KIRMIZIKANATLAR HAVA TAKIMI

T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ

TEKNOFEST İSTANBUL HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

TEKNOFEST İSTANBUL

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

SAVAŞAN İHA YARIŞMA

KRİTİK TASARIM RAPORU

İÇİNDEKİLER

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ 3
1.1. Sistem Tanımı 3
1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri 3
2. ORGANİZASYON ÖZETİ 4
2.1. Takım Organizasyonu 4
2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe 5
3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ 6
3.1. Nihai Sistem Mimarisi 6
3.2. Alt Sistemler Özeti 10
3.3. Hava Aracı Performans Özeti 13
3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı 14
3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı 17
4. OTONOM KİLİTLENME 18
5. HABERLEŞME 29
6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI 34
7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU 38
7.1. Yapısal Entegrasyon 38
7.2. Mekanik Entegrasyon 41
7.3. Elektronik Entegrasyon 42
8. TEST VE SİMÜLASYON 45
8.1. Alt Sistem Testleri 45
8.1.2 İtki Testi 45
8.1.3 Kilitlenme Testi 45
8.1.4 Haberleşme Testi 46
8.1.5 Yapısal Test 47
8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi 47
9. GÜVENLİK 49
10. REFERANSLAR 49

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ

1.1. Sistem Tanımı

Tasarlanan İHA'nın ana görevi, bir it dalaşı (dog fight) durumunda rakip İHA hedeflerini tespit edip, hedeflere sanal ortamda başarıyla vuruş yaparken aynı zamanda rakip İHA'lar tarafından gerçekleştirilecek olası kilitlenme durumlarından kaçmaya çalışmaktır. İHA yarışma süresince ana görevini icra ederken eş zamanlı olarak telemetri ve anlık kamera görüntüsü verilerini yer kontrol istasyonu aracılığı ile yarışma sunucusuna gönderecektir.

İHA'nın tanımı yapılan görevini gerçekleştirebilmesi için, insan etkileşimi olmadan otonom kalkış-iniş, yer kontrol istasyonu haberleşmesi, hedef tespiti, hedefe kilitlenme ve rakip İHA kilidinden kaçabilme yetilerine sahip olması gerekmektedir.

İHA uçuş esnasında kamera verilerini doğrudan görev bilgisayarına iletir. Görev bilgisayarı gelen kamera verilerini nesne tanıma-takip algoritmaları aracılığıyla işler ve yapılması gereken manevraya karar verir. Yapılacak manevra, duruma göre ya rakip İHA'lara kilitlenmek ya da rakip İHA kilitlerinden kaçmak amaçlı olacaktır. İHA kilit halinde değil ise yarışma sunucusundan alınan rakip İHA telemetri verileri işlenerek en yakın rakip İHA'ya kilitlenme amaçlı yönlendirilecektir. Telemetri verilerinden İHA'nın rakip İHA takibinde olduğu belirlenmesi durumunda ise kaçış manevrası icra edilecektir. Gerekli manevra emri görev bilgisayarı tarafından uçuş kartına gönderilir. Uçuş kartı ise İHA motorları üzerinde manevrayı gerçekleştirecek manipülasyonu yapar ve İHA komutası gerçekleştirilmiş olur.

İHA ana görevin icrası ile eş zamanlı olarak, kamera görüntü ve telemetri verilerini yer kontrol istasyonuna kablosuz erişim noktaları aracılığı ile kesintisiz olarak iletecektir. Yer kontrol istasyonu ise İHA'dan alınan verileri kaydederek yarışma sunucusuna aktaracaktır.

1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri

İHA'nın görev gereksinimlerini yerine getirebilmesi için gerekli tasarım parametre değerleri üzerine yapılan araştırmalar, Gazebo ve eCalc [1] simülasyon ortamlarında hesaplanan parametre değerleri ve yapılan testler sonucu elde edilen nihai parametre değerleri Tablo 1.2.1'de gösterilmiştir.

Kriterler	Tasarım Değeri	Simülasyon Değeri	Nihai Değer
Azami Kalkış Ağırlığı	3000g	2.800g	2.650g
Uçuş Hızı	≥20 Km/saat	≤70 Km/saat	40 Km/saat(seyir)-70Km/saat(azami)
Azami Yatış Açısı	35°	35°	35°
Uçuş Süresi	≥20 Dakika	21.7 Dakika	22 Dakika
Azami Menzil	3 Km	3 Kilometre	4 Km
Harekât sahası	1 Km	2 Km	4 Km

Haberleşme Menzili	≥1.5 Km	≤10 Km	4 Km
Güç Ağırlık Oranı	≥2.5 / ≤3.5	≥2.6	2.95

Tablo 1.2.1: Tasarım, Simülasyon ve Test Değerleri

Kullanılan İHA çerçevesi, modernize edilen 3D baskı motor kolları ile birlikte 650 mm açıklığa erişip nihai kalkış ağırlığı 2650 gram olmuştur. İHA uçuş sistemi, görev bilgisayarı ve iletişim sistemlerinin ihtiyacı olan gücü 10.000 mAh kapasiteli, 4S (14.8V) ve 25C değerli lityum polimer tip bir pil ile sağlanmaktadır. İHA'da kullanılan motorlardan biriyle yapılan itki testleri sonucunda 12x55 tipi pervaneler ile ortalama 6 amper akımda 700 gram itki gücü elde edilmiştir. Elde edilen bu itki gücü ortalama 20-25dk uçuş süresi vermektedir.

İHA'nın üzerinde bulunan Xavier NX görev bilgisayarı, Pixhawk uçuş kartı ve kablosuz erişim noktası cihazlarının toplam ortalama güç tüketimi 23W mertebesindedir. İHA'nın hareketi için gereken yatış açısı, uçuş süresini uzatmak ve uçuş emniyetini arttırmak için 35 ° derece ile sınırlandırılmıştır.

2. ORGANİZASYON ÖZETİ

2.1. Takım Organizasyonu

Takımın akademik danışmanı Dr. Öğr. Üyesi Ertuğrul Saatçı, İstanbul Kültür Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesidir. Takımın genel danışmanlığını yapmaktadır.

Takım kaptanı Ezgi Topcu, Elektrik-Elektronik Mühendisliği 2. Sınıf öğrencisidir. Projede, görüntü işleme yazılımı ve nesne takip algoritmasının oluşturulmasından sorumludur.

Takım üyesi Emin Kaan Güreşçi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği 2. Sınıf öğrencisidir. Projedeki donanım bileşenlerinin seçimi, bileşenlerin uyumluluğu, donanım tasarımı, İHA montajı, yer kontrol istasyonu programlaması ve yedek İHA pilotluğundan sorumludur.

Takım üyesi Okan Kartbaş, Elektrik-Elektronik Mühendisliği 4. Sınıf öğrencisidir. Projede İHA pilotumuz olmakla beraber uçuş bilgisayarının programlaması, donanım tasarımı, haberleşme protokolleri ve yer kontrol istasyonunun programlaması konularında görevlidir.

Takım üyesi Alperen Gökduman, Matematik Bilgisayar bölümü 1. Sınıf öğrencisidir. Projede görüntü işleme yazılımı ve kaçış algoritması tasarımından sorumludur.

Takım üyesi Göksu Yıldırım, Elektrik-Elektronik Mühendisliği 1. Sınıf öğrencisidir. Projede haberleşme protokolleri programlaması, ön tasarım ve kritik tasarım raporlarının düzenlenmesi ve literatür taramasından sorumludur. Bahsi geçen üyelerin görevleri Şekil 2.1.1'de verilen takım organizasyon şemasında belirtilmiştir.

Şekil 2.1.1: Takım Organizasyon Şeması

2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe

Ön Tasarım Raporu'nda (ÖTR) planlanan iş akışı Kritik Tasarım Rapor (KTR) şablonu yayınlanmadan önce tahmini olarak yapılmıştır. KTR şablonunun yayınlanmasının ardından var olan kısımlara eklenti gerekliliği ve önemli tarihlerde yapılan değişiklikler nedeniyle, takvimde bazı iş akışlarında güncelleme yapılmak zorunda kalınmıştır. Tedariki yapılacak parçaların planlanan zamanda temini sağlanamadığı için bileşenlerin montajı daha ileri bir tarihe kaydırılmıştır. KTR öncesinde yapılmak üzere ek performans ve stres testleri tanımlanmıştır. İHA kanopisinin daha özgün ve kullanışlı bir kanopi haline dönüştürülmesi çalışmaları nedeniyle İHA'nın 3D tasarımı için belirlenen tarihte değişikliğe gidilmiştir. ÖTR'nin ardından İHA'ya kaçış algoritması eklenmesine karar verilmiştir. Söz konusu sistemin tasarımı yeni bir iş paketi olarak zaman akış çizelgesine eklenerek çizelge güncellenmiştir. Tüm değişiklikler Tablo 2.2.1'de listelenmiştir.

AŞAMA	BAŞLANGIÇ TARİHİ	BİTİŞ TARİHİ
Kritik Tasarım Raporu	03.05.2021	20.06.2021
Kaçış Algoritması	15.04.2021	15.06.2021

Parçaların Montajı	25.05.2021	05.06.2021
Birinci Aşama Performans Testleri	05.06.2021	20.06.2021
Birinci Aşama Stres Testleri	05.06.2021	20.06.2021
İHA'nın 3D Tasarımı	30.01.2021	01.06.2021

Tablo 2.2.1: ÖTR'den KTR'ye Değişen Tarihler ve Eklenen İş Paketleri

Gerçekleşen Bütçe

Kavramsal sistem mimarisinden nihai sistem mimarisine geçiş yapılırken bazı değişiklik ve eklenti ihtiyaçları ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaçların nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Alınması planlanan Flysky FS-i10 model radyo kontrol (RC) kumanda seti satıcı tarafından tedarik edilemediği için diğer alternatif olan Radiolink AT10-II model RC kumanda setinin alımına karar verilmiştir.
- Yer kontrol bilgisayarının hem yarışma sunucusuna hem de kablosuz erişim noktasına bağlanabilmesi için iki adet Ethernet portuna ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanılması planlanan yer kontrol bilgisayarında bir adet Ethernet portu bulunduğundan, söz konusu Ethernet portunun çoklanması için bir ağ anahtarı ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Bahsi geçen değişiklikler, eklentiler, sebepleri ve bütçeye etkileri Tablo 2.2.2'de özetlenmiştir.

Kullanım Amacı	Eski Ekipman / Yeni Ekipman	Değiştirilme / Eklenme Sebebi	Bütçeye Etkisi
Kumanda Seti	Flysky FS-i10 / Radiolink AT10-II	Tedarik edilememesi	-1168TL
Ağ Anahtarı (Network Switch)	TP-LINK TL-SF1008D	Yer kontrol bilgisayarı üzerinde yeterli Ethernet portu bulunmaması	-80TL

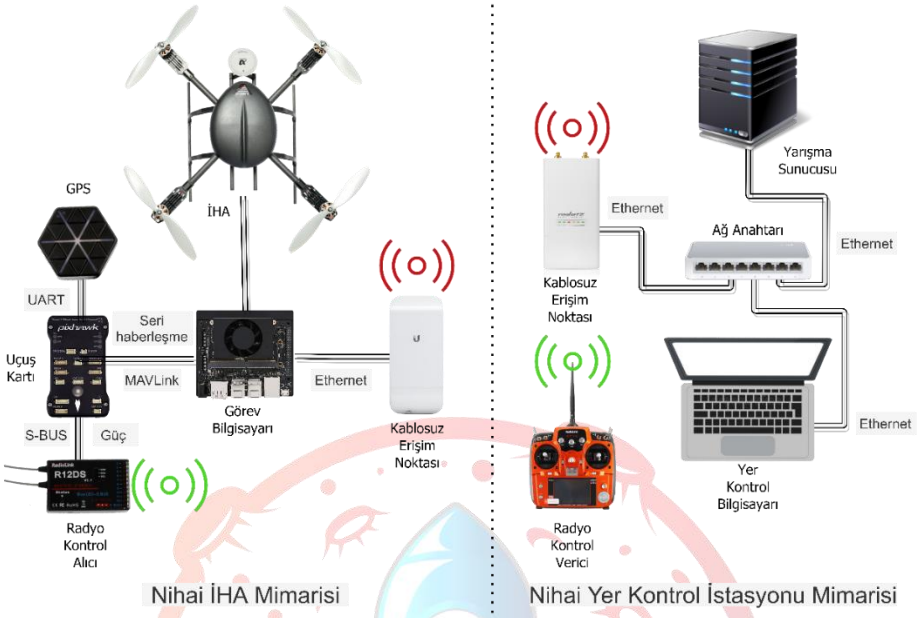
Tablo 2.2.2: Yapılan Değişiklik ve Eklentiler, Sebepleri ve Bütçeye Etkileri

Nihai sistem tasarımında yapılan değişiklik ve eklentiler sebebi ile bütçede 1248TL tutarında artış olmuştur.

3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ

3.1. Nihai Sistem Mimarisi

Sistem tasarımında en önemli kriter sistem karmaşıklığını mümkün olduğu kadar az tutmak olmuştur. Sistemin basit olması hem arıza ihtimalini azaltır hem de azaltılmış donanım bileşeni nedeniyle hafiflik sağlar. Tasarlanan sistemin mimarisi ŞEKİL 3.1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1.1: Nihai Sistem Mimarisi

Şekil 3.1.1'de nihai sistem mimarisinde yer alan cihazlar arası bağlantılar çizgiler ile belirtilmiş ve bağlantıların hangi yöntemlerle yapılacağı çizgilerin yanlarına yazılmıştır.

Ön Tasarım Raporu'nun (ÖTR) ardından yapılan araştırma ve incelemelerde sistem mimarisinde değişiklik yapılması gerektiği görülmüştür. Değişiklik yapılan cihazlar ve nedenleri aşağıda belirtilmiştir:

- Radyo Kontrol Alıcı-Verici: ÖTR'nin Zaman Akış Çizelgesi ve Tahmini Bütçe kısmında "Kumanda" olarak belirtilen "Flysky FS-i10 2.4Ghz 12 Kanal Kumanda Seti"nin tedariki ilgili firma tarafından yapılamadığı için alternatif seçenek olan "Radiolink AT10-II 2.GHz 12 Kanal Kumanda Seti"nin alımına karar verilmiştir.
- Ağ Anahtarı: Yer Kontrol Bilgisayarının hem kablosuz erişim noktası hem de yarışma sunucusu ile Ethernet aracılığı ile iletişim kurabilmesi için en az 2 adet Ethernet portuna sahip ağ anahtarına ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu ihtiyaç "TP-LINK TL-SF1008D 8-Port 10/100Mbps" ağ anahtarı ile giderilmiştir.

Genel sistem mimarisi, iki alt başlıkta ayrıntılı olarak incelenecektir;

I. Nihai İHA Mimarisi
II. Nihai Yer Kontrol İstasyonu Mimarisi

I. Nihai İHA Mimarisi

Nihai İHA mimarisi içerisinde 5 bileşen bulunmaktadır. Bunlar; uçuş kartı, görev bilgisayarı, GPS, kablosuz erişim noktası ve radyo kontrol alıcıdır. Bahsi geçen bileşenlerin sistem içerisindeki görevlerine ve teknik özelliklerine aşağıda yer verilmiştir.

Uçuş Kartı (Pixhawk PX4 2.4.8): Pixhawk [2], hava ve kara araçlarına otonom hareket kabiliyeti kazandırmada kullanılan oldukça gelişmiş bir otopilot sistemidir. Barındırdığı 32 bit işlemci sayesinde kullanıcıya yüksek hesaplama performansı ile beraber kararlı bir uçuş sağlamaktadır. Kart GPS / QZSS L1 C / A, GLONASS L10F, BeiDou B1 protokolü ve modlarını desteklemektedir. Bu nedenle harici bir aracı birim ihtiyacı duymadan, kullanılacak olan GPS modülü ile doğrudan iletişim kurabilmektedir. MAVLink protokolü aracılığıyla görev bilgisayarı ile iletişime geçerek görev bilgisayarından aldığı yönelme emirlerinin gerçekleştirilmesini de sağlamaktadır. Bu sayede İHA'nın tüm uçuş fonksiyonlarını denetlerken görev bilgisayarı ve kumanda ile sürekli haberleşerek İHA'nın seyrini yönetmektedir.

Görev Bilgisayarı (Nvidia Xavier NX): İHA'nın seyir ve hedef takip algoritmalarını çalıştırırken, uçuş kartından aldığı verilerle beraber üzerindeki kameradan gelen görüntüleri ve telemetri bilgilerini yer kontrol istasyonuna aktarmadan sorumludur. Darknet çerçevesi [3] ve CUDA platformu yardımıyla derin sinir ağları tabanlı yapay zeka (AI) uygulamaları geliştirmede kullanılmaktadır. Üzerinde bulunan 6 çekirdekli Nvidia Carmel ARM v8.2 işlemcisi düşük güç tüketimi ile beraber yüksek işlem gücü sağlamakta, bunun yanında modül 384 CUDA core ve 48 tensor core barındırmaktadır [4].

GPS (Radiolink M8N): Modül, İHA'nın global pozisyonunun ve pusula bilgisinin uçuş kartına aktarımından sorumlu olup Honeywell HMC5983 dijital pusula ile güçlü bir Ubox UBX-M8030 (M8) GPS alıcısının birleşiminden oluşmaktadır [5]. SE100, PIX (Pixhawk), APM (ArduPilotMega), NAZE32 gibi tüm açık kaynaklı uçuş kontrol cihazlarıyla kullanım için uygun olan çok yönlü GPS özelliğine sahiptir. Yüksek hızlı uydu keşfi ile 20 saniye içerisinde 500 mm'lik bir konum hassasiyetine erişen bu modül, 6 saniye içinde konumunu tespit edebilmektedir.

Kablosuz Erişim Noktası (Ubiquiti Loco M5): Ubiquiti Nanostation Loco M5 geniş bant desteği sağlayan kablosuz erişim noktasıdır [6]. İHA'nın telemetri ve görüntü verilerinin yer kontrol istasyonuna aktarımı ile yer kontrol istasyonundan gönderilen komutların İHA'ya aktarımından sorumludur. Standart WiFi, Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA) protokolünü kullanırken, Ubiquiti Loco M5 airMax (MIMO TDMA) protokolü ile beraber akıllı servis kalitesi (QoS) yönetimi sayesinde video ve ses dosyalarına öncelik vermekte ve kesintisiz veri akışı sağlamaktadır. Yüksek hızlı aktarım 5km menzile kadar etkili olup üzerinde bulunan filtreler ile çevre gürültüsünün sinyale etkisi en aza indirilmiştir.

Radyo Kontrol Alıcı (R12DS V1.1): Radiolink tarafından geliştirilen R12DS radyo kontrol alıcı [7], kumandadan alınan komutların uçuş kartına gönderiminden sorumludur ve radyo kontrol vericinin performansına da bağlı olarak 4 Km'ye kadar iletişim kapasitesine sahiptir.

