TEKNOFEST İSTANBUL

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

SAVAŞAN İHA YARIŞMA

KRİTİK TASARIM RAPORU

TAKIM ADI: VECHÜR İNARO

YAZARLAR: BATUHAN ARGUN, EMRE DOĞAN, EŞREF ŞAMİL ZAMANOĞLU, KEMAL YAZAR, SERGEN ERBAY, UMUT SERT, YAREN EMRE

PROJE ADI: S21

İÇİNDEKİLER

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ (5 PUAN) 3
1.1. Sistem Tanımı 3
1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri 3
2. ORGANİZASYON ÖZETİ (5 PUAN) 4
2.1. Takım Organizasyonu 4
2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe 4
3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ (15 PUAN) 5
3.1. Nihai Sistem Mimarisi 5
3.2. Alt Sistemler Özeti 9
3.3. Hava Aracı Performans Özeti 15
3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı 18
3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı 19
4. OTONOM KİLİTLENME (15 PUAN) 20
5. HABERLEŞME (15 PUAN) 27
6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI (10 PUAN) 34
7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU (10 PUAN) 36
7.1. Yapısal Entegrasyon 36
7.2. Mekanik Entegrasyon 37
7.3. Elektronik Entegrasyon 39
8. TEST VE SİMÜLASYON (15 PUAN) 40
8.1. Alt Sistem Testleri 40
8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi 44
9. GÜVENLİK (5 PUAN) 45
10. REFERANSLAR 46

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ

1.1. Sistem Tanımı

Döner kanat yapısında hekzacopter olarak tasarlanan savaşan insansız hava aracı (SİHA), hem tam otonom hem de manuel olarak kontrol edilebilecektir. Üzerinde bulunan yapay zeka destekli geliştirme kartı ve kamera ile çevredeki diğer SİHA'ları tespit ederek kilitlenme ya da kaçma manevralarıyla it dalaşı kabiliyetine sahip olacaktır. Ek olarak SİHA, uçuş esnasında alınan görüntüleri ve uçuş verilerini, radyo frekans sinyallerini alan - veren antenler ile gerçek zamanlı olarak yer istasyonuna aktaracaktır. Bu veriler ethernet üzerinden bağlı olunan yarışma sunucusu ile paylaşılırken yine sunucu üzerinden diğer SİHA'ların verileri alınarak hedef SİHA'ya doğru yönelim sağlanacaktır. 2.4 GHz RF kumanda sayesinde şifreli bir şekilde ve yeterli mesafede manuel kontrol gerçekleştirilebilmektedir.

1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri

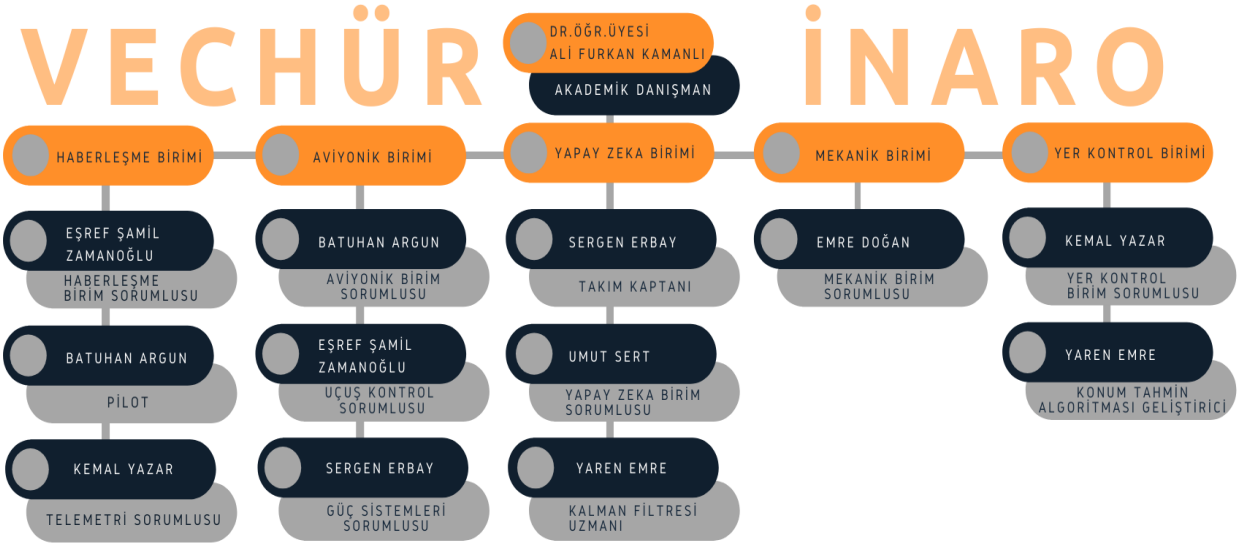
2 km rakımda görev icra edebilecek olan SİHA için, motorun çektiği akım ve bataryanın sahip olduğu 22000 mAh değeri göz önünde bulundurularak 17 dakika uçuş süresi hesaplanmıştır. Seçilen motorlar, yaklaşık 4 kg ağırlığa sahip SİHA'yı 15 m/s hıza çıkarabilecek güçtedir.

Minimum 2 MP çözünürlüklü, 170 dereceye varan geniş açılı, yüksek veri hızına sahip kamera kullanılacaktır. Alınan görüntüler, üzerinde bulundurduğu 48 tensor çekirdeği ile saniyede 21 trilyon işlem yapabilme kabiliyetine sahip geliştirici kiti üzerinde çalışmakta olan yapay zeka algoritması ile işlenecektir. Böylece hedef tespiti, manevra tahmini ve takip gibi yüksek işlem gücü gerektiren görevleri yerine getirebilecek altyapıya sahip bir SİHA geliştirilmiş olacaktır. Yapay zeka ile nesne tespiti sayesinde saniyede yaklaşık 30 kare alınabilecektir. Uçuş telemetri verilerinin yer istasyonuna 40 km menzilde, uçtan uca şifreli bir şekilde ve düşük gecikmeyle aktarılması planlanmaktadır. Ayrıca video aktarım sistemi 30 milisaniyenin altında gecikmelerle yaklaşık 4 km menzilde görüntü aktarımı yapabilecek şekilde tasarlanmıştır.

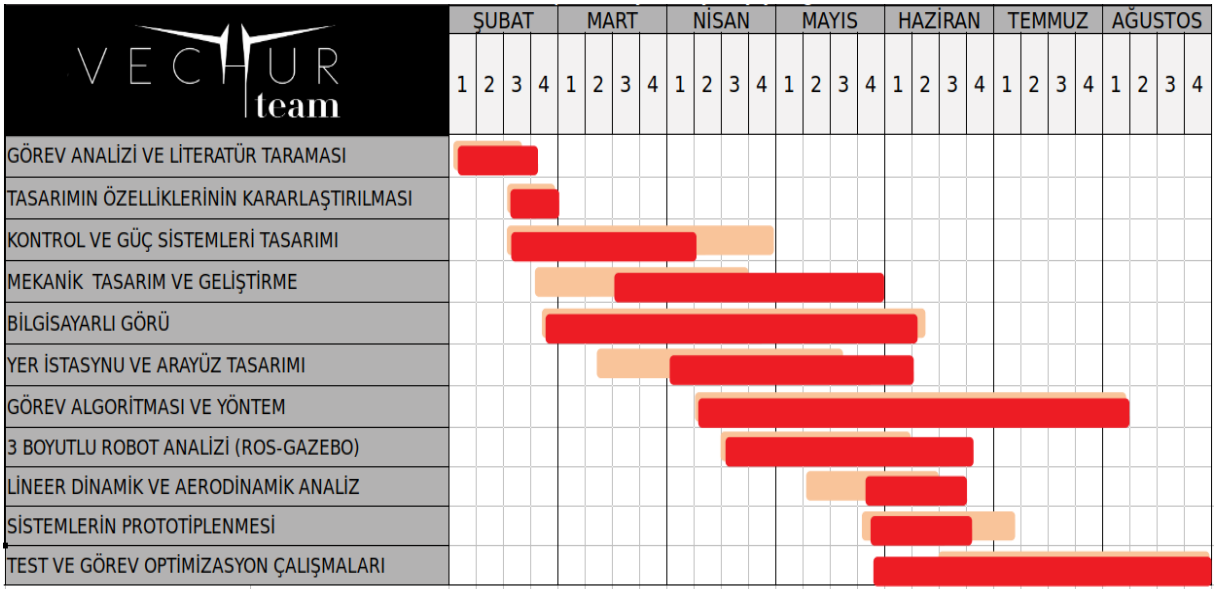
Yer istasyonundan alınan veriler ile etraftaki SİHA'lara yönelmenin yanı sıra kendi güzergahını kontrol edebilmesi amacıyla SLAM algoritmaları ile seyir takibi yapabilecek alt sistemleri barındıracaktır.

2. ORGANİZASYON ÖZETİ

2.1. Takım Organizasyonu



2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe



Haberleşme Birimi: Yarışma kapsamında yapılması beklenen görüntü aktarımı, telemetri haberleşmesi ve diğer ara birimlerin birbiri ile haberleşmesi konusunda uygulamaların yapıldığı birim.

Aviyonik Birimi: Prototiplenen SİHA uçuş kontrol, navigasyon, hareket ve dengeleme gibi alt sistemlerin çalışması konusunda uygulamaların yapıldığı birim.

Yapay Zeka Birimi: Bilgisayarlı görü, kısa veya uzun süreli hafıza modeli ve yapay zeka destekli navigasyon tahmini konularında uygulamaların yapıldığı birim.

Mekanik Birimi: Döner kanatlı SİHA tasarım ve optimizasyon çalışmaları hakkında uygulamaların yapıldığı birim.

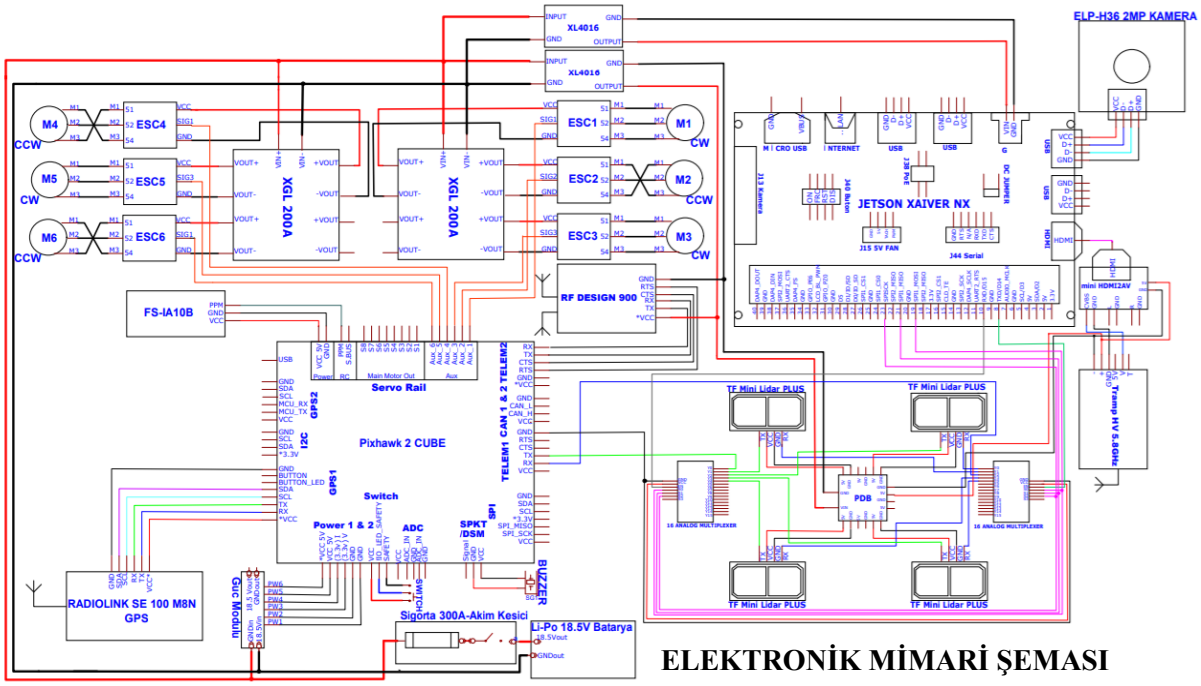
Yer Kontrol Birimi: SİHA'ya ait görüntü ve uçuş verilerinin toplanıp izlenmesini sağlayan arayüz tasarımları ve sunucu ile veri alış-verişi yapılmasına yönelik uygulamaların yapıldığı birim.

MALİYET TABLOSU			
ÜRÜN	MARKA	ADET	FİYAT (TL)
Geliştirici Kiti	NVIDIA Jetson Xavier NX Developer Kit + NVME SSD + 138G Hafıza Kartı + Metal Kutu	1	6856,04 ₺
Kontrol Kartı	Pixhawk The Cube Orange	1	3748 ₺
GPS	Radiolink Se100 M8n Gps ve Tutucusu	1	386,65 ₺
Fırçasız Motor	Racerstar AirA 2508 1200Kv	6	108×6=648 ₺
Batarya	ZDF LiPo pil 5S 18.5V 22000mAh	1	1718,18 ₺
ESC	HGLRC Forward FD50A 50A 2-6S Blheli 32	6	195.04×6= 1172,4 ₺
Telemetri	RFDesign RFD 900 Plus	1	4691,13 ₺
Kumanda ve Alıcısı	Flysky FS-i6X ve FS-iA10B	1	621,6 ₺
Görev Kamerası	ELP 01M-L36	1	737,9 ₺
Video Reciever	Furious Furiousfpv True-D	1	617,14 ₺
Video Transmitter	Immersion RC Tramp HV	1	372.43 ₺
Güç Dağıtım Kartı	XGL 200A	2	62×2=124 ₺
Güç Modülü	Pixhawk Güç Modülü XT60	1	92,42 ₺
Güç Regülatörü	Emay XL4016	2	54,9×2=109,8 ₺
Lidar	TFMini Plus	4	635,04×4=2540,16 ₺
ADC	BST Easy Capture Kart	1	145 ₺
DAC	HDMI2AV Converter	1	90,90 ₺
Pervane	80X45 Pervane	6	12,16×4=50,4 ₺
Multiplexer	Analog Dijital Çoklayıcı Multiplexer	2	8.69x2=17,38
Gövde	Karbon Fiber Plaka + Kesim	1	3000 ₺
Turuncu renk ile belirtilen malzemeler kritik tasarım raporunda değişen malzemelerdir.			**TOPLAM= 27739,53₺**

- Ön tasarım raporunda hazırlanan maliyet tablosunda kullanılan malzemelerin değişmesinden kaynaklanan 8678,49₺ artış görülmektedir.

3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ

3.1. Sistem Mimarisi



ELEKTRONİK MİMARİ ŞEMASI

3.1.1. Fırçasız Motor

SİHA'nın itki kuvvetini sağlayan motor seçiminde, tasarlanması planlanan hekzacopterin yaklaşık ağırlığının 4 kg olması esas alınmıştır. SİHA ağırlığı, rüzgar ve ivmelenme gibi parametreler göz önünde bulundurularak yeterli itkiyi üretebilen **Racerstar AirA 2508-1200kv** modeli seçilmiştir.

3.1.2. Batarya

Batarya seçiminde yarışmada istenen uçuş süresini karşılayabilecek kapasite değerine ve sistemin harcadığı güç değerlerine bakılarak ürün seçimi yapılmıştır. Bu şartlar göz önünde bulundurularak **ZDF** markasının **22000 mAh 5S 25C** ürünü seçilmiştir.

Ön tasarım aşamasında batarya olarak Turnigy markasının **16000mAh 4S 12C** ürünü kullanılması hedeflemekteydi. Yapılan araştırmalar ve hesaplamalar sonucunda batarya değişikliğine gidilmiştir. Artan voltaj değeri ile motorun maksimum itki kuvveti artacaktır. Bu sayede olası dış etken ve ivmelenmelere karşı daha iyi tepki verebilecektir.

3.1.3. Elektronik Hız Kontrolcüsü

Fırçasız DC motorların kontrol edilebilmesi amacıyla kullanılan ESC'lerin motora uygun gerilimi ve akımı karşılayabilecek **HGLRC Forward FD50A 2-6S Blheli_32** ürünü seçilmiştir. Yapılan batarya değişimi ile motorların çekeceği maksimum akım değeri arttığından ESC değişikliğine gidilmiştir.

3.1.4. Dağıtım ve Regülasyon Elemanları

Motor, kontrol kartı, geliştirici kiti vb. donanımların bataryadan beslenebilmesi için güç dağıtım kartı, güç modülü ve gerilim regülatörü gibi ekipmanlara ihtiyacı vardır. Güç dağıtım kartı olarak **XGL** markasının **200A** modeli, güç modülü olarak **APM** 30V 90A modeli ve gerilim regülatörü olarak **Emay** markasının **XL4016** modeli kullanılacaktır.

3.1.5. Uçuş Kontrol Kartı

Yarışma kuralları incelendiğinde, kontrol kartından beklenen özellikler; manuel/otonom uçuşu desteklemesi, dahili ve harici sensörler ile tam donanımlı uçuş sağlaması, verileri anlık olarak işleyebilecek yeterli işlem gücünün bulunması olarak özetlenebilir. Bu özellikleri karşılayacak olan uçuş kontrol kartı olarak **Pixhawk The Cube Orange** ürünü seçilmiştir.

3.1.6. Güç Modülü

Temel olarak uçuş kontrol kartının beslenmesi, S21'in gerilim ve akım ölçümü için kullanılması gerekmektedir. Ancak S21 300A isteğini karşılayabilecek güç modülü bulunmadığından yalnızca gerilim ölçümü ve kontrolcünün beslenmesi için kullanılması yeterli olmaktadır. Bu hususta **APM 30v 90A** kullanılacaktır.

3.1.7. GPS Modülü

Yarışmadaki beklentilere göre ihtiyaç duyulan GPS özelliğinin konum bilgisinin maksimum doğrulukta (hassasiyette) aktarması beklenmektedir. Bu ihtiyaç doğrultusunda düşük hata payına sahip **Radiolink Se100 M8n GPS** modülü seçilmiştir.

3.1.8. Telemetri

Telemetri, SİHA'ya ait parametrelerin yer kontrol istasyonuna aktarılması ve SİHA'nın istasyondan kontrol edilebilmesi için kullanılan bir haberleşme modülüdür. Kullanılacak modül, haberleşme menzili açısından yeterli olmalı ve uçtan uca şifrelenerek haberleşme güvenliği sağlamalıdır. Bu beklentileri karşılayabilecek olması sebebiyle **RF Design 900+ telemetri** modülü kullanılacaktır.

3.1.9. Kumanda ve Alıcısı

Kumanda ve alıcısında aranan temel özellikler minimum 6 kanallı olması ve alıcının uçuş kontrol kartı haberleşme protokolü olan S-BUS ile uyumlu olmasıdır. İhtiyaçlar doğrultusunda kullanılacak olan kumanda **FlySky FSİ-6x ve alıcısı FS-İA10B'dir.**

3.1.10. Geliştirici Kiti

Geliştirici kiti, S21'in rakip SİHA'lara kilitlenme ve kilitlenmelerden kaçınma görevlerini gerçekleştirmesini sağlayan yazılımların çalıştırılacağı ana beyindir. Bu görevlerin gerçekleştirilmesinde çeşitli yapay zeka yapıları çalıştırılacağı için yüksek CPU, GPU, TPU ve RAM ihtiyacı vardır. Bu ihtiyaçları karşılayabilecek **Jetson Xavier NX** kitinin kullanılmasında karar kılınmıştır.

3.1.11. Kamera

Rakip SİHA'ların algılanmasında kullanılacak olan kamera donanımı; renk doygunluğu, ışık odağı ve yüksek hızlı veri transferi gibi özellikleri barındırmalıdır. Bu özellikler göz önünde bulundurulduğuna **ELP 01M-L36** kamerası kullanılması uygun görülmüştür.

Ön tasarım aşamasında iki adet kamera kullanılması düşünülmüştür. ELP 01M-L36 modeli tespit ve hareketin yapılacağı hareket kamerasıdır. Eachine Wizard TS215 modeli ise yer istasyonuna aktarılacak olan görüntünün kaynağı olan kameradır. ÖTR aşamasında 2 ayrı kamera kullanılmasının sebebi Jetson NX'in dijital kameralar ile uyumlu olmasına karşın yer istasyonuna yapılacak olan canlı video aktarım görevinin kompozit video formatında istenmesidir. KTR aşamasına kadar yapılan araştırmalar sonucunda Jetson Xaiver NX'in dijital görüntü çıkışlarından analog görüntü formatı bir DAC modülü kullanılarak aktarımın gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür. Bu sayede gereksiz maliyetten kurtulmuş olunacak ayrıca yer istasyonuna aktarılacak olan görüntüde sunucu ile paylaşılması zorunlu olan kilitlenme durumu ve kilitlenme dörtgeni bilgileri S21'in ana bilgisayarından gönderilebilecektir.

