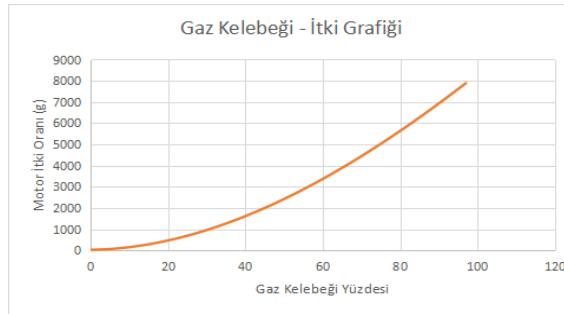
8.1. Alt Sistem Testleri

İtki Testi

Ekip bünyesinde daha önceden geliştirilmiş İHA lardan elde edilen tecrübeler neticesinde bazı motor markalarının paylaştığı gaz kelebeği - itki değerlerinde hatalar olduğunu gözlemlenmiştir. Bu nedenle 2021 yılında ekip bünyesinde İtki Test Düzeneği geliştirilmiştir. Dualsky XM6352EA motorunun test düzeneği üzerinde test edilmesiyle grafik x de verilen gaz kelebeği - itki grafiği elde edilmiştir.



SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

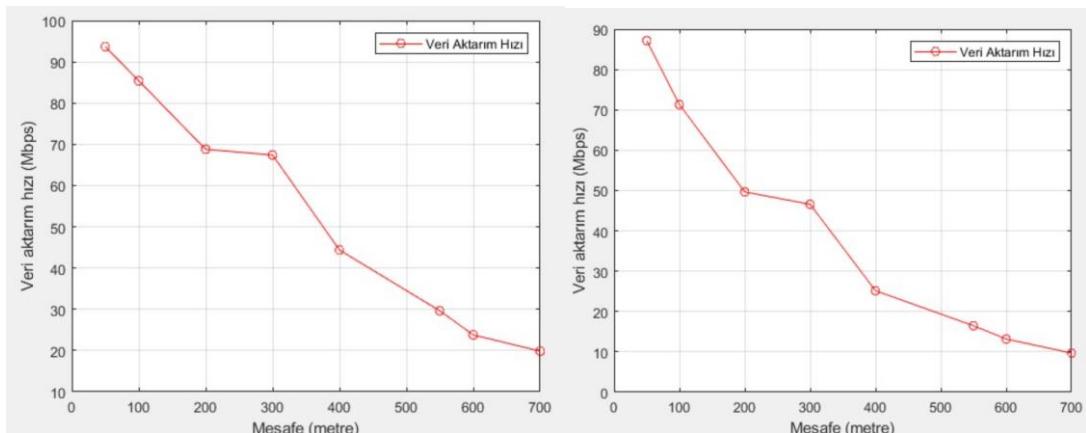


Ubiquiti Rocket Ac ve Powerbeam m5 Performans Testi

Bu testin amacı hava aracı ile yer istasyonunda bulunan anten takip sistemi uçuş sırasında birbirlerine göre olan konumlarını simüle etmektir.. Hava aracının üstünde çok yönlü anten bulunmaktadır anten ışıma grafikleri incelendiğinde antenin kendi etrafına ışıma yaptığı gözlemlenmiş fakat üzerine ve altına ışıma yapamadığı gözlemlenmiştir kesintisiz bir haberleşme için iki adet yönlü anten aralarında 50 derece açı olacak şekilde yerleştirilmiş ve kör nokta bırakılmamıştır. Bu yerleşimin doğruluğu için uçağın hareketleri yerde simüle edilip veri aktarım hızı testi yapılmıştır sonuçlar şöyledir.