Futaba Corporation tarafından geliştirilen S-BUS teknolojine sahip bu alıcı, radyo kontrol vericiden alınan sinyallerin ayrı kanallardan PWM formatında iletimini sağlarken, S-BUS üzerinden de dijital bir şekilde iletimini yapabilmektedir. Ek olarak, PIXHAWK, Mini Pix, TURBO PiX, APM gibi modüllere bağlandığı taktirde, bu modüllerden alınan telemetri verilerini de anlık olarak radyo kontrol vericisine iletebilmektedir.

II. Nihai Yer Konrol İstasyonu Mimarisi

Nihai yer kontrol istasyonu mimarisi içerisinde 4 bileşen bulunmaktadır. Bunlar; yer kontrol bilgisayarı, kablosuz erişim noktası, radyo kontrol verici ve ağ anahtarıdır. Bahsi geçen bileşenlerin sistem içerisindeki görevlerine ve teknik özelliklerine aşağıda yer verilmiştir.

Yer Kontrol Bilgisayarı: Kablosuz erişim noktası aracılığı ile aldığı anlık görüntü ve telemetri verilerinin, pilota ve yarışma sunucusuna aktarımından sorumlu bilgisayardır. Minimum Intel i5 işlemci ve 8 GB RAM donanımına sahip bir bilgisayar olacaktır.

Kablosuz Erişim Noktası (Ubiquiti Rocket M5): İHA'dan alınan telemetri ve görüntü verilerinin yer kontrol istasyonuna aktarımı ile yer kontrol istasyonundan gönderilen komutların İHA'ya aktarımından sorumludur. 802.11ac standardında çalışan bu cihaz, 750MHz işlemci ve 64MB RAM'e sahip olup 2x2 MIMO 25Dbm radyo kartı sayesinde ortam şartlarına göre +20KM'ye kadar 5GHz bandında yayın yapabilmektedir [8]. RocketM5, aynı firma tarafından üretilen ve İHA üzerinde kullanılan LocoM5 modeli gibi airMax protokolünü kullanmaktadır. Bu iki cihazın aynı firma tarafından üretilmiş olması, cihazların tam uyumlu ve en yüksek kapasiteleri ile çalışmalarını sağlamaktadır.

Radyo Kontrol Verici (Radiolink AT10-II): Pilotun manuel komutlarını İHA'ya iletmekle sorumlu radyo kontrol verici elemanıdır. DSSS&FHSS iletişim teknolojisi ve 7dbi yüksek kazançlı anteni, AT10-II'nin havada 4 Km'ye kadar iletişim kurabilmesini sağlamaktadır [9]. 12 kanal teknolojisi ve arıza / hata durumunda İHA'nın güvenli bir şekilde yere indirilebilmesi için Hata Koruması fonksiyonuna (Fail-Safe function) sahip olması bu kumandanın en önemli tercih nedenleridir.

Ağ Anahtarı (TP-LINK TL-SF1008D 8-Port 10/100Mbps): Yer kontrol bilgisayarının kablosuz erişim noktası olan Ubiquiti Rocket M5 ve Teknofest yarışma sunucusuna Ethernet portu üzerinden bağlanmasında kullanılmaktadır. 8 adet Ethernet portu bulunan bu ağ anahtarı, IEEE 802.3x protokolü ve 2K Jumbo frame özelliği sayesinde full duplex ve yarım duplex modlarda sorunsuz çalışarak veri hızının maksimuma çıkarılmasını sağlamaktadır. TL-SF1008D, tak çalıştır özelliği ile kullanılan donanımlara çok bağlı olmaksızın çalışma yanında, iki cihaz arasında sağlanabilecek en hızlı veri bağlantısını bulup gerçekleştirebilme yetisine sahiptir [10].

Nihai sistem mimarisini oluşturan cihazların marka / model bilgileri Tablo 3.1.2'de verilmektedir.

Cihaz Görevi	Marka	Model
Uçuş Kartı	Pixhawk	PX4 2.4.8
Görev Bilgisayarı	Nvidia	Nvidia Xavier NX Developer Kit
GPS	Radiolink	M8N-Se100
Kablosuz Erişim Noktası (İHA)	Ubiquiti	Nanostation Loco M5
Radyo Kontrol Alıcı	Radiolink	R12DS V1.1
Kablosuz Erişim Noktası (Yer İstasyonu)	Ubiquiti	Rocket M5
Radyo Kontrol Verici	Radiolink	AT10-II
Ağ Anahtarı	TP-LINK	TL-SF1008D

Tablo 3.1.2: Kullanılan Cihazlar için Marka / Model Tablosu

3.2. Alt Sistemler Özeti

Sistem mimarisi tasarımında doğal öncelik, görev kriterlerinin yerine getirilmesidir. Ancak tasarımda güvenilirlik ve emniyeti arttırmak amacıyla, tasarım sırasında yarışmanın görev isterleri alt limit olarak belirlenmiş ve bunların üzerinde değerler elde edilmeye çalışılmıştır. Ek olarak tasarım aşamasında sistem bileşenlerinin doğru seçilmesi kadar tedarik edilebilir olması da önem arz etmektedir.

Gövde (Frame)

Gövde seçiminde ilk kriter, gövdenin olabildiğince hafif ve aynı zamanda dayanıklı olmasıdır. Bu nedenle karbon fiberden imal edilmiş ve fazla montaj parçası içermeyen bir gövde seçmek önemlidir. Bir diğer husus da sağlam ve esnemez bir gövdeyle maksimum kanat açıklığına erişmektir. Kanat açıklığının artması daha büyük palli pervanelerin takılabilmesine olanak sağlamakta, bu da aynı devirde daha fazla kaldırma kuvveti elde edilmesini sağlamaktadır. Bu sayede hem İHA'nın hareket kabiliyeti hem de asılı kalma süresi artmaktadır. Okulumuzda bulunan ve daha önce başka yarışmalarda da kullanılmış olan XAircraft 650 modeli gövde, gövde isterlerini karşılamaktadır. Ayrıca gövde elektronik donanım havuzunun kapasitesi de üzerine koyulması planlanan cihazlar için yeterli alanı sunmaktadır.

Gövde fiziksel ölçüleri

- Ağırlık: 652 g

- Kanat Açıklığı: 660 mm
- Yükseklik: 295 mm
- Genişlik: 485 mm

olarak sıralanabilir.

İtki sistemi

En yüksek asılı kalma süresi için gövdeye mümkün olan en büyük pervanelerin takılması gerekmektedir. Ancak teorik olarak gövde 13 inç pervaneleri desteklese de kanopi kısmı ve altındaki elektronik cihazların kapladığı alan sebebiyle en fazla 12 inç pervane takılması mümkün olmuştur. İHA'nın tork ihtiyacı çok fazla olmadığından 2 palli 12x55 tipi karbon fiber pervaneler tasarlanan sistemde kullanıma uygundur. İtkinin güce oranı olarak tanımlanan verimliliğin, 8A ile 12A arasında yaklaşık sabit kalması bu bölgenin motor için yaklaşık doğrusal bölge olduğunu göstermektedir [11]. Bu nedenle motorların bu bölgede kalacak şekilde sürülmesi hedeflenmektedir.

Haberleşme sistemi

İHA'nın telemetri ve görüntü verileri aktarımı Ubiquiti Loco M5 kablosuz erişim noktası kullanılarak sağlanmaktadır. Ubiquiti Loco M5 üzerinde bulunan 8dBi yönlü anten yerine 7dBi çok yönlü (omni) anten kullanılarak yarışma sırasında oluşabilecek iletişim kayıplarının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Nitekim teorik olarak 3 km iletişim menziline sahip olan bu cihazın pratikte 1km üzerinde mesafelerde yayın yapabildiği test edilmiştir. İlk bakışta haberleşmenin Xbee modülleri kullanılarak daha basit bir şekilde sağlanabileceği düşünülebilir. Fakat Xbee'nin bant genişliği ve veri aktarım hızı, İHA'da elde edilen görüntüleri yer kontrol istasyonuna istenilen hızda göndermek için yeterli olmayacaktır. Bu nedenle video gönderimi için yukarıda bahsi geçen harici modülün kullanılmasına karar verilmiştir. Ancak bu seçenek de bazı negatif yanlara sahiptir. Bu negatif yanlar;

- Daha karmaşık mimari
- Harici video aktarım ünitesi gerektirmesi
- Daha fazla yer kaplaması
- Daha yüksek güç tüketimi

olarak sıralanabilir.

Tüm bu negatif yanlara rağmen yaklaşık Raspberry Pi ebadında ve güç tüketiminde olan bu ürünün kullanımına aşağıda sıralanan pozitif yanlar nedeniyle karar verilmiştir:

- Sadece Ethernet kablosu üzerinden beslenebilmesi
- En kötü şartlar altında 70 Mbps veri aktarımı yapabilmesi
- Görüntü ve verilerin donanımsal olarak şifrelenmesi ile güvenliğin artırılması
- Anten değişimleri ile menzilin 20km ye kadar artırılabilmesi

İHA ile telemetri haricinde haberleşmek ve komut vermek için Radiolink R12DS V1.1 model radyo kontrol alıcı / verici sistemi kullanılmıştır. Pilot istediği veya ihtiyaç gördüğü takdirde İHA'yı doğrudan komuta edebilir. Radyo kontrol alıcı / vericinin teorik iletişim mesafesi 4km'dir.

Yer Kontrol İstasyonu

Yer kontrol istasyonu temel olarak kablosuz erişim noktası, yer kontrol bilgisayarı ve radyo kontrol vericiden oluşmaktadır. Kablosuz erişim noktası gücü Ethernet portu üzerinden (POE Power on Ethernet) almaktadır. Bu nedenle kablosuz erişim noktası ve yarışma sunucusunu tek Ethernet portuna sahip yer kontrol bilgisayarına bağlayabilmek için bir ağ anahtarı (switch) kullanılmıştır.

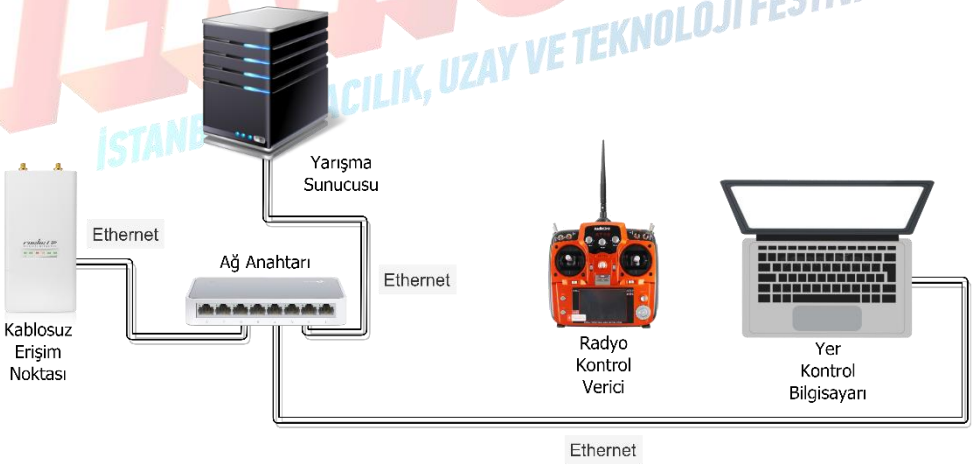
Yer kontrol istasyonunda haberleşme amacıyla, İHA üzerinde kullanılan LocoM5 modülü ile uyumlu olduğu için, Ubiquiti Rocket M5 kablosuz erişim noktası tercih edilmiştir. İki cihaz da MİMO haberleşme sistemi kullandığı için uzun mesafe ve yüksek veri aktarım hızı sağlayabilmektedir.

Yer kontrol istasyonunda kullanılan yer kontrol bilgisayarının ise en az aşağıda verilen teknik özelliklere sahip bir dizüstü bilgisayar olması planlanmaktadır:

- İşlemci: İntel i5-8265u (8.nesil) – 1.60ghz
- Hafıza: 16GB
- Ekran Kartı: Dahili
- Ekran Boyu: 14inç
- Giriş/Çıkış Portları: USB 3.0, SD okuyucu, HDMI, USB TYPE-C

Tablet ya da başka cihazların yerine dizüstü bilgisayar kullanılmasının en büyük nedeni, dizüstü bilgisayarların üzerinde dahili olarak Ethernet ve Tip B USB gibi portların bulunmasıdır. Diğer bir neden de kullanılan yazılımların Linux üzerinde çalışmasıdır. Gelecek senelerdeki yarışma katılımlarında dizüstü bilgisayar yerine gömülü bir kontrol sistemi tasarım ve kullanımı düşünülmektedir.

Yer kontrol istasyonunu son elemanı ise radyo kontrol vericidir. Yer kontrol bilgisayarı ile arasında herhangi bir bağlantı yoktur. Uçuş sırasında İHA'ya acil müdahale edilmesi gerektiğinde kullanılacak olup uçuş süresince pilotun boynunda asılı duracaktır. Yer kontrol istasyonu mimarisi Şekil 3.2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2.2: Yer Kontrol İstasyonu Mimarisi

Görev Kontrol Sistemi

Görev kontrol sistemini temel olarak uçuş kartı (Pixhawk 2.4.8) ve görev bilgisayarı (Nvidia Xavier NX) oluşturmaktadır. İHA'nın genel olarak komutasını ve telemetri verilerinin üretimini uçuş bilgisayarı üstlenirken, görev bilgisayarı görüntü işleme, görev kontrol ve telemetri verilerinin haberleşme sistemi aracılığı ile yer kontrol istasyonuna gönderimini gerçekleştirmektedir. Bu iki ünite MAVLINK protokolünü kullanarak seri haberleşme ile haberleşmektedir. Görev bilgisayarı MAVLINK mesajlarını DRONEKIT kütüphanesi üzerinden PYTHON diline çevirip işlemleri PYTHON dili kullanarak gerçekleştirmekte ve görev çıktısını tekrar MAVLINK protokolü ile uçuş bilgisayarına aktarmaktadır.

3.3. Hava Aracı Performans Özeti

İHA bileşenlerinin seçimi sürecinde kullanılan en önemli seçim kriterlerden biri bileşenlerin uçuş süresine etkisi olmuştur. İHA'nın müsabaka süresince olası gecikme senaryoları dahil havada kalabilmesi beklenmektedir. Bu nedenle ilgili bileşenlerin havada kalma süresine etkilerini ortaya çıkarabilmek amacıyla bazı hesaplama ve testler yapılmış ve de elde edilen veriler analiz edilmiştir. Yapılan hesaplama ve analizler aşağıda verilmiştir.

İHA'nın havada kalabileceği yaklaşık süre Eşitlik (1) ile verilebilir.

$$\text{İ}HA\ havada\ kalma\ süresi\ (saat) = \frac{Pil\ Kapasitesi\ (Amper{-}saat){\times}Kullanılabilir\ pil\ yüzdesi}{\text{İ}HA\ ortalama\ akım\ tüketimi\ (Amper)} \quad (1)$$

Eşitlik (1) in kullanılabilmesi için öncelikle Eşitlik (2) ile verilen İHA motorlarının ortalama akım tüketiminin hesaplanması ve buna İHA'daki diğer cihazların ortalama akım tüketimlerinin eklenerek İHA ortalama akım tüketiminin bulunması gereklidir.

$$\text{İ}HA\ motorlarının\ ortalama\ akım\ tüketimi\ (A) = \frac{IHA\ ağırlığı\ (kg){\times}1kg\ kaldırmak\ için\ gerekli\ güç\ (W/kg)}{Pil\ gerilimi\ (Volt)} \quad (2)$$

Eşitlik (2) ile SunnySky firmasının motor veri sayfalarında sağladığı veriler kullanılarak İHA motorlarının ortalama akım tüketimi

$$\text{İ}HA\ motorlarının\ ortalama\ akım\ tüketimi = \frac{2.650\ kg \times 118.1W/kg}{14.8V} = 21.14\ A$$

olarak bulunur.

Elde edilen İHA motorlarının ortalama akım tüketimine İHA üzerinde kullanılacak kablosuz erişim noktası, uçuş bilgisayarı ve görev bilgisayarının ortalama akım tüketimi eklenerek İHA ortalama akım tüketimi bulunmalıdır. Kablosuz erişim noktası, uçuş bilgisayarı ve görev bilgisayarının ortalama akım tüketimleri, ortalama güç tüketimleri besleme gerilimlerine bölünerek bulunabilir.

Uçuş bilgisayarı 2-2.5W arası bir ortalama güç tüketimine sahiptir. Buna göre uçuş bilgisayarı ortalama akım tüketimi

$$Uçuş\ bilgisayarı\ ortalama\ akım\ tüketimi = \frac{2.5\ W}{14.8\ V} = 0.16\ A$$

olarak bulunur.

Pilin nominal değeri 14.8 Volt olmasına karşın kablosuz erişim noktamız 24 Volt ile çalıştığından, kablosuz erişim noktasını beslemek için XL6009 DC gerilim yükseltici kullanılmıştır. Kablosuz erişim noktası 24 Volt'ta 0.5 amper akım çekmekte dolayısıyla 12 W güç harcamaktadır. DC gerilim yükseltici yüksek verimli olduğu için harcadığı güç ihmal edilerek, kablosuz erişim noktasının ortalama akım tüketimi

$$Kablosuz\ erişim\ noktası\ ortalama\ akım\ tüketimi = \frac{12W}{14.8V} = 0.81A$$

olarak hesaplanır.

Görev bilgisayarının 10 ile 15 Watt değerlerinde ortalama güç tüketimine sahip, düşük ve yüksek performansta çalışmaya karşı gelen iki farklı modu bulunmaktadır. Cihazın yüksek performansta çalışabilmesi için 15W tüketime sahip olan modun kullanılmasına karar verilmiştir. Görev bilgisayarı 19 Volt'ta çalıştığından yine beslemek için DC gerilim yükseltici kullanılmıştır. DC gerilim yükseltici yüksek verimli olduğu için harcadığı güç ihmal edilerek, görev bilgisayarı ortalama akım tüketimi

$$Görev\ bilgisayarı\ ortalama\ akım\ tüketimi = \frac{15\ W}{14.8\ V} = 1.01\ A$$

olarak bulunur.

İHA motorlarının, kablosuz erişim noktasının, uçuş bilgisayarının ve görev bilgisayarının ortalama akım tüketimleri toplanarak İHA'nın ortalama akım tüketimi bulunur.

$$İHA\ ortalama\ akım\ tüketimi = 21.14\ A + 0.16\ A + 0.81\ A + 1.01A = 23.12\ A$$

İHA ortalama akım tüketimi ve Eşitlik (1) kullanılarak İHA'nın havada kalabileceği süre saat cinsinden hesaplanabilir. Kullanılabilir pil yüzdesinin 92 olduğu varsayımıyla İHA havada kalma süresi

$$İHA\ havada\ kalma\ süresi\ (saat) = \frac{10 \times \frac{92}{100}}{23.12\ A} = 0.3979\ saat$$

$$İHA\ havada\ kalma\ süresi\ (dk) = 0.3979(saat) \times 60(dk/saat) = 23.874\ dakika$$

olarak bulunur.