3.1.12. Video Alıcı-Verici

Kamera görüntüsünün gerçek zamanlı olarak yer istasyonuna aktarma işlemi için yüksek frekanslı radyo sinyalleri aracılığıyla analog haberleşme sağlayan FPV video aktarım cihazlarının kullanılması düşünülmektedir. Kullanılacak olan video verici ürünü **ImmersionRC** markasının **Tramp HV** modelidir. Video alıcı olarak ise seçilen video verici ile uyumlu çalışan **Furious FPV** markasının **True-D 4.0** modeli kullanılmaktadır.

Ön tasarım raporunda Video aktarım cihazları olarak tercih edilen TX5258 ve ROTG02 ürünleri fiyat performans ürünleridir. True-D 4.0 ve Tramp HV ürünlerinin aksine üretim ve tasarımdan kaynaklanan hatalarla sıkça karşılaşılabilmektedir. Bu nedenle ÖTR'de seçilen ürünlerin değiştirilmesine karar verilmiştir.

3.1.13. Mesafe sensörü

Seçilen optik mesafe sensörünün gün ışığında yeterli performans vermesi gerekmektedir. Güneş doğrudan nüfuz edebildiği bölgeleri 30.000 - 130.000 lüks aydınlatmaktadır. Doğrudan güneş ışığı almayan bölgelerde ise gündüz vakti 10.000 - 30.000 lüks aydınlatma seviyelerinden bahsedilebilir. Bu nedenle güneş ışığı optik cihazların çalışmasında sıkıntılar çıkarmaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda güneş ışığında yeterli performans verebilen **Benewake** markasının **TFMini Plus** modeli tercih edilmiştir.

3.1.14. Dijital Çoğaltıcı

Dört adet kullanılması planlanan mesafe sensörlerinin veri alma-aktarma işlemlerini yapabilmesi için geliştirici kitinin RX, TX pinlerine bağlanması gerekmektedir. Kullanılan J**etson Xavier NX** kitinde birer adet RX, TX pini vardır. Bu yüzden dijital veriyi kontrol edip geliştirici kitine aktaran bir donanımın kullanılması zaruridir. İki adet 16 kanal analog dijital çoklayıcının kullanılmasıyla bu sorunun ortadan kaldırılması planlanmaktadır.

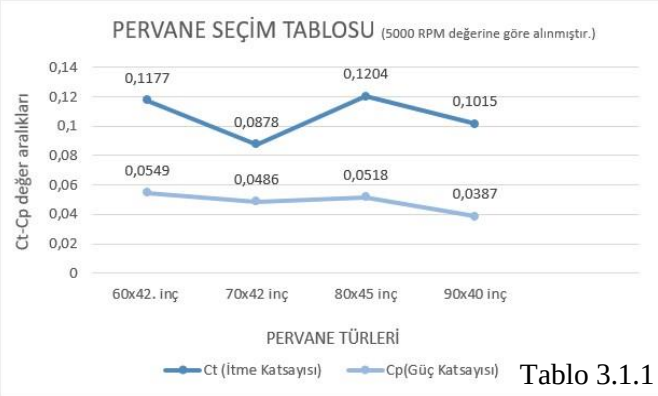
3.1.15. Dijital-Analog Çevirici

S21 ana bilgisayarından yer istasyonuna aktarılacak dijital görüntüyü kompozit video formatına çevirmek amacıyla kullanılan bir modüldür. Bu görevi gerçekleştirmek üzere piyasada HDMI görüntüyü analog video formatına çeviren **Mini HDMI2AV Video Converter** ürünü seçilmiştir.

3.1.16. Analog-Dijital Çevirici

Yer istasyonuna FPV video aktarım cihazlarıyla aktarılan görüntünün Analogdan dijitale çevrilmesi ve Yer kontrol bilgisayarına uygun formatlarda dönüştürülmesi amacıyla **BST Easy Capture Kart USB 2.0** ürünü kullanılmaktadır.

3.1.17. Pervane:



Tablo 3.1.1

Madde 2.2 de kullanılan motora göre, pervane seçiminde RPM değeri (5000 RPM) dikkate alınarak Tablo 3.1.1 hazırlanmıştır. Motor üretici firmasının yaptığı ölçümler sonucunda 60x42-90x40 inç boyutları arasında pervane seçimi yapılması önerilmiştir. Tabloda itki katsayısı ve güç katsayısı olmak üzere iki parametre öne çıkmaktadır. İtki katsayısı (C_t) pervaneden elde edilecek itki hesabında önemli bir rol oynamaktadır. Pervane itki hesabında C_t katsayısı denkleme çarpım olarak girdiği için C_t değerindeki artış itme kuvvetini artıracaktır. Diğer bir parametre ise pervane güç katsayısıdır (C_p). Pervane güç katsayısı pervaneyi döndürmek için motorun uyguladığı gücün katsayısıdır. Pervane seçim tablosu incelendiğinde itki katsayısı ve güç katsayısı yüksek olan GemFan 80x45 pervane seçilmiştir.

3.2. Alt Sistemler Özeti

3.2.1. Uçuş Kontrol Ünitesi: Üzerinde bulunan sensörler ile tam otonom uçuşu sağlayan ve manuel uçuşu destekleyen sistem ünitesidir. Bu ünitenin içerisinde, **uçuş kontrol kartı ve GPS modülleri** vardır.

Uçuş Kontrol Kartı: Gelişmiş 32-bit STM32F427 ARM Cortex M7 yüksek performanslı işlemcisi ile sensörlerden ve diğer uçuş birimlerinden, NuttX RTOS işletim sisteminde toplanan gerçek zamanlı bilgileri derleyerek güvenli bir otonom/manuel uçuş imkanı sunmaktadır. Titreşim ve dış etkenlerden izole edilmiş küpün içerisinde SPI protokolü ile haberleşen 3 adet IMU ve 2 adet barometre sensörü, yüksek doğruluklu ve gerçek zamanlı bilgi sağlamaktadır. 8 adet ana ve 6 adet yardımcı çıkış pinlerinin yanı sıra UART, CAN, I2C, USB, DSM ve S-BUS gibi haberleşme protokollerini de desteklemektedir. Pixhawk Cube uçuş kontrol kartı bünyesinde, özel işlemci ve bağımsız güç kaynağı ile uçuş sırasında fail-safe ve manuel geçersiz kılma gibi protokoller içeren bir entegre yedekleme sistemi bulunmaktadır.

GPS: SE100 M8N GPS modülünün madde 3.1.6'da istenen konum doğruluğu 50 cm hassasiyete kadar sağlamasıyla yüksek konumlandırma doğruluğu vermektedir. Ayrıca çoklu konumlandırma sistemlerini desteklemektedir.

3.2.2 Güç ve İtki Ünitesi: SİHA'nın elektronik ekipmanlarının ihtiyaç duyduğu gücü sağlayan ve uçuş için gerekli itki kuvvetini oluşturan sistem ünitesidir. Bu sistem içerisinde **fırçasız motor, ESC, güç dağıtım kartı, güç modülü, güç regülatörü, sigorta ve batarya** vardır.

Fırçasız Motor: Esas alınan ağırlık göz önünde bulundurulduğunda aracın havada asılı kalabilmesi (hover pozisyonu) için her bir motorun 669 gr itiş sağlaması gerekmektedir. Olası dış etken ve ivmelenmelere cevap verebilmesi için motorların toplam itiş gücü, hava aracı ağırlığının minimum 2 katı (8000 gr) olması gerekmektedir. Kullanılması hedeflenen batarya-motor-pervane kombinasyonu sayesinde SİHA ağırlığının yaklaşık 4 katı kadar fazla itiş alınacaktır. Uçuş süresi düşünüldüğünde motorların veriminin (g/W) yüksek olması beklenmektedir. Racerstar AirA 2508-1200Kv ürününe ait tablolar incelendiğinde istenen itiş kuvvetlerini oldukça verimli (6 g/W) bir şekilde karşıladığı görülmektedir.

ESC: HGLRC Forward FD50A Blheli_32, 7.4-22.2V aralığında gerilim ile çalışmakta ve 50A'e kadar motor kontrol edebilmektedir. Piyasada kullanılan elektronik hız kontrolcü yazılımları arasında, sunduğu değiştirilebilir parametreler ve yüksek hızlı protokolleri desteklemesi ile öne geçmektedir. 32 bitlik mikrokontrolörü sayesinde dshot1200 hızlarına kadar desteklemektedir.

Güç dağıtım kartı: XGL 200A güç dağıtım modülü 200A akım değerine kadar dayanabilmektedir. Sistemin çekeceği maksimum akım değeri 300A olduğundan dolayı modülden 2 adet kullanılacaktır.

Güç Modülü: Pixhawk Cube ile uyumlu APM 30v 90A modeli kullanılmıştır. Güç modülü sadece Pixhawk Cube beslemek ve batarya gerilimini ölçmek için kullanılacaktır. Ana hat üzerinde kullanılmama sebebi sistemin toplam çekeceği maksimum akımın 300A olmasıdır. Piyasa

araştırması yapıldığında bu değerde bir güç modülü bulunamadığından dolayı ana hat üzerinde kullanılmamıştır.

Güç Regülatörü: Emay XL4016 modülü Jetson Xavier NX, mesafe sensörü ve video verici için uygun gerilimi sağlayacaktır. 1.25 - 35V aralığında çalışabilen ürün fansız 8A kadar fanlı ise 10A çıkış akımına sahiptir. 2 adet kullanılacaktır.

300A Sigorta ve Akım Kesici: Elektronik ekipmanların aşırı akım çekmesi durumunda elektronik devrelerin korunması ve herhangi bir yangın durumunun önüne geçilmesi amacıyla devrenin çektiği akıma tolerans değeri eklenerek 300A'lık sigorta kullanılması gerekmektedir. Enerjinin kolayca kesilmesi için kullanılması gereken akım kesici ihtiyacını da karşılamaktadır.

Batarya: 18.5V'da çalıştırılacak olan sisteminin çekeceği ortalama akım değeri yaklaşık 60A'dir. denklem 3.3.1'de hesaplamalara göre uçuş süresinin 15 dakika olması için bataryanın kapasite değeri minimum 15000 mAh olmalıdır. Seçilen batarya için minimum C değeri denklem 3.3.2'deki denklemde 13C olarak hesaplanmıştır. Kullanacak olan ZDF 22000 mAh 5S 25C ürünü bu istekleri karşılamaktadır.

Telemetri: RF Design 900+, SİHA'ya ait parametrelerin yer kontrol istasyonuna aktarılması ve SİHA'nın istasyondan kontrol edilmesi için kullanılan bir haberleşme modülüdür. Kullanılacak modül, haberleşme menzili açısından yeterli olmalı ve görev anında diğer SİHA'ların veri trafiğinden etkilenmemesi için uçtan uca şifrelenerek haberleşme güvenliği sağlamalıdır.

Video Verici: Tramp HV, yüksek menzil, düşük gecikme ve veri aktarım hızı açısından diğer video verici modüllerine üstünlük sağlamaktadır. ImmersionRC markasının Tramp HV modelli olan video verici 5.8 GHz frekanslarında 1mW - 600mW değerleri arasında sinyal gücü üretimi ile 2 km menzile sahiptir. 40 kanal desteği ile aynı ortamda birden fazla video aktarım cihazının kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Dijital – Analog Çevirici: HDMI görüntüyü analog video formatına çeviren Mini HDMI2AV Video Converter ürünü NTSC, PAL ve SECAM formatlarında video aktarmaya elverişli bir modül olmasının yanında 40gr ağırlığı ile SİHA faydalı yük ağrılığından çok fazla harcanmaması avantajları arasındadır.

3.2.3. Manuel Kontrol Ünitesi: Pilota SİHA'nın kumanda ile kontrolünü sağlama imkanı veren ünitedir. Bu sistem içerisinde **kumanda ve alıcısı** vardır.

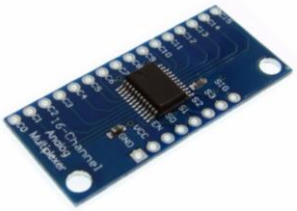
Kumanda ve Alıcısı: Kumandada aranan temel özellik ise minimum 6 kanallı olması (verilen görevleri yerine getirebilecek donanım için), 2.4 GHz frekanslı olması (telemetri modülü ve uçuş kontrol kartının sinyal işleme amacına uygunluğu açısından), güvenlik açısından şifreli kimlik tanıma sistemi olmasıdır. Alıcıda aranan temel özellik; kumanda verici ile uyumlu olması ve sinyalin kayıpsız şekilde uçuş kontrol kartına iletebilmesidir. İhtiyaçlar doğrultusunda kullanılan kumanda FlySky FSİ-6x ve alıcısı Flysky FS-İA10B'dir. Sistemlerin özellikleri; Bant genişliğinin 2.40GHz ile 2.47GHz arasında değişmesi, yüksek verimli omni yönlü antenin paraziti azaltarak güvenilir bağlantıyı sağlaması, PPM sinyal sistemini kullanarak hem pil ömrünü önemli ölçüde arttırması hem de sinyal alışverişini maksimum doğrulukta iletmesidir. Bunlarla beraber on kanal alıcısı mevcuttur.

3.2.4. Görev İşletim Ünitesi: Görev isterlerinin, uçuş kontrol ünitesi aracılığıyla

otonom olarak yerine getirilmesini sağlayan ünitedir. Bu sistem içerisinde, **mesafe sensörü, dijital çoğaltıcı, kamera ve geliştirici kiti** bulunmaktadır.

Mesafe Sensörü: Görev anında diğer SİHA'larla çarpışmayı engellemek için seçilen mesafe sensörünün algılama menzili yaklaşık 12 metredir. Oluşturduğu mesafe verisinin 0.1-6 metre arasında ±5 cm, 6-12 metre arasında ise ±%1 metre gibi oldukça küçük hata payı vardır. Veri elde etme hızı ise saniyede 1000 defaya kadar ulaşmaktadır.

Dijital Çoğaltıcı: Kullanılması planlanan 16 kanal analog dijital çoklayıcının anahtarlama hızı 9ns ve veri aktarım hızı ise 10 MHz'dir. Bu sayede mesafe sensörlerinin veri aktarımına darboğaz oluşturmayıp madde 3.1.13'deki tüm isterleri karşılamaktadır.



Kamera: Rakip sihaların algılanmasını için seçilen ELP 01M-L36 model kameranın renk doygunluğu, ışık odağı ve yüksek hızlı veri transferi gibi özellikleri bulunmaktadır. CMOS görüntü sensörünün, yüksek kalitede görüntü, yüksek veri yeteneği ve 2 megapiksel sabit odağı bulunur ve ayrıca pozlama kontrolü, beyaz dengesi ve parlaklık algılama gibi otomatik kontrol işlevlerine de sahiptir.

Geliştirici Kiti: Tespit ve hareket yazılımlarının yapılacağı karttır. Bu yazılımlarının gerçekleştirilmesinde yüksek işlem yapabilme kapasitelerine ihtiyaç vardır. Tablo 3.3.4'te üç farklı geliştirici kartı dört temel özellikleri birbirleri ile karşılaştırılması sonucunda Jetson Xavier NX kitinin kullanılmasına karar verilmiştir.

ÜRÜN	AI Performans	GPU	CPU	Bellek
JETSON NANO (4GB)	472 GFLOPs (0,5 TFLOPs)	128-core NVIDIA Maxwell™ GPU	Broadcom ARM Cortex 72	4 GB
RASPBERRY Pİ 4	-	Broadcom VideoCore 6 (32-bit)	Quad-Core ARM® Cortex®-A57 MPCore	4 GB
JETSON XAİVER NX	21 TOPs	384-core NVIDIA Volta™ GPU + 48 Tensor Cores	Quad-Core ARM® Cortex®-A57 MPCore	8 GB

TABLO 3.3.4

AI performans: Bilimsel veya gerçek zamanlı işleme uygulamalarında saniye başına kayan nokta işleme gücüdür.

GPU: Paralel işlem yapabilme yeteneği sağlayan birimdir.

CPU: Merkez işlem birimdir.

RAM: Kısa süreli bellek görevi gören birimdir.

3.2.5. Yer Kontrol Ünitesi: SİHA'nın tüm bilgilerini yer istasyonuna aktaran ayrıca sunucudaki veriler doğrultusunda yapılacak işlemlerin kararını veren sistemdir. Bu sistem içerisinde video alıcı, analog dijital dönüştürücü ve telemetri bulunmaktadır.

Video Alıcı: True-D 4.0 alıcı modülü tercih edilmesindeki en temel sebep analog video aktarım teknolojisinin sahip olduğu yüksek fps ve düşük gecikme avantajlarının yanında yine bu teknolojinin sahip olduğu sinyalde yaşanan parazitlere karşı sinyal işleme algoritmaları ile çözüm üretebilecek kalitede donanım desteği bulundurmasıdır. Ayrıca çalışma bandı, alıcı hassasiyeti, sinyal eşik değeri gibi parametreleri tek bir buton ile değiştirebilecek kullanıcı kolaylığı sunmaktadır. Madde-7'de yapılan hesaplamalar sonucunda bahsi geçen video alıcı ve verici ikilisinin kullanılması yeterli görülmüştür.

Analog-Dijital Çevirici: Yer kontrol bilgisayarına düşük gecikmeyle aktarım gerçekleştirmeyi sağlayan **BST Easy Capture Kart USB 2.0** ürünü NTSC ve PAL video formatlarında görüntü aktarımı gerçekleştirmektedir.

Telemetri: 902-928 MHz veya 865-870 MHz frekans bandında çalışan uzun menzilli radyo veri modemi, RFD900+ S21 ile yer istasyonu arasında oldukça güvenilir bir bağlantı kurulmasına imkan sağlamaktadır. 30 dBm sinyal gücü modunda 1A akım çekmektedir. Ayarlanabilir veri aktarım hızı ile (baudrate) 224kbps değerine kadar desteklemektedir. Kullanılacak 3dBi kazanca sahip antenler ile birlikte 40km'ye kadar veri aktarım menzili sağlaması beklenmektedir.

3.3. Hava Aracı Performans Özeti

Boyutlarına karar verilen 6 kanatlı S21 sisteminin ağırlığı düşünüldüğünde hover motor başına yaklaşık 669 gram itki kuvveti düşmektedir. Bu kuvvetin seçilen motorlar ile sağlandığı Tablo 3.3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3.1 — SİHA İTKİ HESABI

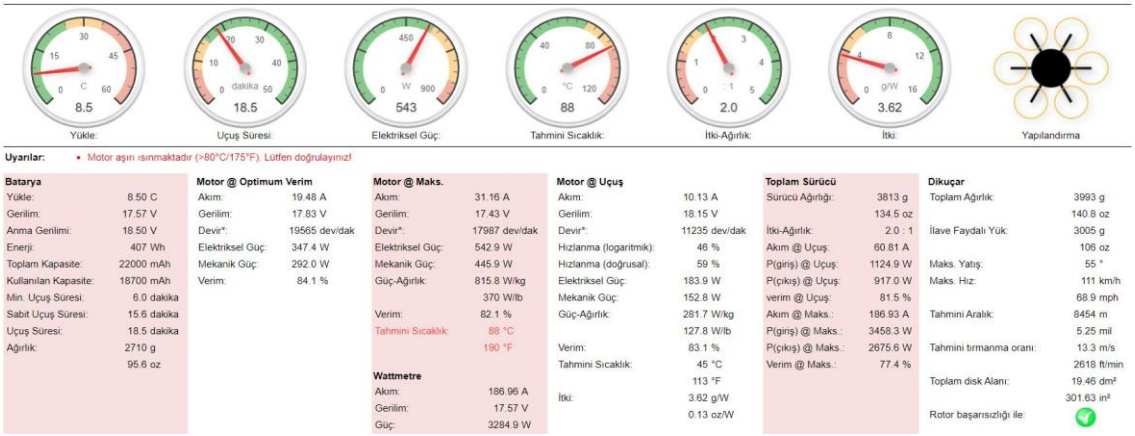
Net İHA ağırlığı :3999,8 gram	İtki Hesabı Formülü : (T) $= C_t \times \rho \times n^2 \times d^4$				
Motor Kv : 1200 kV	Bir Saniyedeki Devir Sayısı Formülü (n): $\frac{Motor\ kV\ değeri \times Maksimum\ Yarı\ Volt}{Saniye}$				
Pil : 4.2x6= 25,2 V (maksimum volt)	$T_{gereken}$ Kuvvet Formülü= $\frac{IHA\ Toplam\ Ağırlığı \times Yer\ Çekimi\ İvmesi}{Motor\ Sayısı}$				
Pervane : 12x38	$T = (0,1204) \times (1.225) \times (252)^2 \times (0,20)^4 =$ 14,9 N				
VECHUR team	$T_{gereken} = 3999,8x\frac{(9,81)}{6} = 6,539$ N				n: (1200 x 12,6) / 60 = 252 RPS
	T: İtki Kuvveti	Ct:Pervane itki sabiti	ρ: Havanın Yoğunluğu	D: (Pervane çapı(m)	n: Bir saniyedeki devir sayısı
		Ct : 0,1204	ρ: (1,225 Kg/m3)	D: 0,20 metre	n: 252 RPS

Denklem 3.3.1 ve 3.3.2'de gösterilen hesaplamalar ile bataryanın S21'e gereken uçuş süresi ve maksimum akımı sağladığı kanıtlanmıştır.

