

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

TAKIM ADI: NEÜ Kapsül Göktürk Ekibi

YAZARLAR: Kadir ARSLANPINAR, Kürşat ÇİÇİN, Ali KANKAYA, İlknur KESKİN, Sena TÜRKER, Hediye ORHAN, Dilara Sevim POLAT, Halit Hakan HIZLI, Emine CAĞLAR, Fatma YALÇINKAYA



SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

İÇİNDEKİLER

1.	TEMEL SİSTEM ÖZETİ	3
1.1.	Sistem Tanımı	3
1.2.	Sistem Nihai Performans Özellikleri	4
2.	ORGANİZASYON ÖZETİ	4
2.1.	Takım Organizasyonu	4
2.2.	Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe	6
3.	DETAYLI TASARIM ÖZETİ	7
3.1.	Nihai Sistem Mimarisi	7
3.2.	Alt Sistemler Özeti	13
3.3.	Hava Aracı Performans Özeti	14
3.4.	Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı	17
3.5.	Hava Aracı Ağırlık Dağılımı	18
4.	OTONOM GÖREVLER	19
4.1.	Otonom Kilitlenme	19
4.2.	Kamikaze Görevi	27
5.	YER İSTASYONU VE HABERLEŞME	27
6.	KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI	29
7.	HAVA ARACI ENTEGRASYONU	31
7.1.	Yapısal Entegrasyon	31
7.2.	Mekanik Entegrasyon	34
7.3.	Elektronik Entegrasyon	36
8.	TEST VE SİMÜLASYON	37
8.1.	Alt Sistem Testleri	37
8.2.	Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi	41
9.	GÜVENLİK	44
10.	REFERANSLAR	45

1. TEMEL SİSTEM ÖZETİ

1.1. Sistem Tanımı

Teknofest Savaşan İHA yarışma isterleri incelenip (1) Göktürk Ekibi tarafından özgün ve yerli imkanlar ile Pars İnsansız Hava Aracı tasarlanmıştır. Pars 2019 Savaşan İHA yarışmasından bu yana revize edilmektedir. Pars yüksek manevra ve tam otonom görev yapabilme kabiliyetine sahiptir. Tam otonom görev sırasında hedef hava aracını tespit edip takip etmektedir. Yer istasyonundan gelen hedef hava aracının verilerini işleyip, anlık hızını ve rotasını değiştirmektedir. Yüksek manevra kabiliyeti sayesinde başka bir hava aracının görüş açısına girdiğinde kaçış manevraları yapıp hedef olmaktan kurtulmaktadır. Tüm bu kabiliyetleri 5 sistem altında toplanmıştır.

Güç sistemi tüm sistemlere elektrik enerjisi sağlamakta ve tehlike anında sistemlerin belirli kısımlarının enerjisini kesmektektir. Güç sistemini batarya, sigorta ve güç modülü oluşturmaktadır. Güç sistemi için seçilen batarya Pars'ın uçuş süresine doğrudan etki etmektedir. Güç modülü tüm sistemlere gerekli olduğu kadar enerji sağlamaktadır.

İtki sistemi Pars'ın ivmelenmesi sağlamaktadır. İtki sistemini pervane, motorlar ve motor sürücüler (ESC) oluşturmaktadır. Pars'ın pervaneleri ve motorları Pars'ın kalkış ağırlığını ve manevra kabiliyetini etkilemektedir. Motor sürücüler Pars'ın motorlarının otonom uçuş kontrol sistemi tarafından kontrol edilmesini sağlamaktadır.

Otonom uçuş kontrol sistemi Pars'a otonom iniş, kalkış ve uçuş kabiliyeti kazandırmaktır. Sistem; uçuş kartı, GPS, telemetri, alıcı ve sensörlerden (yükseklik, hava hızı sensörleri gibi) oluşmaktadır. Sistem elemanları yarışma isterlerine uygunluğu ve birbirleriyle uyumluluğu göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Otonom uçuş kontrol sisteminde yer alan sensör verileri telemetri üzerinden kontrol istasyonu sistemine aktarılmaktadır.

Yer kontrol istasyonu sistemi sensörler tarafından ölçülen tutum verilerini gerçek zamanlı olarak toplama, değerlendirme ve kontrol bilgisayarı tarafından verilen komutları uçuş kartına iletmeyi sağlar. Sistem, kontrol bilgisayarı, telemetri, kumanda ve görüntü aktarım bilgisayarlarından oluşmaktadır. Sisteme telemetri aracılığı ile aktarılan veriler kontrol bilgisayarında bulunan arayüz programında değerlendirilir. Kontrol bilgisayarında yaşanacak herhangi bir bağlantı kesikliği durumunda ise pilot müdahalesi için kumanda bulunmaktadır. Pars'ın ön kısmında bulunan kameralardan gelecek görüntüler gerçek zamanlı olarak görüntü bilgisayarına aktarılacaktır.

Haberleşme ve görüntü sistemi Pars'ın yer ile haberleşmesini sağlamaktadır. Haberleşme sistemini Pars üzerinde bulunan yardımcı bilgisayar ve yerde bulunan acces point/router modem oluşturmaktadır. Yardımcı bilgisayar Pars'ın tutumunu ve görev için aldığı kararları uygun formata dönüştürmektedir. Yardımcı bilgisayardan gelen veriler WiFi ağı üzerinden yerde bulunan modeme iletilmektedir. Modem kablolu veya kablosuz olarak bağlanan birden fazla aygıtın birbirleriyle ve yarışma sunucusu ile doğru bir şekilde haberleşmesini sağlamaktadır.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