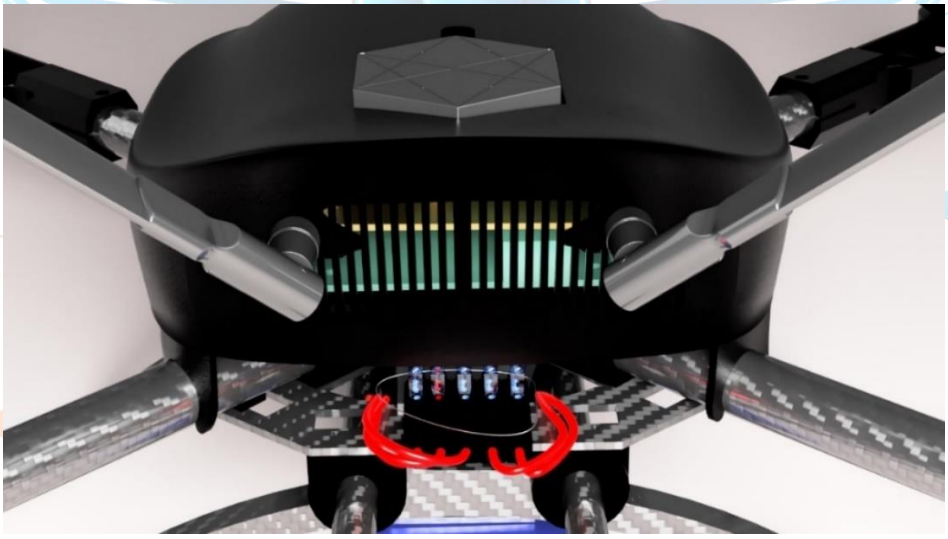
Hesaplamalar İHA'nın bir müsabaka turunun tamamında (15 dakika) havada kalabilmenin yanında fazladan 8.874 dakika uçuş süresine sahip olduğunu göstermektedir.

Yapılan uçuş testlerinde İHA'nın havada kalma süresi 22 dakika ölçülmüş olup teorik hesaplamalar ile arasındaki hata farkı %7,85'dir. Daha detaylı testler Bölüm 8.2'de verilmiştir.

3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı

Üç boyutlu tasarımlar ve ağırlık merkezinin tespiti Autodesk Fusion 360 ortamında yapılmıştır. Standart kullanılan XAircraft x650 gövdenin üzerine Autodesk Fusion 360 ortamında sisteme özel parçalar tasarlanmış ve 3 boyutlu yazıcıdan basılıp kullanılmıştır. Kanopi, motor kolları ve raf gibi bileşenler özel tasarım bileşenlerdir.

Şekil 3.4.1 İHA Perspektif Görünüm ve Ölçüleri



Şekil 3.4.2 Sigorta Kutusu Görünüm ve Konumu

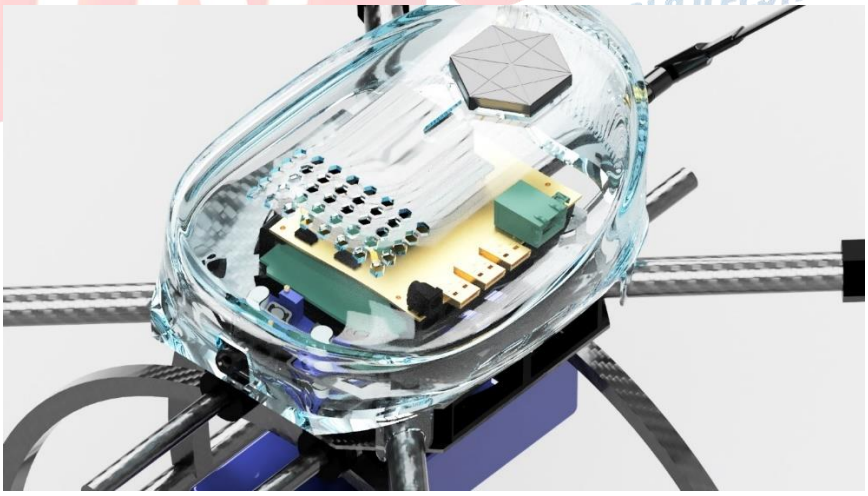
Güvenlik talimatnamesinde olması gerektiği belirtilen sigorta için seçilen konum Şekil 3.4.2'de gösterilmiştir. Tasarımda bıçak sigorta kullanımına karar verilmiş olup, motor sürücü hatları üzerinde 4 adet 30A bıçak sigorta ve diğer sistem bileşenleri için 1 adet 5A bıçak sigorta şekilde gösterilen alana birbirine paralel olacak şekilde monte edilmiştir. Bu sigortalar bir emniyet teli aracılığıyla birbirilerine bağlanarak acil durumlarda hepsinin aynı anda çekilmesi mümkün kılınmıştır.

Şekil 3.4.3: İHA'nın Yandan Görünümü ve Ağırlık Merkezi

Üç boyutlu model üzerinde Autodesk Fusion 360 ortamında yapılan hesaplamalarda ağırlık merkezinin Şekil 3.4.3'de gösterildiği gibi İHA'nın orta-alt kısmına denk geldiği görülmüştür. Ağırlık merkezi dengeli bir uçuş karakteristiği için gayet uygun bir konumdadır.

Şekil 3.4.3'den görülebileceği üzere batarya gövdenin en alt kısmında konumlandırılmıştır. Batarya bu seçilen bölgede hem kafes içinde olduğu için güvendedir hem de gövde dışında kaldığı için soğuması mümkündür. Bunlara ek olarak batarya, ağırlık merkezinin de istenilen bölgede kalmasına katkı sağlamaktadır. Güç dağıtım kartı ile radyo kontrol alıcısı ise gövde alt plakasına monte edilmiştir.

Kanopinin arka kısmında ve üst kısmında havalandırma delikleri mevcuttur. Bu deliklerin amacı uçuş esnasında içeride ısınan bileşenlerin hava akımı aracılığıyla soğutulmasını sağlamaktır. Arkada kısımdaki havalandırma deliklerinin iki yanında kablosuz erişim noktasının antenleri bulunmaktadır. Kamera kanopinin ön kısmına konumlandırılmıştır. Kanopinin en üst kısmında ise GPS modülünün oturtulacağı yatak bulunmaktadır.



Şekil 3.4.4: İHA'nın Alt Sistemler Görünümü

Şekil 3.4.4'de görüldüğü üzere kanopinin iç kısmında görev bilgisayarı ve uçuş kartı gibi daha önemli ekipmanlar bulunmaktadır. Bunların haricinde görev bilgisayarına ve kablosuz erişim noktasına güç sağlayan DC gerilim yükselticiler de gövde plakalarının ön kısımlarına konumlandırılmıştır.

Görev bilgisayarı ve kablosuz erişim noktası 3 boyutlu yazıcıda basılmış rafa tutturulmuş iken, uçuş kartı gövdenin merkez kısmına konumlandırılmıştır.

İHA'nın temel rengi siyah olup üzerine kamuflaj yapılması planlanmaktadır fakat henüz nihai rengine karar verilmemiştir. İlerleyen süreçlerde kamuflaj rengi değişiklik gösterebilecektir.

3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı

Hava aracı dört alt kısma bölünerek ağırlık dağılımı incelenmiştir. Bu kısımlar gövde, sürücüler, elektronik ve görev kontrol kısmı olarak sıralanabilir.

Gövde kısmında İHA 3D raf, iniş takımları, iha çerçeve, kanopi ve pil tutacağı bulunmaktadır. Bu bileşenlerin toplam ağırlığı 652 gramdır.

Sürücüler kısmında 4 adet motor, 4 adet motor sürücü ve pervaneler bulunmaktadır. Bu bileşenlerin toplam ağırlığı 560 gramdır.

Elektronik kısmında 5 adet bıçak sigorta, 5 adet bıçak sigorta yuvası, pil, 2 adet DC gerilim yükseltici ve kablolar bulunmaktadır. Bu bileşenlerin toplam ağırlığı 1024 gramdır.

Görev kontrol kısmında radyo kontrol alıcısı, GPS, kablosuz erişim noktası, uçuş kartı, uçuş kartı güç modülü + PDB, görev bilgisayarı, görev bilgisayarı aralayıcı, görev bilgisayarı kamerası ve anten bulunmaktadır. Bu bileşenlerin toplam ağırlığı 414 gramdır.

Tüm alt kısımların ağırlık toplamı 2.650 gram olup bu ağırlık aynı zamanda uçuş kalkış ağırlığı olacaktır. Ağırlık hesaplamaları Tablo 3.5.1'de yer verilen ağırlık cetvelinde özetlenmiştir.

Ürün Adedi	Ürün Adı	Ürün Ağırlığı
Gövde		
1	İHA 3D Raf	27g
1	İniş Takımları	106g
1	İHA Çerçeve	374g
1	Kanopi	130g
1	Pil Tutacağı	15g
Sürücüler		
4	Motor	472g
4	Motor Sürücü	36g
4	Pervane	52g
Elektronik		
5	Bıçak Sigorta	6g
5	Bıçak Sigorta Yuvası	45g
1	Pil	903g
2	DC Gerilim Yükseltici	20g

1	Kablolar	50g
Görev Kontrol		
1	Radyo Kontrol Alıcısı	17g
1	GPS	36g
1	Kablosuz Erişim Noktası	51g
1	Uçuş Kartı	41g
1	Uçuş Kartı Güç Modülü + PDB	33g
1	Görev Bilgisayarı	200g
1	Görev Bilgisayarı Aralayıcı	6g
1	Görev Bilgisayarı Kamera	4g
2	Anten	26g

Tablo 3.5.1: Ağırlık Cetveli

4. OTONOM KİLİTLENME

İHA'da otonom kilitlenme amacıyla kullanılmak üzere özgün bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirmede erişim kolaylığı, üzerinde değişiklik yapıp kişiselleştirme, özgünleştirme ve geliştirmeye izin vermesi nedenleriyle açık kaynak kodu desteğine sahip güncel algoritmalar tercih edilmiştir.

Seçim aşamasında YOLO (You Only Look Once), Faster R-CNN ve SSD (Single Shot Multibox Detector) algoritmaları karşılaştırılmıştır. Geliştirilen yazılımda, nesne tanıma algoritmasının seçiminde kullanılan en yüksek öneme sahip ölçütler: Saniyedeki çerçeve sayısı (Frame Per Second) FPS değerinin büyüklüğü, nesne tanıma sırasında doğruluk değerinin yüksekliği ve gerçek zamanlı nesne takibi için uygunluk olarak sıralanabilir.

R-CNN algoritması bölge bazlı nesne tespitine dayalı olduğundan, nesne bulunma ihtimali yüksek olan bölgeleri belirlemekte ve o bölgelerde ayrı ayrı CNN (Convolutional Neural Network, Evrişimsel Sinir Ağları) sınıflandırıcıları çalıştırmaktadır. Bu algoritma iki ana adımdan oluşmaktadır. Öncelikle seçici arama (selective search) ile görselde nesne barındırmaya aday bölgeler belirlenir, sonrasında yaklaşık 2000 bölge belirlendikten sonra her biri ayrı ayrı CNN modellerine girdi olarak verilip sınıfları ve sınırlayıcı kutuları belirlenir. Nesne tespit algoritmasının karmaşıklığı işlem yükünü arttırmakta ve düşük FPS değerleri elde edilmesine neden olmaktadır.

R-CNN algoritmasının geliştirilmiş hali olan Faster R-CNN algoritması R-CNN algoritmasının daha geliştirilmiş hali olmasına karşın gerçek zamanlı nesne tanıma için hala yeterli olmayan FPS değerleri vermektedir. Yarışmada düşük FPS değerleri yeterli olamayacağı için bu algoritma seçenekler arasından çıkarılmıştır. SSD algoritması ise R-CNN algoritmasına göre daha yüksek FPS değerine sahiptir. Ancak yapılan araştırmalarda doğruluk değerinin R-CNN'den düşük olduğu görülmüştür. Araştırma sonucuna göre nesne tespitinde, SSD algoritması %76,61 doğruluk değerine, Faster R-CNN algoritması ise %99,52 doğruluk değerine sahiptir [12].

YOLO algoritmasının karşılaştırılan diğer iki algoritmaya göre bahsi geçen kriterlerde daha iyi olması, YOLO algoritmasının tercihinde önemli rol oynamıştır. YOLO algoritmasının

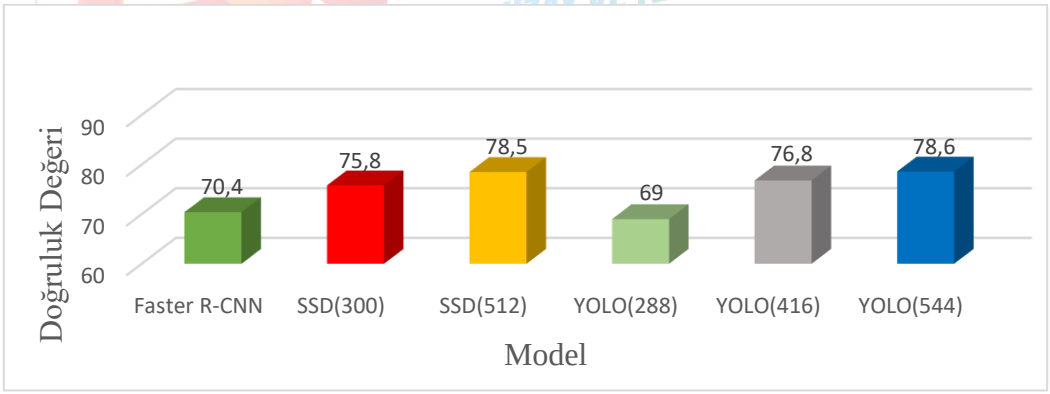
dezavantajı ise rakiplerine oranla küçük objelerde nesne tanıma konusunda zorlanmasıdır. Bu dezavantajın algoritmada yapılacak iyileştirme ve geliştirmeler ile giderilebileceği belirlenmiştir.

YOLO, Faster R-CNN ve SSD algoritmalarının; FPS değerleri Şekil 4.1'de, doğruluk değerleri Şekil 4.2'de ve avantaj ve dezavantajları ise Tablo 4.3'de karşılaştırmalı olarak yer almaktadır.

Şekilden 4.1'den görüldüğü üzere Faster R-CNN, SSD ve YOLO modelleri düşük ve yüksek çözünürlüklü giriş görüntüleri için farklı FPS değerlerinde çalışabilmektedir. Özetle giriş görüntülerinin çözünürlükleri ve kullanılan özellik çıkarma metodu nesne detektörlerinin hızını etkilemektedir [12].

Şekil 4.2'de farklı çözünürlüklü (288x288, 300x300, 416x416, 512x512 ve 544x544 piksel boyutlu) giriş görüntüleri için R-CNN, SSD ve YOLO modellerinin doğruluk değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir [12]. Söz konusu modeller, IMAGEnet, PASCAL VOC 2007, 2012 ve MS COCO gibi farklı ücretsiz veri tabanları üzerinde doğruluk değerleri açısından karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü üzere YOLO algoritması 288x288, 416x416 ve 544x544 piksel boyutlu giriş görüntüleri için diğer modellere kıyasla daha yüksek doğruluk değerli sonuçlar vermektedir.

Şekil 4. 1: YOLO, Faster R-CNN ve SSD Algoritmalarının Karşılaştırmalı FPS Değerleri

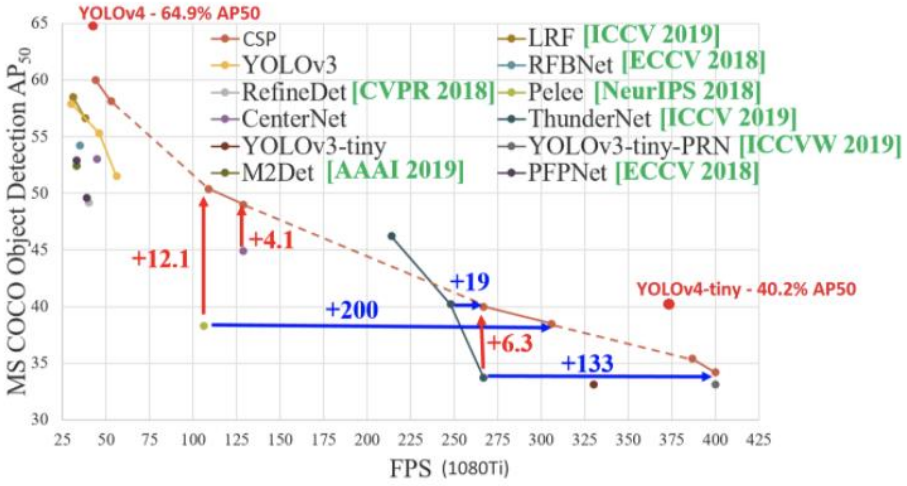


Şekil 4.2: YOLO, Faster R-CNN ve SSD Algoritmalarının Karşılaştırmalı Doğruluk Değerleri

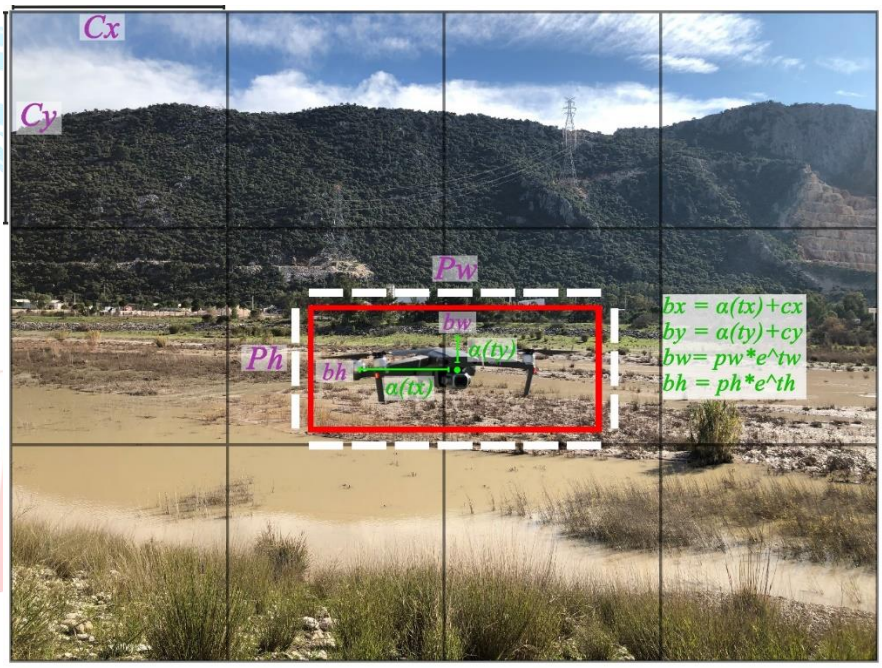
ALGORİTMA	AVANTAJ	DEZAVANTAJ
SSD	Tekli ağ yapısı sayesinde, Faster R-CNN'e göre daha hızlı nesne tanıma işlemi gerçekleştirir.	Nesne tanıma doğruluk değeri Faster R-CNN'e göre daha azdır.
YOLO	Objelerin konumunu bulma ve tanımakta oldukça etkili olduğundan gerçek zamanlı uygulamalarda kullanım için uygundur.	Küçük nesnelerin tanınmasında zorluklar yaşayabilmektedir.
Faster R-CNN	Kullanılan RPN metodu, 0.12 saniyelik tepkime süresi ile neredeyse gerçek zamanlı nesne tanıma gerçekleştirir.	Algoritma hızlı olmasına rağmen gerçek zamanlı uygulamalarda kullanmak için hızı yeterli değildir.