Denklem 3.3.1 Kapasite=$\frac{60\times15}{60}$+(1 + (0.15)) = 17500 mAh

Denklem 3.3.2 C = $\frac{300}{22}$Ah = 13 C

Ayrıca Şekil 3.3.1'de gösterilen ECALC arayüzünden yapılan hesaplamalar kullanılarak gereken itkinin yaklaşık 3 katının üretildiği görülmüştür.

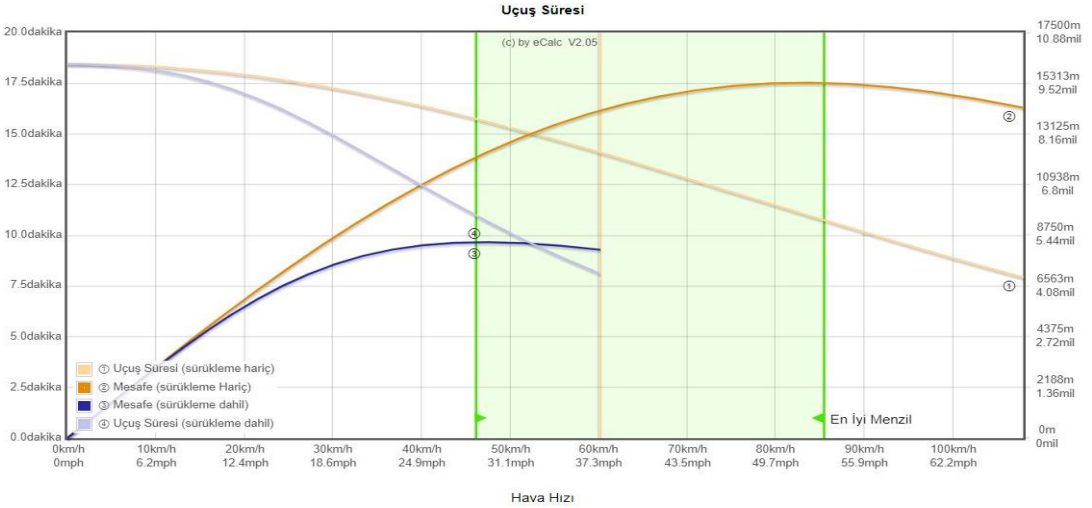


Şekil 3.3.1

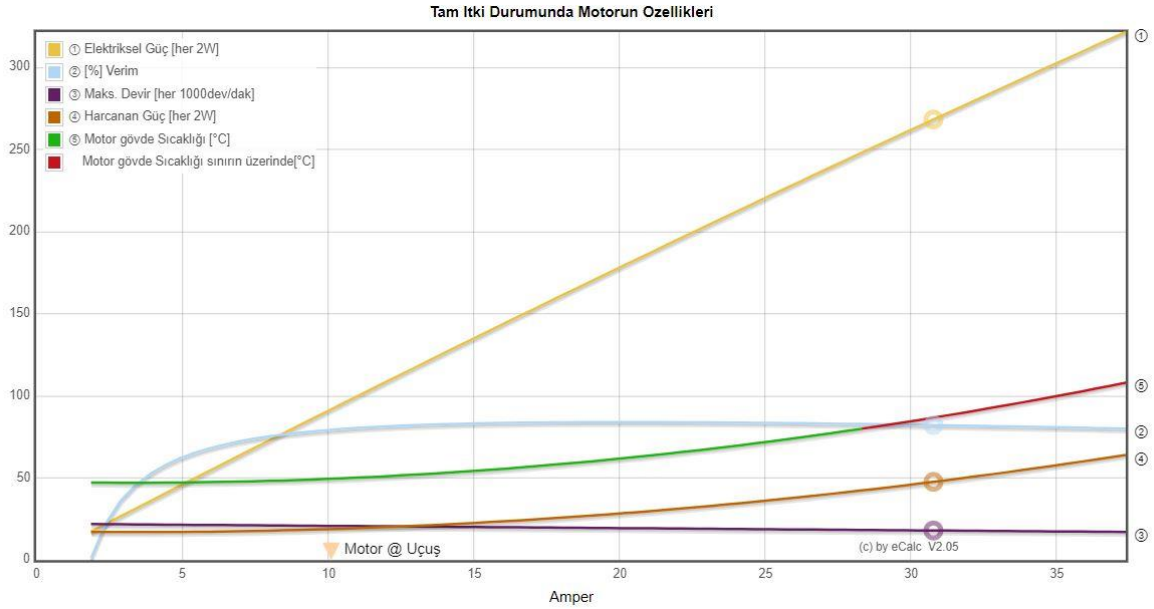
Pratikte ise Resim 3.3.1'de gösterildiği gibi thruster yardımı ile testler yapılmış ve teorik sonuçlara yakın değerlerin batarya ve motorlar tarafından sağlandığı gözlemlenmiştir. Motorların görev süresi boyunca ortalama bir kuvveti üretmesi sağlanarak teoride hesaplanan sıcaklık, akım, itki ve harcanan güç değerlerinin pratikte elde edilebilirliği test edilmiştir.

Resim 3.3.1

Bu değerler, irtifa değiştirme ve manevralar gerçekleştirecek olan S21'in batarya-motor performansı olarak da değerlendirilmiştir. Bu motorlarla uyumlu ESC'lerin gereken değerlerde ısınma ve güç aktarım problemi olmadığı görülmüştür. İstenilen uçuş hızı ve süresince motor, ESC ve diğer devre elemanlarını minimum 15 dakika havada tutacak olan bataryanın testleri yapılmış ve gerekli testler sonucunda tümleşik SİHA devresini 17 dakika havada tutabilecek kapasitede olduğu görülmüştür.



Şekil 3.3.2

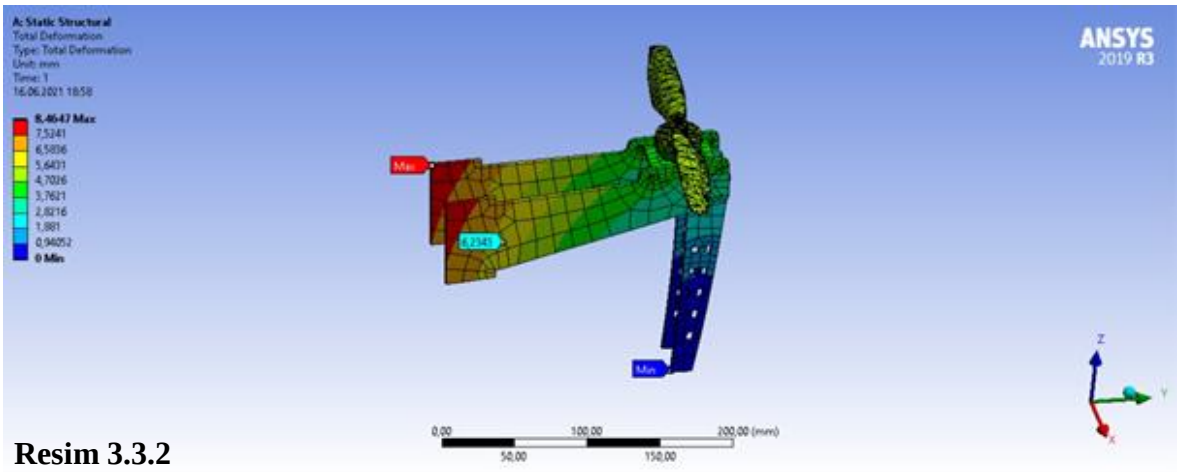


Şekil 3.3.3

3.3.1 SİHA ANALİZLERİ

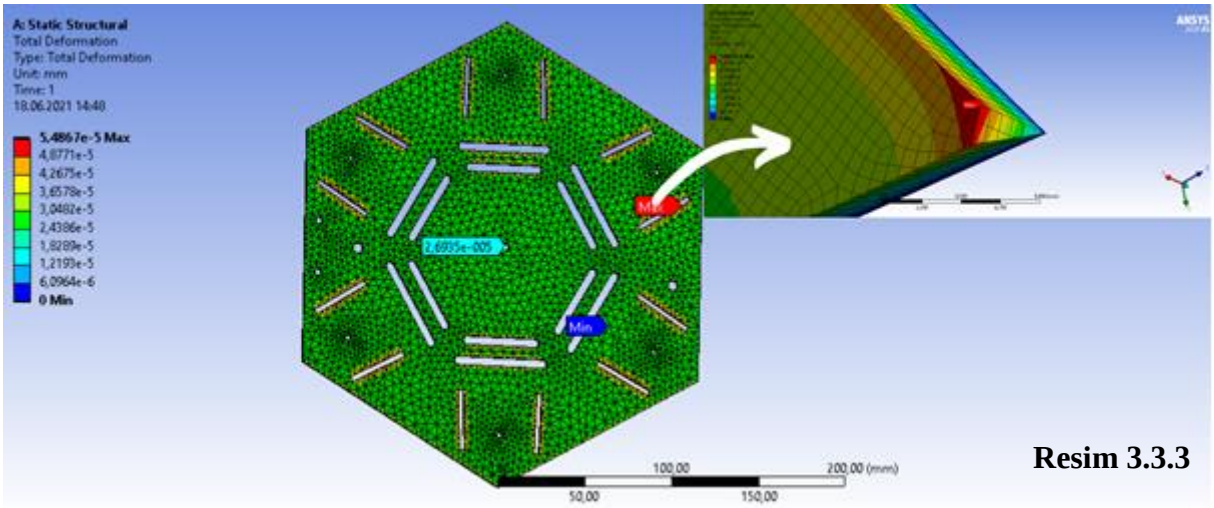
S21'in statik ve akış analizleri ANSYS programı yardımıyla yapılmıştır. S21'de kullanılacak olan karbon fiberin ortalama yoğunluğu ve ağırlığı sırasıyla 1.76 g/cm^3 ve 0,198 g/m^2 dir. Üretici firma tarafından karbon fiberin çekme mukavemeti 3,530 MPa, elastisite modülü 230 GPa ve nihai gerilimi %1,5 verilmiştir. **Resim 3.3.2**'de verilen bilgilere göre ANSYS malzeme kütüphanesinden elastisite modülü 230 GPA olan karbon fiber seçilmiştir.

S21'in kolları, statik analizinde motorun vereceği itkiye bağlı olarak kalkış ve uçuş anındaki (tam gaz olarak alınmıştır) maksimum kuvvet, motorun alt tarafından alınmıştır. Maksimum kuvvet uygulandığı anda kollarda en fazla 8,46 Mpa'lık kuvvet oluştuğu Resim 3.3.2'de gösterilmektedir. Kolların karbon fiberin gerilme dayanımını fazlasıyla karşıladığı analizler sonucunda görülmektedir.



Resim 3.3.2

Tablaların statik analizleri Resim 3.3.3'de verilmiştir. Tablaların maksimum kuvvetini hesaplarken tüm elektronik komponentlerin ve kolların gövdeye uyguladığı kuvvet göz önüne bulundurulmuştur. Yapılan analizler sonucunda tablalarda meydana gelen deformasyonun karbon fiber dayanımının oldukça altında olduğu görülmektedir.

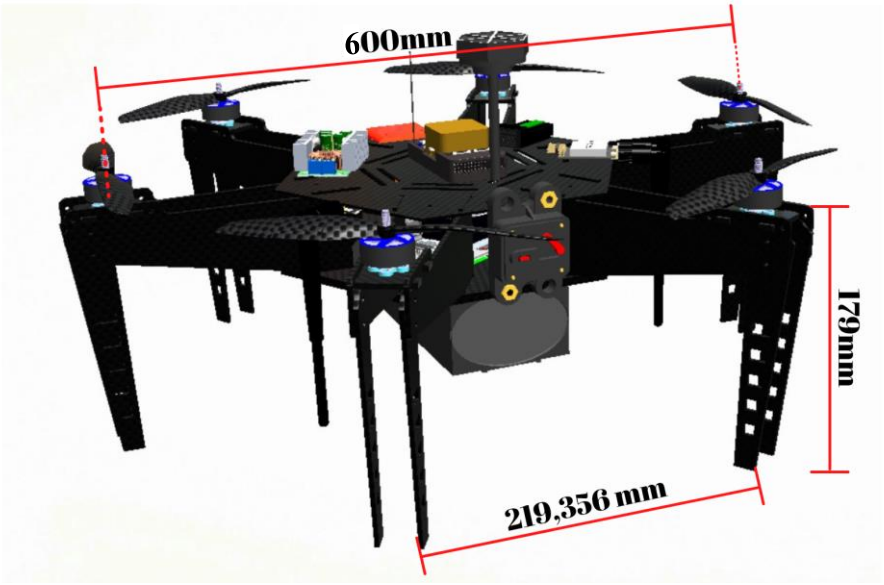


Resim 3.3.3

3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı

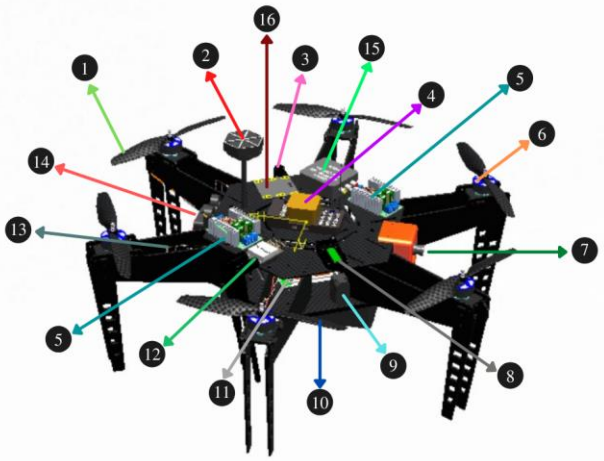
S21'in tasarımında 3.1'te bahsedilen elektronik malzemelerin boyutları ve pervaneler arası minimum uzaklık göz önünde bulundurularak şase çapı 600 mm (Resim 3.4.1) olarak belirlenmiştir. S21'de bulunan geliştirici kit, kontrol kartı, haberleşme modülleri ve çeşitli elektronik malzemelerin konumlandırılması amacıyla şase iki kat olarak tasarlanmıştır. S21'in üst-alt plaka, kollar ve motor tutucu aparatlarında dayanıklılık ve hafiflik sağlaması amacıyla karbon fiber kullanılacaktır. S21'in merkezine konumlandırılacak olan Jetson Xavier NX'in daha kolay çıkarılıp takılması için alt tablaya modüler uçuş bilgisayarı tutucusu tasarlanmıştır.

Güvenlik önlemleri kapsamında seçilen akım kesici olumsuz bir durum anında kolayca müdahale edilebilecek şekilde konumlandırılmış olup Resim 3.4.1'te verilmiştir.



Resim 3.4.1

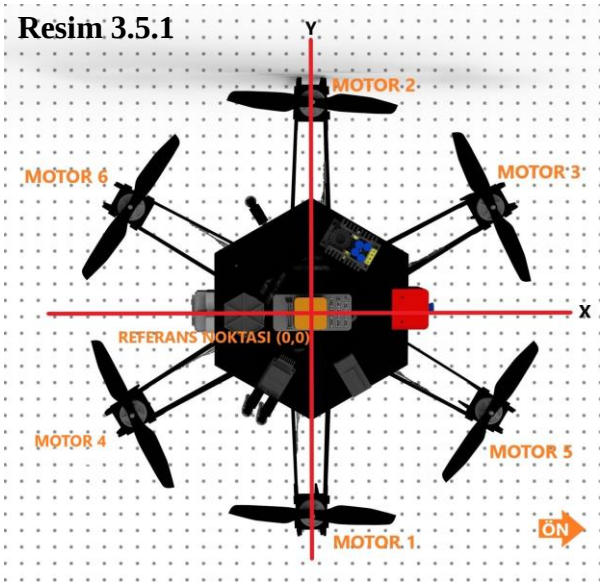
Resim 3.4.2



1) 80 x 45 PERVANE
2) RADİO LİNK SE100 M8N GPS
3) EACHİNE TX5 VİDEO TRANSMİTTER
4) PİXHAWK THE CUBE
5) GÜÇ REGÜLATÖRÜ
6) RACERSTAR AİRA 2508 1200 Kv MOTOR
7) ELP L36 KAMERA
8) FS-I A10b KUMANDA ALICISI
9) MESAFE SENSÖRÜ
10) 22000 mAH LİPO BATARYA
11) JETSON XAVİER NX
12) RFD 900X TELEMETRİ
13) 50A 2-6S BLHELİ 32 BRUSHLESS ESC
14) 300A SİGORTA
15) HDMI TO AV DAC
16) PDB

3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı

MALZEME AĞIRLIK VE KONUM TABLOSU						
NO	MARKA	PARÇA ADI	X uzaklığı (mm)	Y uzaklığı (mm)	Z uzaklığı (mm)	AĞIRLIK (GRAM)
1	Fırçasız Motor (MOTOR 1 VE 2)	Racerstar AirA 2508 1200Kv	0	± 248,185	0	50×2=100
2	Fırçasız Motor (MOTOR 3 VE 4)	Racerstar AirA 2508 1200Kv	± 218,109	± 125,309	0	50×2=100
3	Fırçasız Motor (MOTOR 5 VE 6)	Racerstar AirA 2508 1200Kv	± 218,109	± 125,309	0	50×2=100
4	ESC (MOTOR 1 ve 2)	HGLRC 50A 2-6S Blheli 32 Brushless ESC	- 14,344	± 154,498	-23,64	5,2×2=10,4
5	ESC (MOTOR 3 ve 4)	HGLRC 50A 2-6S Blheli 32 Brushless ESC	±154,194	±71,081	-23,64	5,2×2=10,4
6	ESC (MOTOR 5 ve 6)	HGLRC 50A 2-6S Blheli 32 Brushless ESC	±154,194	±71,081	-23,64	5,2×2=10,4
7	Pervane (MOTOR 1 ve 2)	Gamefan 80x45 Karbon Pervane	0	± 248,185	24,58	7,7×2=15,4
8	Pervane (MOTOR 3 ve 4)	Gamefan 80x45 Karbon Pervane	± 218,109	± 125,309	24,58	7,7×2=15,4
9	Pervane (MOTOR 5 ve 6)	Gamefan 80x45 Karbon Pervane	± 218,109	± 125,309	24,58	7,7×2=15,4
10	Güç Dağıtım Kartı (1)	XGL 200A	-22,673	0	-2,5	7
11	Güç Dağıtım Kartı (2)	XGL 200A	22,673	0	-2,5	7
12	Geliştirici Kiti	NVIDIA Jetson Xavier NX Developer Kit	0	0	-46	200
13	Kontrol Kartı	Pixhawk The Cube Orange	0	0	15,415	74
14	GPS	Radiolink Se100 M8n Gps ve Tutucusu	-81	0	95,20	34,9
15	Batarya	Leopard 22000 mAh- 5S LiPo	0	0	-132	2195
16	Telemetri	RFDesign RFD 900x	-42,808	-43.326	6,3325	14,5
17	Kuman Alıcısı	FS-İa10b	-49,535	-80,118	7,5	15
18	Görev Kamerası	1ELP-USBFHD01M-L36-120FPS	156	0	-20	30
19	Video Transmitter	Eachine TX5258 5.8G 72CH 25/200/500/800mW	-49,307	92,372	-7,3	35
20	Güç Modülü	90 A Güç Modülü	-22,673	-35,6	-2,5	25
21	Güç Regülatörü	XL4016 8A DC-DC Step Down Voltaj Regülatörü	46,249	80,919	10.875	77,5
22	Sigorta	300A Sigorta Devre Kesici	-139,74	0	-33,5	102,5
23	Mesafe Sensörü	TF MİNİ PLUS LİDAR	±67,5	±-93,84	±39,3	11×4=44
24	PDV	PDV	-49,307	92,372	0	5
25	HDMI TO AV	SUNLINE HDMI TO AV	66,249	90,919	10.875	50
26	Karbon Fiber Gövde					700
						TOPLAM=3993,8



İHA'nın ağırlık merkezinin bozulmaması amacıyla yaklaşık ağırlıkları diğer bileşenlerden fazla olan Pixhawk Cube, Jetson Xavier NX ve batarya merkeze konumlandırılmıştır. Hava aracının ağırlık dağılımı ve konumları tabloda verilmiştir. Resim 3.5.1'de gösterildiği üzere referans merkezi (0.0) olarak orta tablada İHA'nın tam merkezinde bulunan Pixhawk seçilmiştir. Bununla birlikte İHA'nın ön tarafı (kırmızı kamera tutucusunun olduğu yer) koordinat sisteminde pozitif noktalar olarak belirlenmiştir.