Şekil 59 Performans testi



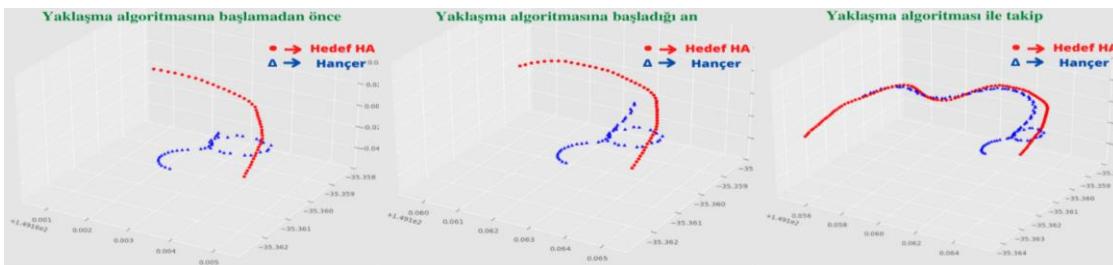
Grafik 4 Performans Testi 2

Otonom Takip Başarı Testleri

Hedefe Yaklaşma Algoritması Simülasyon Testi

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Otonom kilitlenme başlığı adı altında bahsedilen hedefe yaklaşma algoritması ArduPilot SITL simülasyon ortamında test edildi. Hedefe yaklaşma algoritması Şekil 4’de hedef hava aracının konum bilgileri ile beslenerek hava aracının yörüngesine oturarak başarılı bir şekilde hedefe yaklaşıldığı gözlenmiştir



Şekil 60 Yaklaşma Algoritmasının İşleyişi

8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi

8.2.1. Uçuş Simülasyonu

Tasarımı tamamlanan hava aracının dinamik ortamındaki tepkilerini gözlemlemek amacıyla X-Plane programı üzerinden simülasyonu gerçekleştirilmektedir. X-Plane, Mission Planner yazılımı ile haberleşebilen ve özel olarak hava aracı modellemesi yapılarak ArduPilot uçuş kontrol yazılımının döngüde yazılım ile test edilebileceği bir uçuş simülatörüdür. Simülasyon ortamının gerçekliğinin artması için X-Plane eklentileri üzerinden hava aracı modellemesi ve meydan modellemeleri sırasıyla Plane Maker ve World Editor üzerinden yapılmaktadır

Hava Aracı Modellemesi

Hava aracı X-plane ortamı için gerçeğe en uygun şekilde modellenmiştir. Bu şekilde ekibimize asıl aracın üretilmeden önce model üzerinde onlarca saat olası senaryoların testlerinin gerçekleştirilmesi kabiliyeti kazandırılmıştır. Aynı zamanda asıl hava aracı için PID ve kalan uçuş parametreleri daha önceden belirlenerek ilk uçuşa karşılaşabilecek sorunların önüne geçilmiştir.



Şekil 61 X-Plane Ortamında Modellenen Hançer PT3

Meydan Modellemesi

Uçuşların gerçekleştirildiği meydan olan Kocaeli Üniversitesi Arslanbey Kampüsü’nde bulunan pist X-Plane ortamı için yüksek doğrulukla modellenmiştir. Bu sayede simülasyon

ortamında gerçekleştirilen uçuş planında herhangi bir değişiklik yapılmadan asıl uçuşa kullanma kabiliyeti kazanılmıştır.



Şekil 62 X-Plane için Modellenen Arslanbey Meydanı

Döngüde Yazılım (SITL) Testleri

Döngüde Yazılım (SITL) testleri gerçek uçuş testlerin öncesinde simülasyon ortamında modellenen hava aracının temel uçuş karakteristiginin gözlemlenmesi, simülasyon ortamında PID, L1 navigasyon kontrolcüsü, TECS kontrolcülerinin gerçek uçuşa yakın ayarlamalarının yapılması, tasarlanan insansız hava aracı üzerinde uçuş deneyimi kazanılmasıdır. Asıl uçuşlardan önce değiştirilmesi düşünülen parametrelerin test planlamaları simülasyon ortamında hazırlanan meydanda yapılması ekibe uçuşlar açısından önemli derece verim kazandırmaktadır. PID parametreleri simulatör ortamında AUTOTUNE uçuş modu ile ayarlanmasıyla birlikte L1 iyileştirme ve TECS kontrolcüsünün ayarlamaları tamamlanır. Böylece asıl hava aracının ilk uçuşu için gerekli parametre listesinin oluşturulması tamamlanır.



Şekil 63 Mission Planner Tuning Ekrani

Yapılan simülasyon testleri ile yukarıdaki grafikte görüldüğü gibi istenilen ve uygulanan kontrolcü değerlerinin birbiri arasındaki fark en aza indirilmektedir.