Tablo 4.3: YOLO, Faster R-CNN ve SSD Algoritmalarının Karşılaştırmalı Avantaj ve Dezavantajları

YOLO algoritması kendi içinde sürümlere ayrılmaktadır. Geliştirmede en güncel sürümlerden biri olan YOLOV4-tiny modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. YOLOV4-tiny, YOLOV4 algoritmasının bir türevidir. Aralarındaki temel fark, evrişimsel ağ boyutunun önemli ölçüde azaltılmış olmasıdır. YOLOV4-tiny modelde CSP (Cross-Stage-Partial) omurgasındaki evrişim katmanlarının sayısı azaltılmıştır. Bununla beraber YOLO katmanlarının sayısı üçten ikiye indirilmiş olup, nesne tahmini için daha az bağlantı içermektedir. Bu gerçekleştirilen basitleştirmeler ile YOLOV4-tiny algoritmasının, YOLOV4 algoritmasına göre aynı donanım üzerinde daha az işlem yükü ile gerçek zamanlı nesne tanıma yapması sağlanmıştır. Algoritmanın başlıca avantajı, daha düşük donanım gereksinimleri ile daha yüksek performansta çalışabilmesidir. Dezavantajı ise YOLOV4 algoritmasına göre doğruluk değerinin daha düşük olmasıdır. Kendi seçtiğimiz İHA fotoğraflarıyla eğitim veri kümesi zenginleştirilip iyileştirilmiş ve bu dezavantaj önemli bir ölçüde ortadan kaldırılmıştır. Şekil 4.4'de YOLOV4-tiny modelinin, farklı YOLO algoritmaları ve literatürdeki diğer nesne tanıma algoritmaları ile MS COCO veri kümesi üzerinde karşılaştırmalı nesne tanıma performans analizi yer almaktadır [13]. MS COCO veri kümesi üzerinde başarılı olan bir modelin İHA'ları tanımada da başarılı olacağı öngörülmektedir.



Şekil 4.4: YOLOV4-tiny Modelinin, Farklı YOLO Algoritmaları ve Literatürdeki Diğer Nesne Tanıma Algoritmaları ile MS COCO Veri Kümesi Üzerinde Karşılaştırmalı Nesne Tanıma Performansı



Şekil 4.5: YOLO Algoritmasında Kullanılan Izgara, Izgara İçindeki Dörtgen Bölgeler ve Model Parametreleri

bx = Nesnenin orta noktasının x koordinatı (piksel)

Cx, Cy = Izgaradaki bir dörtgenin yatay ve düşey doğrultudaki boyutları (piksel)

by= Nesnenin orta noktasının y koordinatı (piksel)

bw = Nesnenin genişliği (piksel)

bh = Nesnenin yüksekliği (piksel)

Pw = Şablon (Anchor box) genişliği (piksel)

Ph = Şablon (Anchor box) yüksekliği (piksel)

YOLOV4 algoritması temelde Şekil 4.5'den de görülebileceği üzere, ızgaranın içindeki her bir kutuda nesnenin var olup olmadığını, var ise nesnenin orta noktasının kutu içerisinde olup olmadığını, orta nokta da kutu içindeyse a(tx) uzunluğunu, a(ty) yüksekliğini ve hangi sınıftan olduğunu bulmaya çalışmaktadır. Özetle Şekil 4.5'de, İHA'nın orta noktası ızgaranın 7. kutusuna denk geldiği için İHA'nın tespitinde ve etrafına sınırlayıcı kutu çizilmesinde 7. kutu kullanılacaktır. Şekil 4.5'de verilen tx, ty, tw ve th parametreleri ise her bir kutu içindeki nesne için derin sinir ağı tahmini yapılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda işlem yapılan kutunun hangi kutu olduğu bilindiği için bu kutunun sol üst köşeye uzaklığı da Cx ve Cy parametreleri aracılığıyla bulunabilmektedir.

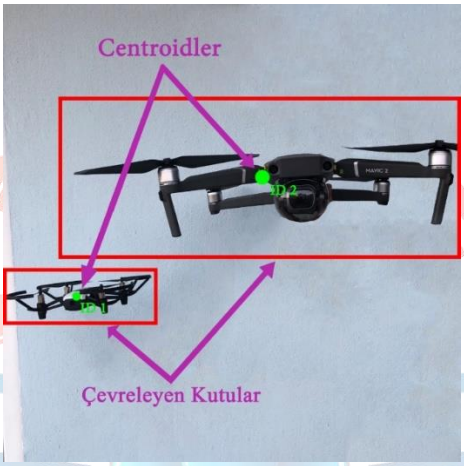
Izgaradaki her bir dörtgen bölgenin (kutu) kendine özel ayrı bir tahmin vektörü bulunmaktadır. Bunların her birinin içinde "Güven skoru" dediğimiz bir değer bulunmaktadır. Bu skor, geçerli dörtgen bölgenin içinde nesne bulunup bulunmadığından ne kadar emin olunduğunu göstermektedir. "0" değeri, kesinlikle olmadığı anlamına, "1" değeri ise kesinlikle olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca bu sistem ile parametreler [0, 1] aralığına normalize olduğu için derin sinir ağı ile kullanım için uygundur.

Ek olarak YOLO algoritmasında önceden tanımlanmış belirli en ve boya sahip çevreleyen kutular kullanılmaktadır. Bu kutular şablon (anchor box) olarak anılacaktır. Şablonlar, veri kümesinde saptanmak istenen belirli nesne sınıflarının ölçek ve en boy oranları göz önüne alınarak seçilir. YOLO algoritmasında, her bir dörtgen bölgede önceden belirlenmiş şablon sayısı kadar tahmin yapılmaktadır.

YOLOV4 algoritması C ve CUDA çerçevesi kullanılarak geliştirilmiş olan Darknet çatısı üzerinde yüksek performans ile çalışmaktadır. Darknet, açık kaynaklı bir sinir ağı çerçevesidir. Darknet'in avantajı açık kaynak kodu sayesinde, kodun proje ile ilgisiz kısımlarının rahatça elenerek, proje için gerekli kısımlarının daha etkin bir şekilde projeye uyarlanmasına izin vermesidir. Projede hazır veri kümeleri yerine, kendi belirlediğimiz İHA resimlerini içeren bir veri kümesi oluşturulmuştur. Veri kümesi içerisinde yer alan resimler kullanılan modele öğretilerek, yarışma sırasında rakip İHA'ların tespit edilmesi hedeflenmiştir. Gerekli olmayan fazla sınıflar elenmiş olduğu için veri sayısı azalmıştır. Böylelikle veri setinde tek bir sınıf yer almakta ve FPS değeri hazır veri kümeleri ile eğitime göre daha yüksek seyretmektedir. Hazırlanan veri setini kullanarak eğitim "Google Colab" bulut ortamında yapılmaktadır. Google Colab, kullanılan modeli hazırlanan veri kümesi ile Tesla K80 GPU üzerinde eğitme imkânı sunmaktadır. Bu da eğitimin standart GPU'lara göre çok daha hızlı ve verimli yapılabilmesini sağlamaktadır.

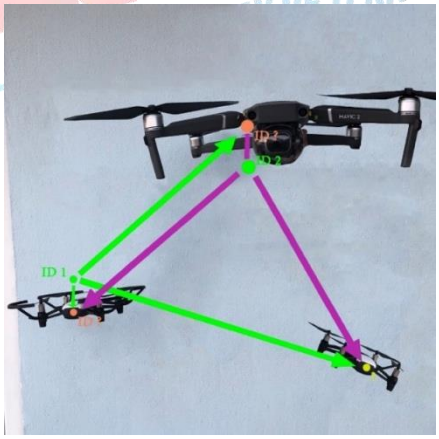
Nesne tanıma işleminin ardından, algılanan İHA'ların gerçek zamanlı takibi için YOLOV4 algoritması ile eş zamanlı kullanılmak üzere OpenCV kütüphanesinde yer alan ve tespit edilen nesnelere kimlik numarası (ID) vermeyi sağlayan "Centroid tracking" yöntemi ve geliştirilen

gerçek zamanlı takip algoritması kullanılmaktadır. Centroid tracking yönteminin tercih edilmesinde en önemli etken düşük işlem gücüyle yüksek performans elde edilmesine olanak sağlamasıdır. Bu yöntemin doğruluk değeri, düşük FPS değerleri ile çalışan kamera ve algoritmalarda düşme eğilimi gösterse de tasarlanan sistem mimarisinin yüksek işlem kapasiteli grafik işlemci birimi ve yüksek FPS değerleri sağlayan bir kamera içermesi sayesinde yöntemin bu açığı giderilmiştir. Tasarlanan sistem mimarisinin özellikleri 3.1 Nihai Sistem Mimarisi bölümünde detaylı olarak tartışılmıştır. Centroid tracking yönteminde kullanılan algoritmanın adımları şu şekilde sıralanabilir:



Şekil 4.6: Karede Tespit Edilen Nesneler, Çevreleyen Kutular, Orta Noktalar ve Atanan Kimlik Numaraları

Adım 1: Centroid tracking algoritması, Şekil 4.6'da görüldüğü gibi her bir karede tespit edilen her nesne için çevreleyen kutunun sol üst köşe (x,y) koordinatları ile beraber piksel cinsinden en ve boylarının bilindiğini varsayar. Ardından her nesnenin çevreleyen kutusunun orta noktasını, yani centroid'ini bulur. Her çevreleyen kutu için birbirinden farklı birer kimlik numarası "ID" atanır. Bu ID'ler nesneleri birbirinden ayırt etmede kullanılmaktadır.



Şekil 4.7: Ardışık İki Karede Tespit Edilen Nesnelerin Çevreleyen Kutuların Orta Noktaları Arasındaki Öklid Uzaklıkları

Adım 2: Gelen yeni karede bulunan çevreleyen kutuların orta noktaları ile ilk adımda kullanılan karedeki çevreleyen kutuların orta noktaları arasındaki Öklid uzaklıkları bulunur (Bakınız Şekil 4.7) ve karşılaştırma yapılır. Birbirlerine en yakın olan eski ile yeni nokta ilişkilendirilir ve yeni nokta cismin yeni pozisyonu olarak atanır.

Şekil 4.8: Eski Noktalar ile Bağlılığı Bulunmayan Yeni Bir Çevreleyen Kutu Orta Noktası Eski Noktalar ile İlişkilendirilmez (Sağ Alt Köşe)

Adım 3: Birbirlerine en yakın olduğu tespit edilen eski ve yeni çevreleyen kutu orta noktalarının birbiri ile ilişkili olduğu kabul edilir. Birbirleri ile ilişkili olan eski orta noktanın ID değeri yeni oluşan orta noktaya devredilir, böylece eski orta noktanın ID değeri silinmiş olur. Bu şekilde nesnenin bulunduğu konum da güncellenmiş olur. Ayrıca bu adımda, eski noktalar ile bağlılığı bulunmayan yeni bir çevreleyen kutu orta noktası bulunur ise eski noktalar ile ilişkilendirilmez (Bakınız Şekil 4.8).

Şekil 4.9: Yeni Bir Çevreleyen Kutu Orta Noktasına ID Atanıp Sisteme Girişinin Sağlanması

Adım 4: Adım 3'de bulunan yeni orta noktaya ID atanması sağlanır (Bakınız Şekil 4.9). Bu sayede karedeki eski nesnelerin konumu güncellemiş iken, yeni nesnelerin de Centroid tracking sistemine girişi sağlanmış olur.

Adım 5: Bir nesnenin kareden çıkıp çıkmadığı tespit edilir. Eğer eski bir nesnenin orta noktası yeni belirlenen herhangi bir nesnenin orta noktası ile ilişkili bulunamazsa bu nesnenin orta noktasına atanan ID değeri silinir. Bu sayede her yeni nesne için farklı ID atanmasına gerek kalmaz ve işlem kapasitesi sınırlanmamış olur. Bu adımda kaydedilen orta nokta bilgileri ile beraber Centroid Tracking algoritmasının 2. adımına dönülerek algoritmanın her bir yeni gelen kare için yeniden çalıştırılması sağlanır.

Nesne Takip Algoritması

Algılanan İHA'ların gerçek zamanlı takibi için YOLOV4 gerçek zamanlı nesne tanıma algoritması ve nesnelere kimlik atayan Centroid Tracking ile eş zamanlı kullanılmak üzere, gerçek zamanlı ve özgün bir nesne takip algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma basitçe Centroid Tracking ve iki boyutlu düzlemde iki nokta arası Öklid uzaklığı hesabına dayanmaktadır. Takip algoritması ve YOLOV4 algoritmasının eş zamanlı çalışma prensibi aşağıda açıklanmıştır:

- YOLOV4 algoritması; kameradan alınan görsel verileri İHA içerisinde bulunan görev bilgisayarı (Nvidia Xavier NX) üzerinde işleyerek görüş hattındaki rakip İHA'ların tespitini sağlar.
- Tespiti sağlanan rakip İHA'ların, ekran üzerindeki çevreleyen kutu konumları YOLOV4 algoritmasından elde edilerek, geliştirilen takip algoritmasının Centroid Tracking bölümüne aktarılır.
- Centroid Tracking algoritması tarafından çevreleyen kutuların merkezleri (centroidleri) hesaplanır. Hesaplanan bu merkezlerin her birine, Centroid Tracking tarafından eşsiz birer kimlik numarası atanır.
- Rakip İHA'lardan ilk kimlik numarası atanan İHA, hedef olarak kabul edilir. Ardından algoritmanın takip bölümüne geçiş yapılır.
- Hedef kabul edilen rakip İHA'nın centroidi ile kilitlenme dörtgeninin merkezi arasındaki piksel türünden mesafe iki boyutlu düzlemde iki nokta arası Öklid uzaklığı hesaplanarak elde edilir.
- Elde edilen bu mesafe, PID kontrol birimine aktarılır ve buradaki mesafe birim tarafından "hata" olarak kabul edilir.
- PID kontrol birimi, hatanın giderilebilmesi için gereken emirleri uçuş kartına gönderir.
- Uçuş kartı, elde edilen yönelme emirlerini uygulamak için motor sürücülerine gerekli yönlendirmeyi yapar.

Yukarıdaki adımlarda belirtilen süreç aslında rakip İHA'ya kilitlenmeye karşı gelmekte olup; 10 saniyelik bir periyotta yukarıdaki adımlar kesintisiz uygulanabiliyor ise bu kilitlenmenin başarılı bir şekilde tamamlandığı anlamına gelmektedir. Geliştirilen algoritmada kullanılan modüller liste halinde Şekil 4.10'daki Python program parçacığında görülmektedir. İhtiyaç halinde başka modüller de eklenebilecektir.

```
4   from pyimagesearch.centroidtracker import CentroidTracker
5   from ddcontrol.model import TransferFunction
6   from ddcontrol.control import PIDController
7   import random
8   import os
9   import cv2
10  import time
11  import darknet
12  import argparse
13  from threading import Thread
14  from queue import Queue
15  import numpy as np
16  import json
17  from multiprocessing import Process
18  import zlib
19  import socket
```

Şekil 4.10: Algoritma İçinde Kullanılan Modüler

Nesne Tanıma-Takip Algoritması ve PID Kontrol Entegrasyonu

Bu bölümde, yukarıda incelenmiş olan gerçek zamanlı nesne tanıma ve takip algoritmalarının sistem içerisinde nasıl işleyeceği açıklanacaktır.

Öncelikle otonom kilitlenme ve takip algoritması tarafından İHA'ya "Görüşte İHA var mı?" sorgusu yaptırılır. Alınan cevaba göre İHA, kilitlenme ve takip aşamasına ya da sunucudan alınan veriler ile rakip İHA arayışına girecektir. Sunucudan alınan veriler ile rakip İHA arayışı aşamasında, İHA yer kontrol istasyonuna görüşte hedef bulunamadığı bilgisini aktarır. Bu bilgiyi alan yer kontrol istasyonu Teknofest yarışma sunucusundan rakip İHA konum bilgilerini alır. Rakip İHA konum bilgilerini kendi aralarında karşılaştıran yer kontrol istasyonu, İHA'ya en yakın rakip İHA konumunu belirler. Konumun belirlenmesinin ardından İHA'yı, en yakın rakip İHA'ya yönlendirecek rota belirlenir ve rota bilgisi İHA'ya gönderilir. Belirlenen rota bilgisine göre seyrüsefere başlayan İHA'ya, otonom kilitlenme ve takip algoritması tarafından "Görsel temas sağlandı mı?" sorgusu yaptırılır. Olumlu dönüşün ardından otonom kilitlenme ve takip algoritması tarafından tespit edilen rakip İHA'ya kilitlenme aşaması başlar.

Gerçek zamanlı nesne takibini gerçekleştirebilmek için, hazır algoritmalar kullanmak yerine Centroid Tracking tabanlı özgün bir algoritma geliştirilmiştir. Sadece Öklid uzaklığı kullanıldığında İHA'nın dönüş yönü tespit edilmekte fakat dönüş açısı tespit edilememektedir.

Bu durumun önüne geçilebilmesi için PID (Proportional Integral Derivative) kontrol sistemi kullanılmasına karar verilmiştir. PID kontrol sisteminde amaç; geri besleme yoluyla girişe yönlendirilen sinyal ile giriş sinyalini karşılaştırıp bulunan hata oranıyla, sistemin hata oranını sıfırlayacak şekilde kontrol edilen sistemin manipüle edilmesidir. Bu sayede İHA, görev bilgisayarından aldığı yönelme emrinin şiddetini (saniyede kaç derece (yatay eksende) ve saniyede kaç metre (dikey eksende)) anlayabilecek ve bu şiddete göre yönelme sağlanacaktır.

Yönelme şiddetinin ayrımı ile rakip İHA'nın takibi daha yumuşak manevralarla gerçekleştirilecektir.

Kaçış Algoritması

İHA'da en çok emek ve zaman alan kısımlar kilitlenme ve kaçış yazılımlarıdır.