4. OTONOM KİLİTLENME

Bir nesneye kilitlenme tespit ve takip olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Günümüzde görüntüden tespit işlemi çeşitli sinir ağları kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

4.1. SİHA Tespit Algoritması:

SİHA'ları tespit etmek için bilgisayarlı görü ve makina öğrenmesi modelleri kullanılacaktır.

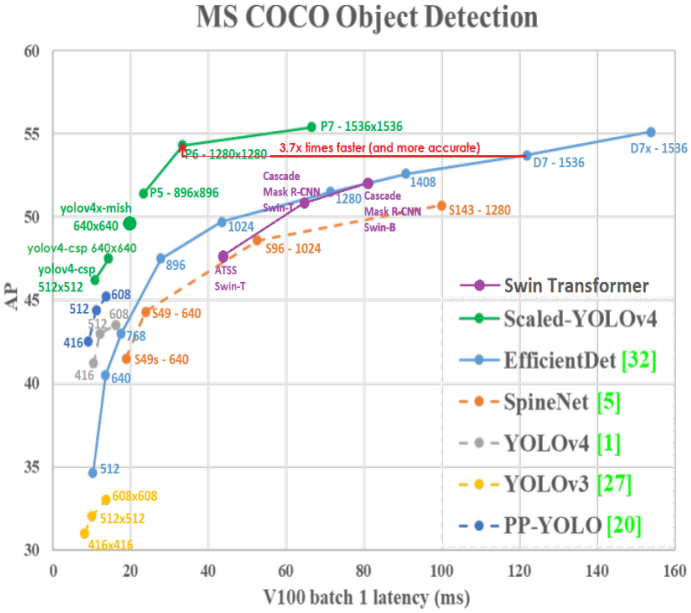
Detection Frameworks	Train	mAP	FPS
Fast R-CNN [5]	2007+2012	70.0	0.5
Faster R-CNN VGG-16[15]	2007+2012	73.2	7
Faster R-CNN ResNet[6]	2007+2012	76.4	5
YOLO [14]	2007+2012	63.4	45
SSD300 [11]	2007+2012	74.3	46
SSD500 [11]	2007+2012	76.8	19
YOLOv2 288 × 288	2007+2012	69.0	91
YOLOv2 352 × 352	2007+2012	73.7	81
YOLOv2 416 × 416	2007+2012	76.8	67
YOLOv2 480 × 480	2007+2012	77.8	59
YOLOv2 544 × 544	2007+2012	**78.6**	40

Resim 4.1.1. Farklı Modellerin FPS ve mAP karşılaştırma çıktısı

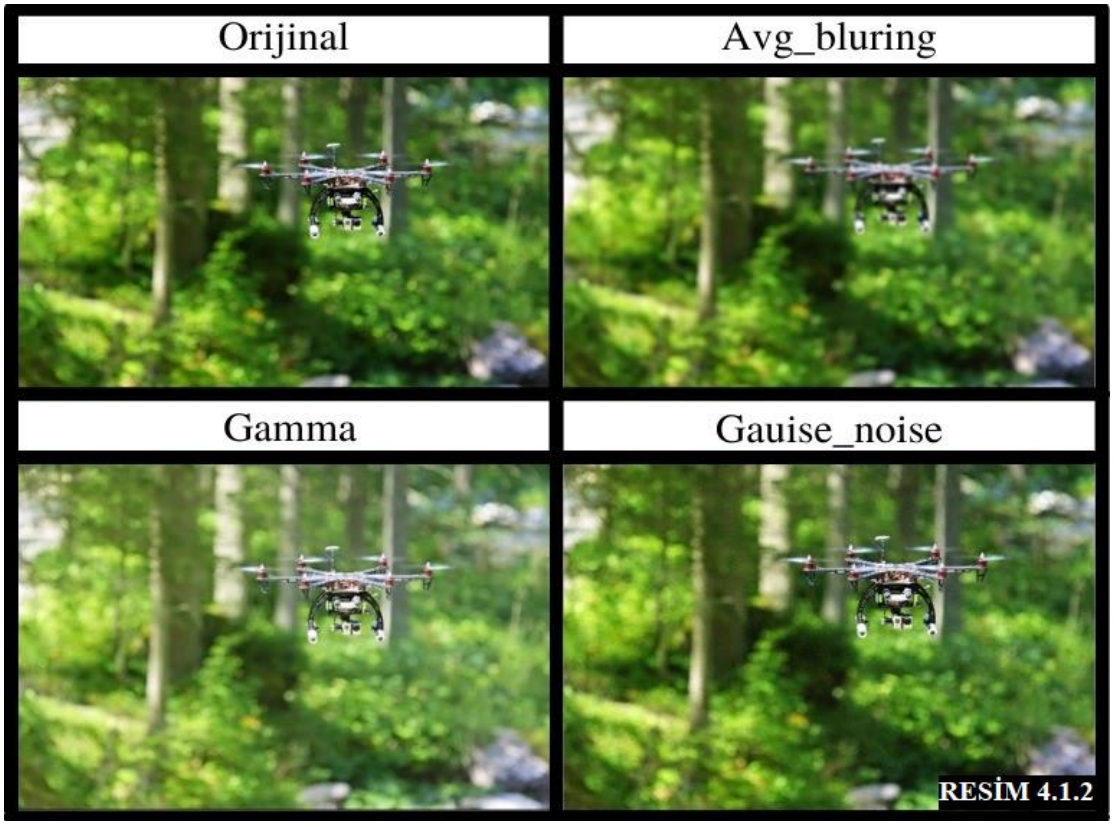
Gerçek zamanlı tahmin oluşturabilen R-CNN, YOLO, SSD gibi derin öğrenme modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Resim 4.1.1'de görüldüğü üzere anlık işlem performansı ve doğruluk karşılaştırılması yapıldığında YOLO yapısının performansının karşılaştırılan diğer modellerden FPS ve AP (Accuracy Point - Doğruluk Noktaları) daha iyi olduğu görülmektedir.

YOLOv3 ağ yapısını, derinleştirmek için 53 evrişim katmanından oluşan Darknet-53 mimarisi kullanılmaktadır ve bu ağa kalıntı (residual) bloklar eklenmiştir. YOLOv3'de Softmax

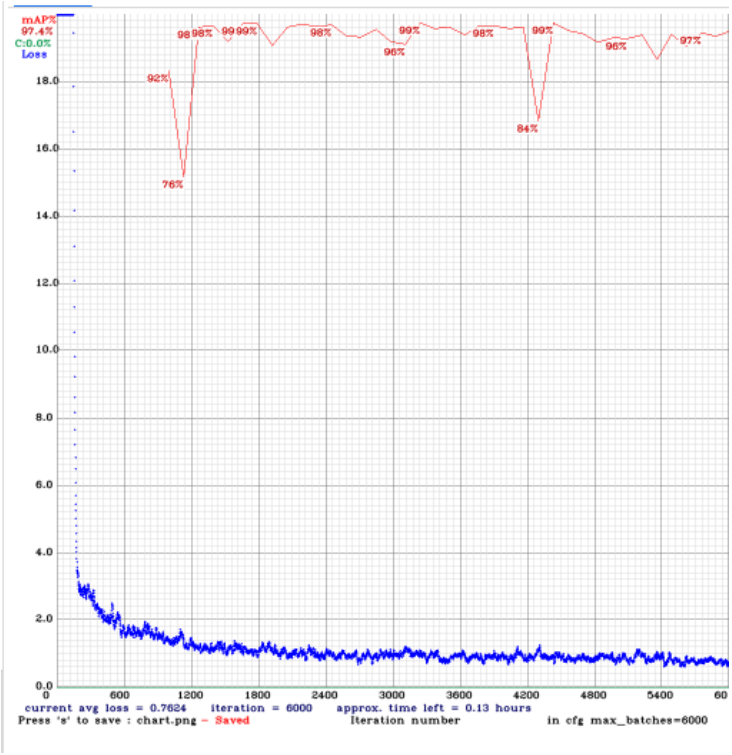
fonksiyonunu kullanmak yerine, çoklu etiket tahminleri için lojistik fonksiyonu kullanılmıştır. Ayrıca, YOLOv3'ün önemli bir özelliği de, algoritmanın küçük nesneleri tahmin etme yeteneğini geliştiren çok ölçekli tahminidir. 2020 yılında YOLOv3'ün gelişmiş bir versiyonu olan YOLOv4 algoritması tanıtılmıştır [20]. Bu algoritmaya, nesne algılamanın hızını ve doğruluğunu iyileştirmek için ağırlıklı kalıntı bağlantılar, çapraz aşamalı kısmi bağlantılar ve çapraz mini-batch normalizasyonu gibi bazı yeni teknolojiler entegre edilmiştir. Bu bağlamda günümüzdeki modeller arasında en yüksek gerçek zamanlı performans ve tahmin doğruluğu sağlayan YOLOv4-Tiny (416 x 416) mimarisi kullanılacaktır.



Seçilen modelinin sinir ağı ağırlıklarının oluşturulması için eğitim aşamasına geçiş yapılmıştır. Hazır veriler ve teknofest yarışma videolarından İHA fotoğrafları toplanarak eğitim veri seti oluşturulmuştur. Sinir ağının dış dünya koşullarında nesne tespiti doğruluğunun artması için toplanan veri seti parlaklık, renk, döndürme ve bulandırma gibi gürültü ekleme işlemleri ile genişletilmiştir. Resim 4.1.2'de veri genişletme işlemine bazı örnekler verilmiştir.



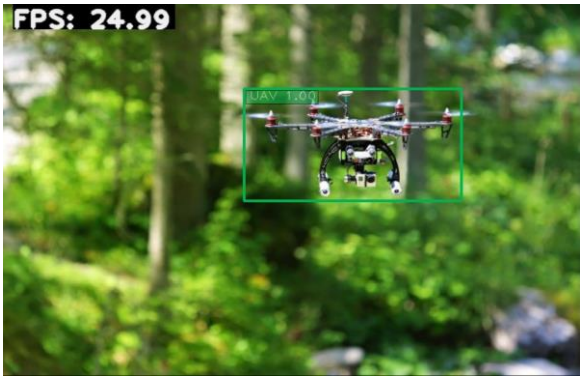
RESİM 4.1.2



Resim 4.1.3 6000 iterasyon ile eğitim çıktısı

Resim 4.1.3'de YOLOv4 Tiny ile yapılmış SİHA tespit eğitiminin örnek bir çalışması bulunmaktadır. Eğitilmiş modeli darknet üzerinden Jetson-Nano GPU ile test edildiğinde gerçek zamanlı olarak saniyedeki kare sayısının (FPS) 10 olduğu görülmüştür. Bu yüzden FPS'yi arttırmak için NVIDIA tarafından tasarlanan TensorRT kütüphanesi kullanılarak GPU'nun işlem yükü azaltılacaktır. TensorRT GPU'larda daha düşük hassasiyetle (FP16 ve INT8) çıkarım yapmak için kullanılabilen yüksek performanslı bir çıkarım ve çalışma zamanı iyileştiricidir. TensorRT yapısına dönüştürülen YOLO V4-tiny-416 modeli test edildiğinde saniyedeki kare sayısının 25'e yükseldiği görülmüştür. Halihazırda kullanılan jetson nano geliştirici kiti daha üst bir model olan JetsonNX ile değiştirilerek FPS'nin yaklaşık %53 iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

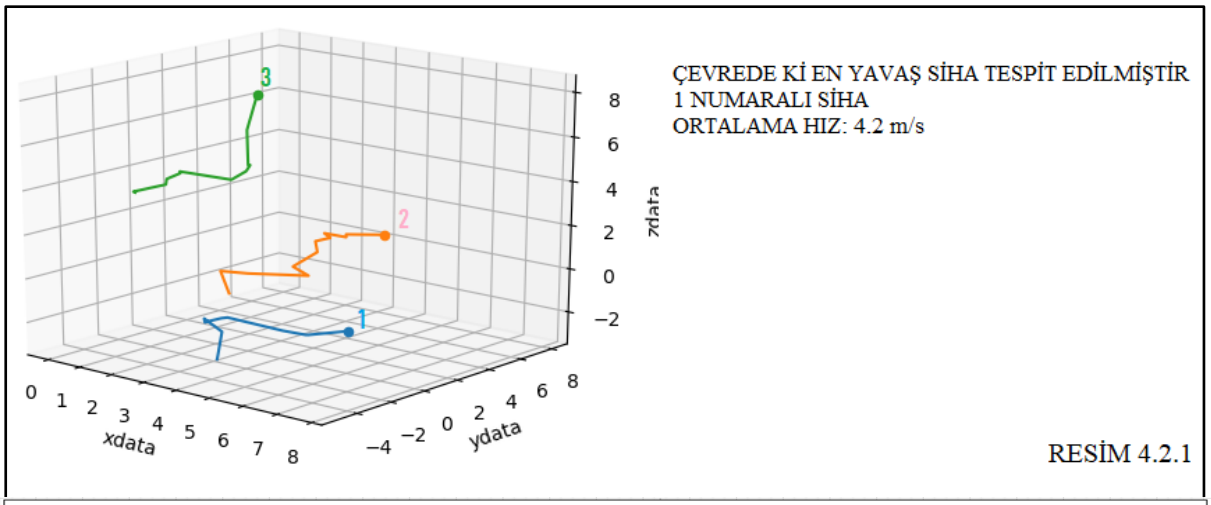
Resim 4.1.4 Darknet ile FPS çıktısı



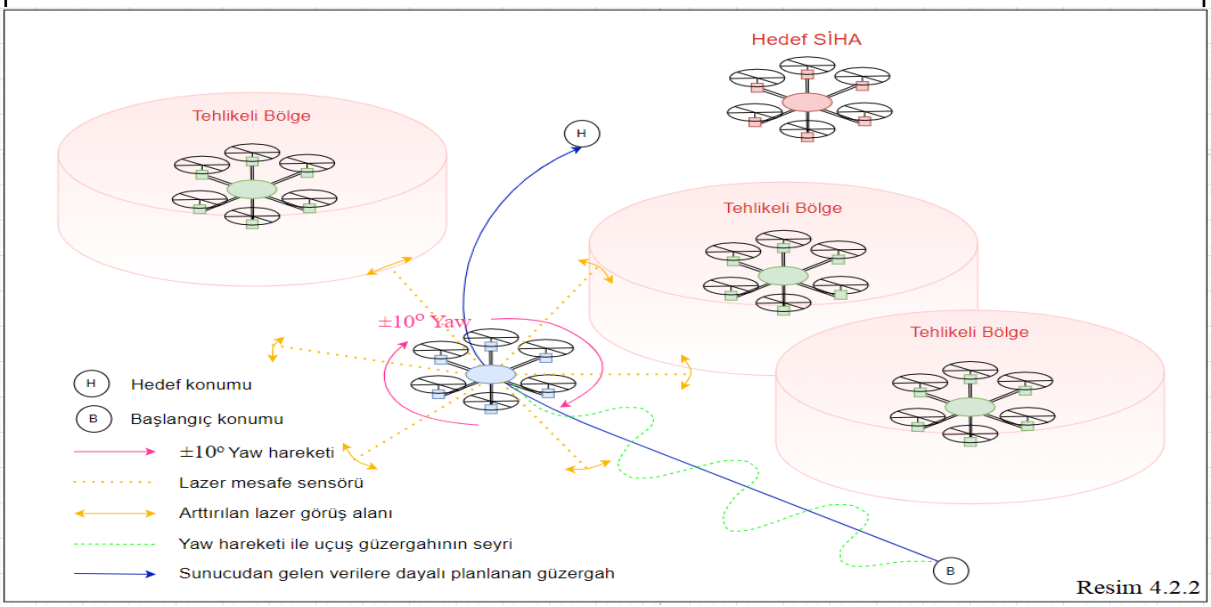
Resim 4.1.5 TensorRt ile FPS çıktısı

4.2. Yer İstasyonu Veri İşleme

Sunucudan alınan rakip SİHA'lara ait konum bilgileri doğrultusunda takip edilecek hedefin seçilmesi, takip işleminin yürütülmesinde kritik rol oynamaktadır. Takip edilecek SİHA'nın seçilme kriteri yakın çevredeki en yavaş hareket eden rakip SİHA olmasıdır. Bu takip işleminin gerçekleştirilmesi için sunucudan verilerin alınmasıyla SİHA'ların ortalama hareket hızları Resim 4.2.1'te görüldüğü gibi en yavaş olan rakip tespit edilecektir. Ardından LSTM yapısı için yeterli veri toplandığında üç boyutlu haritadan takip edilecek en yavaş SİHA'nın olası rotasyonunun tahmini yapılacaktır. Böylece sunucu ile haberleşmede meydana gelen gecikmelerin sebep olabileceği dezavantajlar minimize edilecek ve rakibin yakalanması kolaylaşacaktır. Ayrıca bu işlem gerçekleştirilirken diğer SİHA'larla çarpışmalardan kaçınmak için Resim 4.2.2'de görüldüğü gibi lazer mesafe sensörü kullanılacaktır. Lazer mesafe sensörünün yetersiz kalan görüş açısını arttırmak için takip edilecek SİHA görüş alanına girene kadar ±10 derecelik "yaw" hareketi yapılacaktır.

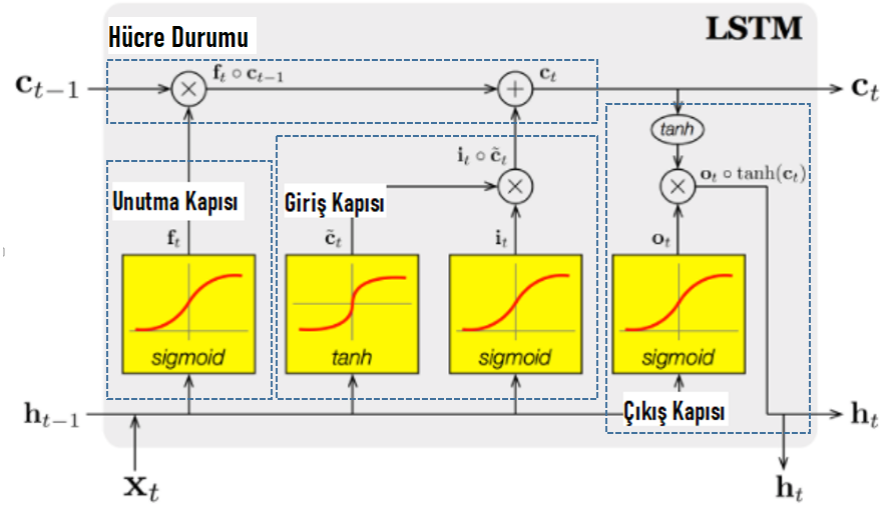


RESİM 4.2.1



Resim 4.2.2

4.3. SİHA Kilitlenme Algoritması:



Takip işleminin yapılması için nesnenin önceki adımlarındaki ve şu anda bulunduğu konum arasında ilişki kurabilen yinelemeli sinir ağı kullanılması gerekmektedir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için geliştirilen LSTM modelinin kullanılması tercih edilmiştir. LSTM'nin temel olarak unutma, giriş, hücre durumu, çıkış olmak üzere 4 adet kapısı bulunmaktadır.

Unutma Kapısı: Hangi bilgilerin unutulacağı veya tutulacağı kararına varan kapıdır. Mevcut girişten (X_t) ve önceki gizli durumdan (h_{t-1}) gelen bilgiler sigmoid aktivasyon fonksiyonuna tabi tutulur.

Giriş Kapısı: İki bölümden oluşur; ilk olarak, hangi değerlerin güncelleneceğine karar vermek için önceki gizli durumu (h_{t-1}) ve mevcut giriş (X_t) bir sigmoid işleminden geçirilir. Ardından, ağı düzenlemek için aynı iki giriş "tanh" aktivasyonundan geçirilir ve hücre durumunun güncellenmesi için (C'_t) sigmoid çıktısı (i_t) ile çarpılır.

Hücre durumu: Önceki hücre durumundan (C_{t-1}) gelen girdi, unutma kapısı çıktısıyla noktasal olarak çarpılır. Unutma çıktısı 0 ise, önceki hücre çıktısını (C_{t-1}) atar. Bu çıkış, yeni hücre durumunu (C_t) güncellemek için giriş kapısı çıkışı ile noktasal olarak eklenir. Mevcut hücre durumu, bir sonraki LSTM biriminin girişi olacaktır.

Çıkış kapısı: Gizli durum, önceki girişler hakkında bilgi içerir ve tahmin için kullanılır. Çıkış kapısı, mevcut gizli durumu (h_t) düzenler. Önceki gizli durum (h_{t-1}) ve mevcut giriş (x_t) sigmoid işlemine iletilir. Bu çıktı, mevcut gizli durumu elde etmek için "tanh" fonksiyonunun çıktısı ile çarpılır. Mevcut durum (C_t) ve mevcut gizli durum (h_t) klasik bir LSTM biriminin son çıktıları dır.