1.2. Sistem Nihai Performans Özellikleri

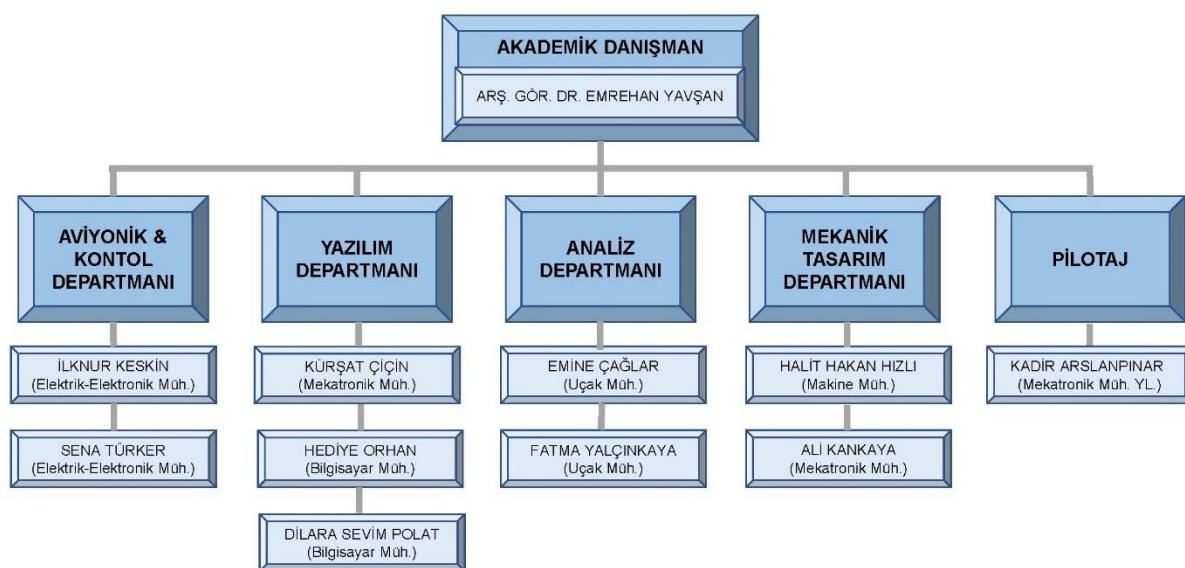
Analizler sonucunda sistemin nihai performans özellikleri *Tablo 1*'de belirtilmiştir. Tablo oluşturulurken John D. Anderson'ın (2) kitabından ve Göktürk ekibinin Ön Tasarım Raporundan (3) yararlanılmıştır.

Stall Hızı	9.923 m/s
Seyir Hızı	13 m/s
Havada Kalma Süresi	55 dk
Manevra Kabiliyeti	Düz kanat ve geleneksel kuyruk
Kararlılık	Ortadan kanat ve ağırlık merkezinin uçağın burnuna yakınlığı
Kanat Yüklemesi	98 N/m ²
İtki\Ağırlık Oranı (T\W)	0.085
Kaldırma\Ağırlık Oranı (L\D)	11.71
Kanat Açıklığı	2.21 m
Kamera Çözünürlüğü	3280 x 2464
Yaklaşık FPS	27

Tablo-1 Pars'in performans özellikleri

2. ORGANİZASYON ÖZETİ

2.1. Takım Organizasyonu



Görsel-1 Göktürk ekibi organizasyon şeması

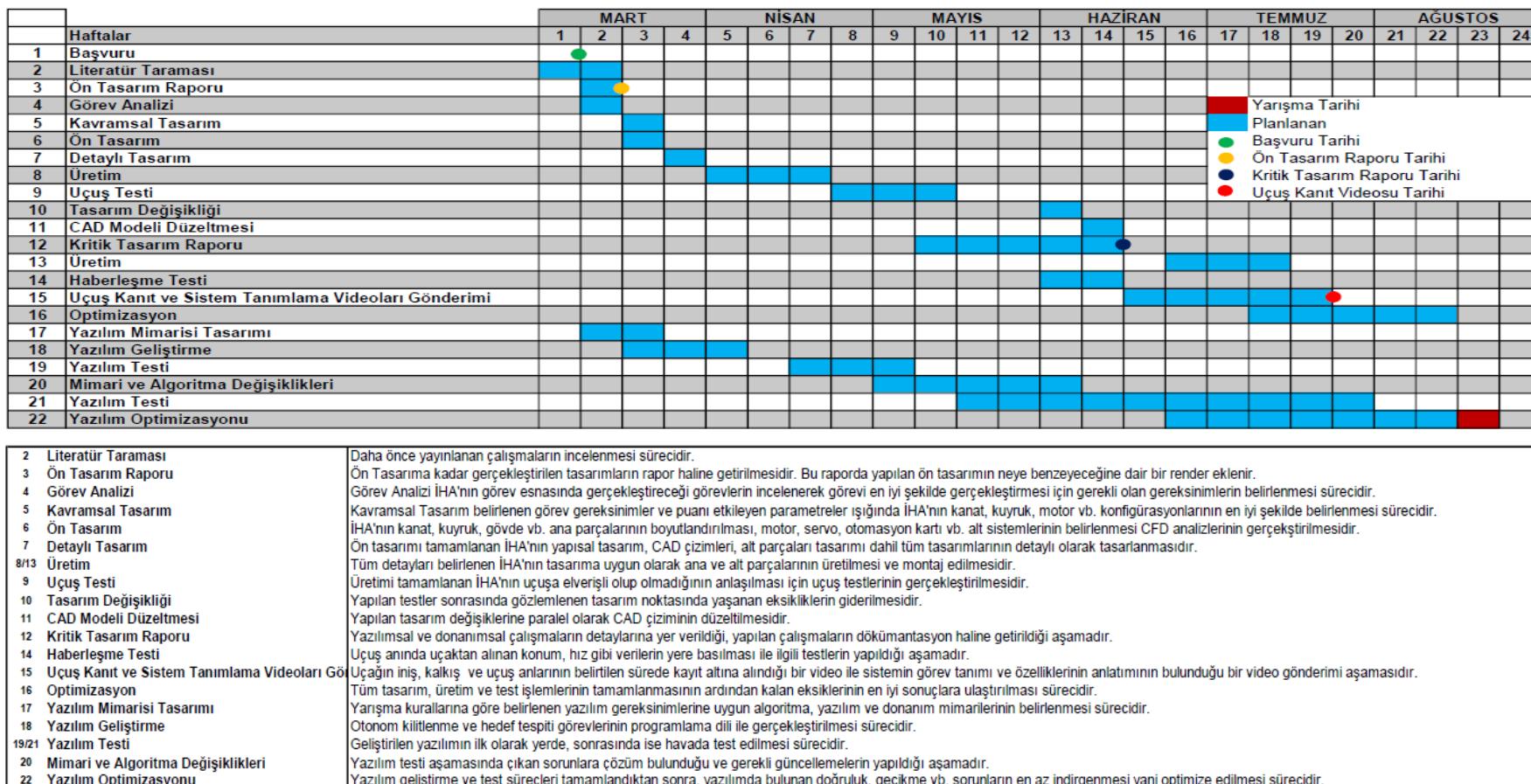
Kuruluş yılı olan 2016'dan itibaren departman isimleri ve tanımları gereksinimler doğrultusunda yenilenmiştir. *Görsel 1*'de departmanlar ve departman üyeleri gösterilmektedir. Departman tanımları ve kullanılan programlar aşağıda açıklanmıştır.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