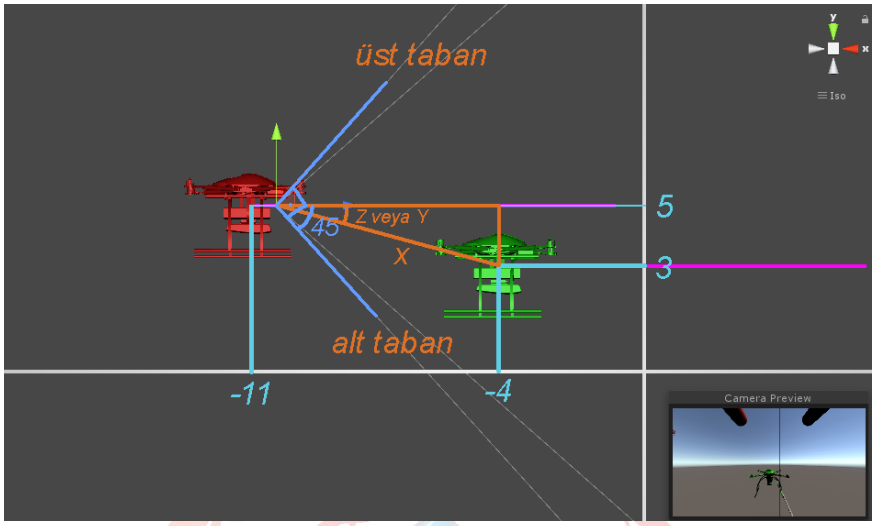
Günümüzde İHA'larda kullanılan kaçış yazılımlarının temel amacı bir it dalaşı (dog fight) durumunda doğru ve ivedilikle hamleler yapıp, agresif manevralar gibi senaryolar oluşturup bunu İHA'lara entegre ederek rakip İHA'lara karşı hava üstünlüğü elde etmektir.

İHA'da kaçış yazılımı kullanılmasının başlıca sebebi, rakip İHA'ların takibinde olunması durumuna karşı kaçış senaryoları oluşturmaktır. İHA'da uygulanacak kaçış yazılımı otonom kilitlenmeyle eş zamanlı çalışacak fakat otonom kilitlenmeye kaçış algoritmasına göre daha yüksek öncelik verilecektir. Çünkü otonom kilitlenme sırasında yapılacak agresif manevralar kilitlenilen rakip İHA'nın varlığında, rakip İHA'nın hedef vuruş alanından çıkmasına neden olabilecektir.

İHA'da görev önceliği İHA görüş alanında rakip İHA olup olmadığının saptanmasıdır. Eğer görüş alanında rakip İHA varsa otonom kilitlenme sistemi devreye girer, hedefe kilitlenilir ve 10 saniye boyunca kilitli kalınır. Fakat görüş alanında rakip İHA yoksa ve bir rakip İHA'nın, İHA'ya kilitlendiği algılanırsa kaçış algoritması devreye girecektir. Kaçış algoritmasında telemetriden alınan veriler ile konumumuz ve diğer İHA'ların konumu tespit edilecektir. Bu konum verileri, rakip İHA'nın İHA'yı takip edip etmediğinin anlaşılmasını sağlayan kaçış manevrası prosedüründe kullanılmaktadır. Rakip İHA'nın, İHA'yı takip ettiği kararının verilmesi için prosedürdeki tüm şartların sağlanması gerekmektedir. Bu şartlar; rakip İHA'nın İHA'ya 20 metreden daha yakın olması ve İHA'nın rakip İHA'nın görüş alanında bulunmasıdır. Bu şartların kontrolü kaçış manevrası prosedüründe gerçekleştirilmektedir.

Bu prosedürün aktif hale geçirilmesinin ardından, rakip İHA'nın GPS koordinatları yarışma alanında belirlenecek referans noktasına göre enlem-boylam formatından metre (m) formatına çevrilir ve elde edilen koordinatlar sanal koordinat düzlemine yerleştirilir. Bu sayede rakip İHA ile İHA arası mesafe hesaplanır. Eğer rakip İHA ile İHA arası mesafe 20 metrenin üzerinde ise kaçış manevrası prosedürü durdurularak İHA'ya en yakın rakip İHA'nın konumu gönderilecektir. Eğer aradaki mesafe 20 metre ve altında ise İHA'nın rakip İHA'nın görüş alanında bulunması durumu hesaplanmaya başlanır. Bahsi geçen hesap için İHA'lar arası Z ve Y açıları derece cinsinden hesaplanır. Açı hesaplarının yapılabilmesi için Python 3 kütüphanesinde yer alan "math" kütüphanesi kullanılmaktadır. Z ve Y açılarının hesapları sırasıyla Eşitlik (3)'de verilmiştir.

$$Z = arctan\left(\frac{z}{x}\right), \quad Y = arctan\left(\frac{y}{x}\right) \tag{3}$$



Şekil 4.11: İHA'lar Arası Z ve Y Açıları ile Alt ve Üst Tabanlar

Yapılan hesaplamaların ardından rakip İHA'ların yönelme (yaw) ve dikilme (pitch) verileri elde edilir. Bu verilere rakip İHA kamera görüş açısının (standart 90 derece) yarısı (45 derece) eklenerek "üst taban" elde edilir. "Alt taban" hesabı ise aynı verilerden 45 derece çıkarılarak yapılır (Bakınız Şekil 4.11). Bu taban hesaplamaları Z ve Y açıları için ayrı ayrı yapılmaktadır. Hesaplanan Z ve Y açıları, kendi alt ve üst taban açılarının aralığında ise İHA'nın rakip İHA'nın görüş alanında olduğu kabul edilir. Rakip İHA'nın görüş alanında olduğu kabul edilen her durum bir diziye (array) kaydedilir. Dizi uzunluğu dört öğenin üzerine çıktığı an rakip İHA'nın, İHA'ya kilitlenmiş olduğu kabul edilir ve kaçış manevrası aşamasına geçilir.

Kaçış manevrası sırasında aşağıdaki altı adımda açıklanan algoritma uygulanacaktır.

Adım 1 - Bulunulan konumdan 3 saniye boyunca sola manevra yap.

Adım 2 - Yeni konumda manevra yapmadan 5 saniye boyunca ilerle.

Adım 3 - 5 saniye manevrasız ilerlemenin ardından 6 saniye boyunca sağa manevra yap.

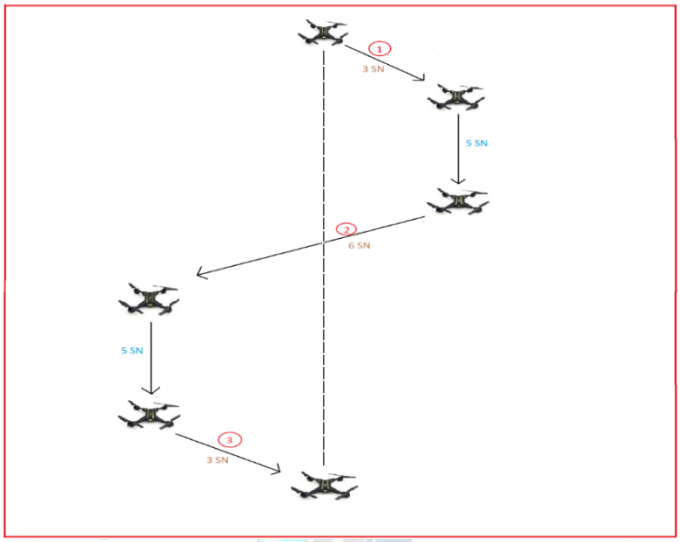
Adım 4 - Yeni konumda manevra yapmadan 5 saniye boyunca ilerle.

Adım 5 - 5 saniye manevrasız ilerlemenin ardından 3 saniye boyunca sola manevra yap ve ilk turu tamamla.

Adım 6 - Tur bitiminde telemetri verilerini gözden geçir, aradaki fark 20 metreden az ise Adım 1'e git aksi halde kaçış algoritmasını sonlandır ve kontrolü otonom kilitlenme ve nesne takip algoritmasına devret.

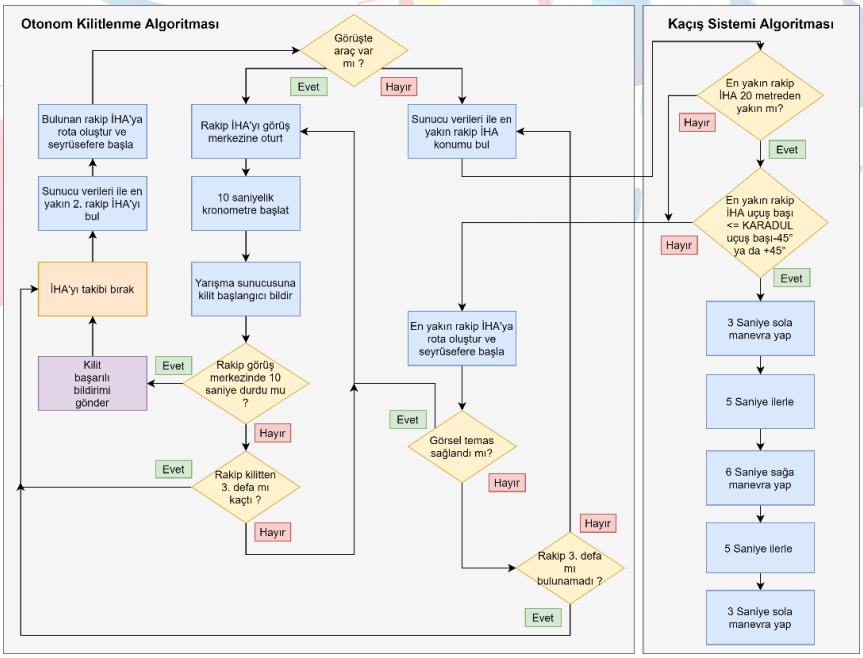
Kullanılan kaçış algoritmasında amaç, belirli mesafede olan rakip İHA'ların İHA'ya kilitlenmesine engel olmak için sağ ve sol yön manevraları ile uzaklaşmaktır. Şekilde 4.12'de kaçış güzergâhının sanal görüntüsü çizilmiştir.

Şekil 4.12'de numaralar ile belirtilen manevralar sayesinde, hedef olduğumuz durumlarda rakip İHA'ların görüş alanı içerisindeyken İHA'ya kilitlenilme süresinin en aza indirgenmesi hedeflenmektedir.



ŞEKİL 4.12: Kaçış Manevraları Görsel Gösterim

Otonom kilitlenme algoritması, İHA'nın bir rakip İHA'ya kilitlenme aşamasında hangi adımlardan geçeceğini belirlerken, kaçış algoritması ise bir rakip İHA'nın İHA'ya kilitlendiği durumda uygulanacak adımları belirlemektedir. Bahsi geçen otonom kilitlenme ve kaçış algoritmalarının akış diyagramı ŞEKİL 4.13'de gösterilmektedir.



ŞEKİL 4.13: Otonom Kilitlenme ve Kaçış Algoritmalarının Akış Diyagramları

5. HABERLEŞME

Bu bölümde İHA içerisindeki ve İHA-yer kontrol istasyonu arasındaki haberleşme iki alt başlık içerisinde incelenecektir.

İHA İçerisi Haberleşme

İHA üzerinde birbiri ile haberleşmesi gereken donanımlar şunlardır;

- Fırçasız Motor Sürücüleri
- Uçuş Kartı (Pixhawk)
- Görev Bilgisayarı (Xavier NX)
- Kablosuz Erişim Noktası (Ubiquiti Loco M5)
- GPS Modülü
- Kamera
- Radyo Kontrol (RC) Alıcı

İHA içerisindeki ana kontrolcü olan görev bilgisayarı asıl operasyonu yöneten donanımdır. Görev bilgisayarı ile İHA'nın uçuşunu yönetmek amacıyla kullanılan uçuş kartı, görev bilgisayarı üzerinde bulunan seri haberleşme portu ile birbirine bağlanmaktadır. Bu seri haberleşme portu üzerinden iki cihaz MAVLink haberleşme protokolü aracılığı ile haberleşme sağlamaktadır. Görev bilgisayarı ayrıca CSI-2 (Camera Serial Interface) tip bağlantı yoluyla İHA'da kullanılan kameraya bağlanmaktadır. CSI-2 tip bağlantı protokolü UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) Evrensel Asenkron Alıcı Verici, bağlantı tipine göre daha az işlem yükü gerektirmektedir. Bunun başlıca sebebi kameradan gelen verilerin doğrudan merkezi işlem birimi tarafından işlenebilmesidir. Ayrıca arada UART için gereken deşifre (decode) işlemi bulunmamaktadır. Görev bilgisayarı yer kontrol istasyonuna iletilmesi gereken bilgileri Ubiquiti Loco M5 kablosuz erişim noktası aracılığı ile iletmektedir. Görev bilgisayarı ile kablosuz erişim noktası arasındaki bağlantı iki cihaz üzerinde de bulunan Ethernet portu aracılığı ile yapılmaktadır. İki cihaz arasında kullanılan iletişim protokolü IEEE 802 LAN standartı olup, sistemdeki her cihazın eşsiz birer MAC ve IP adresi bulunmaktadır. Ethernet protokolü İHA-yer kontrol kontrol istasyonu arası haberleşme başlığı altında daha ayrıntılı bir şekilde incelenecektir.

İHA içerisindeki ikincil kontrolcü olan uçuş kartı, pilottan ve görev bilgisayarından aldığı komutlar ile sensörlerden aldığı bilgiler doğrultusunda İHA'nın tüm uçuş fonksiyonlarını yöneten birimdir. Görev bilgisayarı tarafından verilen emirleri (örn; 90 derece iskeleye dön, 20 metre yüksel vb.) motorları manipüle edecek bir biçime dönüştürür ve motorlara, motor sürücüler aracılığı ile manevra için gereken emirleri gönderir.

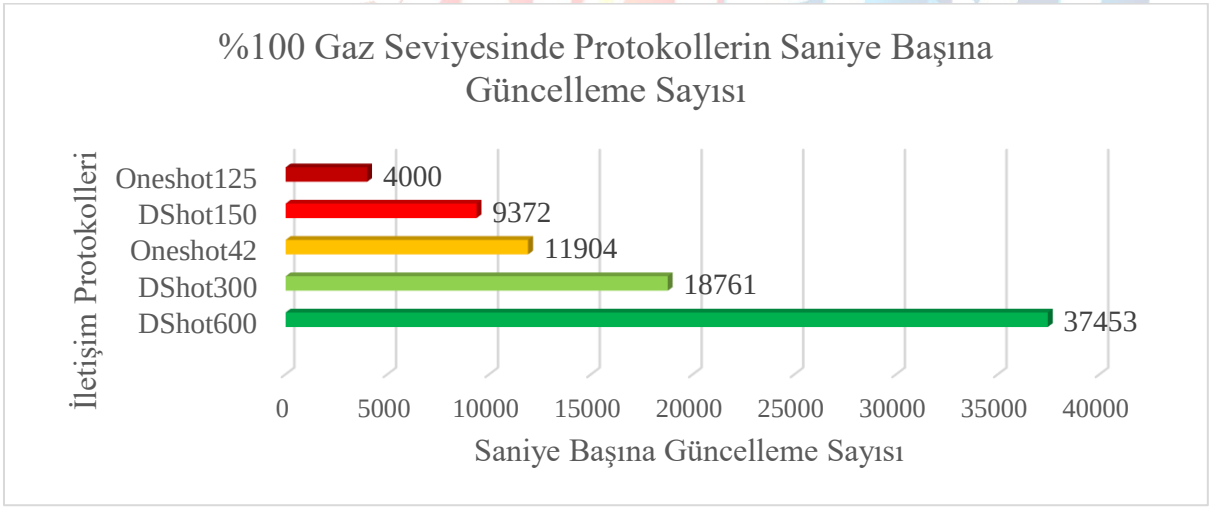
Uçuş kartı ile iletişim halinde olan donanımlar şunlardır;

- Fırçasız Motor Sürücüleri
- GPS Modülü
- Radyo Kontrol (RC) Alıcı
- Güvenlik Butonu (Kill Switch)

Fırçasız motorların mimarisi gereği, çalıştırılabilmeleri için fırçasız motor sürücülerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle uçuş kartı ile motorların kontrolü, motor sürücüleri aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Uçuş kartı motor sürücüleri arası iletişim DShot protokolü ile sağlanmaktadır. DShot, uçuş kartı ve fırçasız motor sürücüleri arasındaki iletişimi sağlayan analog haberleşme protokollerinin yerine geliştirilmiş dijital bir protokoldür. DShot protokolü, eski analog haberleşme tabanlı sistemlere göre bazı avantajlara sahiptir. Bunları şöyle sıralayabiliriz;

- Doğruluk oranı daha yüksektir. Analog sistemlerin çalışma prensibi gereği saniye başına gönderilen elektriksel darbe sıklığı motorun hızını belirlemektedir. Ancak gönderilen darbeler dış ortamdaki elektriksel gürültülerden etkilenmeye açık olup, bu gürültüler darbeleri bozabilmektedir. Bu durum, kumanda ile alıcı arasında iletişim aksaklıklarına sebep olabilmektedir. Ancak dijital sistemler bu tür gürültülerden analog sistemlere göre daha az etkilenmektedir. Bu sayede kumanda ile alıcı arası iletişimdeki en büyük sorunlardan birisi olan elektriksel gürültü problemi ortadan kaldırılmıştır.
- Fırçasız motor sürücülerinde daha yüksek güncelleme eşiği sağlanması. Analog sistemler tasarımları gereği ulaşabilecekleri tepe güncelleme eşiği osilatörler ile sınırlandırılmıştır. Dijital sistemlerde ise osilatörler belirleyici etmen olarak görev almadığından analog sistemlere göre daha yüksek güncelleme eşiği elde edilmiştir. Daha yüksek güncelleme eşiği İHA'nın pilotlar tarafından gönderilen emirlere daha kısa sürede cevap vermesine yol açacağından daha akıcı bir uçuş deneyimi sağlamaktadır.

Sıralanan avantajlar göz önüne alındığında fırçasız motor sürücüleri ile uçuş kartı arasındaki iletişimin, DShot protokolünün en yeni ve en yüksek hızlı sürümü olan DShot600 ile sağlanmasına karar verilmiştir.



Şekil 5.1: Haberleşme Protokollerinin Saniye Başına Güncelleme Sayısı

Şekil 5.1'de görülebileceği üzere DShot600 protokolü seçenekler arasındaki saniye başına en yüksek güncelleme sayısına sahip protokoldür. Bu sayede İHA verilen emirleri diğer protokollere göre daha kısa bir gecikme ile yerine getirebilecektir.

GPS modülü ile uçuş kartının haberleşmesi olası 4 kanaldan biri ile gerçekleştirilebilmektedir. Söz konusu iletişim kanalları şunlardır;

- UART
- USB (Universal Serial Bus)
- SPI (Serial Peripheral Interface)
- DDC (Display Data Channel)

Seçilen iletişim kanalı UART'tır. Bu seçimin başlıca nedeni uçuş kartının üzerinde kullanıma hazır UART portunun bulunmasıdır. UART (Evrensel Asenkron Alıcı Verici), asenkron seri veri iletişimi için kullanılan bir donanım haberleşme protokolüdür. En basit ve en yaygın kullanılan iletişim tekniklerinden biridir. Bu seri veri iletimi tipinde, verici ile alıcı arasında senkronizasyon için saat sinyali kullanılmamaktadır. Bunun yerine iletişim hızı belirlendikten sonra her kelimenin başına başlangıç biti eklenir ve başlangıç bitini takiben en az önemli olan bit gönderilir. Ardından geri kalan bitler sırasıyla iletilir. Hata kontrolü yapılabilmesi için verici birimi eşlik biti (parity bit) eklenir. Yine verici birimi mesajın bitiminde durma biti gönderir. Durma bitini algılayan alıcı birim eşlik bitinin varlığını doğrulayarak hata bulunup bulunmadığının kontrolünü sağlar. Eşlik biti isteğe bağlı olan bir bileşendir, kullanılmaması durumunda hem alıcı hem de verici birimde protokolde bu durumun belirtilmesi gerekmektedir.