8.2.2. Uçuş Testleri

Uçuş testleri, tasarlanan sistemin doğruluğunun tespit edildiği, performansının ve güvenilirliğinin geliştirildiği multidisipliner bir süreçtir. Multidisipliner olması; ekiplerin birbirleri ile dirsek temasında olarak aralarındaki bilgi akışının dinamik bir şekilde gerçekleşmesini gerektirmektedir. Bu durum sürecin bir metodoloji belirlenerek sistematik bir biçimde yönetilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Sürekte izlenecek metodolojinin belirlenebilmesi amacıyla gerekli literatür araştırmaları yapılmıştır. Bu doğrultuda sürecin; Yer Testleri, Validasyon Testleri ve Dokümantasyon Testleri 3 ana başlık altında incelenmesine

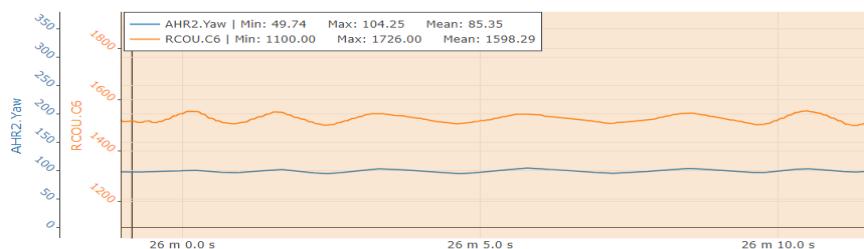
karar verilmiştir. Böylelikle test ve prosedürlerin planlı, disiplinli yürütülmesi ile risklerin en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

YER TESTLERİ

Yer testleri, sistemin ilk uçuşuna hazırlık durumunun ölçütüdür. Yer testlerinde alınan geri dönütlere göre sistemi revize etmeyi amaçlar. Bu kapsamında; otonom kalkış güvenlik kriterlerini yerine getirmeye yönelik olarak; hızlı taksi testi ve kalkış koşusu testlerini içermektedir.

- TAKSİ TESTİ

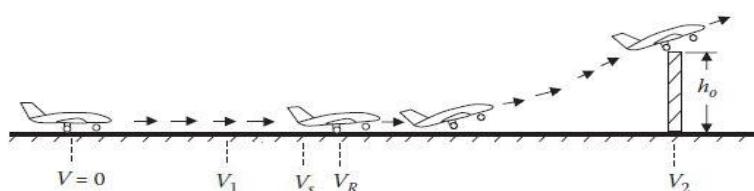
Kalkış koşusu öncesinde hava aracının ön iniş takımı servosunun optimize edilmesi gerekmektedir. Taksi testi ile hava aracının hareketi sırasında pist baş doğrultusu ve merkez noktasını koruması sağlanmaktadır. Bu doğrultuda yapılan testlerde merkez çizgisi ile kalkış noktası arasındaki sapma değeri 10 cm'ye indirilmiştir. Aşağıdaki grafikte yönelim değişimine ön iniş takımı servosunun tepkisi görülmektedir.



Şekil 64 Baş Yönelimi - Ön Dikme Servosu Grafiği

- KALKIŞ KOŞUSU TESTİ

Kalkış koşusu testleri ile hava aracının kalkış motor değerleri, kalkış mesafesi ve kalkış süresinin güvenli değerler içinde tutulması sağlanmaktadır. Kalkış sırasında hava aracının V süratlerini sağlaması gerekmektedir. Koşu sırasında V_1 hızına ulaşılması ile koşu testi sonlandırılır.