- Kontrol ve Aviyonik Departmanı İHA'nın otopilot ayarlarını ve elektronik aksamını hazırlar. Kontrol ve Aviyonik Departmanı ArduPilot ve QgroundController programlarından yararlanmaktadır.
- Yazılım Departmanı makine öğrenmesi, hedef tespiti ve İHA yönlendirmesi olarak üç alana ayrıılır. Python ve C++ programlama dilleri kullanılmaktadır.
- Analiz Departmanı görev isterlerine göre İHA'nın tasarımını ve ölçülerini belirler. Analiz Departmanı ANSYS Fluent ve XFLR5 üzerinden analizlerini gerçekleştirmektedir.
- Mekanik Tasarım Departmanı tasarımlarını SolidWorks, Fusion 360 ve Catia programları ile gerçekleştirmektedir.
- Pilotaj Departmanı gerekli uçuş sertifikaları alıp önce simülasyon ortamında daha sonrasında uçuş alanında İHA'nın kumanda ile kontrolünü sağlar.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

2.2. Zaman Akış Çizelgesi ve Bütçe



Görsel 2 İş akış çizelgesi ve iş paketleri tanımı

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Pars planlanan uçuş testi tarihini hava koşullarından kaynaklı bir hafta geç yapmıştır. Pars için tahmini bütçe ön tasarım raporunda *Tablo 2*'de olduğu şekildedir. Fiyat tahmini 09.03.2022 tarihinde yapılmıştır.

Malzeme Adı	Bütçe
Motor	₺2.640,00
Pervane	₺390,00
ESC	₺690,00
Pil	₺3.750,00
Uçuş Kartı	₺5.320,00
Haberleşme	₺5.750,00
Sensörler	₺4.370,00
Yazılım Donanımı	₺6.830,00
Üretim	₺3.170,00
TOPLAM	₺34.000,00

Tablo-2 Tahmini bütçe tablosu

Pars'ın tüm ekipmanlarının netleşmesi ile birlikte toplam güncel bütçesi *Tablo 3*'te gösterildiği şekildedir. Seçilen ekipmanlar **Nihai Sistem Mimarisi** başlığında açıklanmıştır.

Malzeme Adı	Adet	Fiyat
Sunnysky x3520 520 KV Motor	2	₺2.409,36
APC 12x8 Pervane	2	₺389,77
FlyFun 60A ESC	2	₺2.359,62
Tattu 12000 mAh 22.2V LiPo Pil	1	₺7.246,96
Pixhawk Cube Uçuş Kartı	1	₺6.805,16
TP-Link EAP225 Acces Point/Router	1	₺1.852,64
TP-Link Archer T3U WiFi Adaptör	2	₺698,00
RFD 868 Telemetri Seti	1	₺2.987,35
Pixhawk PX4 Hava Hız Sensörü	1	₺980,15
Here 2 GPS	1	₺3.100,00
Pixhawk Power Brick	1	₺699,00
NVIDIA Jetson Nano	1	₺7.681,20
IMX219-77 Kamera	1	₺406,86
Üretim		₺3.944,00
TOPLAM		₺41.560,07

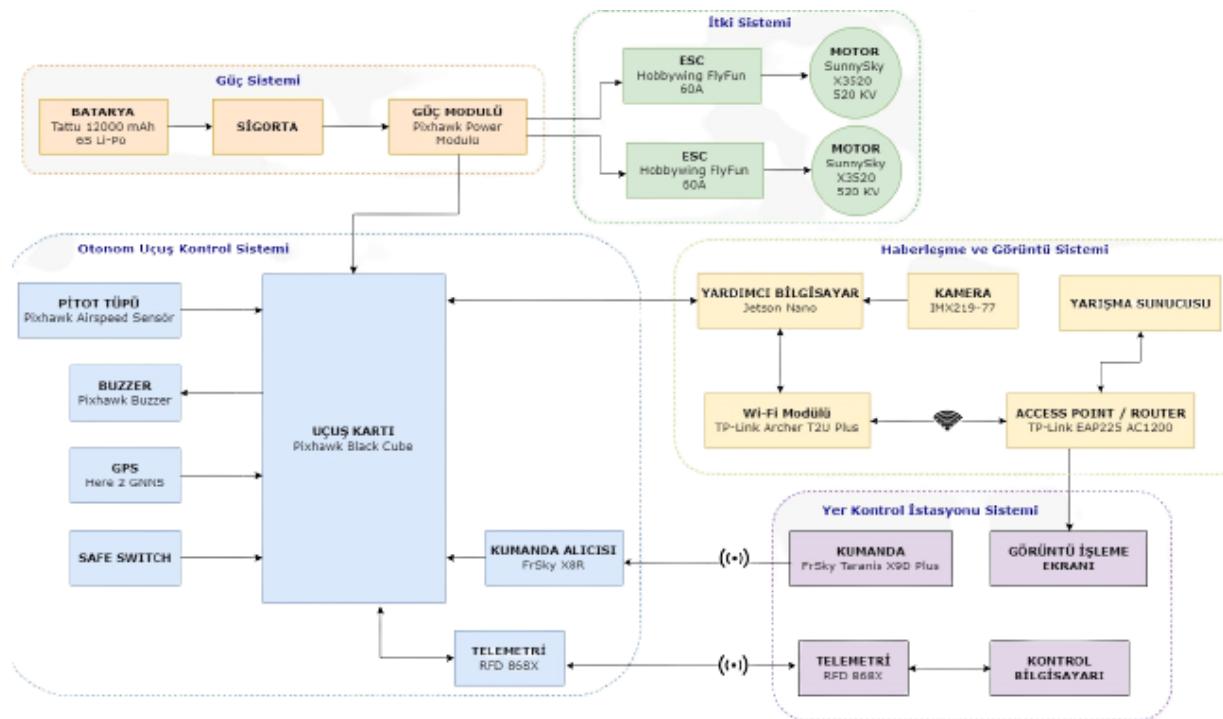
Tablo-3 Gerçekleşen bütçe tablosu

3. DETAYLI TASARIM ÖZETİ

3.1. Nihai Sistem Mimarisi

Sistemin yarışmaya uygunluğu departman üyeleri tarafından değerlendirildikten sonra tamamlanan seçimler sistem mimarisinin nihaleşmiş hali şematik olarak *Görsel 3*'te belirtilmiştir.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Görsel 3 Nihai sistem şeması

Yukarıda *Görsel 3*'te görüldüğü üzere Pars beş alt sisteminin birleşimi olmaktadır. Bu kısımda anlatacağımız donanımların marka/model bilgisine kadar yer alan seçim sürecinde ekip üyelerinin bilgi ve tecrübe birikimi, elektroniklere ulaşım kolaylığı ve alım gücü göz önünde bulundurularak seçimler belirlenmiştir.