Radyo kontrol (RC) alıcı ile Radyo kontrol (RC) verici arasındaki iletişim FHSS (Frequency Hopped Spread Spectrum) ve DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. RC verici ve RC alıcı iletişiminde kullanılan frekans aralığı 2400MHz ile 2483.5MHz olacaktır. RC verici 12 Kanallı olup, RC verici ve alıcısının teknik özellikleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Ürün / Özellikler	**RC VERİCİ**	**RC ALICI**
Ürün Adı	Radiolink AT10II	Radiolink R12DS
Frekans Bandı	2400-2483.5 MHz	2400-2483.5 MHz
İletim Gücü	<100mW (20dbm)	-
Çalışma Gerilimi	7.4V – 15V	4.6V – 10V
Çalışma Akımı	<105mA	38-45mA
İletişim Yarıçapı	4000 metre (ideal koşullar)	4000 metre (ideal koşullar)
Spektrum Modu	DSSS&FHSS	DSSS&FHSS

Tablo 5.2: RC Verici ve RC Alıcısı Teknik Özellikler Tablosu

RC alıcı uçuş kartına S-BUS portu üzerinden bağlanmaktadır. Aynı zamanda S-BUS, RC alıcı-vericiler üzerinde kullanılan dijital protokolün de ismidir. Seri veri haberleşmesi yöntemiyle kontrol sinyallerinin servo motorlara / uçuş kartına yönlendirilmesini sağlar. RC alıcı-

vericilerde kullanılan diğer protokoller (CPPM, PWM) ortalama 60-80ms gecikmeli iletişim sağlarken, S-BUS'ta ortalama gecikme 10-20ms mertebelerindedir. S-BUS'ın diğer protokollere göre bir diğer avantajı ise 1 kablo ile 16 kanala kadar iletişimin sağlanabilmesidir. Bu sayede İHA üzerindeki kablo kirliliğinden kaçınılmış, kurulumu ve bakımı daha basit gerçekleştirilebilen bir platform ortaya çıkarılmıştır.

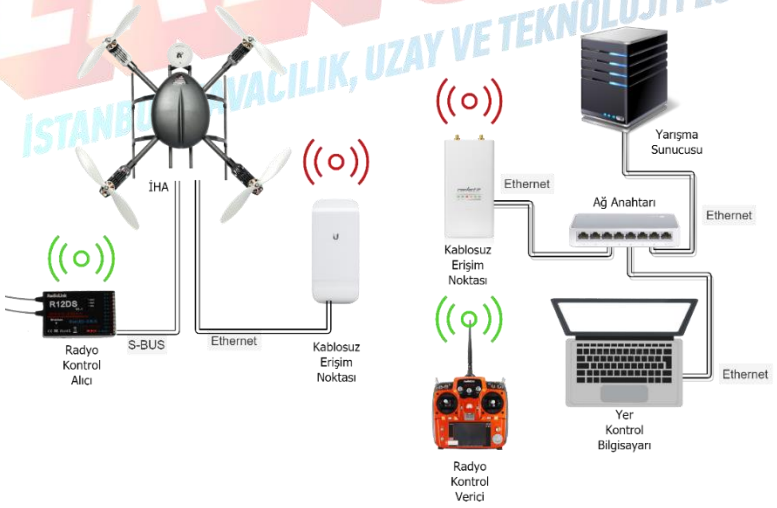
İHA-Yer Kontrol Kontrol İstasyonu Haberleşme

Yer kontrol istasyonu içerisinde haberleşmesi gereken donanımlar şunlardır;

- Yer Kontrol Bilgisayarı
- Kablosuz Erişim Noktası (Ubiquiti Rocket M5)
- Ağ Anahtarı (Network Switch) (TP-LINK TL-SF1008D)

Yer kontrol istasyonunu oluşturan donanımlar kendi içlerinde Ethernet bağlantısı ile haberleşecek olup, haberleşme protokolü IEEE 802.3 LAN standartında olacaktır. PAN, LAN ve MAN yapılarında kullanılan bu protokol bilgisayar ağlarındaki değişken boyutlu paketleri taşımak üzere tasarlanmıştır. 802.3 LAN standartında iki adet veri link katmanı bulunmaktadır. LLC (Logical Link Control) ve MAC (Media Access Control) isimli bu iki veri link katmanı arasından sistemimizde MAC veri link katmanı etkin olarak kullanılacaktır. Ağ anahtarı, yer kontrol bilgisayarı ile hem yarışma sunucusunun hem de kablosuz erişim noktasının birbirine Ethernet yolu ile bağlanabilmesini sağlamaktadır. MAC veri link alt-katmanı akış kontrol (flow control) ve çoklayıcı (multiplexer) yöntemlerini kullanarak kablolu, kablosuz veya optik yollarla medya iletimini sağlar.

Yer kontrol bilgisayarı ile İHA arasındaki iletişim Ubiquiti marka kablosuz erişim noktaları aracılığı ile gerçekleştirilecektir. Ubiquiti kablosuz erişim noktaları aralarında iletişim kurmak için airMAX protokolünü kullanır. Bu protokol ile beraber akıllı servis kalitesi (QoS) yönetimi sayesinde video ve ses dosyalarına öncelik verilmekte ve kesintisiz veri akışı sağlamaktadır. Yer kontrol istasyonu ile İHA arasındaki haberleşme kanalları Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3: Yer Kontrol İstasyonu – İHA Haberleşme Kanalları

Özellikler / Fotoğraf		
Ürün Adı	Ubiquiti Rocket M5	Ubiquiti NanoStation M5
Kullanılan Platform	Yer Kontrol İstasyonu	İHA
İletişim Frekans Aralığı	5470-5825 MHz	5170-5875 MHz
Boyutları	160 x 80 x 30 mm	161 x 31 x 80 mm

Tablo 5.4: Kablosuz Erişim Noktaları Teknik Özellikleri

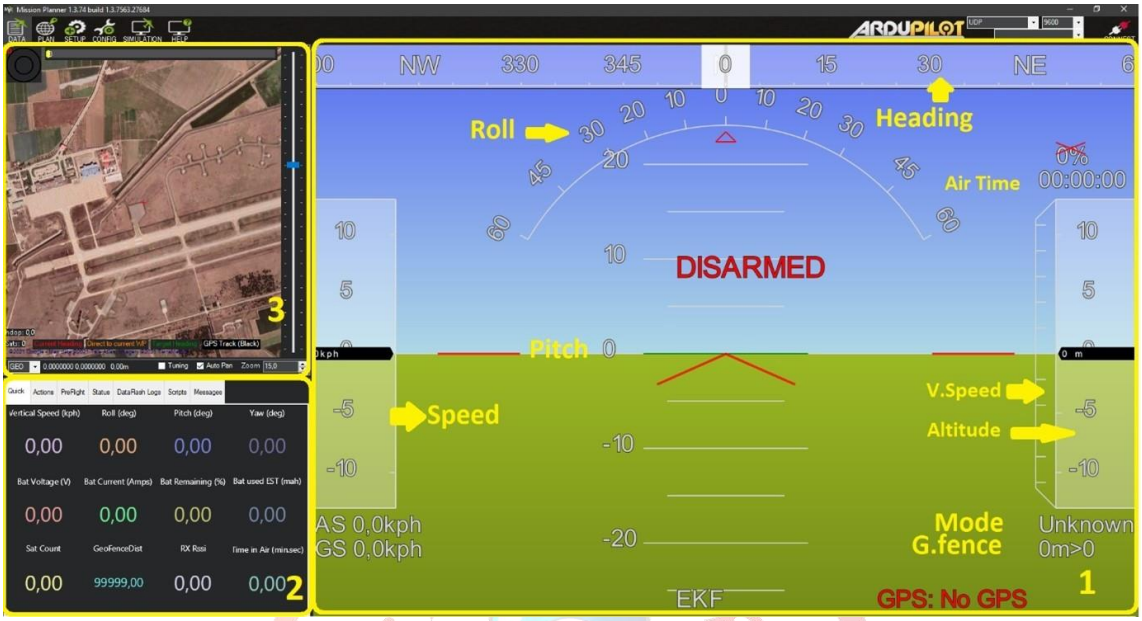
Yer kontrol bilgisayarı ile İHA arası iletişimde hem TCP (Aktarma Kontrol Protokolü) hem UDP (Kullanıcı Veri bloğu İletişim Kuralları) protokolleri kullanılacaktır. TCP sistemde öncelikle hedefe bir bağlantı isteği gönderilir. Bağlantının gerçekleştiği onaylanınca veri aktarımına başlanır. Son olarak veri transferinin tamamlandığını her iki tarafın birbirlerine iletmesi ile bağlantı sonlandırılmaktadır. UDP sistemlerde ise bir kanal kontrol söz konusu değildir. Gönderilen veri TCP sisteme göre daha hızlı iletilse de, karşıdaki alıcının veriyi alıp alamadığı doğrulanmaz. Bu yüzden TCP daha çok kontrol gerektiren verilerin aktarımında kullanılırken (telemetri verileri), UDP ise kontrol gerektirmeyen verilerin aktarımında kullanılır (kamera görüntüleri, ses verileri).

İHA ve yer kontrol istasyonunda kullanılan kablosuz erişim noktalarının frekansları, fiziksel boyutları ve kullanıldıkları platformlar Tablo 5.4'de verilmiştir.

6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

Yer kontrol bilgisayarı üzerinde kullanılacak arayüz "Mission Planner" görev plan platformu ve simülasyon için kullanılacak arayüz ise Unity Gerçek Zamanlı Uygulama Geliştirme Platformu (Unity Real-Time Development Platform) üzerinde geliştirilmiştir. Mission Planner platformunun kullanılmasının başlıca nedeni özel İHA tasarımları için bir platform olup ihtiyaç duyulan tüm fonksiyonları içermesidir. Mission Planner İHA'nın; hız, konum, yükseklik, mod değişimi, açısal değerleri (yönelme, dikilme, yatış), pil seviyesi, kilitlenme dörtgeni ile anlık görüntü aktarımı, yer kontrol istasyonu üzerinden İHA'ya komut gönderimi gibi temel fonksiyon ve parametre bilgilerini bir ekran üzerinde pilota gösterebilmekte ve bu bilgileri kayıt edebilmektedir.

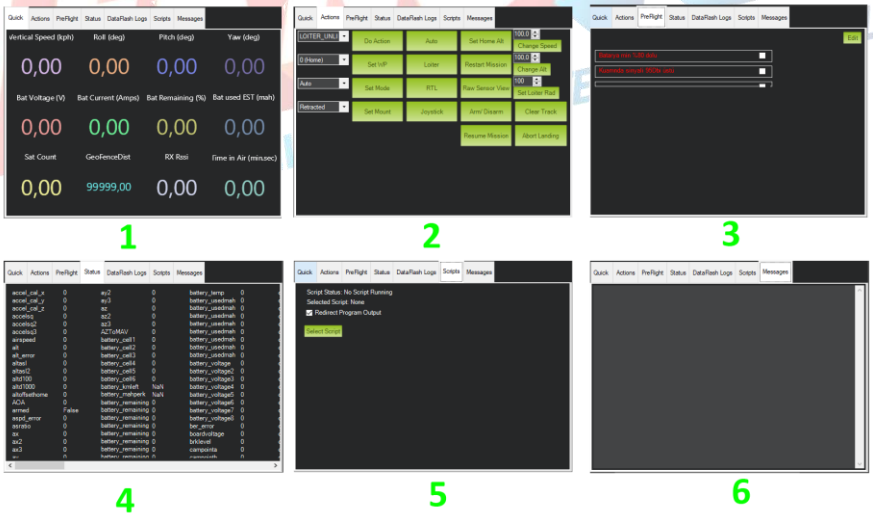
Şekil 6.1 Mission Planner üzerindeki üç bölümü sarı kutular içinde göstermektedir. Her sarı kutu farklı bir parametre serisi içermektedir.



Şekil 6.1: Mission Planner Üç Bölümlü Arayüz Örneği

Kutu 1: Baş üstü göstergesi (Head-up Display) olarak adlandırılır. Bu alanda gösterilen parametreler; uçuş başı (heading), hız (speed), yükseklik (altitude), bağlantı (connection), rota hattı takibi (X-Track), yatış / dikilme (roll / pitch), GPS, pil (battery), EKF (Genişletilmiş Kalman Filtresi, Extended Kalman Filter), titreşim (vibe), uçuş modu (stabilize, loiter, auto vb.), geofence (harita üzerinde İHA'nın kalkış pozisyonu uzaklığı) olarak sıralanabilir.

Kutu 2: Çoklu erişim penceresi olarak adlandırılır. İHA'nın telemetri parametreleri dışında, uçuş öncesi kontrol listesi, durum sorgusu, mesaj penceresi ve hızlı komut girme alanlarını da içermektedir. Şekil 6.2 çoklu erişim penceresi sekmelerini göstermektedir.



Şekil 6.2: Çoklu Erişim Penceresi Sekmeleri

Hızlı (Quick) Sekmesi (Sekme 1)

Bu sekme uçuş boyunca çoklu erişim alanında en çok kullanılan sekmedir. Uçuş sırasında en çok ihtiyaç duyulan parametrelerin değerlerini numerik olarak gösterir. Bu alandaki parametre sayısı isteğe bağlı değiştirilebilmektedir. Bu proje için 3 satır ve 4 sütunlu bir tabloda toplam 12 adet parametre gösterimi yeterli bulunmuştur. Yapılan dizilimde her satır belli bir konu hakkında istenilen bilgileri göstermektedir.

Birinci satır olan oryantasyon satırında; dikey hız (vertical speed), yatma açısı (roll degree), dikilme açısı (pitch degree), yönelme açısı (yaw degree) parametreleri bulunmaktadır.

İkinci satır olan batarya satırında; batarya gerilimi (battery voltage), anlık akım (battery current), batarya yüzdesi (battery percentege), tahmini tüketilen kapasite (estimated battery used in mAh) parametreleri bulunmaktadır.

Üçüncü satır olan GPS satırında; uydu sayısı (satellite count), kenar uzaklığı (Geofence distance), kumanda sinyal gücü (Rxrssi dBi), havada geçirilen süre (air time (min,sec)) parametreleri bulunmaktadır.

Hızlı Komut (Action) Sekmesi (Sekme 2)

Bu sekme vasıtasıyla yer kontrol istasyonundan İHA'ya hızlı bir şekilde komut gönderilebilmektedir. Özellikle otonom uçuşlarda ya da uçuşun yer kontrol istasyonu üzerinden takip edildiği durumlarda komutların uzunca girilmesi yerine, daha önce oluşturulan komutlar bu pencereye atanarak uçuş sırasında istenilen komutlar seri bir şekilde İHA'ya icra edilmek üzere gönderilebilir.

Uçuş Öncesi Kontrol (PreFlight Check-list) Listesi Sekmesi (Sekme 3)

Bu sekmede Bölüm 8.2'de verilen uçuş öncesi kontrollerin bir kısmı yer almaktadır. Göz ile yapılan kontroller haricinde İHA verilerinin kontrol listesine uygun olup olmadığı bu pencere üzerinde kontrol edilir. Bu alana önceden girilen kontroller uçuş öncesinde belirlenen aralıklar içindeyse otomatik olarak işaretlenerek uçuş öncesi kontrollerin İHA üzerinden de teyidinin alınması sağlanır.

Durum (Status) Sekmesi (Sekme 4)

Bu sekmede İHA üzerinden okunabilen bütün parametrelerin genel bir tablosu bulunmaktadır. İHA'nın sağlıklı bir şekilde çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için bu sekme kullanılır.

Kod yükleme (Scripting) Sekmesi (Sekme 5)

Bu sekmede daha önce "Python" dili ile yazılmış uçuş senaryoları yer kontrol istasyonu üzerinden İHA'ya yüklenir ya da mevcut olan senaryo yine bu sekme üzerinden güncellenebilir.

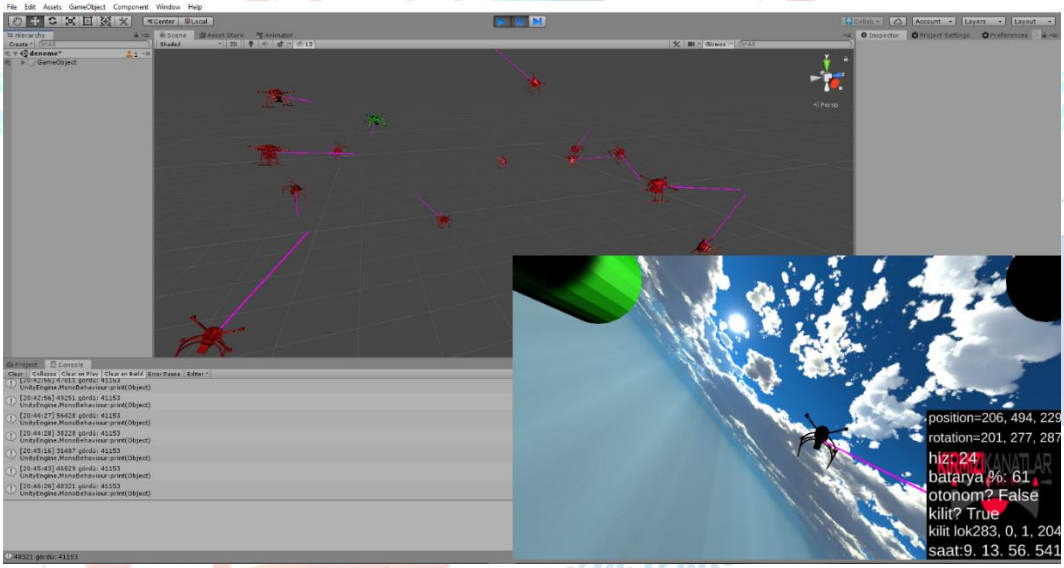
Uyarı (Messages) Sekmesi (Sekme 6)

Bu sekmede İHA tarafından gönderilen uyarı mesajları gösterilmektedir.

Kutu 3: Uydu haritası penceresi olarak adlandırılır. Bu alanda bulunan parametreler; İHA'nın dünya üzerindeki konumu, harita üzerinde izlenilen yol, GeoFence sınırları, kalkış noktası,varış noktalarıdır.

Aynı zamanda pencerenin alt kısmında İHA'nın anlık koordinatları, uçuş başı, seçili varış noktası adı ve uydu sayısı gibi diğer parametreler de bulunmaktadır.