Şekil 65 V Süratleri Şekli

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Tablo 12 Hızlar

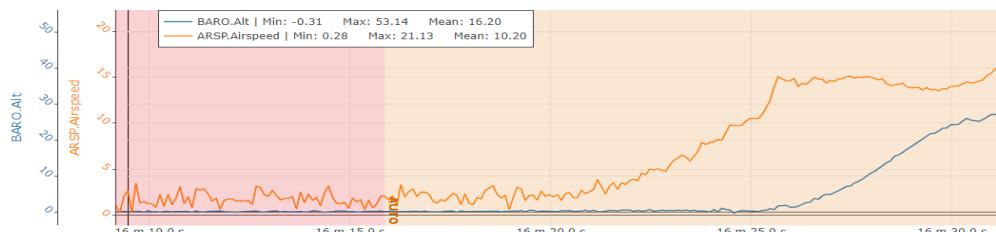
V Sürati	Tanım	Değer
V1	Kritik karar verme hızı	10 m/s
Vs	Minimum uçuş hızı	11.5 m/s
Vr	Ön dikmenin yerden kesilme hızı	12.1 m/s
V2	Minimum güvenlikli tırmanış hızı	13.1 m/s

VALİDASYON TESTLERİ;

Validasyon testleri, uçuşun belirli bir karakteristiğine veya komponentine odaklanır. Bir gereksinimi, hipotezi, algoritmayı veya sistem kavramını hedeflerler ve test edilen yönü doğrulamayı amaçlarlar. Bu kapsamda; asgari gerekliliklerin ve tasarım kriterlerinin doğrulanmasına yönelik; otonom kalkış, otonom uçuş, otonom iniş testi, seyir hızı testi, stall hızı testi, havada kalış süresi (dayanıklılık) testi, maksimum hız testleri gerçekleştirilmektedir.

- OTONOM KALKIŞ TESTİ

Hava aracının pist üzerinde kalkış hızı, elevatör açısı, öncelikli yüksekliğe tırmanış hızı değerlerinin doğrulanması için otonom kalkış test uçuşlarının yapılması gerekmektedir. Testler sonucunda hava aracının güvenli kalkış değerlerine ulaşması sağlanacaktır.



SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Yapılan testler sonucunda prototip hava aracının istenilen sınırlar içerisinde kalkışı gerçekleştirılmıştır.

- OTONOM İNİŞ TESTİ

Hava aracının iniş hızı, flare yüksekliği, iniş dikey hızı değerlerinin doğrulanması için otonom iniş test uçuşlarının yapılması gerekmektedir. Testler sonucunda hava aracının güvenli iniş değerlerine ulaşması sağlanacaktır.

Yapılan testler sonucunda prototip hava aracının 5 derece pozitif húcum açısı ve 13m/sn hava hızıyla kırımsız bir şekilde inmesi sağlanmıştır.



Şekil 67 Hançer PT3 Iniş Görüntüsü

- PERDOVİTES HİZ TESTİ

Hava aracının havada düşük hızlara düşmesi ile birlikte kanatlarda oluşan kaldırma kuvvetinin yetersiz gelmesi sonucu perdrovites(stall) durumu oluşur. Perdrovites durumunda olan hava aracı húcum açısından bozulmayla birlikte kontrolsüz bir şekilde düşmeye başlar. Tasarım aşamasında hesaplanan perdrovites hızının doğrulanarak kayıt edilmesi için hava aracına perdrovites hızı testi yapılması gerekmektedir.

Hava aracının hızı güvenli bir yükseklikte ve düz bir hatta giderken kontrollü bir şekilde düşürülmüştür. Beklenildiği şekilde húcum açısında artış görülmüş olup sonrasında hava aracının kontrolden çıktıığı gözlemlenmiştir.

- SEYİR PERFORMANS TESTİ

Hava aracının uçuş süresini etkileyen en büyük etmenlerden biri de seyir safhasındaki hız / itki oranıdır. Seyir performans testi ile hava aracının istenilen seyir hızında hesaplanan itki değerlerini sağlaması kontrol edilir. Yapılan testler sonucunda tasarıladığımız hava aracını 17 m/sn hızda %40 gaz kolu degeriyle uçuşunu gerçekleştirebildiği gözlemlenmiştir.

- DAYANIKLILIK TESTİ

Savaşan İHA yarışmasında karşılaşılabilen bütün olumsuzluklar göz önüne alınarak uçuş süresinin belirlenmesi gereklidir. Dayanıklılık testinde hava aracının en iyi ve en kötü senaryolarına karşılık gelen ortalama gaz kolu değerlerinde uçuş süreleri test edilmiştir.