Otonom uçuş kontrol sistem mimarisinde bulunan sistem elemanlarının tamamı uçuş kartına bağlıdır. Uçuş kartında bulunan port girişlerine ve protokollerine uygun girişler bulunması bu sistemdeki elemanların seçiminde önemli bir unsurdur.

Seçilen uçuş bilgisayarının müdahale edebilmek için açık kaynak kodlu yazılım paketi olan ArduPilot seçilmiştir. ArduPilot hava araçlarına otonom hareket kabiliyeti kazandırmada kullanabildiğimiz gelişmiş bir otopilot yazılımıdır. Yaygın kullanımı olduğu için kolay ulaşılabilen geniş kapsamlı dökümantasyon olanağı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra ArduPilot'un özelliklerini aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz;

- Tamamen otonom, yarı otonom ve tamamen manuel uçuş modları ve Fail-safe uçuş moduna sahip olması,
- Uçuş kolaylığı sağlamak için stabilizasyon seçenekleri,
- Görev planlayıcı ile waypoint tanımlama seçeneği (otonom uçuş için),
- İki yönlü telemetri desteği (MAVLink protokolü),
- 'Extended Kalman Filter' gibi lineer olmayan sistemlerde uygulanan filtreleme algoritmalarına sahip olması.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Marka	Ana İşlemci	Yardımcı İşlemci	IMU	Barometre
Pixhawk Cube	STM32F427VIT6	STM32F100C8T6	L3GD20	ICM20648

Tablo-4 Uçuş kartı özellikler

Uçuş kartı sistemin en önemli elemanıdır. Uçuş Kart olarak Pixhawk Cube Black kullanılmıştır. Pars'ın yarı otonom veya otonom uçuşlarını gerçekleştirebilmesi için gerekli sensörleri ve bağlantı yollarını bulundurmaktadır. Cube içinde bulunduğu 3 IMU sayesinde gyro, ivmeölçer ve pusula verilerini yüksek hassasitçe ölçmektedir. Taşıyıcı sayesinde I2C, UART, SBUS giriş çıkış birimleri bulunmaktadır ve harici sensörler ile haberleşebilmektedir. Sensörler hakkında detaylı bilgiler [Tablo 4](#)'te gösterilmiştir.



Yarışma görevlerinin tam otonom gerçekleşebilmesi için aşağıdaki sensörler ve haberleşme ekipmanlarının Pixhawk Cube ile bağlantısı doğrudan sağlanmıştır.

Marka	İşlemci	Barometre	Pusula-Gyro-İvmeölçer	Hassasiyet	Konumlandırma Doğruluğu	İletişim Protokolü
Here 2	STM32F302	MS5611	ICM20948	-167 dBm	3D FIX	UART / I2C

Tablo-5 GPS özellikleri

GPS Pars'ın konumlandırılması ve otonom uçuş yapabilmesini sağlamaktadır. Ön tasarım raporunda Ublox M8N Gps kullanılacağı belirtilmiştir. Ancak navigasyon hassasiyetinden kaynaklı HERE 2 kullanılmaya karar verilmiştir. Here 2 konum doğrulama yöntemi olarak 3D Fix kullanmaktadır. Pixhawk Cube UART portu ile bağlanmaktadır. GPS hakkında detaylı bilgiler [Tablo 5](#)'te verilmiştir.



Marka	Frekans Aralığı	Güç Girişi	İletim Hızı	Çıkış Gücü	Menzil	İletişim Protokolü	Ürün Ağırlığı
RFD 868x	868-869 MHz	+5,5 V	2 - 500 kbit/sn	1 Watt	40 km	UART	14,5 gr

Tablo-6 Telemetri özellikleri

Telemetri kontrol bilgisayarı ile haberleşmek için telemetri modülü olarak RFD 868X kullanılmaktadır. Geçmiş yıllarda yapılan uçuş testlerinde telemetri verilerinin kontrol bilgisayarına yüksek yenileme hızı ve düşük kesintiyle iletiliği, verilerin gerçek zamanlı olarak gözlenebildiği ve gerekli durumlarda istenilen müdahalenin gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Telemetri, uçuş kartına TELEM1 portundan bağlanmaktadır. Telemetri özellikleri [tablo 6](#)'da verilmektedir.



SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Marka	Kanal Sayısı	Menzil	Voltaj Aralığı	Çalışma Akımı	Ürün Ağırlığı
FrSky X8R	16 CH	1.5 km	4.0 ~ 10 V	100 mA	16.6 gr

Tablo-7 Kumanda alıcısı özellikleri

Kumanda ve alıcı acil durumlarda Pars’ın pilot müdahalesi ile kontrol edilebilmesi için kullanılmaktadır. Yarışma alanı menzilini karşılayabilen ve SBUS kullanım desteği sağlayan FrSky X8R kumanda alıcısı kullanılmasına karar verilmiştir. Kumanda olarak alıcıyla birlikte kullanılan FrSky Taranis X8D Plus kumanda kullanılmıştır. Kumanda özellikleri [tablo 7](#)’de gösterilmektedir.



Marka	Basınç Sensörü	Maksimum Basınç	Hassasiyet	İletişim Protokolü
PX4 Airspeed Sensör	4525DO	300 psi	%0,25	I2C

Tablo-8 Hava hız sensörü özellikleri

Hava hız sensörü anlık olarak hava hızı ölçümü yaparak PARS’ın hız verisinin güvenirliliği sağlayacaktır. Bunun için uçuş kartı ile de uyumlu bir kit olan Pixhawk PX4 Airspeed Sensör kullanılmıştır. Sensör 0,25 hassasiyette olup pixhawk cube, I2C portundan bağlanmaktadır. Hava hız sensörünün detayları [tablo 8](#)’de gösterilmektedir.