Bir diğer arayüz platformumuz olan Unity Gerçek Zamanlı Uygulama Geliştirme Platformu, geliştirilmekte olan "Teknofest Yarışma Simülasyonu" için bize uygun bir ortam sağlamaktadır. Geliştirilen bu uygulama sayesinde hem yarışma sırasında hem de sonrasında İHA'ların sergilediği manevraların incelenmesi mümkün olacaktır. Program taktiksel farkındalık ile birlikte pilota, olası çarpışmaların önüne geçebilmek için gerekli olan farkındalığı da sağlamaktadır. Örnek simülasyon görüntüsü Şekil 6.3'de gösterilmektedir.



Şekil 6.3: Teknofest Yarışma Simülasyonu Örnek Görüntü

Şekil 6.3'de gösterilen ekran görüntüsü dört ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar saha görünümü, İHA'ların birbirini gördüğü bilgisi, İHA görüşü ve İHA telemetri bilgileridir.

Saha görünümünde, alınan İHA telemetri bilgileri ile sanal bir ortamda İHA'ların birbirine göre pozisyonları konumlandırılır ve pembe çizgi ile kameralarının bakış yönü belirtilir.

İHA'ların birbirini gördüğü bilgisinde İHA'ların takım numaraları ile hangi İHA'nın hangi İHA'yı gördüğü belirtilir.

İHA görüşü penceresi, telemetri bilgilerine göre İHA'nın görüşünde olan rakip İHA'ların görünümünün üç boyutlu bir şekilde gösterimini sağlar.

İHA telemetri bilgileri penceresinde, İHA tarafından yarışma sunucusuna gönderilen telemetri bilgileri görülmektedir.

7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU

7.1. Yapısal Entegrasyon

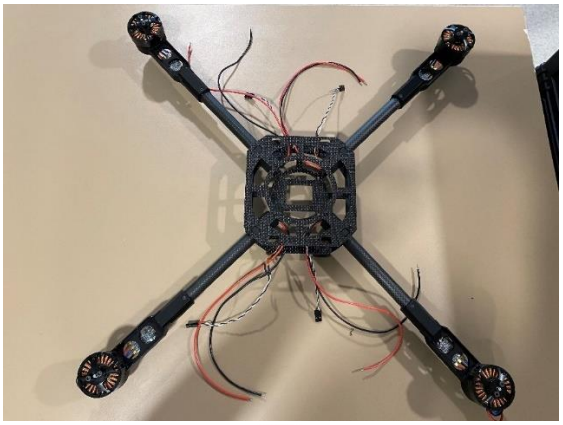
Bu kısımda İHA montajının nasıl yapılacağı adım adım anlatılacaktır.

Adım 1 – İHA montajına kolların montajından başlanır. 3D yazıcıdan imal edilen motor bağlantıları üzerine motorlar bağlandıktan sonra kablolar motor bağlantısı üzerindeki yuvadan geçirilerek motor sürücülerine lehimlenir. Motor sürücüsünün güç ve sinyal kabloları ise motor bağlantısının orta boşluğundan geçirilerek motor kolunun iç kısmına gönderilir. Motor kolunun uç kısmına gövdeye bağlantı plastiği takılarak motor kolu montajı tamamlanır (Bakınız Şekil 7.1.1). Bu işlem 4 kol için de tekrarlandıktan sonra sıra gövde montajına gelir.

Şekil 7.1.1: Montajı Bitmiş Motor Kolu

Adım 2 - Gövde montajına gövde alt plakası üzerine gövde plastik parçaları montajlanarak başlanır. Plastik parçaların montajının ardından gövde altı borularını tutacak olan kauçuk tutucular monte edilir. Bu işlemlerin ardından motor kollarının gövdeye birleştirilmesine sıra gelir.

Adım 3 - Motor kollarının gövde bağlantı noktalarından gövde alt plakasına bağlantısı sağlanır. Motor kolları gövde plastiklerindeki yuvalarına oturtulduktan sonra gövde İHA uçuş kartının montajına hazır durumdadır (Bakınız Şekil 7.1.2).



Şekil 7.1.2: Montajı Bitmiş Gövde Alt Plaka

Adım 4 - Uçuş kartı alt kısmına çift taraflı bantlar yapıştırılarak gövdenin üzerinde motor kolları arasındaki havuza sabitlenir. Bu işlemden sonra gövdenin alt kısmına güç dağıtım kartı için gereken plastik aralayıcılar montajlanır ve güç dağıtım kartı yerine vidalanır.

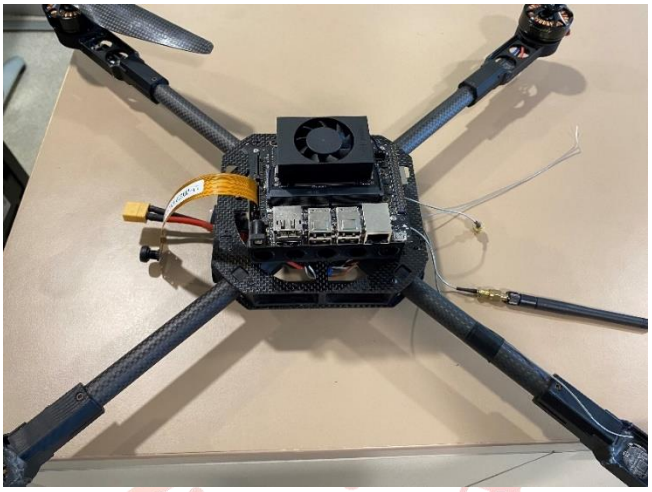
Adım 5 - Motor sürücülerin kabloları güç dağıtım kartına lehimlenir, sinyal kabloları ise motor numaralarına göre uçuş kartı üzerindeki yuvalarına takılır. Bu aşamadan sonra gövde altı kauçuklarına gövde boruları takılarak pil yatağı ve iniş takımlarının bağlantıları yapılır.

Adım 6 - Gövde borularının ara kısmında kalan boşluğa çift taraflı bant ve kablo bağı kullanarak radyo kontrol (RC) alıcı montajı yapılır. RC alıcı üzerindeki SBUS portu, uçuş kartı üzerindeki "RC IN" portuna servo kablosu ile bağlanır (Bakınız Şekil 7.1.3).

Şekil 7.1.3: Gövde Alt Montajı

Adım 7 - Gövde alt plakası ile gövde üst plakası arasında kalan arka boşluğa sigorta kutusu kablo bağı yardımıyla sabitlenir. Ardından gövde üst plakasının montajı yapılır.

Adım 8 - Görev bilgisayarı ve kablosuz erişim noktasının bağlanacağı raf montajı yapılır. Raf montajının ardından önce kablosuz ağ noktası için gerekli olan aralayıcılar rafa monte edilir. Ardından kablosuz erişim noktası bu aralayıcılara tutturulur. Aynı işlem rafın bir üst katında görev bilgisayarı için de tekrar edilir (Bakınız Şekil 7.1.4)



Şekil 7.1.4: Rafın İHA Üzerine Montajı

Adım 9 - Gövdenin ön kısmında bulunan DC gerilim yükselticiler önceden istenilen gerilim kademelerine getirildikten sonra kablosuz ağ erişimi için olan alt kısımda, görev bilgisayarı için olan ise üst kısımda olacak şekilde montaj yapılır. Gerilim yükselticilerin montajından sonra kanopinin alt kısmında bulunan montajlar tamamlanmıştır.

Adım 10 - Kanopi üzerine GPS ve antenlerin montajı yapılır. Kanopinin arka kısmındaki havalandırma ızgaralarının iki yanındaki yuvarlak delikler rp-sma konektörlere göre açılmıştır. Bu deliklere kablosuz ağ erişim noktası üzerindeki ipex rp-sma dönüştürücülerin rp-sma kısımları montajlanır. Bu işlemin ardından kanopi üzerindeki Radiolink M8N'e uygun olarak yapılmış GPS yuvasına GPS modülü montajı, modülün altına yapıştırılan çift taraflı bant ile ve bağlantı kablosu ise İHA'nın ucuna bakacak şekilde kablo bağı ile kanopiye sabitlenerek yapılır (Bakınız Şekil 7.1.5).

Şekil 7.1.5: Kanopi Montajı

Adım 11 - Kanopi üzerine kamera montajı yapılır. Görev bilgisayarına bağlı olan kameranın 4 adet vida ila kanopiye montajı yapılır. Bu işlemin ardınan kanopi gövdeye sabitlenmek için

hazırdır. Kanopi gövdeye oturtulduktan sonra gövdeyi tutan kısımlarından emniyet teli ile kollara güvenlik bağlantısı yapılır.

Adım 12 - Son olarak anten bağlantılarına anten montajları yapılır ve batarya yerine konularak İHA'nın üst ve alt kısmındaki montaj tamamlanır.

7.2. Mekanik Entegrasyon

Bu kısımda İHA yı oluşturan bileşenleri bir arada tutmak için kullanılan yöntemler (vida, cıvata, somun, çift taraflı bant vs.) ve varsa seçim gerekçeleri detaylandırılmıştır.

Gövde ve Motor

Gövde montajında 8 adet M2, 8 adet M3 mercimek başlı allen vida kullanılmıştır. Bu vidalar gövdenin temel unsurlarını bir arada tutarak geri kalan parçaların gövdeye bağlanmasını sağlamıştır.

Motor montajında, motor başına 4 adet M3 inox başlı allen vida ve motor yataklarının montajında ise M3 inox başlı allen vida kullanılmıştır.

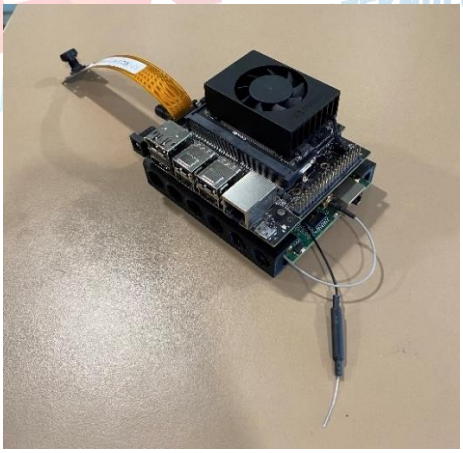
DC gerilim yükseltici devreler, gövdenin alt ve üst plakalarının ön kısımlarında konumlandırılmıştır. Gövde plakalarına çift taraflı bant ve kablo bağı ile tutturulmuştur.

Uçuş Kartı

Pixhawk, gövdenin ortasında bulunan uçuş kartı alanına tam oturmaktadır. Bu sebeple Pixhawk 2.4.8 model uçuş kartı bu alana çift taraflı köpük bant ve kablo bağı ile sabitlenmiştir.

Kablosuz Ağ Erişim Noktası ve Görev Bilgisayarı

Başlangıçta ağırlık merkezi ile simetri merkezini çakıştırmak için görev bilgisayarının yatay eksen üzerinde konumlanması düşünülürken, kameranın flex kablosunun kısa olması nedeniyle görev bilgisayarı dikey eksende uzunlamasına konumlandırılmıştır. Bu montaj için görev bilgisayarını üzerinde tutacak özel bir raf tasarımı gerekmiştir (Bakınız Şekil 7.2.1). Bu raf aynı zamanda kablosuz erişim noktasını da üzerinde bulundurmaktadır.



Şekil 7.2.1: Raf Üzerinde Görev Sistemi Montajı

Görev bilgisayarı ve kablosuz ağ erişim noktası, PLA plastikten imal edilmiş özel tasarım bir raf ve 4 adet M3 cıvata kullanılarak gövdeye sabitlenecektir. Cihazların üzerindeki montaj deliklerinin uyumsuz olması sebebiyle bu şekilde bir çözüm üretilmiştir. Bu kartlar bahsi geçen raf sistemine 5mm'lik M3 aralayıcılar ile montelenecektir. Böylece aralarındaki boşluklardan hava akımınım geçmesine ve kartların soğumasına imkan tanınmış olacaktır. Aynı zamanda da bu bakır ve iletken aralayıcıların plastik bir sisteme montajlanması, kartların izole olarak karbon-fiber yüzeyler üzerinden iletime geçip kısa devre oluşturma ihtimalini de ortadan kaldırmıştır.

Güç ve Kablolama

İHA üzerinde güç dağıtımı için aşağıdaki elemanlar bulunmaktadır;

- Matek Güç Dağıtım Kartı
- 2 adet XL6009 DC Gerilim Yükseltici
- Uçuş Kartı Güç Bağlantı Modülü

Matek Güç Dağıtım Kartı

Güç dağıtım kartı gövdenin alt kısmında ve ortada merkezlenmiş bir şekilde ters durmaktadır. Gövdeye plastik 5mm M3 aralayıcılar ile montajlanmıştır. Gövde altına montajlanmasının nedeni hem alan kullanım verimliliğini arttırmak hem de batarya kablolarını kısaltmaktır.

XL6009 DC Gerilim Yükseltici

Gövdenin burun tarafında ve 1 adet üst plakada, 1 adet ise alt plakada olacak şekilde konumlandırılmıştır. Yerlerine çift taraflı köpük bant ve kablo bağı ile tutturulmuşlardır. İHA'nın diğer sistemlerinden geriye kalan boşluk bu alandadır. Bu DC gerilim yükselticiler görev bilgisayarı ile kablosuz erişim noktasına gereken gücü sağlamak amacıyla kullanılmıştır.

Uçuş Kartı Güç Bağlantı Modülü

Uçuş kartı olarak kullanılan Pixhawk 2.4.8'in kendine ait bir güç modülü vardır. Bu modül sayesinde Pixhawk ne kadar akım çekildiğini, bataryanın gerilimini ve bunların hesaplanması ile batarya yüzdesi gibi diğer parametreleri ölçebilmektedir. Bu modül güç dağıtım kartına seri olarak bağlanmıştır.

Radyo Kontrol Alıcı

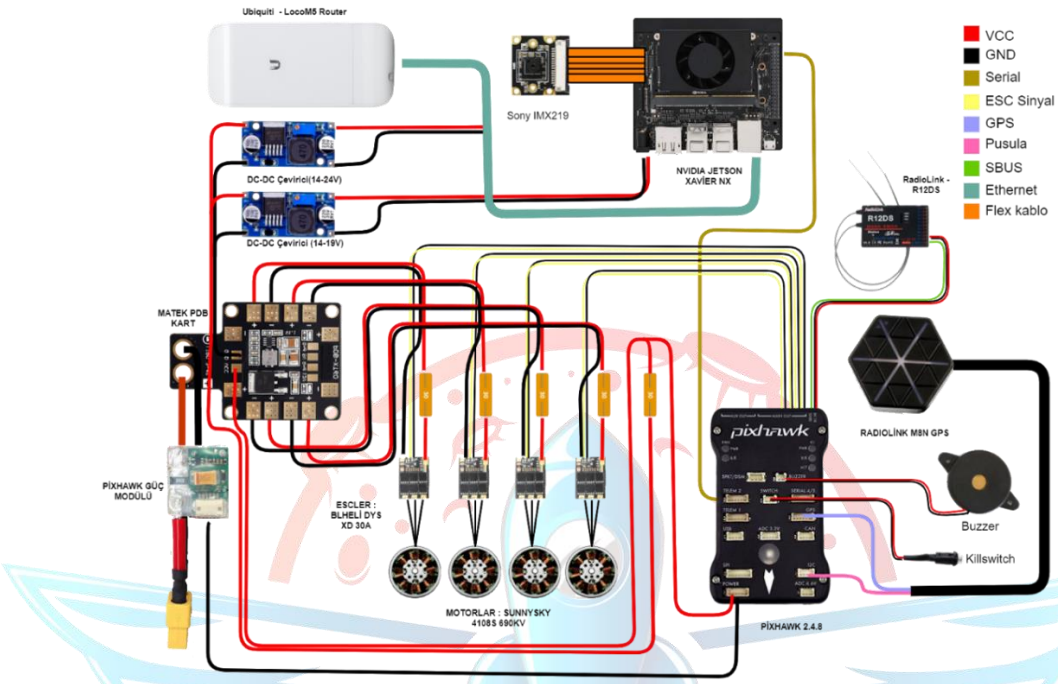
Radyo kontrol alıcı olarak kullanılan R12DS modülü kendi koruma haznesine ve entegre antenlere sahip olduğu için gövde altında çift taraflı köpük bant ve kablo bağları ile montelenmiştir. Sahip olduğu SBUS portu üzerinden tek servo kablosu ile hem güç hem sinyal aktarımı yapılmaktadır. Bu servo kablosu da gövde boşluklarından geçirilerek uçuş kartının "RC IN" girişine bağlanmıştır.

ESC Bağlantıları

DYS X30A model ESC'ler motor bağlantı plastiklerindeki kendileri için tasarlanmış boşluklara kablo bağı ile montajlanmıştır. Güç ve sinyal kabloları içi boş, karbon-fiber kolların içinden gövde içine aktarılmıştır.

7.3. Elektronik Entegrasyon

Bu kısımda İHA'da kullanılan elektronik sistemlerin birbirleri ile bağlantıları detaylandırılmıştır. Elektronik sistem mimarisi Şekil 7.3.1'de verilmiştir.



Şekil 7.3.1 Elektronik Sistem Mimarisi

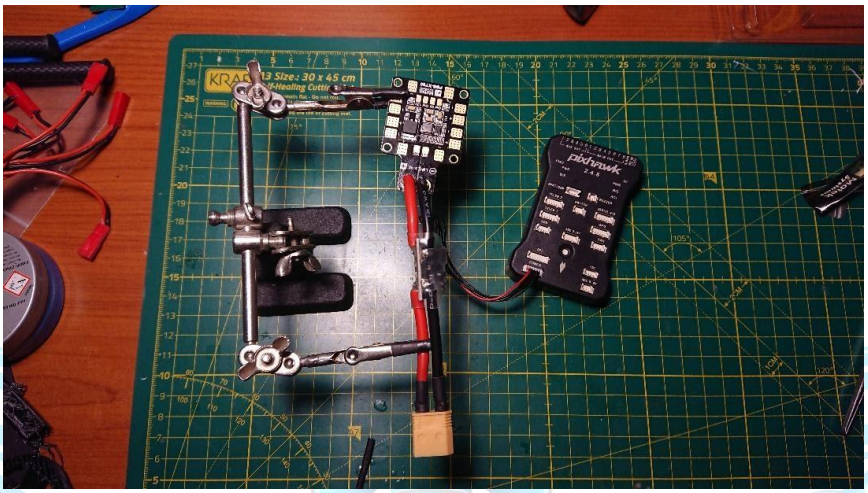
Şekilde sol alt kısımda bulunan XT60-Dişi konektöre batarya bağlanarak sisteme güç girişi yapılır. Ardından güç Pixhawk güç modülü üzerinden uçuş kartına, uçuş kartından da radyo kontrol (RC) alıcı, buzzer ve GPS elemanlarına dağılır. Pixhawk güç modülünden aktarılan güç ise güç dağıtım kartı üzerinden motor sürücülere, DC gerilim yükselticilere (Buck-boost converter), kablosuz erişim noktasına ve görev bilgisayarına ulaştırılır. Böylece bütün sistemin güç bağlantıları sağlanmış olur.