LSTM'nin projede kullanılışı;

S21'in müsabaka anında kilitlenmesine engel olabilecek senaryolara karşı çözüm üretmek amacıyla LSTM modeli kullanılarak bir algoritma geliştirilmiştir. Bazı örnek senaryolar;

- Görüntüdeki bozulmaları
- Hedef tespitindeki aksaklıklar,
- Aynı anda birden fazla hedef ile karşı karşıya kalma durumu,

Algoritma adımları;

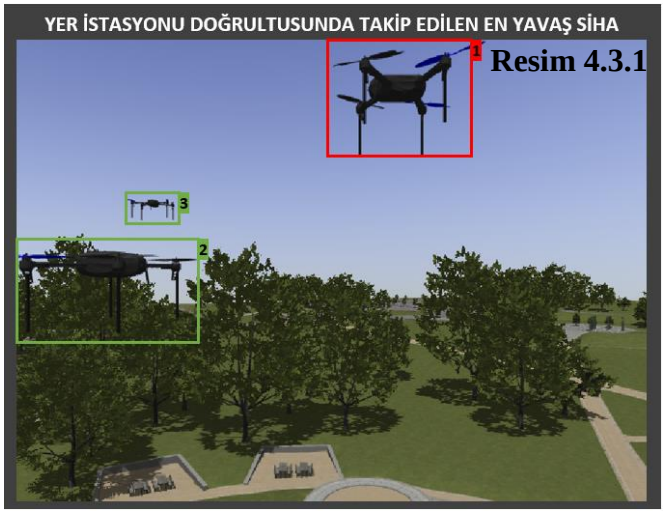
1. YOLOv4 Tiny sinir ağından elde edilen nesnelerin görüntüler üzerindeki konum verileri alınır

2. sunucunun paylaştığı konum verilerine göre hedef SİHA belirleme algoritmasının işaret ettiği hedefe ulaşıldığında
   a. görüş alanında birden fazla SİHA bulunmasıyla takibi istenen SİHA'nın GPS yönelimleri ve kamera ile algılanan SİHA'ların hareketleri karşılaştırılarak,
   b. eğer görüş alanında tek bir hedef varsa herhangi bir karşılaştırma olmadan,

   hedef SİHA Resim 4.3.1'de ki gibi belirlenir.

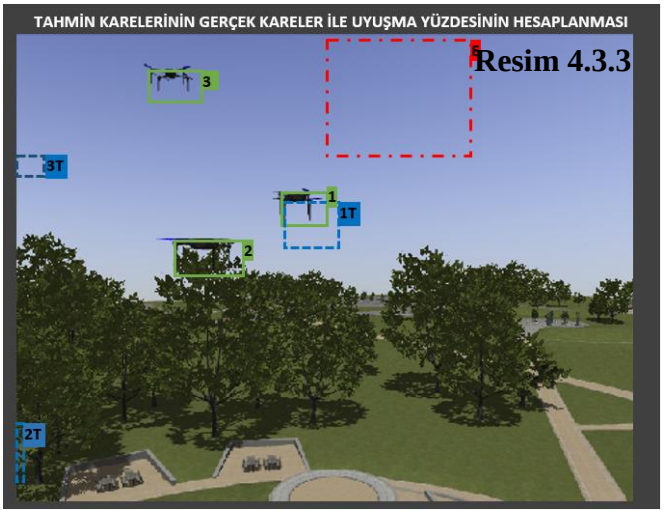
3. İkinci video karesi üzerinde tespit edilen konumlar Resim 4.3.2'de görüldüğü gibi üçüncü konum LSTM ile tahmin edilir.

4. Resim 4.3.3'de üçüncü video karesinden gelen SİHA'ların konumlarıyla ikinci karede LSTM ile tahmin edilen konumlar karşılaştırılarak en yüksek eşleşme yüzdesine(IoU) sahip olan SİHA takip edilir.



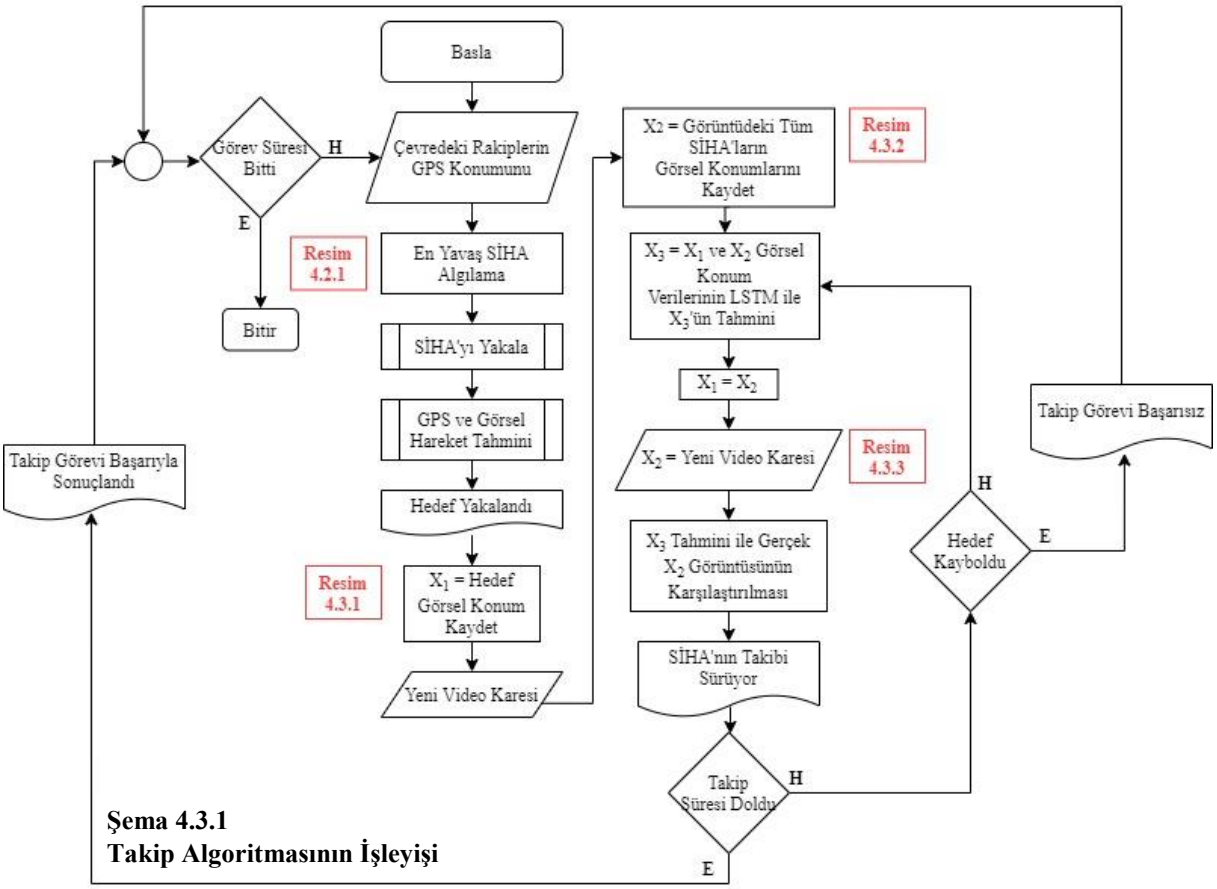
Resim 4.3.1

Resim 4.3.2



Resim 4.3.3

Özetle A1, A2 kareleriyle A3 tahmin edilir, ardından gerçek A3 ile tahminlerin uyumu karşılaştırlaştırılarak hedef SİHA'ların takip edilmesi sağlanacaktır.

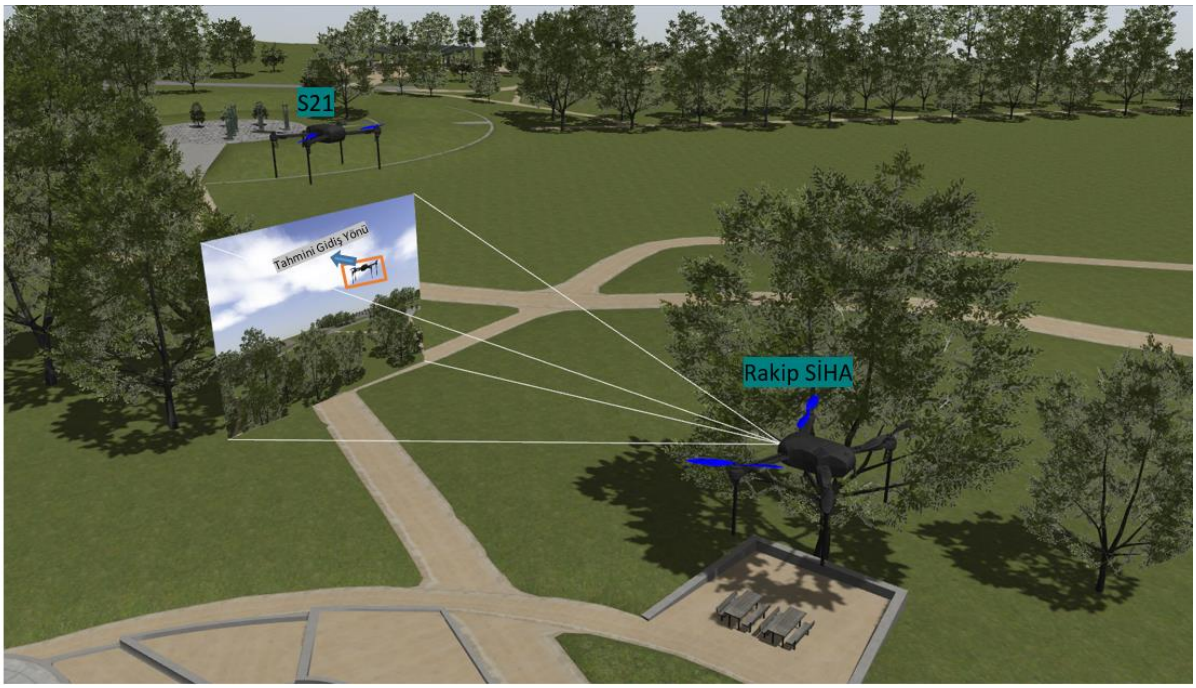


Şema 4.3.1
Takip Algoritmasının İşleyişi

4.4. Kaçış Algoritması

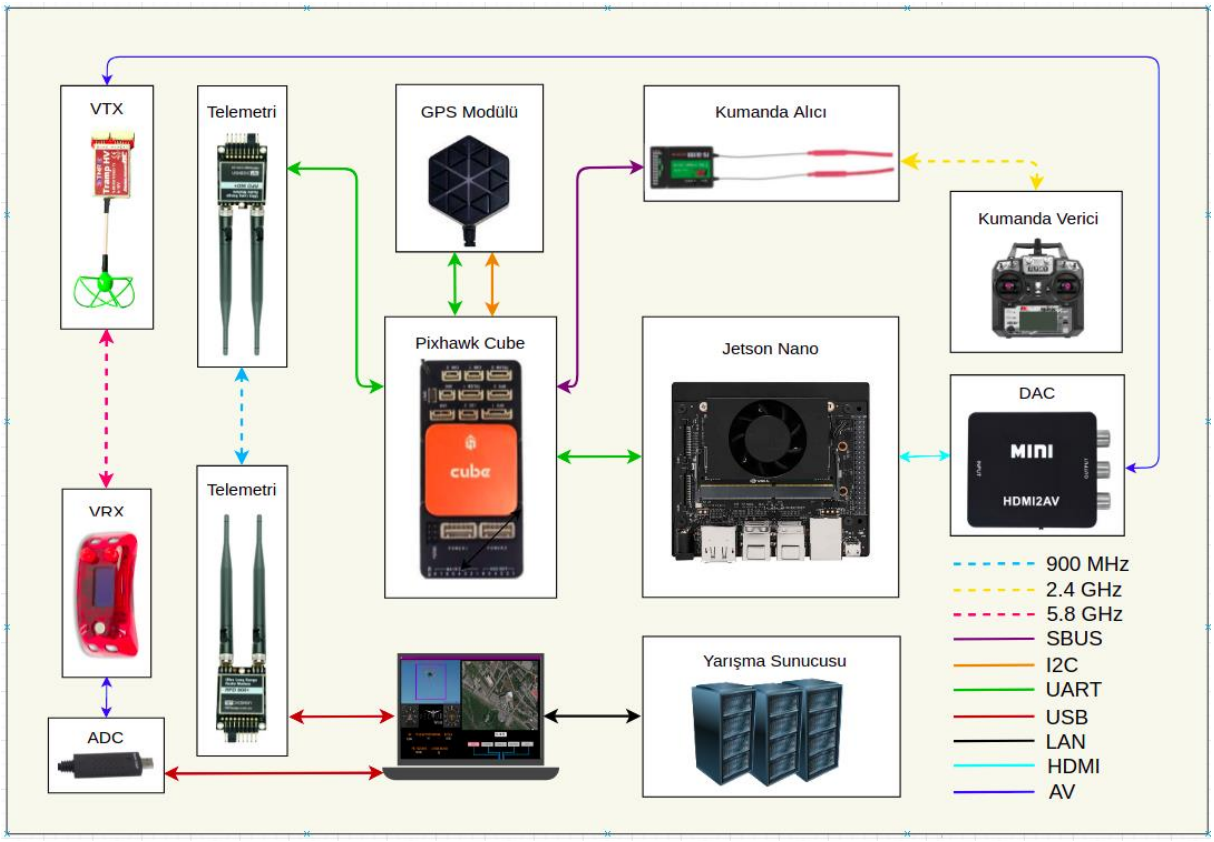
Yarışma şartlarına göre müsabaka anında S21'in diğer SİHA'ların kilitlenme işleminden kaçınması istenmektedir. Bu doğrultuda S21'in hareketleri LSTM yapısıyla hafızaya alınarak diğer SİHA'ların hedef takip sisteminin çıktıları simüle edilecektir.
Bu işlemin gerçekleştirilme aşamaları;

1) S21 ile GPS rotasyonu 5 sn boyunca benzer olan SİHA'lar tehdit olarak algılanır.
2) LSTM yapısıyla S21'in tahmini yönelimi hesaplanarak diğer SİHA'nın kilitlenme dörtgeninin yönelimi tahmin edilmiş olur.
3) S21'in LSTM ile tahmin edilen yönelimin tam tersi yönde kaçmasıyla kaçış işlemi gerçekleştirilir.
4) Ancak S21 rakip SİHA'ya kilitlenmeye çalışıyorsa işlemlerin hiç biri gerçekleştirilmez.



5. HABERLEŞME

S21'in üzerindeki birimlere ait verilerin toplandığı ve aracın akıllı davranışlar gerçekleştirmesini sağlayan iki birim vardır. İlki uçuş kontrol kartıdır ve canlılardaki omurilik soğanının görevlerine benzer görevleri yerine getirmektedir. Bu birim kendi bünyesinde var olan veya harici olarak eklenen sensör ve alıcıların bilgilerinin toplandığı ve gerektiğinde ulaşılabilecek halde tutulan birimdir. Diğeri ise S21'in beyni olan geliştirici bilgisayardır. Bilgisayar, S21 kamerasını kullanarak yapay zeka algoritmaları çalıştırır ve kontrol kartında toplanan bilgileri analiz eder. Toplanan tüm veriler S21'in gerçekleştireceği otonom uçuş, yol planlama ve it dalaşı görevlerinde kullanılmak üzere ana bilgisayara toplanacaktır. Ayrıca kilitlenme dörtgeni, uçuş modu ve benzeri bilgilerin gösterildiği çıkış görüntüsünün bilgisayardan yer istasyonuna gönderilmesi için DAC biriminde analog videoya dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlemin gerçekleşmesi Hedef_merkez_X, Hedef_merkez_Y, Hedef_genislik ve Hedef_yukseklik bilgilerinin görüntü içerisindeki belirlenmiş 3'er adet piksele yerleştirilmesi ile sağlanacaktır. Böylece analog video aktarım cihazlarının düşük gecikme yeteneğinden faydalanılarak sunucuya canlı video aktarma görevi gerçekleştirilmiş olur.



Resim 5.1 SİHA ve yer kontrol istasyonu Haberleşme Diyagramı

HDMI Arabirimi

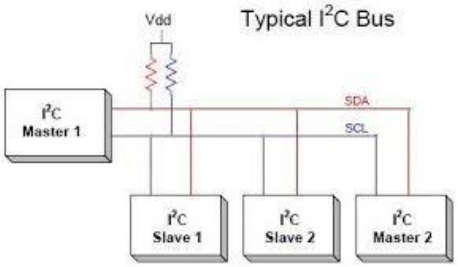
Yüksek çözünürlüklü çoklu ortam arayüzü (High-Definition Multimedia Interface) veya kısaca HDMI ses ve görüntü verilerini sıkıştırmadan dijital olarak aktarmak için geliştirilmiş bir arabirimdir. 1080p, 60 Hz formatında TMDS veya FRL protokolü ile aktarım yapabilen bu arabirim SİHA ana bilgisayarında işlenen verilerin çıktısı olan ve yer istasyonuna canlı olarak gönderilecek görüntünün HDMI2AV DAC cihazına gönderilmesi sırasında kullanılacaktır.

SBUS Protokolü

R/C alıcılarında kullanılan bir dijital iletişim protokolüdür. Alıcı ve uçuş kontrol kartı arasında kontrol sinyallerini iletmek için dijital seri veri iletişim teknolojisini kullanır. Bunun da ötesinde, birçok kanalı dijital olarak alıcıdan uçuş kontrol cihazına iletmeyi sağlar. SBUS, 16 kanala kadar dijital olarak iletimi destekler. SBUS'un bir diğer avantajı da çok hızlı bir protokol olmasıdır. CPPM ve PWM sinyallerdeki 80ms'lik gecikmenin aksine SBUS yalnızca 10-20 ms gecikmeye sahiptir. Bu sebeplerle hava aracında kullanılan alıcının kontrol kartı ile olan haberleşme protokolü SBUS olarak belirlenmiştir.

I2C Protokolü

I2C bir seri iletişim protokolüdür, bu nedenle veriler tek bir kablo (SDA hattı) boyunca azar azar aktarılır. SPI gibi, I2C de senkronize olarak çalışmaktadır. Bu nedenle bitlerin çıkışı, master ve slave arasında paylaşılan bir saat sinyali ile bitlerin örneklenmesine senkronize edilir. Saat sinyali her zaman master tarafından kontrol edilir. SİHA'da harici olarak kullanılan ve GPS üzerinde bulunacak olan pusula sensörü, kontrol kartı ile I2C protokolü ile haberleşecektir.



UART Protokolü

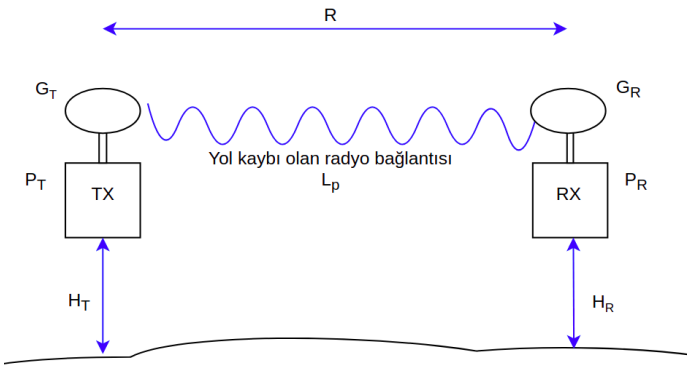
Evrensel Asenkron Alıcı/Verici (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) protokolü adından da anlaşılacağı üzere I2C protokolünden farklı olarak saat sinyali ile senkronize edilmez. Uygun şekilde yapılandırıldığında, UART, seri verilerin iletilmesini sağlar ve alınmasını içeren birçok farklı türde seri protokolle çalışabilir. İki yönlü haberleşme yapabilmek adına Rx ve Tx olmak üzere iki adet veri yolu kullanılır. SİHA üzerinde gerçekleştirilen seri haberleşmeler Resim 5.1'de yeşil renkle gösterildiği gibi kontrol kartı ile GPS ve Telemetri modülleri arasındaki bilgi alışverişinin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Kontrol kartında MAVLink mesajları şeklinde tutulan verilerin bilgisayara devamlı gönderilmesi ve bilgisayarın da kontrol kartına mesajlar yollayabilmesi için yine seri haberleşme protokolleri kullanılmıştır.