Bunlara ek olarak Pixhawk Cube güç gittiğini ve açıldığını sesli ikaz uyarısı veren buzzer bulunmaktadır. Güç sistemine sinyal iletimini aktifleştiren safe switch kullanılmaktadır.

Marka	Maksimum Voltaj	Çalışma Akımı	Maksimum Akım	Ürün Ağırlığı
Pixhawk Power Brick Mini	29,6 V	30A	100A	14 gr

Toblo-9 Güç modülü özellikleri



Güç modülü sistemlere güç aktarımı sağlamak için kullanılmaktadır. Modül olarak uçuş kartına uyumlu bağlantı olanağı sağlama nedeniyle Pixhawk Power Brick Mini seçilmiştir. Bunun yanı sıra voltaj ölçümü ve yüksek amper çekimine dayanımı da sistem için önemlidir. Güç modülü özellikleri [tablo 9](#)’da verilmektedir.

Marka	Çalışma Akımı	Maksimum Akım	Çalışma Voltajı	BEC Çıkışı	Ürün Ağırlığı
Hobbywing Funfly	60A	80A	7,4V-22,2V	5,2V-6V/8A-20A	73,5 gr

Tablo-10 Motor sürücü özellikleri

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

ESC motorların yönlerinin ve devrinin istenilen şekilde ayarlanması sağlar. Kullanılan motorun ve pilin özelliklerine göre seçilir. Programlanabilir olması ve yüksek ısı çalışma olanağı sağlamasından kaynaklı Hobbywing FlyFun 60A Esc seçilmiştir. Programlanabilir olması motorların ani fren yapabilmesini sağlamaktadır. Soğutucunun dışında ve büyük olması yüksek ısı ve kararlı bir yapıda çalışmasını sağlar. ESC'nin özellikleri *Tablo 10*'da gösterilmektedir.



Marka	KV	Sürekli Akım	Sürekli Güç	Pil Voltaj Aralığı	ESC	Ürün Ağırlığı
Sunnysky X3520	920	70A	1750W	4-6 S	80-100 A	207 gr

Tablo-11 Motor özellikleri

Pars için kullanılan **motor** tipi fırçasız DC motordur. Fırçasız motorlar diğer motorlarla karşılaştırıldığında; sessiz çalışma, elektriksel gürültülerinin az olması, kolay bakım, yüksek çalışma hızı ve büyük moment üretme gibi avantajlara sahiptirler. Motorlardan beklenen performansa göre kalite kontrol analizi yapılarak marka belirlenir. Motor seçiminde bir diğer önemli konu da motorun KV (Volt başına devir sayısı) değeridir. Daha yüksek motor verimliliği için, sürtünme kayıplarını azaltmak gerekmektedir. Bunun için de düşük KV değerine sahip motorlar kullanılmalıdır. Bunların sonucunda SunnySky X3520 520 KV motor kullanılmaya karar verilmiştir. Motor özellikleri *Tablo 11*'de gösterilmektedir.



Tip	Çap	Hatve	Ağırlık	Ortalama Verim
APC	12 inç	8 inç	47,91 gr	5,88

Tablo-12 Pervane özellikleri

Pervane içim seçilen motorun veri sayfası incelendi. Veri sayfasında kullanılabilecek pervane ve motor konfigürasyonlarına bakıldı. Pars'ın pervane seçiminde verim ve pervanenin uzunluğuna dikkat edildi. Pervanenin belirli bir uzunluktan fazla olması iniş sırasında kırıma yol açabilmektedir. Pervanenin üretiminde kullanılacak olan malzeme de maliyet ve dayanıklılık açısından önemlidir. Bu nedenle 12x8 inç APC pervane tercih edilmiştir. Pervane özellikleri *Tablo 12*'de gösterilmektedir.



Marka	Tip	Hücre Sayısı	Kapasite	Voltaj	Ürün Ağırlığı
Tattu	Li-Po	6S	12000 mAh	22,2V	1577 gr

Tablo-13 Pil özellikleri

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Pil seçimi yapılırken Li-On ve Li-Po pil olmak üzere iki tercihimiz bulunmaktadır. Li-Po piller Li-On'lara kıyasla daha hafifler. Kullanım süreleri de daha uzundur. İstenilen şekil ve ölçüde üretilenler. Ayrıca kullanılmadan deşarj süreleri de daha uzundur. Bu nedenle kullanımdan önce şarj edilmek zorunluluğu bulunmamaktadır. Kullanım kolaylığı sağlamasından kaynaklı Li-Po pil tercih edilmiştir. Yarışma için havada kalma süresi önemli bir faktördür. Bu süre zarfında sistem elemanlarının ihtiyacı olan güç ve maksimum akım değeri hesaplamaları yapılır. Gerekli olan güç belirlendikten sonra uygun pil seçimine karar verilir. Pars için 22,2 V Tattu 12000 mAh 6S Li-Po pil kullanılmaktadır. Pil özellikleri [Tablo 13](#)'te gösterilmektedir.

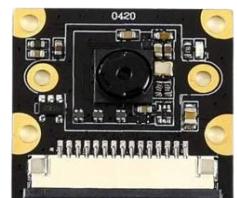


Sigorta Pars'ın yüksek akıma bağlı yanık riskini önlemek için bataryanın pozitif (+) kutup çıkışına yerleştirilmiştir. ESC'lerin en yüksek akım değeri ESC'lerin toplamlarından en fazla 5 amper yüksek değere sahip olmalıdır. Pars için 125 A sigorta kullanılmıştır.