Teknik şartnamede yazdığı üzere İHA'nın sigorta sistemi olması gerekmektedir. Bunun için başlangıçta yukarıdaki modülün önüne bir sigorta konulması düşünülse de ihtiyaç duyulan güçte tek bir sigorta bulunamaması sebebiyle motor güç hatları üzerine 30A'lik bıçak sigortalar konularak, paralel sigorta sistemi tasarlanmıştır. Sistemin geri kalanının güvenliğini sağlamak amacıyla da pixhawk güç modülünün kırmızı kablosuna (VCC) ve güç dağıtım kartından DC gerilim yükselticilere giden hattın üzerine 5A bıçak sigorta bağlanmıştır. Bu sigortalar bir sigorta kutusu içerisinde birbirine paralel olarak İHA'nın arka kısmına montajlanmıştır. Bıçak sigortaların arasından geçirilen emniyet teli ile acil bir durumda bütün sigortaların aynı anda sökülerek sistemin gücünün kesilmesi sağlanmıştır. Ayrıca uçuş kartı üzerinde bulunan acil durum butonu (Kill Switch) sayesinde de yine motorlara giden sinyalin acil bir durumda kesilerek motorların durdurulması mümkündür.

Kullandığımız batarya 4S 10.000 mAh 35C değerindedir. Bataryamızın nominal değeri 14.8V olmasına karşın görev bilgisayarımız (Jetson NX) 19V ve kablosuz erişim noktamız (LocoM5) 24V ile çalışmaktadır. Bu iki cihazı beslemek için 2 adet XL6009 DC gerilim yükseltici kullanılmıştır. DC gerilim yükseltici seçiminde cihazların güç tüketimleri göz önünde

bulundurulmuştur. Xavier NX maksimum yükte 15W güç tüketirken LocoM5 12W güç tüketmektedir. Buna karşılık seçilen modüller 19W güç aktarımı yapabilmektedir.

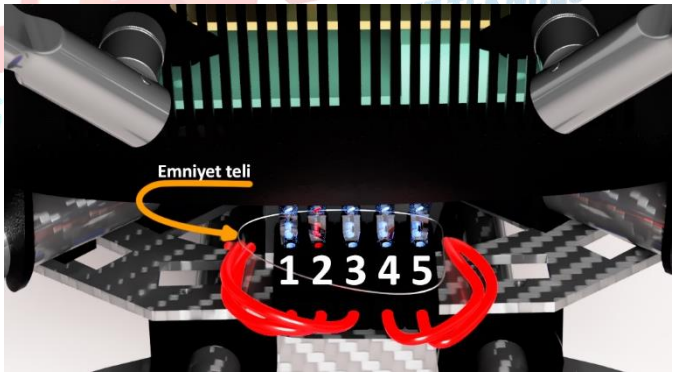
Pixhawk uçuş kartı, üzerinde bataryadan çeşitli veriler alınmasını sağlan sensörleri barındıran özel bir güç modülü ile beslenmektedir. Bu modülün XT60-Dişi terminaline batarya ve XT60-Erkek terminaline ise güç dağıtım kartı bağlanmaktadır. Pixhawk güç modülü üzerindeki XT60-Erkek terminal sökülerek modül güç dağıtım kartına doğrudan lehimlenmiştir. Bu sayede fazladan bir bağlantının getireceği ağırlığın sebep olacağı verim kaybının engellenmesi hedeflenmiştir.



Şekil 7.3.2 Batarya Bağlantı Kablosu

Batarya üzerindeki konektör, Şekil 7.3.2'nin alt kısmında görülen konektöre bağlanarak sisteme güç verilir.

Şekil 7.3.3'de sigorta kutusu içinde görülen sigortalar, soldan sağa doğru sırasıyla sigorta 1,2,3,4 ve 5 olarak numaralandırılmıştır. Bu sigortaların numaraları aynı zamanda bağlı oldukları motorların numaraları ile aynıdır. Dolayısıyla motorlar 1, 2, 3 ve 4 numaralı sigortalar ve diğer elektronik sistemler ise en sağdaki 5 numaralı sigorta üzerinden güç almaktadır.



Şekil 7.3.3: Sigorta Kutusu

Bıçak sigortaların içinden geçirilen emniyet teli sayesinde, acil bir durumda bütün sigortalar aynı anda sökülebilmektedir.

Motor sürücüye giden güç kabloları 15 AWG değerindedir. Bataryadan güç kartına giden ve Pixhawk güç modülü üstündeki kablolar ise 10 ve 12 AWG değerinde kablolardır.

8. TEST VE SİMÜLASYON

8.1. Alt Sistem Testleri

Bu bölümde yapılan testler ile simülasyonlara yer verilmiştir. Elde edilen veriler ilk aşamada yeterli olup bu veriler kullanılarak geliştirmelere devam edilecektir.

8.1.2 İtki Testi

İtki testinin yapılış amacı, bir İHA motorunun azami itki gücünün belirlenmesi ve İHA'nın havada asılı kalması için belirlenen 700 gram'a karşı gelen itki gücünde çektiği akımın ölçülmesidir. Bu testin yapılması amacıyla Şekil 8.1.2.1'de görülen düzenek oluşturulmuştur. Şekil 8.1.2.1'de görülen terazi her iki yönde de kuvvet ölçümü yapabilmektedir. Motor bantlar ile terazi üzerine sabitlenip uygulanan kuvvet ölçülmüştür.

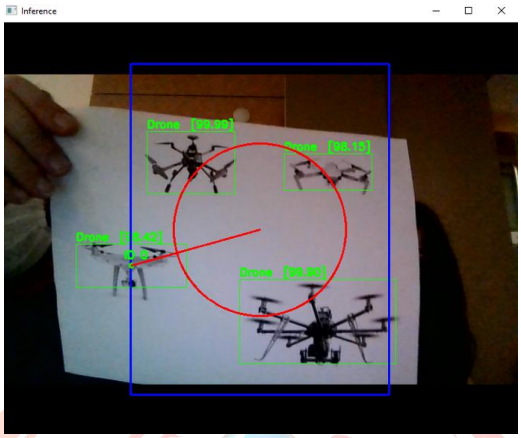
Şekil 8.1.2.1: İHA Motor İtki Testi Düzeneği

Bahsi geçen düzenekte akım ölçümü, akım kademesinde olan multimetre güç dağıtım kartı (PDB) ile motor sürücü güç kablosu arasına seri bağlanarak gerçekleştirilmiştir. Test sonucunda motorun 12x55 pervane ile azami güçte yaklaşık 1950 gram itki sağladığı belirlenmiştir. Bununla beraber İHA'nın hover durumu için gerekli olan motor başına 659 gramlık itki, emniyet amaçlı 700 gram olarak hesaplanmış ve bu itkinin sağlanması için motorun ortalama 6 amper akım çektiği ölçülmüştür.

8.1.3 Kilitlenme Testi

Kilitlenme testinin yapılış amacı, kilitlenme algoritmasının aynı anda birden fazla İHA'nın varlığı durumunda nasıl bir aksiyon aldığının gözlemlenmesidir. Algoritmanın birden fazla İHA'yı tanımlayabilmesi ve içlerinden sadece birine kilitlenmesi durumunda test başarılı sonuçlandı sayılacaktır. Algoritma'nın çalışma prensibi "Otonom Kilitlenme" bölümünde

detaylı olarak anlatılmıştır. Bu testin yapılması amacıyla Şekil 8.1.3.1'de görülen A4 kağıdı üzerine basılı olan 4 farklı İHA modeli kullanılmıştır.

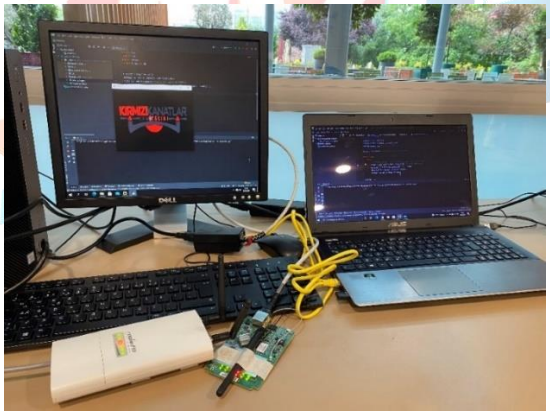


Şekil 8.1.3.1: Örnek İHA Kilitlenme Görüntüsü

Şekil 8.1.3.1'de görüldüğü üzere İHA kilitlenme algoritması aynı anda birden fazla hedefi tanımlayabilmiş ve görüşte birden fazla İHA olmasına rağmen sadece birine kilitlenmiştir. Test sonucu, geliştirilen algoritma istenenleri karşıladığı için başarılı kabul edilmiştir.

8.1.4 Haberleşme Testi

Haberleşme testinin yapılış amacı, İHA ile yer kontrol istasyonu arasındaki iletişimin oluşturulan kablosuz noktadan noktaya ağ (point to point network) ile simülasyonunu yaparak sorunları ve oluşabilecek hataları önceden tespit edebilmektir. Bu testin yapılabilmesi için Şekil 8.1.4.1'de görülen kablosuz erişim noktaları ve 2 adet bilgisayardan oluşan test düzeneği kurulmuştur.



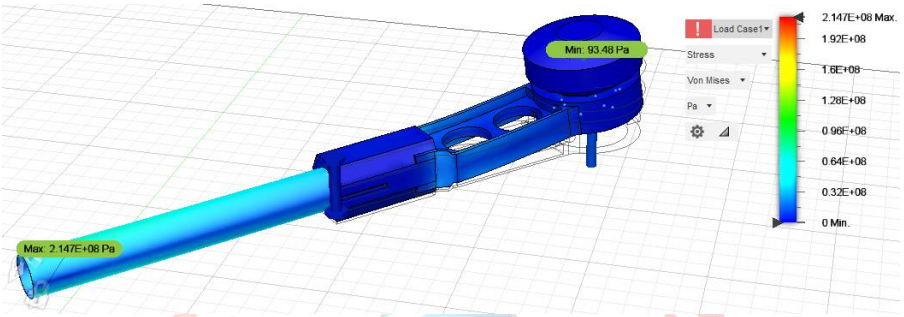
Şekil 8.1.4.1: Haberleşme Test Düzeneği

Tasarlanan düzenek üzerinden, iki bilgisayarın kablosuz bir şekilde haberleşmesi ve video aktarımı yapabilmesi durumunda test başarılı sayılacaktır. İki bilgisayar kablosuz ağ üzerinden haberleşmeyi sağlamış ve düşük gecikmeli (yaklaşık 40ms) canlı kamera yayını gerçekleştirilmiştir. Bağlantı TCP IP protokolü üzerinden yapılmış olup gelecek testlerde UDP

protokolü ile aktarım sağlanacaktır. Video aktarımıyla eş zamanlı olarak bilgisayarlar arasında telemetri aktarımı da başarı ile sağlanmıştır.

8.1.5 Yapısal Test

Bu simülasyonun yapılış amacı İHA kollarının, İHA uçuş ağırlığına ve yüksek ivmelenmelere karşı dayanıklılığının test edilmesidir.



Şekil 8.1.5.1: Yapısal Test Simülasyonu

Bir motor kolu üzerinde motorun yarattığı kuvvetlerin simülasyonu Fusion 360 ortamında gerçekleştirilmiştir (Bakınız Şekil 8.1.5.1). Karbon fiber kolun ve ABS plastik bileşenlerin, motorun tam güçte yarattığı kaldırma kuvvetine (19 N) dayanabildiği görülmektedir. Kol üzerinde oluşan azami basınç 214.7 MPa olup asgari basınç 93.48 Pa olmuştur.

8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi

Yapılan uçuş testleri esnasında İHA'nın performans değerlerinin ölçümü için (uçuş süresi, kalkış gaz seviyesi, PID ayarlamaları vb.) İHA, manuel olarak yönetilmiştir. Yapılan denemeler ile İHA'nın uçuşa elverişliliği kanıtlanmış olup (Bakınız Şekil 8.2.1) uçuş esnasında yer kontrol bilgisayarı üzerinden elde edilen veriler ile İHA yazılımındaki bazı parametreler için ince ayarlamalar yapılmaktadır.

Şekil 8.2.1: Uçuş Testi Sırasında İHA Görüntüsü

İHA'nın otonom uçuş testlerinden önce gerçekleştirilen manuel uçuşlarda sorunsuz uçuş yaptığı test pilotu tarafından denenerek onaylanmıştır. Tekrarlı yapılan manuel uçuş testlerinin ardından İHA uçuşunun kararlılığı onaylandıktan sonra İHA geliştirilmekte olan otonom uçuş algoritması ile test aşamasına geçiş yapılacaktır. Manuel gerçekleştirilen uçuş testleri güvenlik önlemleri alınarak gerçekleştirilmiş olup, bu testler sonucunda Tablo 8.2.2'de listelenen veriler elde edilmiştir.

Test Edilen Parametreler	Elde Edilen Değerler
Azami Kalkış Ağırlığı	2.650g
Uçuş Hızı	40 Km/saat (seyir)-70Km/saat (azami)
Azami Yatış Açısı	35°
Uçuş Süresi	22 Dakika
Azami Menzil	4 Km
Harekât sahası	4 Km
Haberleşme Menzili	4 Km
Güç Ağırlık Oranı	2.95

Tablo 8.2.2: Yapılan Uçuş Testlerinin Sonuçları

Uçuş Kontrol Listesi: Uçuş öncesi sisteme ait "Uçuş Kontrol Listesi" Tablo 8.2.2'de verilmiştir.

Hava Durumu	
Meteorolojik Raporların Kontrolü	Uygun
Yerel Rüzgar Durumu	<40 Km/sa
Yağış	Yok
Görüş Mesafesi	>3 Km
Uçuş Bilgileri	
Uçuş İzni	Verildi
Batarya Kontrolü	
Kumanda ve İHA Bataryası Fiziksel Kontrolü	Hasar Yok
Batarya Seviyelerinin Kontrolü	>%75
Batarya Bağı	Sağlam
Batarya Montajı	Yapıldı
Görsel Kontrol	
Motor Bağlantıları / Motorlar / Pervaneler	Hasar Yok
Seyrüsefer Işıkları	Aktif
Kol Bağlantı Noktaları	Yerinde ve Sağlam
GPS Işıkları	Yeşil
Kablolar	Hasar Yok
Kamera Merceği	Temiz
Telemetri Antenleri	Sıkı ve Yerinde
Sistem Kontrolü	
Uçuş Kartı Işığı	Yeşil

Yer Kontrol İstasyonu ile Bağlantı	Sağlandı
Görev Bilgisayarı	Aktif / İletişimde
İvme Ölçer	Kalibreli
Pusula	Kalibreli
GPS Uydu Sayısı	9'dan Fazla
Kalkış Alanı Kontrolü	
Kalkış Platformu	Temiz ve Düz
Kalkış Alanı Güvenliği	Güvenli

Tablo 8.2.2: Uçuş Kontrol Listesi

9. GÜVENLİK

İHA tasarımı yarışma şartnamesindeki güvenlik isterlerini karşılayacak şekilde yapılmıştır. Bu bağlamda, alınan güvenlik önlemleri şu şekilde sıralanabilir:

- Olası yaralanma ihtimallerine karşı hem çalışma hem de yarışma alanlarında ilk yardım çantası bulundurulacaktır.
- Herhangi bir sebepten çıkabilecek yangın durumlarına karşı hem çalışma hem de yarışma alanlarında yangın söndürücü bulundurulacaktır.
- Li-Po pilin taşınması esnasında oluşabilecek olumsuz durumların önüne geçilmesi için piller "Li-Po pil taşıma çantası" içerisinde bulundurulacaktır.
- İHA üzerindeki bileşenler, emniyet teli ile İHA çerçevesine ekstra güvenlik amacıyla sabitlenecektir.
- Sinyal kaybı durumlarında İHA'nın kontrolden çıkması riskini önlemek için uçuş kartında "fail-safe" modu kurulumu yapılmıştır.
- İHA güç dağıtım hattı yarışma kurallarına uygun şekilde sigorta kullanılarak koruma altına alınmıştır (bakınız Şekil 7.3.3).
- İHA üzerindeki vida, civata ve somunların yerleştirilmesi esnasında "vida gevşemezlik yapıştırıcısı" kullanılıp ilgili parçaların titreşimden gevşemesi durumu engellenmiştir.
- Kullanılan kabloların gerekli akımları ilgili gerilimde taşıyabildiği el ile yapılan hesaplarda kanıtlanmış olup, gerekli kalınlıktan 1 AWG daha kalın bir kablo tercih edilmiştir.
- Karbon fiber pervaneler piyasadaki diğer maddelerden imal edilen pervanelere göre (tahta, plastik vb.) hem daha dirençli hem de daha iyi dengeye sahiptirler. Karbon fiber pervane kullanımı ile İHA'nın uçuşundaki kararlılık arttırılmış ve itki sistemi kaynaklı oluşabilecek kazaların önüne geçilmiştir.

10. REFERANSLAR

[1] M. Müller, «ecalc.ch,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.ecalc.ch/xcoptercalc.php. [Erişildi: 22 06 2021].

[2] 3DR, «Ardupilot.org,» [Çevrimiçi]. Available: https://ardupilot.org/copter/docs/common-pixhawk-overview.html. [Erişildi: 13 06 2021].

[3] J. C. Redmon, «Darknet,» [Çevrimiçi]. Available: https://pjreddie.com/darknet/. [Erişildi: 22 06 2021].

[4] Nvidia, «Jetson Xavier NX,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.nvidia.com/tr-tr/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-xavier-nx/. [Erişildi: 13 06 2021].

[5] Radiolink, «M8N GPS,» [Çevrimiçi]. Available: http://radiolink.com.cn/doce/UploadFile/ProductFile/SE100Manual.pdf. [Erişildi: 13 06 2021].

[6] Ubiquiti, «Loco M5 Datasheet,» [Çevrimiçi]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/nanostationm/nsm_ds_web.pdf. [Erişildi: 14 06 2021].

[7] Radiolink, «R12DS,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.radiolink.com/r12ds. [Erişildi: 14 06 2021].

[8] Ubiquiti, «Rocket M5 Datasheet,» [Çevrimiçi]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/rocketm/RocketM_DS.pdf. [Erişildi: 14 06 2021].

[9] Radiolink, «AT10 II,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.radiolink.com/at10ii. [Erişildi: 14 06 2021].

[10] TP-LINK, « Network Switch,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.tp-link.com/uk/home-networking/soho-switch/tl-sf1008d/. [Erişildi: 14 06 2021].

[11] SunnySky, «SunnySky x4108s Motor Catolog,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.roboshop.com.tr/image/catalog/n11/k76-1.jpg. [Erişildi: 22 06 2021].

[12] S. A. Sanchez, «Comparsion of performance metrices of pretrained models for object detection,» %1 içinde *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020.

[13] «alexeyab84.medium.com,» [Çevrimiçi]. Available: https://alexeyab84.medium.com/yolov4-the-most-accurate-real-time-neural-network-on-ms-coco-dataset-73adfd3602fe. [Erişildi: 21 06 2021].