DOKÜMANTASYON TESTLERİ;

Dokümantasyon testleri, sistemin gelişme durumunu yakalamak ve belgelemek için performans verileri oluşturulması amacıyla tekrar edilen uçuşlardır. Bu uçuşlar performans verilerinin yanı sıra komponent, yazılım entegrasyonlarını da içermektedir. Bu kapsamda; var olan kabiliyetlerin birincil olarak kontrolcü özelinde optimizasyonunu ve diğer alt sistemlerin

integrasyonuna yönelik; autotune, TECS parametrelerinin ve L1 kontrolcüsünün ayarlanması ve yaklaşma testlerini içermektedir.

- AUTOTUNE

Hava aracının yuvarlanma/yunuslama performansının iyileştirilmesi için PID kontrolcü parametrelerinin değiştirilmesi gerekmektedir. PID değerlerinin değiştirilmesi için ArduPilot yazılımında bulunan AUTOTUNE uçuş modu kullanılmıştır. AUTOTUNE seviyesi varsayılan 75 derece/s servo hareketine sahip olan seviye “6” yerine 90 derece/s servo hareketine sahip olan seviye “7” tercih edilmiştir. Böylelikle servo hassasiyeti arttırılarak hava aracının agresiflik kabiliyetinin artırılması hedeflenmiştir. Aşağıdaki grafiklerde Autotune öncesi ve sonrası değerlerin değişimi görülmektedir.

- TECS

TECS sisteminin amacı hava aracının toplam enerjisi ve istenen durumların gaz kelebeği ve elevatör girdileri ile kontrolünü sağlamaktır. Savaşan İHA yarışmasında bir hava - hava muharebe ortamı simüle edildiğinden dinamik hedeflere karşı bir takip gerçekleştirilmeli gerekmektedir. Bu dinamik hedefler farklı irtifalarda ve farklı hızlarda olabileceğinden hava aracının bu değerlerde uçması gerekecektir. Bu durumda gaz kelebeği seviyesi değişkenlik gösterecektir. TECS doğrulama uçuşları ile bu girdileri kontrol eden parametre değerleri belirlenmektedir. Bu nedenle TECS doğrulama uçuşlarının eksiksiz bir şekilde yapılması büyük önem kazanmaktadır. Bu doğrultuda Ardupilot dokümanı referans alınarak irtifa kayıpları en aza indirilerek belirlenen sınırlar içerisinde tutulmuştur. Loiter modunda iken hava aracının maksimum irtifa değişimi 7 metre olarak görülmüştür.

- L1 İYİLEŞTİRME TESTİ

Hava aracının hazırlanan rotayı takibi sırasında oluşan salınımları azaltmak ve dönüş performansını en iyi şekilde optimize etmek için “L1 Navigasyon” parametrelerinin ayarlanması gerekmektedir. L1 iyileştirme testleri özel olarak hazırlanan bir görevle gerçekleştirilmektedir.



Şekil 68 L1 İyileştirme Testi

Uçuş sırasında hava aracı dikdörtgen hatta ilerlerken L1 kontrolcüsünün “Period” ve “Damping” parametreleri dinamik olarak değiştirilir. Hava aracının dönüş performansı istenen değerlere ulaşana kadar test devam ettilir. Yapılan testler sonucunda iyileştirme testlerinden önce 12 metre olan kayma miktarı 5 metreye düşürülmüştür.

- YAKLAŞMA TESTİ

Hava aracının otonom inişini sorunsuz bir şekilde gerçekleştirebilmesi için yaklaşma sürecinin en iyi şekilde ayarlanması gerekmektedir. Iniş öncesinde hava aracının aşması gereken süzülme hattının (Glide Path) doğru açı, yönelim ve mesafeye sahip olması hava aracının “Flare” noktasına en uygun şekilde ulaşmasını sağlayacaktır. Yaklaşma testleri ile hava aracının farklı

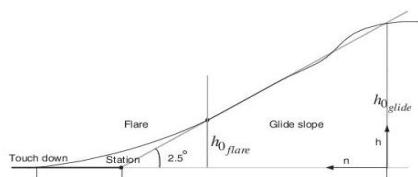
SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

açları ile sağlanan farklı agresifliklere sahip yaklaşma hatları test edilmektedir. Böylelikle rüzgar gibi bozucu etkilerin olduğu durumlarda birden fazla uçuş planı seçeneği ile istendiğinde agresif bir yaklaşım sergileme kabiliyeti kazanılacaktır.