Marka	GPU	CPU	RAM
Nvidia Jetson Nano	128 Cuda Çekirdeği	4-Core ARM A57	4 GB 64 bit LPDDR4

Tablo-14 Yardımcı bilgisayar özellikleri

Yardımcı bilgisayar ve kamera yarışmanın temel görevlerinden olan otonom kilitlenme için kullanılacaktır. Yardımcı bilgisayarın seçiminde işlem hacmi, grafik işleme ünitesi ve cihaz üzerindeki port girişleri dikkate alınmıştır. Pars'ın üzerine yerleştirilen kamerasından alınan görüntüyü, görüntü işleme algoritmaları ile çalıştıracaktır ve haberleşme sistemi ile veri akışı sağlayacaktır. Bu işlemleri performanslı yapabilmesi nedeniyle Nvidia Jetson Nano yardımcı bilgisayı seçilmiştir. Jetson Nano 128 Cuda çekirdeği ve 4 GB RAM hızına sahiptir. Jetson Nano ile birlikte kullanılacak kamera FPS değerini etkilemektedir. Bu nedenle Jetson Nano ile uyumlu IMX219-77 kamera kullanılmıştır. Kamera 8 megapiksel ve 3280 x 2464 çözünürlüğe sahiptir. [Tablo 14](#)'te yardımcı bilgisayarın genel özellikleri gösterilmektedir.



Marka	Kablosuz Hızı	Frekans	Anten
TP-Link Archer T2U Plus	600 Mbps	2.4-5 GHz	5dBi

Tablo-15 WiFi modülü özellikleri

Yardımcı bilgisayar, yer istasyonu ile Wi-Fi ağının üzerinden haberleşmektedir. Yardımcı bilgisayarın Wi-Fi ağına bağlanması için harici bir **Wi-Fi modülüne** ihtiyaç duyulmaktadır. Pars için TP-Link Archer T2U Plus Wi-Fi modülü kullanılmaktadır. TP-Link Archer 2.4 GHz ve 5 GHz olarak kullanabilemektedir. 5 GHz olarak kullanıldığında 433 Mbps veri iletim hızına ulaşabilmektedir. Yüksek veri iletim hızı sayesinde sunucuya aktarılan verilerin gecikmesi en aza indirilecektir. 5 dBi yüksek kazançlı anteni sayesinde uzun mesafelerde veri iletimini sağlayabilir. Wi-Fi modülü özellikleri [Tablo 15](#)'te gösterilmektedir.



Marka	Güç Tüketimi	Anten	Frekans
TP-Link EAP225 AC1200	10.5 W	4 dBi	2.4-5 GHz

Tablo-16 Access point/Router özellikleri

Yer kontrol istasyonu ve yarışma sunucusunun haberleşmesini sağlayan **router'a** ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun yanı sıra uzun mesafeden kaynaklı Wi-Fi ağının gücünü artıracak **access point'e** ihtiyaç duyulmaktadır. Yerde bulunan TP-LINK EAP225 AC1200 access point ve router görevi görecektir. 2.4 GHz de 200 m'ye kadar 5 GHz de 300 m'ye kadar sabit kapsama alanı sağlamaktadır. 4 dBi anten kazancına sahiptir. Kapalı ortamlarda çalışabilme özelliğinin yanı sıra dış ortamlarda her türlü hava koşullarında kesintisiz çalışabilmektedir. Acces point/router genel özellikleri *Tablo 16*'da gösterilmektedir.



3.2. Alt Sistemler Özeti

Ön tasarım raporunda alt sistemler için sunulan seçim kriterleri değerlendirildikten sonra sistemlerin kendi içlerinde test ve analizleri yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda sistem bütünüyle birleştirilmiş ve uçuş testleri yapılması öngörlülmüştür. Bu aşama sonrasında sadece GPS de bir değişimin yapılmasına karar verilmiştir. Ön tasarım raporunda Ublox M8N GPS kullanılacağını belirtilmiştir ancak yarışma görev isterleri göz önünde bulundurulduğunda GPS verilerinin ve konumlandırma bilgilerinin önemli olduğu gözlenmiştir. Bunun sonucunda Here 2 GPS kullanılmasına karar verilmiştir. Here 2' in özellikleri ve avantajlarından **Nihai Sistem Mimarisi**'nde bahsedilmiştir. Pars'in ilk uçuş testleri ulaşımı kolay ve düşük maliyetli ekipmanlar ile yapılmıştır. Bu ekipmanlar testler için yeterli ancak yarışma şartları için düşük verimliliğe sahiptir. Savaşan İHA görev isterlerini karşılayabilecek ikincil seçenekler aşağıda belirtilmektedir.

MOTOR	Marka	KV Değeri	Maksimum Watt	Max Akım	Ağırlık
	SunnySky X3520	520 KV	1750 W	80 – 100 A	207 gr
	QX MOTOR 4220	580 KV	890 W	40A	220 gr

Tablo-17 Kullanılan motor ve alternatif olabilecek motor özellikleri

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

İlk uçuş testlerinde Pars herhangi bir takip ve tespit algoritması kullanmadığından dolayı manevra kabiliyetine ve yüksek itki değerine ihtiyaç duymamaktadır. Bu nedenle maliyeti düşük ulaşılabilirliği kolay ve Pars’ın uçuş gereksinimlerini karşılayabilecek alternatif bir motor kullanılmıştır. Pars’ın takip ve tespit algoritma testleri yapılrken SunnySky X3520 motorlar kullanılmıştır. İki motorun genel özelliklerini [Tablo 17](#)’de gösterilmektedir.

ESC	Marka	Batarya	Giriş Voltajı	Ağırlık
	Hobbywing FunFly	3-6 S	5.2V / 6V / 7.2V	73,5 gr
	Emax BLHELİ	2-6 S	5V	63 gr

Tablo-18 Kullanılan ESC ve alternatif olabilecek ESC özellikleri

ESC’lerin seçilen motor özelliklerine göre belirlendiği 3.1. Nihai Sistem Mimarisi’nde belirtilmiştir. Motorların değiştiği durumda amper değerinin değişmesinden kaynaklı esc seçiminde iyi soğutma sistemine sahip olması beklenmemektedir. Bunun için ilk test uçuşlarında kullanılan QX Motor 4220 için Emax BLHELİ markalı ESC kullanılmıştır. [Tablo 18](#)’de kullanılan ESC ve alternatif olabilecek ESC’nin özellikleri gösterilmektedir.

3.3. Hava Aracı Performans Özeti

Pars seyir uçuşunda iken istenilen hız ve irtifada uçabilmesi için motorların gerekli itkiyi üretebilmesi gereklidir. Gerekli itki, ağırlık ve L/D oranına ([Formül 1](#)) bağlıdır. W değeri Pars’ın ağırlığını belirtir. L değeri kanat profilinden gelen kaldırma kuvvetini ve D değeri ise Pars’ın hareket yönüne ters yönde oluşan aerodinamik kuvvettir. T_R değeri seyir uçuşu için gereken itki değerini belirtir.