Analog Video

Kompozit video, standart tanımlı videoyu (tipik olarak 480i veya 576i çözünürlükte) tek bir kanal olarak taşıyan bir analog video sinyali formatıdır. Video bilgileri, daha yüksek kaliteli S-video (iki kanal) ve daha da yüksek kaliteli bileşen videonun (üç veya daha fazla kanal) aksine bir kanalda kodlanır. Tüm bu video formatlarında, ses ayrı bir bağlantıda taşınır. Kompozit videonun üç baskın çeşidi vardır: NTSC, PAL ve SECAM. Yarışmada yayınlanması beklenen video formatı olan NTSC ve PAL formatlarında aktarım yapabilecek analog video aktarım cihazları kullanılmıştır.

Radyo Frekansı ile Haberleşme

Bir radyo bağlantı analiz edilirken kullanılan anahtar parametreler, verici çıkış gücü, verici anten kazancı, alıcı anten kazancı ve alıcı hassasiyetidir. Ayrıca, aralarındaki mesafe, herhangi bir engel, anten yüksekliği (yerden yukarısı) ve mevcut radyo gürültüsü de dahil olmak üzere, verici anten ile alıcı anten arasındaki ortamın ayrıntıları da kritik öneme sahiptir. Bir radyo bağlantısının basit bir örneği solda verilmiştir.



$P_R = P_T + G_T + L_P + G_R$

P_R = Alınan güç (dBm)

P_T = Verilen güç (dBm)

G_T = Verici anten kazancı (dB)

G_R = Alıcı anten kazancı (dB)

L_P = Yol kaybı (dB)

Bağlantı Marjı

İletilen sinyal vericiden yayılır, böylece gücün sadece bir kısmı alıcıya ulaşır. Bu, mesafe ve anten alanı nedeniyle güç kaybını modelleyen yol kaybı (L_p) ile temsil edilir. Anten alanı (antenin gücü ne kadar geniş bir alandan alabileceği) frekansa bağlı olduğundan, yol kaybı frekansa bağlıdır. Yaygın bir yanlış anlaşılmaya göre yüksek frekanslı sinyaller boşlukta düşük frekanslı sinyallere göre daha zayıf bir bağlantı sağlar. Ancak olay bu şekilde değildir. Yol kaybının frekans bağımlılığı, antenin elektriksel boyutunun (ve fiziksel boyutunun) dalga boyu ile ölçeklenmesinin bir sonucudur. Düşük frekanslı bir anten yüksek frekanslı bir antenden boyut olarak daha büyüktür, bu nedenle vericiden daha fazla güç alabilen daha geniş bir haberleşme alanına sahiptir. P_R, RC modülünün duyarlılığından büyük olduğu sürece, paket normal olarak doğru şekilde alınacaktır. Bağlantı marjı, L_M, paket hataları almaya başlamadan önce, iletişim bağlantısında ne kadar marj olduğu hakkında bilgi verir:

$L_M = P_R - S_R$

$L_M = P_T + G_T + L_P + G_R - S_R$

P_R = Alınan güç (dBm)

S_R = Alıcı hassasiyeti (dBm)

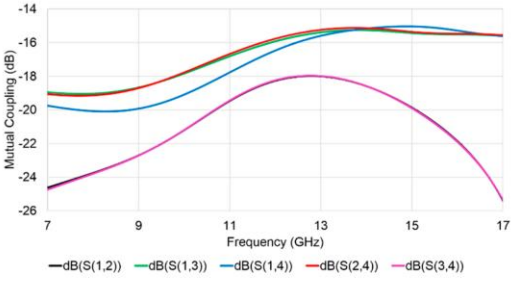
$L_M > 0$ = Bağlantı iyi durumda.

$L_M < 0$ = Bağlantı kopuk veya paketlerde bozulmalar var.

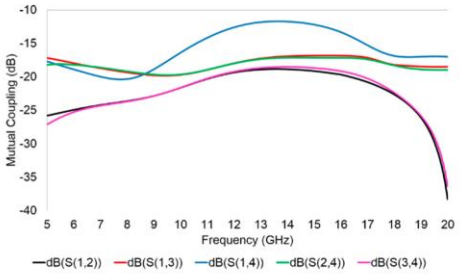
Ortamdaki RF gürültüsünden veya sinyal zayıflamasından kaynaklanan yol kayıplarının rastgele değişimi dikkate alındığında, bağlantı marjını bir kaç dB pay bırakarak ayarlamak güvenilir bir bağlantı kurmak açısından elzemdir.

Anten Kazancı

0 dBi kazancı olan bir antene izotropik anten denir. Bir vericide gücü her yöne eşit olarak yayar ve her yönden eşit olarak güç alır. Kazancı 0 dBi'nin üzerinde olan bir anten yönlüdür ve kazanç ne kadar fazlaysa anten o kadar yönlüdür. Dolayısıyla anten kazancı, gerçekten, antenin iletilen enerjiyi bir yönde odaklama veya bir alıcı olarak bir yönü dinleme ve diğerlerini dışlama yeteneğinin bir ölçüsüdür. Reciprocity (karşılıklılık) adı verilen bir teorem, bir anteni verici veya alıcı olarak kullanmanız farketmeksizin, kazancın her zaman aynı olduğunu belirtir. İdeal bir sonsuz yer düzleminde bir çeyrek dalga anteni, 5.15 dBi kazanca sahiptir. Ancak, geliştirici kartları gibi küçük bir düzlemde kazanç yaklaşık 0 dBi'ye düşecektir.



(a) Initial Antenna



(b) Optimized Antenna

Yol Kaybı

Yol kaybı (veya yol zayıflaması), bir radyo sinyalinin uzayda yayılırken güç yoğunluğundaki azalmadır. Yol kaybı, radyo sistemlerinin bağlantı bütçesinin analizi ve tasarımında önemli bir bileşendir. Yol kaybının tahmini, verici ve alıcı arasındaki mesafeye ve ortama bağlıdır. Günümüzde yol kaybını (L_P) tahmin etmek için yayılım modelleri kullanıyoruz. Yol kaybının gerçek şartlar için hesaplanması tahmin niteliğindedir. Kesin tahmin, yalnızca yukarıda belirtilen boş alan yayılımı veya düz dünya modeli gibi daha basit durumlar için mümkündür. Pratik durumlar için yol kaybı, çeşitli yaklaşımlar kullanılarak hesaplanır. Genel bir bakış olarak, aşağıda boş alan modeli ve yerüstü modelinden kısaca bahsedilmektedir.

Boş alan modeli, verici ve alıcı arasında önemli bir yansıtıcı nesne (zemin dahil) veya herhangi bir engel olmadığını varsayar. Verici ve alıcı arasındaki mesafe R'dir ve Yol Kaybı şu şekilde verilir:

$L_R = P_0 - 20\times\log R$

$P_0 = 20\times\log (300 \div (4\times\pi\times\text{frekans}))$

Yer Üstü Modelde, verici düz zeminin üzerinde HT yüksekliğinde ve alıcı HR yüksekliğindedir. Verici ve alıcı arasındaki mesafe R'dir. P0 boş alan modeli için tanımlandığı gibidir. Yol kaybı şu şekilde verilir:

$L_P = P_0 - 10\times\log (H_T\times H_R \div R\times R)$

Menzil Tahmini

Mutlak maksimum menzil, bağlantı marjını 0'a ayarlayarak ve paketler kaybolmadan önce radyo bağlantısının sahip olabileceği maksimum yol kaybı baz alınarak hesaplanabilir.

$L_M = 0$

$L_M = P_R – S_R = P_T + G_T + L_P + G_R - S_R = 0$

$L_P = S_R – (P_T + G_T + G_R$ **)**

R mesafesi, yukarıdaki yol kaybı modellerinden herhangi birine dayalı olarak hesaplanabilir. Menzil tahmini için temel kural, bağlantı bütçesindeki marjın 6 dB artmasının menzili 2 kat arttırmasıdır. Daha düşük veri hızı kullanılarak veya dar bant modüllerinden biri seçilerek daha iyi hassasiyet elde edilir. Başka bir temel kural, belirli bir bağlantı bütçesi için, frekans 1/2 oranında azaltılırsa menzil 2 kat artacağıdır.

RF Hesaplama

Video Aktarımı

Elde edilen radyo frekansı ile haberleşme alt yapısını kullanarak SİHA tasarımında kullanılması planlanan RF cihazların menzilini ve bağlantı marjını hesaplayalım. Kullanılacak FPV video vericiye ait sinyal gücü maksimum 600mW olarak belirtilmiştir. Bu değer ayarlanabilir olup yarışma şartlarına uygun şekilde değiştirilecektir. Yapılan hesapta maksimum güç ve maksimum hassasiyet baz alınmıştır.

$P_T = 600$ mW $\rightarrow$ 27.78 dBm $\quad G_R = G_T = 2$ dBi $\quad S_R = -96$ dBm

Öncelikle link marjinini sıfır alarak bağlantıyı sürdürecek maksimum mesafenin yol kaybını hesaplayalım.

$L_P = S_R – G_T – G_R – P_T = – 96 + 2 + 2 – 27.78 = – 119{,}78$

5.8 GHz bandında boşluğun 1 metredeki yol kaybını hesaplayalım.

$P_0 = 20\log(d) + 20\log(f) + 92.45$

$P_0 = 20\log(0.001) + 20\log(5.8) + 92.45 = 47.7$

$R_{max} = 10^{(-P0-LP)\div 20} = 4018$ m $\cong$ **<u>4km</u>**

Telemetry

Kullanılacak Telemetry cihazlarının menzilini hesaplamak için öncelikle kullanılacak telemetri veri hızını (data rate) tercih etmek gerekmektedir. Bu hız alıcı hassasiyetini Tablo 5.1'deki gibi etkilemektedir. Ayrıca SİHA'daki modül çoğunlukla veri gönderen modda çalışacağından güç tüketimi açısından verici sinyal gücünün optimum değerlerde ayarlanması gerekmektedir. Kullanılacak

Air data rate	Sensitivity @ 10-5 BER
12 kbps	-108 dBm
56 kbps	-105 dBm
64 kbps	-103 dBm
100 kbps	-100 dBm
125 kbps	-102 dBm
200 kbps	-97 dBm
224 kbps	-93 dBm

Tablo 5.1

veri hızı 100kbps olarak belirlendiğinden alıcının, 100dBm hassasiyette ve çekeceği akım sebebiyle 500mW güç değerinde kullanılması düşünülmektedir.

P_T=500mW→26.99 dBm G_R=G_T=3 dBi S_R = – 100 dBm

$L_P = S_R - G_T - G_R - P_T = -100 + 3 + 3 - 27 = -121$

$P_0 = 20\log(0.001) + 20\log(0.9) + 92.45 = 31.5$

$R_{max} = 10^{(-P0-LP) \div 20} = 29853{,}8$ m ≅ **30km**

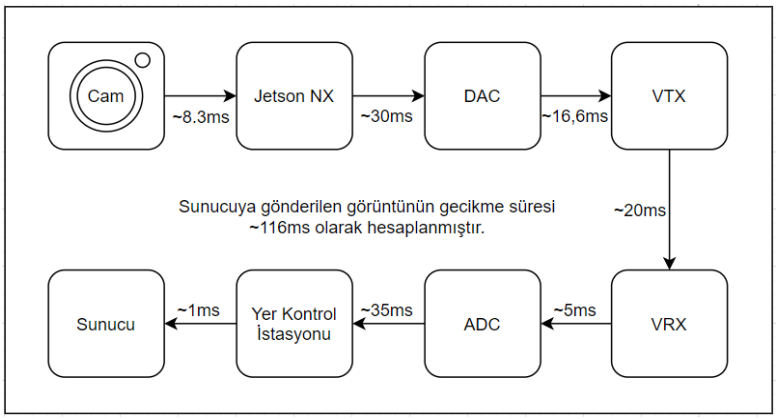
Veri Aktarım Gecikmeleri

Tablo 5.2.'de de görüldüğü gibi NTSC ve PAL formatında bir görüntünün saniyedeki veri boyutu 42 megabyte'dır. 5.8 GHz bandında saniyede 1600 megabyte'a kadar veri aktarılabilmektedir. Bu yönüyle 2.4 GHz Wifi'lerden kat kat üstündür ve canlı video aktarımı için uygun görülmüştür.

Resolution	Frame Rate (fps)	Color Mode (Sampling)	Bit Depth	Data Rate (MB/s)
720x486	30	RGB 4:4:4	10	42
720x576	25	RGB 4:4:4	10	42
1920x1080	24	RGB 4:4:4	10	199

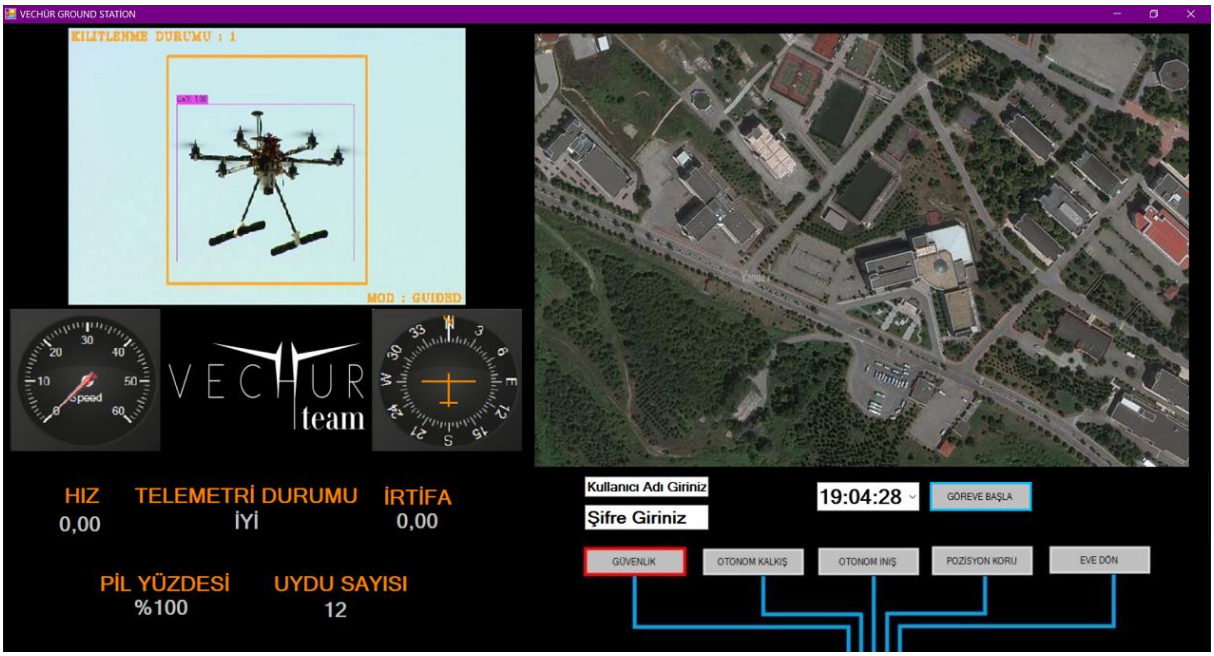
Tablo 5.2

SİHA'ya ait görüntü verilerinin sunucuya gönderilmesi sırasındaki fark görüntünün aktarıldığı elemanlara ait katalog bilgilerinden yola çıkılarak hesaplanmıştır. S21 üzerindeki bilgisayarın neden olduğu gecikme geliştirilen algoritmalara bağlı olduğundan tahmini bir değer kullanılmıştır.



Yapılan araştırmalara göre kullanılan telemetry modülü RFD900+, 10ms gibi oldukça düşük bir gecikmeyle veri aktarımı gerçekleştirmektedir. Ancak yapılan testler incelendiğinde uçuş kontrol kartı ve yer kontrol bilgisayarının sebep olduğu gecikmelerle birlikte yaklaşık 100 ms gecikme ile S21'e ait veriler yer istasyonuna ulaşacaktır. Veriler uygun şekilde paketlenip optimum hızda sunucuya basılırsa saniyede 1 veri gönderme sınırının aşılmayacağı öngörülmektedir.

6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI



Yer kontrol istasyonu programı olarak yarışma için geliştirilen VECHUR GROUND STATION programı kullanılacaktır. Yer istasyon program penceresi hava aracından alınan kamera görüntüsü, konum, hız, yükseklik vb. telemetri bilgilerini ve SİHA'ya gönderilmek istenen bazı temel komutları kullanıcıya sunmaktadır.

Arayüz, Visual Studio Windows Forms üzerinde, C# dilinde yazılmıştır. SİHA'dan Mission Planner'a gelen telemetri bilgilerinin, "-f JSON:127.0.0.1" komutu kullanılarak JSON formatında bir dosyaya aktarılması planlanmaktadır. JSON formatındaki dosyanın arayüz tasarımının yapıldığı Windows Forms Platformuna alınması için gerekli kütüphaneler kullanılacaktır.

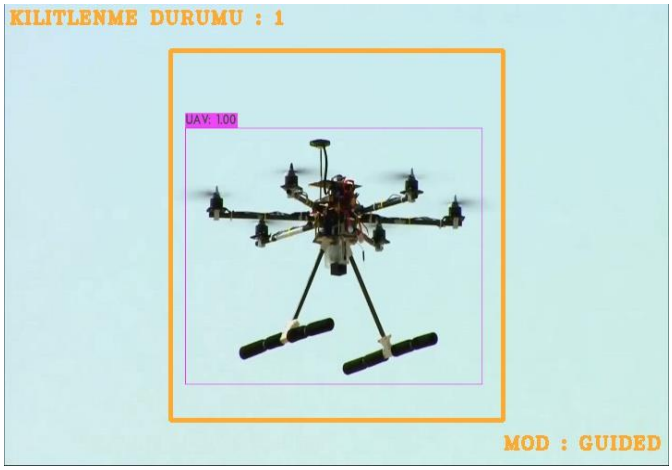
Sunucu İle Haberleşme:

Sunucuya gönderilmesi gereken tüm bilgiler tasarlanan yer istasyonu arayüzünden aktarılacaktır. Böylece tek bir arayüz sayesinde hem bilgilerin yer istasyonundan görüntülenmesi hem de sunucu ile paylaşılması sağlanacaktır. Aktarılacak telemetri bilgileri yer istasyonuna uzun menzilli telemetri modülü sayesinde gönderilirken piksellerin içerisine madde 5'te anlatıldığı gibi yerleştirilmiş kilitlenme bilgilerinin, yazılan arayüz üzerinde

çözülerek sunucu ile paylaşılması sağlanacaktır. Ayrıca tek tık ile oturumu kapatma gibi kolaylıklar arayüzde bulunacak ve el ile json formatında kodlar yazmanın önüne geçilecektir.

- **Kamera Görüntü Alanı :** Kamera Görüntü Alanı : SİHA'dan Video Transmitter yolu ile gelen kamera görüntüsü MP4 formatında arayüze eklenerek arayüzde kameradan gelen işlenmiş görüntüler izlenebilmektedir.

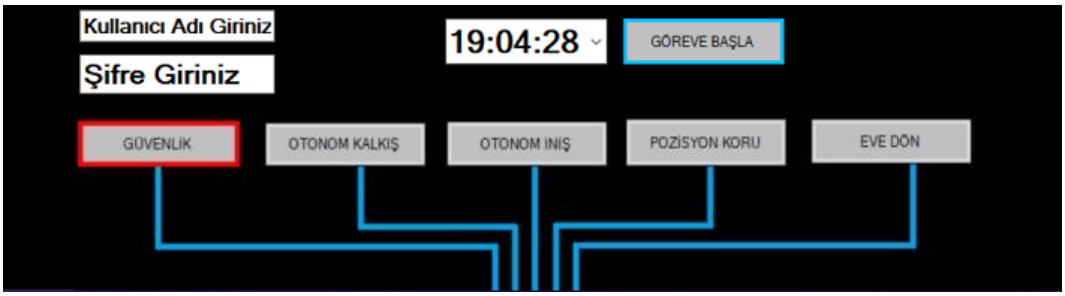
  Yarışma sunucusuna aktarılacak görüntü h264 algoritması ile sıkıştırılıp, UDP (User Datagram Protocol) protokolü yardımıyla Unicast yolu ile video sunucuya aktarılacaktır. Sunucuya video'nun ise MPEG-TS taşıyıcısı ile aktarılması planlanmaktadır.



- **Harita :** Google Maps yardımıyla arayüze eklenen harita, S21'in anlık konumunun izlenebilmesini sağlamaktadır.

- **Uçuş Verileri :** S21'den alınan uçuş verileri JSON formatında arayüze aktarılarak verilerin okunmasının kolaylaştırılması amaçlanmıştır. Mod değişimi, hız, yükseklik vb. bilgiler burada bulunacaktır.