-5.8	-3.3	68.9	276
-5.2	-3.0	95.9	276
8.4	4.8	96.1	96
-8.4	-4.8	95.9	276
10.4	6.0	96.2	96
-10.5	-6.0	96.1	276

25 WAYPOINT	0	0	0	40.7124381	30.0284095	5	Relative	✓	X	5.8	-3.3	68.9	276
26 LAND	0	0	0	40.7125245	30.027279	0	Relative	✓	X	5.2	-3.0	95.9	276
27 WAYPOINT	0	0	0	40.7124361	30.0284095	8	Relative	✓	X	8.4	4.8	96.1	96
28 LAND	0	0	0	40.7125215	30.0272816	0	Relative	✓	X	8.4	-4.8	95.9	276
29 WAYPOINT	0	0	0	40.7124300	30.0284109	10	Relative	✓	X	10.4	6.0	96.2	96
30 LAND	0	0	0	40.7125184	30.0272830	0	Relative	✓	X	-10.5	-6.0	96.1	276

Şekil 69 Farklı Iniş Agresiflikleri için Oluşturulan Yaklaşma Hatları



Şekil 70 Yaklaşma Hattı Şeması

8.2.3. Uçuş Kontrol Listesi

Tablo 13 Uçuş Kontrol Listesi

UÇUŞ ÖNCESİ			
MEKANİK EKİP	Kanal bağlantı parçası kontrolü	Kamera kapağının kontrolü	
	Kuyruk bağlantı parçası kontrolü	Pitot tüpü korumasının kontrolü	
	Kanal kablaj kapaklarının kontrolü	Servo montaj vidalarının kontrolü	
	Ana gövde kapağının kontrolü	Servo tellerinin kontrolü	
	İniş takımı servosunun kontrolü	Ağırlık merkezinin kontrolü	
	Arka iniş takımı bağlantısı kontrolü		
MEKANİK EKİP ONAYI			
AVİYONİK EKİP	Kablo bütünlükleri kontrolü	Pixhawk bağlantısının kontrolü	
	Güç bağlantısının kontrolü	Kanal servo bağlantısının kontrolü	
AVİYONİK EKİP ONAYI			
UÇUŞ KONTROL EKİBİ	Motor arm/disarm kontrolü	Yönelim kontrolü	
	Yükseklik kontrolü	Pitot tüp okuması kontrolü	
	Motor itki kontrolü	Otopilot parametre kontrolü	
	Hareketli parça kontrolü	Uçuş öncesi taksi kontrolü	
UK ONAYI			
UÇUŞ ESENASINDA			
UÇUŞ KONTROL EKİBİ	Uçuş planının kontrolü	EKF Durumu	
	İstasyon bağlantı durumu kontrolü	Video kayıt kontrolü	
	Temel uçuş göstergelerinin kontrolü	Pil durumu kontrolü	
UÇUŞ SONRASI			
TÜM SAHA EKİBİ	Motor arm/disarm kontrolü	Aviyonik bütünlük kontrolü	
	Güç bağlantısı kontrolü	Aviyonik sıcaklık kontrolü	
	Mekanik bütünlük kontrolü	Pil durumu kontrolü	

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

9. GÜVENLİK

Hava aracı geliştirilirken izlenen uzun süreçte alınan güvenlik önlemleri büyük önem kazanmaktadır. Hazırlık sürecinin başından itibaren yarışma gününe kadar izlenecek olan güvenlik önlemleri üç temel başlık altında toplanmıştır.