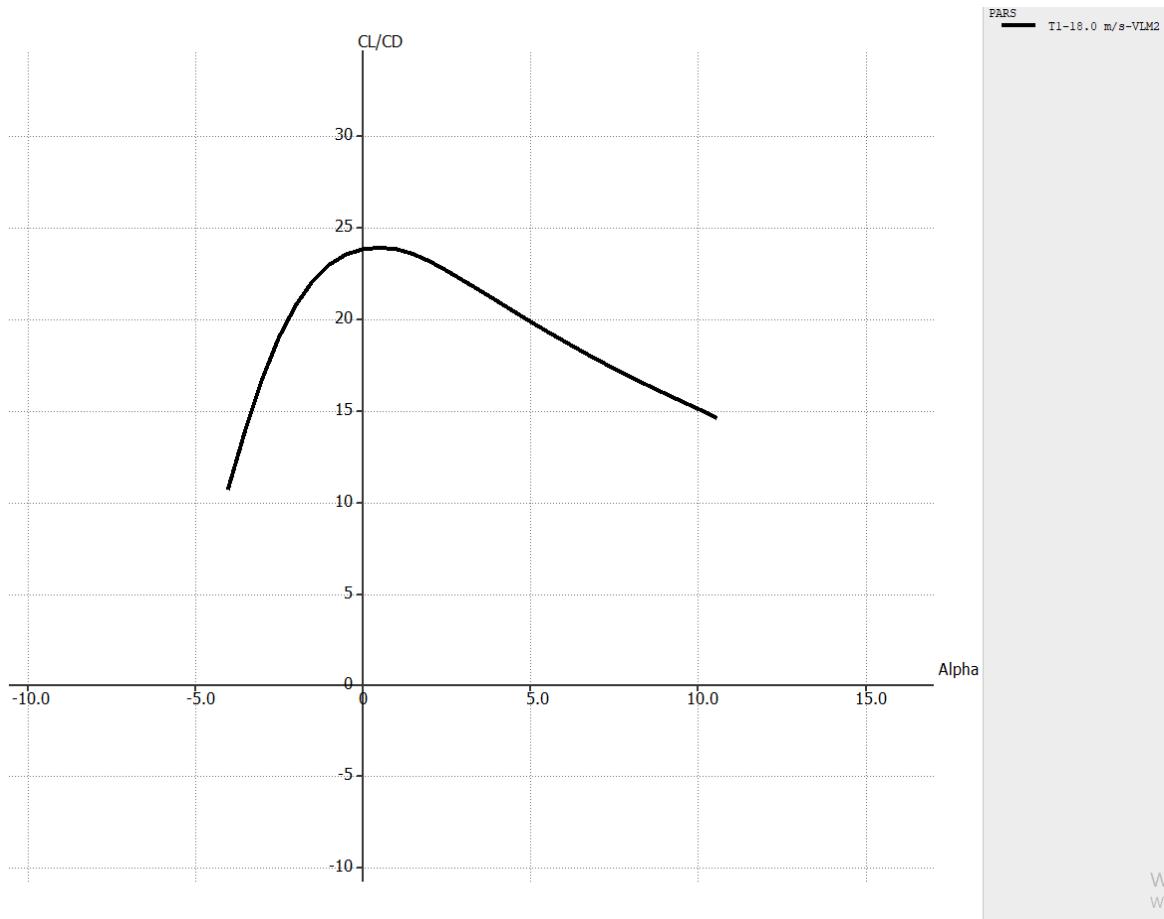
$$T_R = \frac{W}{L/D}$$

Formül-1 Gerekli itki formülü

L/D oranı arttıkça gerekli itki miktarı azalmaktadır. En düşük gerekli itki kuvveti, maksimum L/D değerinde elde edilir. L/D oranı ile Pars’ın performansı doğru orantılıdır. Bu nedenle L/D oranı uçağın performansını etkileyen en önemli parametredir.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

XFLR5 programı kullanılarak yapılan analizler sonucunda C_L/C_D -Alpha grafiğinde (grafik 1) maksimum C_L/C_D oranının 23.85 değerinde elde edildiği görülmektedir. Bunun sonucunda Pars için minimum gerekli itki değeri *Formül 1*'den 1437.9682 gf (gram kuvvet) olarak belirlenmiştir. Bu itki yalnızca seyir hızı için geçerlidir.



Grafik-1 C_L/CD - alpha grafiği

Pars'ın farklı hız değerlerinde gerekli itki değerinin grafiği *Grafik 2*'de verilmiştir. Farklı hız değerlerinde gereken itki değeri aşağıdaki sıra ile hesaplanmaktadır;

- Hız değeri belirlenir.
- Hız değerine göre C_L değeri hesaplanır.

$$C_L = \frac{W}{0.5 \times \rho \times V^2 \times S}$$

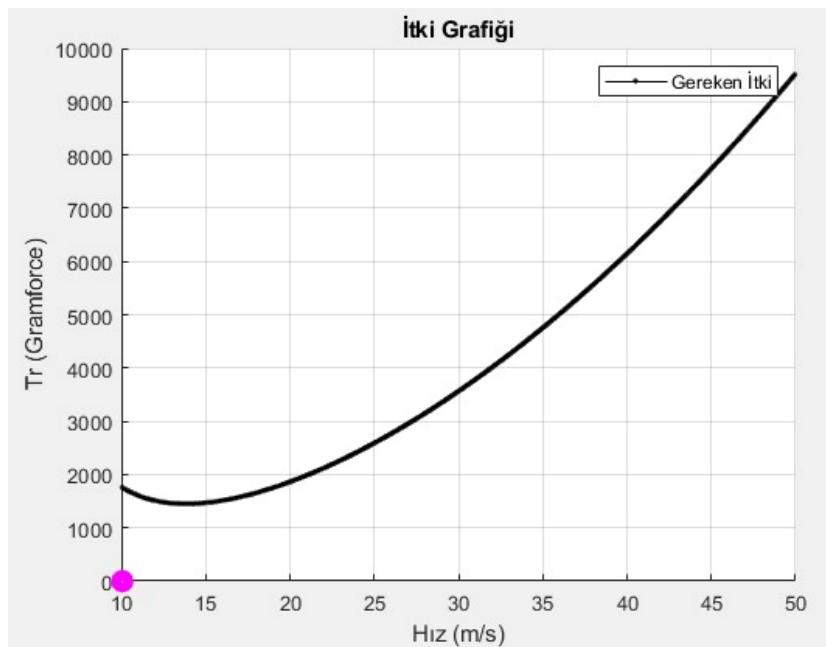
- Sürüklenebilirlik katsayıısı (C_D) değeri hesaplanır.