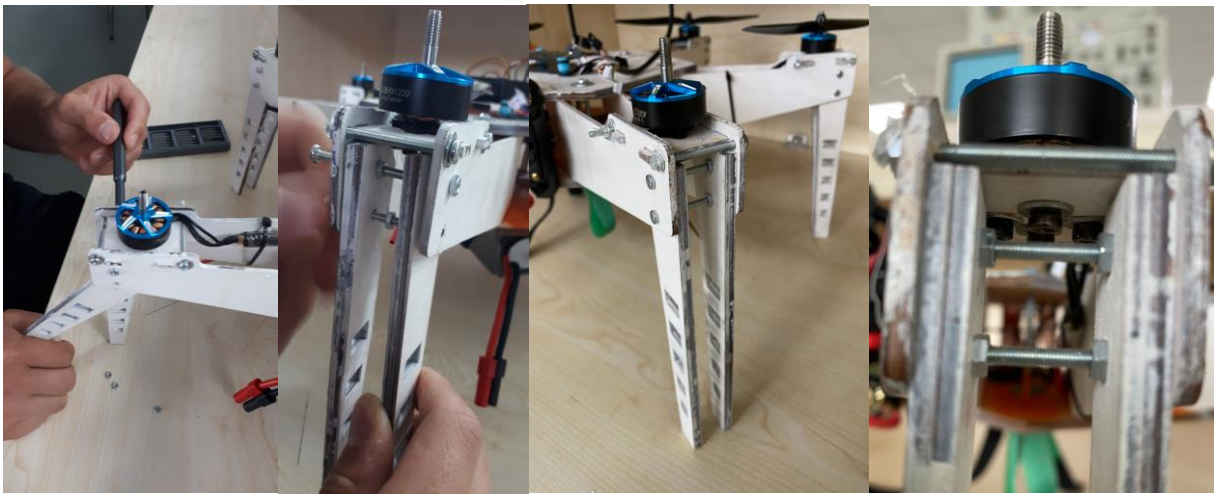
- **Hızlı Menü :** Arayüze eklenen butonlar sayesinde SİHA'nın uzaktan yönetilmesi ve acil durumlarda kontrol edilmesi amaçlanmıştır.



7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU (10 PUAN)

7.1. Yapısal Entegrasyon

Motor tutucu aparatlar, minimum yüzey alanına sahip olacak şekilde tasarlanarak pervanelerin ürettiği itkiye olan etkisi minimuma indirilmiştir. Aynı zamanda bu aparatlar geçmeli bir yapıda tasarlanmasının bir getirisi olarak montaj aparatlarının neden olduğu ağırlık problemini çözmektedir. Kollarda motor ve pervanelerden dolayı oluşabilecek titreşimlerin minimuma indirilebilmesi ve motor tutucunun sabitlenebilmesi için her bir kol M2 vida ile tutturulmuştur(Resim 7.1.1.). Civata sabitleyici sıvılar kullanılarak titreşimden dolayı somunların açılması engellenmiştir. SİHA'da kolların gövdeye entegrasyon sürecinde hem montaj kolaylığı sağlamak hem de gereksiz vida ağırlıklarından kurtulmak amacıyla geçmeli olacak şekilde tasarlanmıştır. Üst ve alt tablanın birbirlerine montajında ise M3 vidalar kullanılmıştır. Kollara ikişer adet olmak üzere her bir ayak ikişer civata ve 3 adet somun ile kollara sabitlenmiştir. Ve civata sabitleyici sıvılar kullanılarak titreşimden dolayı somunların açılması engellenmiştir.



Resim 7.1.1

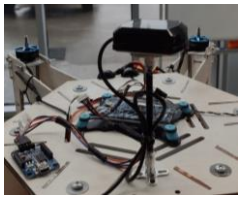
7.2. Mekanik Entegrasyon

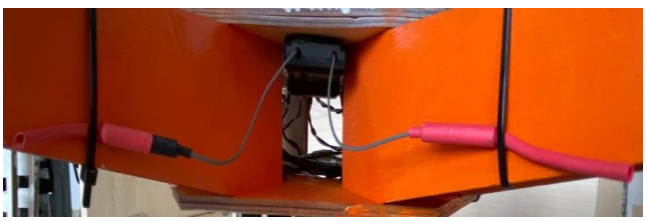
Motor: SİHA'da bulunan motorların entegrasyonunda montajlandığı motor tutucu ile bağlantısı dayanıklı ve titreşimsiz olmalıdır. Titreşimin oluşturulması uçuş verimini farklı açılardan etkilemektedir. İlk olarak pervanelerin oluşturduğu itkiyi bozarak zararlı rüzgar akımı oluşturmaktadır. İkinci olarak ise pixhawk kartında bulunan IMU sensörlerinin çalışmasını olumsuz yönde etkileyerek motorların kontrolü zorlaştırmaktadır. Motorların entegrasyonunda kullanılan vidaların sıkıca sabitlenmesi ile sorunlar ortadan kalkmaktadır.

Pil: SİHA'da bulunan en ağır parça olduğundan ağırlık merkezini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu sebeple alt tablanın merkezine yerleştirilmiştir.

ESC: Yüksek akım ve tetikleme hızlarında sensörleri etkileyecek kadar büyük manyetik alanlar oluşturduğundan SİHA'nın merkezine en uzak konumda yerleştirilmiştir.

Anten: Antenlerin konumlandırılması, yer istasyonu ile haberleşme ve uydu ile haberleşme olmak üzere ikiye ayrılır. Yer istasyonu ile haberleşmesi istenen antenler aşağı yönlü uydu ile haberleşmesi istenilen antenlerin ise yukarı yönlü konumlandırılması gerekmektedir. Ayrıca antenlerin veri alışverişi yapabilmesi için önünde fiziksel engel bulunmamalıdır.





Uçak Bilgisayarı: Pixhawk uçuş kontrolcüsünün üzerinde bulunan sensörlerin manyetik alandan etkilenmemesi için SİHA'nın merkezine konumlandırılmıştır. Ayrıca SİHA'da oluşturulan titreşimlerin Pixhawk kartına ulaşmasını azaltmak amacıyla tablaya titreşim sönümleyici ile montajlanmıştır.

Jetson Xavier-NX kartının entegrasyonu düşmelerde darbenin azaltılması, motor ve ESC'den uzak konumlandırılması ile manyetik alan etkisinin azaltılması için SİHA'nın alt tablanın merkezine konumlandırılacaktır. SİHA'nın merkezine yerleştirilmesinin ayrıca kamera ve Pixhawk kartıyla bağlantı için gerekli olan sinyal kablolarının uzunluğunu optimum seviyede tutmasıyla ortamdaki gürültülerin etkisini minimuma indirilmesi planlanmaktadır.

Voltaj Regülatörü: XL4016 Jetson Xavier-NX uçak bilgisayarının beslenmesinde gerekli gerilim ve akımın sağlanması için kullanılmıştır. Bu sebeple kablo karmaşasının olmaması için sigorta ve Jetson Xavier-NX kartının ortasına montajlanmıştır.

Güç Dağıtım Kartı: Güç dağıtım kartının entegrasyonunda kablolama ön planda tutularak S21'in üst tablasının alt merkezine montajlanmıştır. Böylece ağırlık merkezinin dengesi sağlanmış ve görüntü kirliliği azaltılmıştır.

Güç modülü: Güç modülünün entegrasyonu gereksiz kablo ağırlığının olmaması için sigortanın yakınına yerleştirilmiştir.

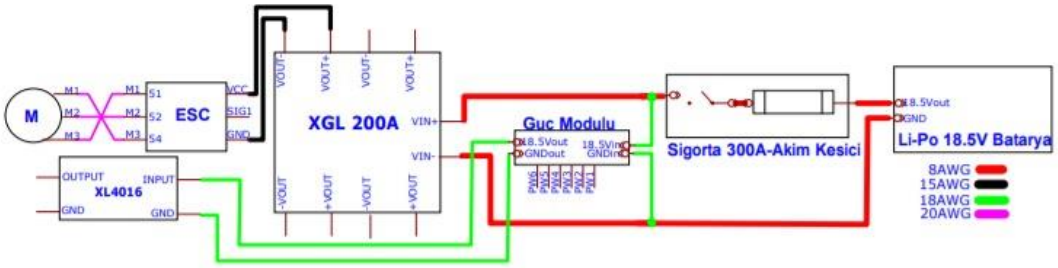
Video Aktarım-Telemetri: "Anten" başlığında da anlatıldığı gibi kullanılan Tramp HV video aktarım cihazı ve RF DESIGN 900+ telemetri modülü yer istasyonuyla haberleşmesi gerektiği için antenlerinin bakış yönü aşağıya doğru olmalıdır. Bu yüzden SİHA'nın üst tablasının kenarına yerleştirilerek montajı tamamlanmıştır.

HDM2AV kartı Tramp HV cihazıyla entegreli çalışacak olduğundan Tramp HV kartının yanına yerleştirilmiştir.

Sigorta-Akım Kesici: Riskli durumlarda SİHA'nın kapatılması için sigortanın üzerinde bulunan akım kesiciye kolayca ulaşılması gerekmektedir. Bu sebeple SİHA'nın yan yüzeyine montajlanmıştır.

Mesafe Sensörü: Görev anında çarpışmalardan kaçınmak adına kullanılan mesafe sensörünün önünde engel olmaması ve güneşten etkilenmemesi gerektiğinden üst ve alt tablaların arasına konumlandırılmıştır.

7.3. Elektronik Entegrasyon



Şekil 7.3.1. S21 Ana Güç Hattı

Elektronik entegrasyon aşamasında kullanılacak kabloların yeterli akımı taşıyabilecek olmasına dikkat edilmiştir. Bunun yanı sıra kablolar mümkün olduğunca kısa tutularak hem gereksiz ağırlık ve karışıklıkların önüne geçilmiş hem de elektromanyetik uyumluluk sorunları engellenmiştir. Kablo yarı çapının gereğinden küçük olması durumunda ise üzerinden geçecek yüksek akımlarda kabloların yanmasına sebep olacaktır.

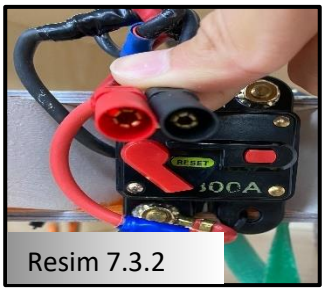
Lehimleme ve entegrasyon işlem adımları sıralanırsa;

Entegrasyon işlemine batarya ve sigorta arası bağlantının yapılmasıyla başlanmıştır. Böylece her adımda yapılan elektronik testler için güvenlik sağlanmıştır. Kablo bağlantıları arasına 8 AWG kablo kullanılmıştır. Bu kablo kalınlığı ortalama 200 ampere, patlama akımında ise 300 ampere kadar dayanabilmektedir. Batarya çıkışı ve sigorta girişi için XT150 konnektör kullanılmıştır. XT150 ortalama 150 ampere, maksimum ise 300 ampere kadar dayanabilmektedir. **Resim 7.3.1**'de Batarya çıkışında ve sigorta girişinde kullanılan XT150 konnektörler gösterilmiştir. Oluşturulan SİHA sisteminin ortalama 60A, maksimum ise 300A çekeceği düşünülmektedir.

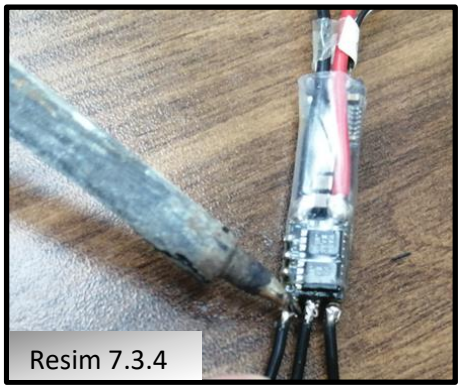
Batarya entegrasyonundan sonra sigorta çıkışına paralel olacak şekilde güç modülü ve güç dağıtım kartı bağlantısı yapılmıştır. Güç dağıtım kartına giden hat boyunca 8 AWG kablo ve XT150 konnektör kullanılmıştır. Güç modülü kısmında ise 18 AWG kablo kullanılmıştır. Güç modülü çıkışı ile güç regülatörü arasında 18 AWG kablo kullanılarak bağlantı yapılmıştır. Güç dağıtım kartı 2 adet kullanılmış ve sigortadan gelen hat ile her iki kartada de besleme sağlanmıştır. Her iki karta da eşit sayıda ESC düşecek şekilde güç dağıtımı yapılmıştır. Böylece güç dağıtım kartının 200 amperlik sınırı aşılmamış olur. Güç dağıtım kartı üzerinden ESC'lerin beslenmesinde ortalama 40 ampere kadar maksimum ise 90 ampere kadar dayanabilen 15 AWG kablolar kullanılmıştır. Resim 7.3.3'de de sigorta çıkışı ve ESC'lerin güç dağıtım kartına lehimlenmiş hali görülmektedir. Son olarak ESC ile motorlar arasındaki 20 AWG kabloların lehimlenmesi **Resim 7.3.4'**te görülmektedir. **Şekil 7.3.1**'de güç sisteminin kablo bağlantı ve kalınlığı örneği gösterilmiştir.

Oluşturan güç sisteminde lehimleme işlemleri resimlerde de görüldüğü gibi kabloların birbirine yeterince temas etmesine ve soğuk lehim olmamasına dikkat edilmiştir.

Resim 7.3.1


Resim 7.3.2

Resim 7.3.3

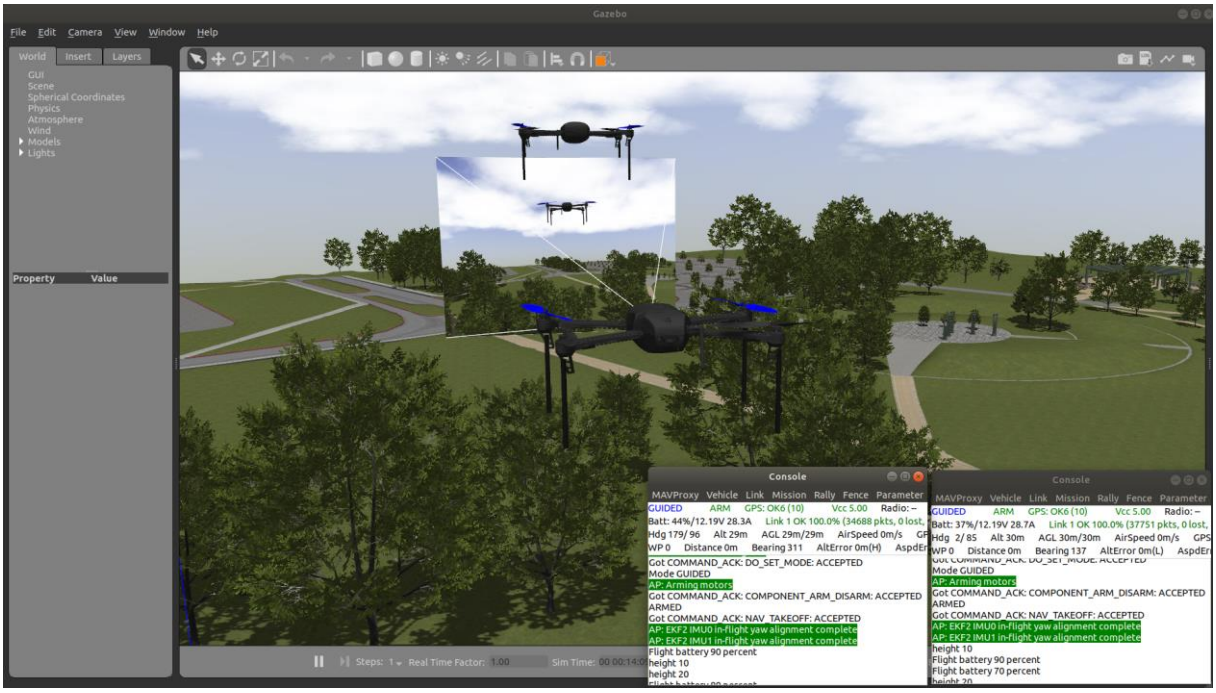

Resim 7.3.4

8. TEST VE SİMÜLASYON (15 PUAN)

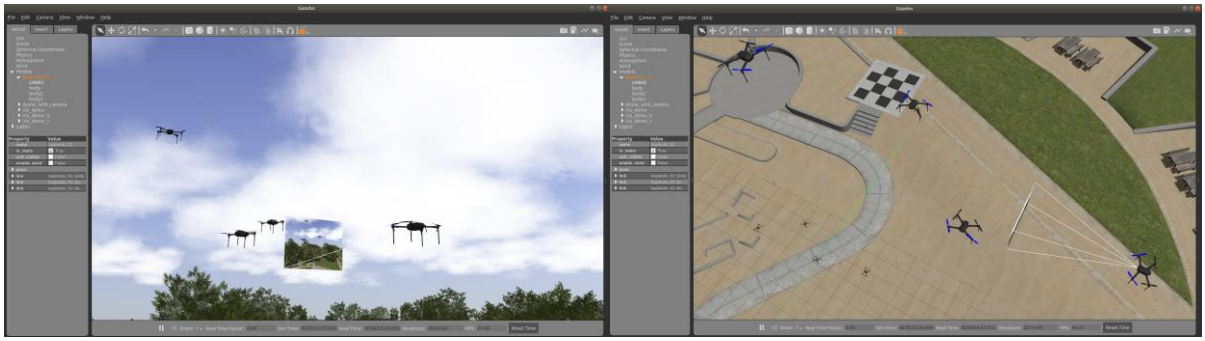
8.1. Alt Sistem Testleri

8.1.1 Simülasyon Kilitlenme Testi

S21'in it dalaşı manevraları sergilemeye yönelik yazılımlarının oluşturulup geliştirilmesi ve kabul edilebilir derecede doğru çalışmasını sağlamak üzere geliştirilen algoritmalar ROS - Gazebo ortamında simüle edilmiştir. Paketleri ve eklentileri oturmuş bir sürüm olduğu için ROS Melodic versiyonu kullanılmıştır.

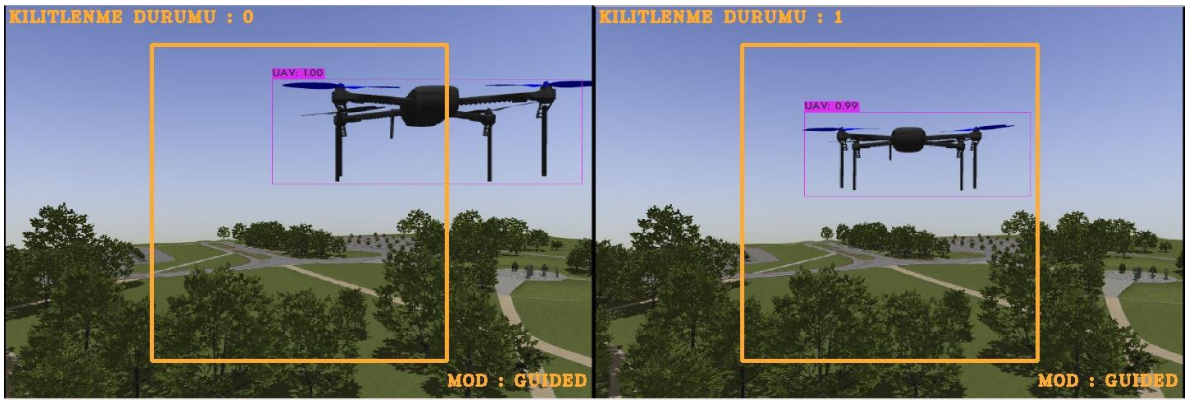


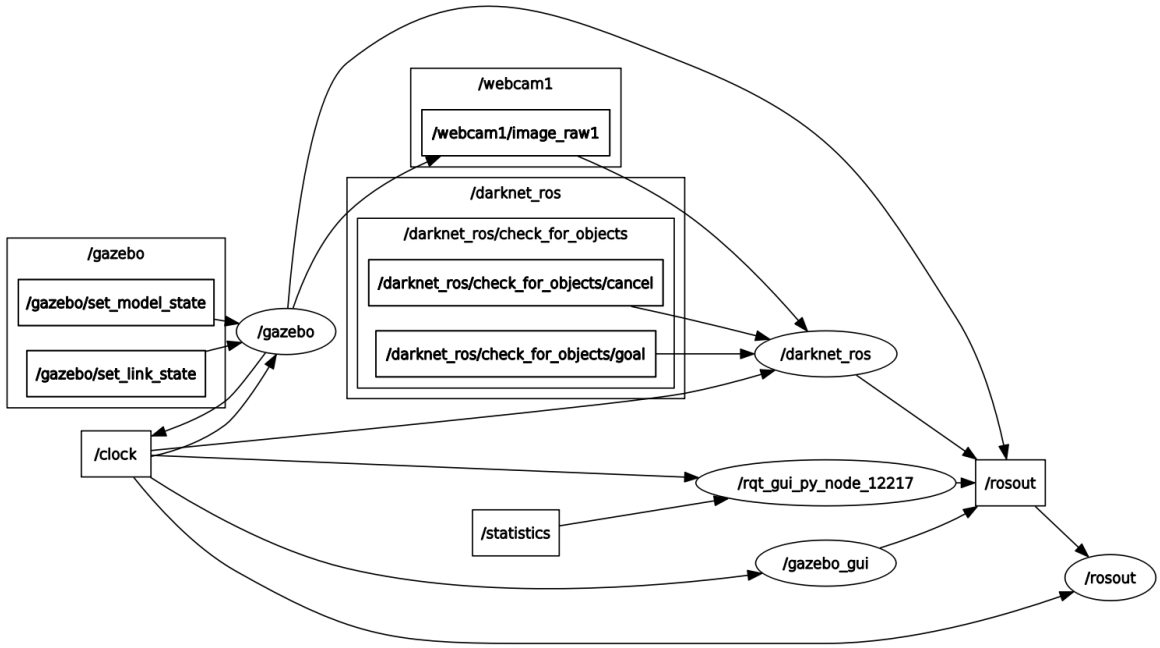
Öncelikle birden fazla döner kanat SİHA'nın bir arada uçabilmesine yönelik paketler kurularak gerekli altyapı hazırlanmıştır. ROS ortamında kullanılan hector_quadrotor paketlerinde var olan İHA modelinin SDF dosyaları isteğe göre dizayn edilip it dalaşı yapabilecek kabiliyetler SİHA robot modeline kazandırılmıştır. Ardupilot-ROS bağlantısını oluşturmak üzere SITL yazılımları kullanılmış ve SİHA simülasyon ortamında girilen koordinatlara göre otonom uçuş gerçekleştirebilir hale gelmiştir.