Tablo 14 Güvenlik Tablosu

ÇALIŞMA ALANI GÜVENLİĞİ				
Risk	Detay	İhtimal	Önem	Önlem
Üretim Esnasında Yaralanma	Üretim esnasında çalışan ekip üyesi yaralanabilir.	2	5	Koruyucu ekipmanlar kullanılarak iş kazası engellenmektedir.
Pillerin Zarar Görmesi	Pillerin yapısındaki kimyasal bozunma	2	5	Pillerin taşınması ve saklanması sırasında yanmaz pil çantası kullanılması
Kontrol ve Test Esnasında Yaralanma	Kontrol veya test yapan ekip üyesi yaralanabilir.	2	5	Testler sırasında alanda bulunan ekip üyeleri koruyucu ekipmanlarla donatılmıştır.
HAVA ARACI İÇİNDE ALINAN GÜVENLİK ÖNLEMLERİ				
Yüksek Akım Çekilmesi	Aviyoniklerin Yüksek Akım Çekmesi.	2	4	Akım ve gerilim kesici kullanılarak güvenlik sağlanmaktadır.
Uçuş Esnasında Bağlantı Kaybı	Hava aracının bağlantısının kopması.	3	5	Fail safe özelliği aktive edilir.
Sıvı Teması	Sıvı teması sonucu bozulma.	1	4	Hava aracı sıvı yalıtkanlığı olacak şekilde tasarlandı.
Hava Aracının Manyetik Alanlarından Etkilenmesi	Farklı sebeplerle oluşan manyetik alan sistemi etkileyebilir..	3	3	Ekranlama ve twisted yapıldı.
Hava Aracında Problemin Tespit Edilememesi	Sistem üzerinde herhangi bir hata olduğunda sistem durabilir.	1	3	Hata bayrağı yapısı sayesinde hızlı problem çözebilme kabiliyeti.
İniş / Kalkış Anında Hava Aracının Merkez Noktasından Kayması	Hava aracı dengesini pist koşusu sırasında devrilebilir ve hasar alabilir.	3	4	İniş takımı devrilmeyecek şekilde boyutlandırıldı.
Gaz Kelebeğinin Açık Unutulması	Gaz Kelebeğinin açık unutulması motorları kontrolsüz çalıştırılabilir	1	5	ESC açılış koruması sayesinde motorların çalışmasına izin vermez.
RF Bağlantısının Kaybı	Haberleşme sinyalinin kopmasıyla görev başarısız olabilir.	2	5	Yedek telemetri bağlantısı diğer haberleşme yoluna geçmektedir..
Yazılımsal Bir Servisin Çökmesi	Öngörülemyen nedenlerle yazılım servisi çökebilir.	1	4	Herhangi bir servisin çökmesi görev kontrol arayüzünde hata mesajı oluşturmaktadır.
Hava Aracı İçi Görüntü İşleme Bilgisayarında Arıza	Hava aracı üzerindeki görev donanımlarında sıkıntı olursa görev başarısız olabilir.	1	5	Yazılımsal konfigürasyon B ye geçilerek görev yer kontrol sistemi üzerinde gerçekleştirilecektir.
Yanlış Nesnelerin Tespiti	Hava aracı veya QR kod haricinde nesne tespiti yapılabilir.	3	3	Servislerin sistem durumundan haberdar olduğundan servisler tekrarlanır.
Sensör Verilerinin Hatalı Olması	Uçuş öncesinde hava aracı üzerindeki sensör verilerinde hata olabilir.	3	4	Uçuş ekibi tarafından farklı sensörler için gerekli kalibrasyonlar gerçekleştirilerek verilerin doğruluğu teyit edilmektedir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

UÇUŞ SAHASI İÇİN ALINAN GÜVENLİK ÖNLEMLERİ				
Aviyonik Bileşen Arızası	Kabloların yanlış bağlanması sonucu elektronik aksamlarda hasar oluşabilir.	1	3	Uçuştan önce gerekli kontroller yapılrken piller demonte edilmelidir.
Pistin Uçuşa Elverişsiz Olması	Pist üzerinde yabancı madde ve canlı bulunabilir.	1	4	Uçuştan önce uçuş ekibi tarafından pist yüzeyi kontrol edilmekte, pist yabancı madde ve canlılardan arındırılmaktadır.
Mekanik Montaj Sırasında Yaralanma	Saha mekanik ekibi montaj sırasında yaralanabilir.	1	5	Bu yaralanmalara karşı uçuşlara ilk yardım kiti götürülmektedir.
Sahada Gerekli Ekipmanların Eksik Olması	Uçuş sahasında gerekecek ekipmanlarda eksik çıkabilir.	1	3	Uçuş öncesi hazırlanan kontrol listeleri ile bu problemin önüne geçilmektedir.