OpenCV kütüphaneleri ve darknet_ros yapısı çalışma ortamına entegre edilerek hedeflerin otonom tespit edilmesi sağlanmıştır.

ROS ortamında geliştirilen algoritmalar gerçek dünya koşulları altında test edilecek ve gerekli geliştirmeler yapılacaktır.

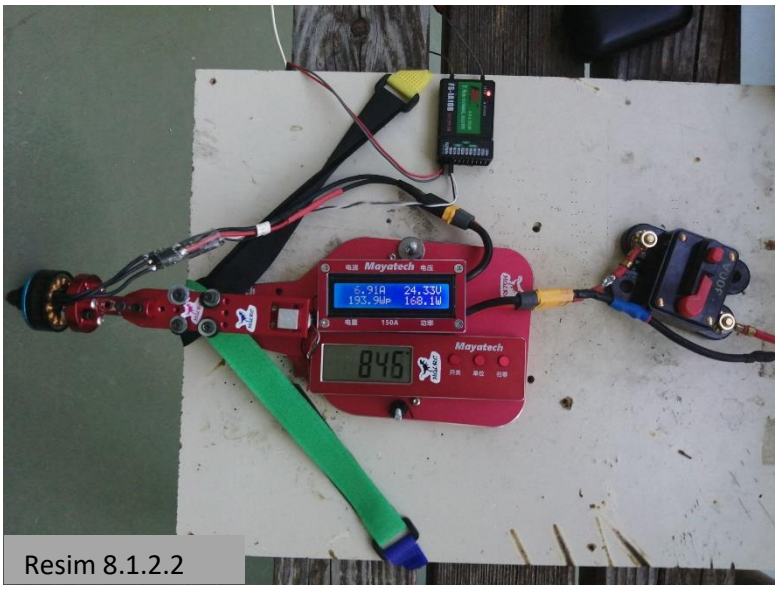




8.1.2 İtki Testi

S21 itki sisteminin teoride, belirli akım değerleri ile belirli itkiyi sağlandığı bilinmektedir. **Resim 8.1.2.2**'de gösterildiği gibi BLDC motorların testi için kullanılan thruster (itki ölçer) ile teorik hesaplamalar pratikte denenmiştir. Bu sayede motorların etiket değerlerine uygun sonuçlar gözlemlenmiştir. Aynı zamanda **Resim 8.1.2.1**'de gösterildiği gibi motorların uçuş süresi boyunca ortalama bir itkiyi üretirken meydana gelen sıcaklık değişiminin gözlemlenmesi amacıyla kızıl ötesi sıcaklık ölçer cihazı kullanılmıştır.

Resim 8.1.2.1

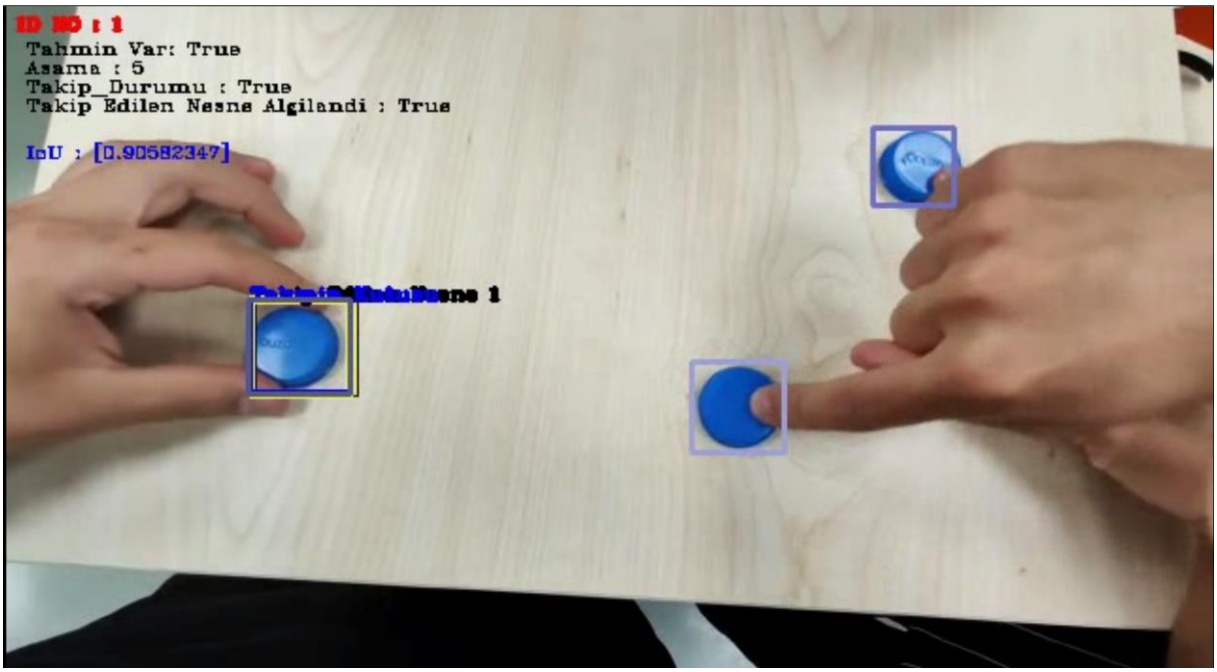


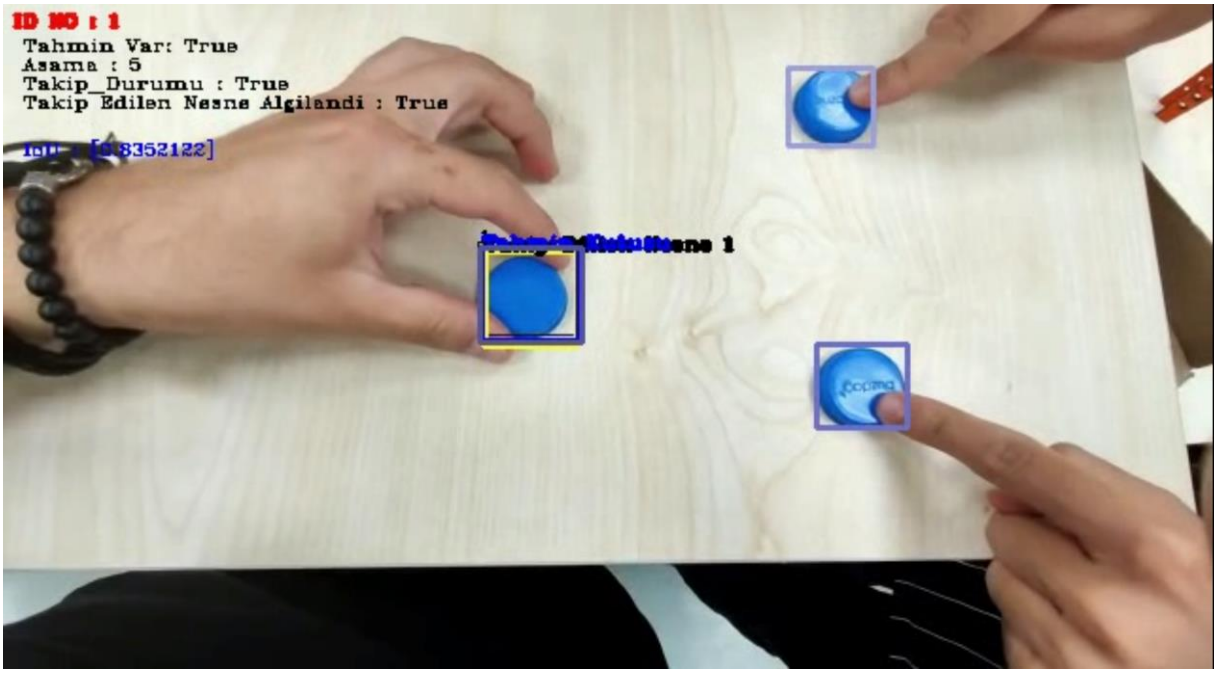
Resim 8.1.2.2

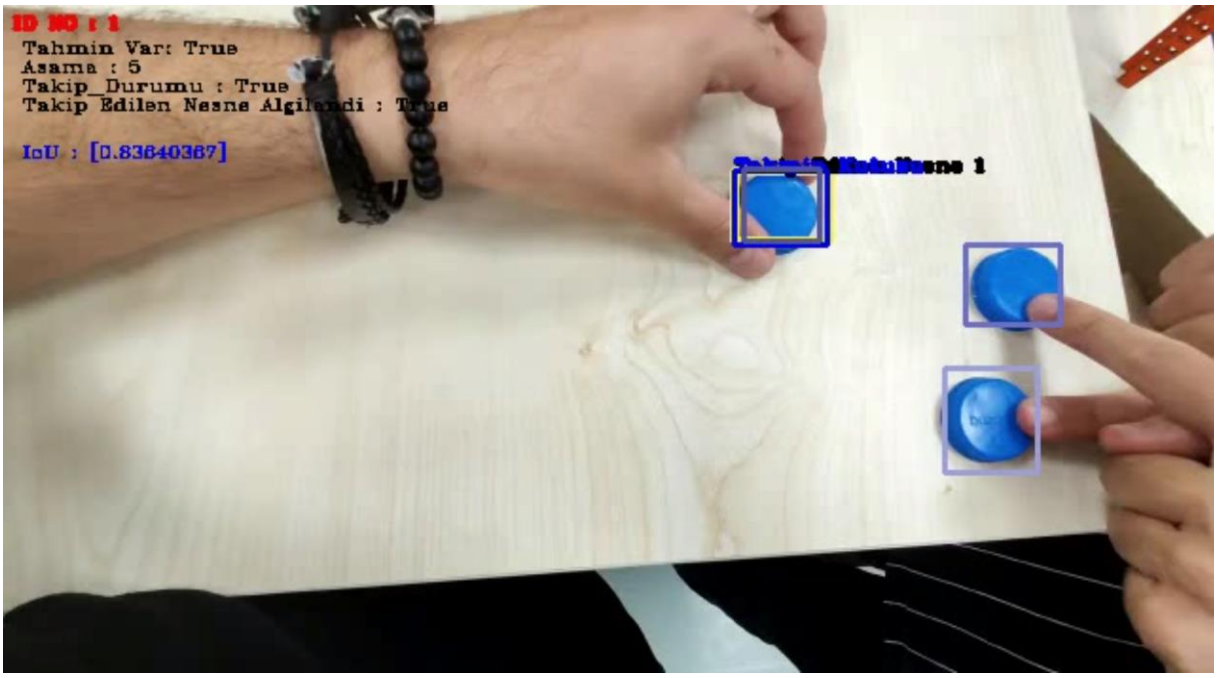
8.1.3. LSTM kilitlenme Testi

S21'in kadrajında aynı anda birden fazla SİHA bulunduğu durumlar için tek bir hedefe kilitli kalması gerekmektedir. Bu doğrultuda LSTM modeli eğitilmiş ve aynı anda birden fazla hedef olduğunda yaşanabilecek senaryolara çözüm üretilmiştir. Eğitilen LSTM modeli, kolaylık açısından mavi kapakların algılandığı bir YOLOv4-Tiny modeli üzerinden test edilmiştir. Testlerde gerçekleştirilen adımların bazıları;

- Aynı anda birden fazla SİHA görüş alanında iken en yakın hedefi belirleme,
- Hedef algılama modelinde yaşanan frame kayıplarının telafi edilmesi,
- Başlangıçta belirlenen SİHA'ya kilitlenmeyi sürdürme ve diğer SİHA'lar ile karışmadan kilitlenmeyi tamamlama olarak sıralanabilir.







8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi

S21'in gövdesi maddi yetersizlikten dolayı huş kontrplak malzemesinden oluşmaktadır. Gerekli destek sağlandıktan sonra karbon fibere geçiş yapılacak ve yarışmada yeni gövde kullanılacaktır. S21 hava aracının mekanik aksamları, donanımları ve kontrolcü ayarlarının tamamlanmasının ardından yapılacak olan uçuş testinin amacı ve hedef çıktılar belirlenmiştir. Uçuş sahası ve uçuş için gerekli izinler alınmıştır. Daha sonra hava durumunun uygun olduğu bir tarihte, gerekli güvenlik tedbirleri ve uçuş kontrol listesinde verilen önergeler uygulanmıştır. Uçuş esnasında test edilen; uçuş süresi, tepki gecikmesi, hava aracı tam yüklü iken motorların bir görev süresinde oluşturduğu sıcaklık gibi parametreler kaydedilmesi ile test çıktılarının elde edilmesi sağlanmıştır. Bu projede geliştirilen SİHA tasarımının ilk prototipinde elde bulunan Pixhawk 2.4.8, 7000 mAh batarya, Jetson Nano, Xbee gibi elektronik ekipmanlar kullanılmıştır. Ayrıca gövde malzemesi olarak huş kontraplak kullanılmıştır. Böylece mekanik ve elektronik tasarımlarda var olan eksikliklerin düşük maliyetle üretilen prototip üzerinden gözlemlenebilmesi ve test edilmesi sağlanmıştır. Nihai prototipte ise malzeme listesinde bulunan ekipmanlar kullanılması düşünülmektedir.

Uçuş kontrol listesi

- ✓ Hava durumunun uçuş testi yapmaya uygun olduğunun test edilmesi,
- ✓ Uçuş için yasal izinleri alınması,
- ✓ Test ve denemeler için insanlardan uzak mekanların seçilmesi,
- ✓ Batarya kapasitesinin yeterli düzeyde olması,
- ✓ Tüm malzemelerin güvenli bir şekilde sabitlenmiş olması,
- ✓ Akım kesicinin kontrollerinin yapılması,
- ✓ Kalibrasyon ve test sırasında pervanelerin takılı olmaması,
- ✓ Kumanda kalibrasyonunun yapılması ve kontrolü,
- ✓ Pusula kalibrasyonu yapılması ve kontrolü,
- ✓ Jiroskop kalibrasyonunun yapılması ve kontrolü,
- ✓ İvmeölçer ve barometrenin kalibrasyonunun yapılması ve kontrolü,
- ✓ Uçuş modlarının kontrol edilmesi,
- ✓ GPS'in hatasının (Glitch) olmamasına dikkat edilmesi,
- ✓ Yeterli sayıda uyduya bağlanılmış olması,
- ✓ "Failsafe" modunun aktif olması ve yapacağı işlemin doğru olması, (Land veya RTL)
- ✓ Motor dönüş yönleri ve pervane uyumunun kontrolü,
- ✓ Pervanelerin motorlardan fırlamaması için iyice sıkılması,
- ✓ Pervanelerin herhangi bir nesneye temas etmemesi.

Uçuş Sonrası Kontrol Testi

- ✓ Kumanda ile motorların durdurulması,
- ✓ Akım kesici ile enerjinin kesilmesi,
- ✓ Batarya yüzdesinin kontrol edilmesi,
- ✓ ESC ve motor sıcaklığının kontrol edilmesi,
- ✓ SİHA mekanik ve elektronik aksamlarında deformasyon olup olmadığının kontrolü,
- ✓ Pervane başlıklarının kontrol edilmesi,
- ✓ Uçuş kayıtlarının incelenerek herhangi bir anormallik olup olmadığının kontrolü.

9. GÜVENLİK (5 PUAN)

Çalışma esnasında meydana gelebilecek kazalara karşı, ekibin ve malzemelerin korunabilmesi adına belli önlemler alınmış ve uygulanmıştır.

Kullanılan motorların çekeceği yüksek akım değerlerine uygun kablo kalınlıkları seçilmiş ve bu kabloların lehimlendiği bölgelere makaronlar takılarak yalıtım sağlanmıştır. İletim hatlarının kısa devre kontrolü özenle yapılmıştır. S21'e müdahale edilmesi gereken durumlar

için ulaşılabilir bir konuma sigorta ve akım kesici ünitesi yerleştirilerek yüksek akımın sebep olabileceği tehlikelerin önüne geçilmiştir.

Üretim ve montaj esnasında meydana gelebilecek kazaların önüne geçilmesi için çalışma esnasında koruyucu gözlük, maske gibi ekipmanlar kullanılmıştır. Kalibrasyon ve testler esnasında motorların pervaneleri takılmamıştır. Ayrıca öngörülemeyen kazalar için çalışma ortamında ilk yardım çantası bulundurulmuştur.

SİHA'nın kırıma uğraması gibi bir durumda Li-Po batarya korunabilmesi için yanmaz pil çantası kullanılmış, aynı zamanda kullanılmadığı durumlarda da batarya bu çantada muhafaza edilmiştir. Tüm bu önlemlere rağmen bataryanın yanması ihtimaline karşı kuru kimyevi toz söndürücü laboratuvar ortamında bulundurulmuştur. Lehim yapılırken ya da müdahale durumlarında malzemeleri statik elektrikten koruyabilmek adına antistatik bileklik kullanılmıştır.

Uçuş esnasında SİHA'nın belirlenen bölgenin dışına çıkıp herhangi bir yere zarar vermemesi ya da kaybolmaması için seyir edebileceği sınır şartları belirlenmiştir. Batarya kritik seviyelere düştüğünde S21, yer istasyonuna ve kumandaya uyarılar verip iniş yapacaktır. Ayrıca SİHA'nın kontrolünün kaybedildiği ya da erişilemediği durumlar için failsafe senaryosu hazırlanarak çevresine zarar vermeden güvenli bir iniş yapması sağlanmıştır.

10. REFERANSLAR

Kaynakça

1. Bochkovskiy, A., Wang, C.-Y., & Liao, H.-Y. M. (23 Apr 2020). *YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection.* Taiwan: Academia Sinica, Taiwan.
2. Huang, Z., Xu, W., & Yu, K. (09 Aug 2015). *Bidirectional LSTM-CRF Models for Sequence Tagging.* https://arxiv.org/pdf/1508.01991.pdf.
3. Kalchbrenner, N., Grefenstette, E., & Blunsom, P. (2014). *A Convolutional Neural Network for Modelling Sentences.* Department of Computer Science University of Oxford.
4. Lee, H., & Kim, H. (2017). *Trajectory Tracking Control of Multirotors from Modelling to Experiments: A Survey.* International Journal of Control, Automation and Systems 15(1) (2017) 281-292.
5. Lon, J., Shelhamer, E., & Darrell, T. (2015). *Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation.* California: UC Berkeley.
6. Redmon, J., & Farhadi, A. (8 Apr 2018). *YOLOv3: An Incremental Improvement.* Washington: University of Washington.
7. BAŞARAN, E. (Aralık 2017). *PERVANE PERFORMANSININ ANALİTİK VE SAYISAL YÖNTEMLERLE HESABI.* TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniveritesi.
8. Braun, S. (5 Jun 2018). *LSTM Benchmarks for Deep Learning Frameworks.* https://arxiv.org/pdf/1806.01818.pdf.

9. Hoffmann, G., & Waslander, S. (2009). *Quadrotor Helicopter Trajectory Tracking Control.* American Institute of Aeronautics and Astronautics.

10. Noh, H., Hong, S., & Han, B. (2015). *Learning Deconvolution Network for Semantic Segmentation.* Department of Computer Science and Engineering, POSTECH, Korea.

11. Radiocrafts. (2017). RF Modules Range Calculation and Test. *By T.A.Lunder and P.M.Evjen*, 1-13.

12. Semiconductor, ON. (2006). *Introduction to Analog.* ON Semiconductor.

13. Truong, G. T., Tran, H. V., & Choi, K.-K. (15 November 2019). Tensile Behavior of Carbon Fiber-Reinforced Polymer Composites Incorporating Nanomaterials after Exposure to Elevated Temperature. *Journal of Nanomaterials*, 1-14.