$$C_D = C_{D_0} + K \times C_L^2$$

- Gerekli itki hesabı yapılır.

$$T_R = D = 0.5 \times \rho \times V^2 \times S \times C_D$$

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Grafik-2 Farklı hız değerlerinde gerekli itki değeri grafiği

Pars'ın seyir uçuşu için gereken minimum 437.9682 gf'dır. Pars'ın kalkış ve manevra anında daha fazla kuvvet gerekeceği için bu orandan olabildiğince yüksek değerde itki üretebilen motorlar tercih edilmiştir.

Müsabakalar 15 dakika sürecektir. Bu nedenle uçuş süremiz minimum 15 dakika olmaktadır. **Nihai Sistem Mimarisi** başlığı altında seçtiğimiz motor pervane ve pil veri sayfasında bakıldığından (4) 1437.9682 gf itki üretebilmek için 13.5 A akım harcanmaktadır. 12000 mAh'lık kapasitemizi 55 dakikada bitirmektedir. Kalkış ve manevra anlarında kullanılacak olan akımın çok daha fazla olmasından kaynaklı tahmini uçuş süremizin, müsabaka süresinden çok daha fazla olması gerekmektedir. **Test ve Simülasyon** kısmında kalkış iniş ve manevra anlarına ait uçuş kayıtları incelenmiş ve tekrar doğrulanmıştır.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

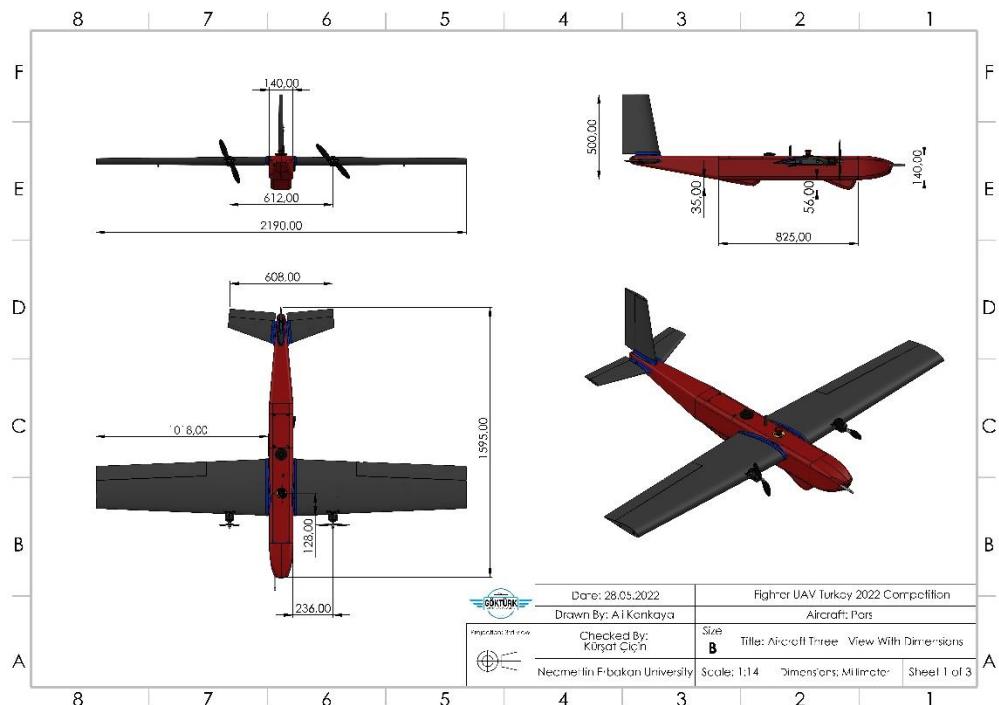
3.4. Hava Aracının Üç Boyutlu Tasarımı

Görsel 4'te Pars'ın üç farklı açıdan görselleri yer almaktadır.



Görsel-4 Pars'ın farklı açılardan görünümü

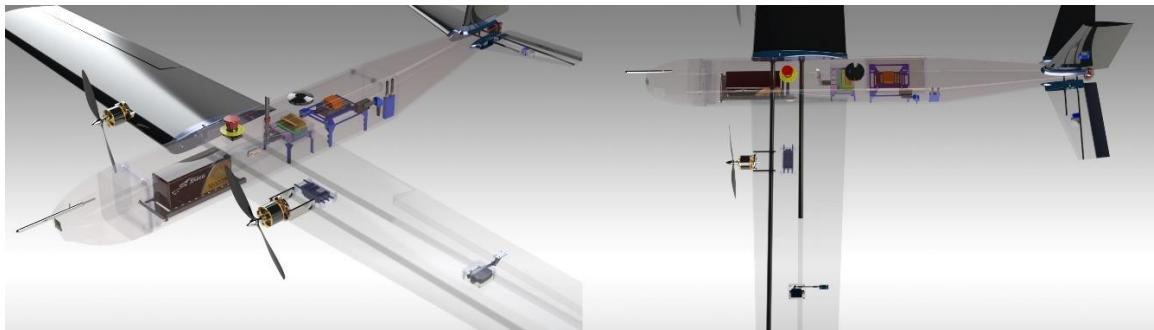
Görsel 5'te Pars'ın boyutlandırılması gösterilmektedir.



Görsel-5 Pars teknik çizimi

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Görsel 6'da Pars'ın iki farklı açıdan alt sistemlerin yerleşim görselleri gösterilmektedir.



Görsel-6 Pars'a ait alt sistemlerin yerleşimi

3.5. Hava Aracı Ağırlık Dağılımı

Ağırlıkların konumları kanadın hücum kenarı referans alınarak yerleştirilmiştir. Uçağın hareket yönü negatif ekseni göstermektedir. Alt sistem parçalarının konumları *tablo 19*'da gösterilmiştir.

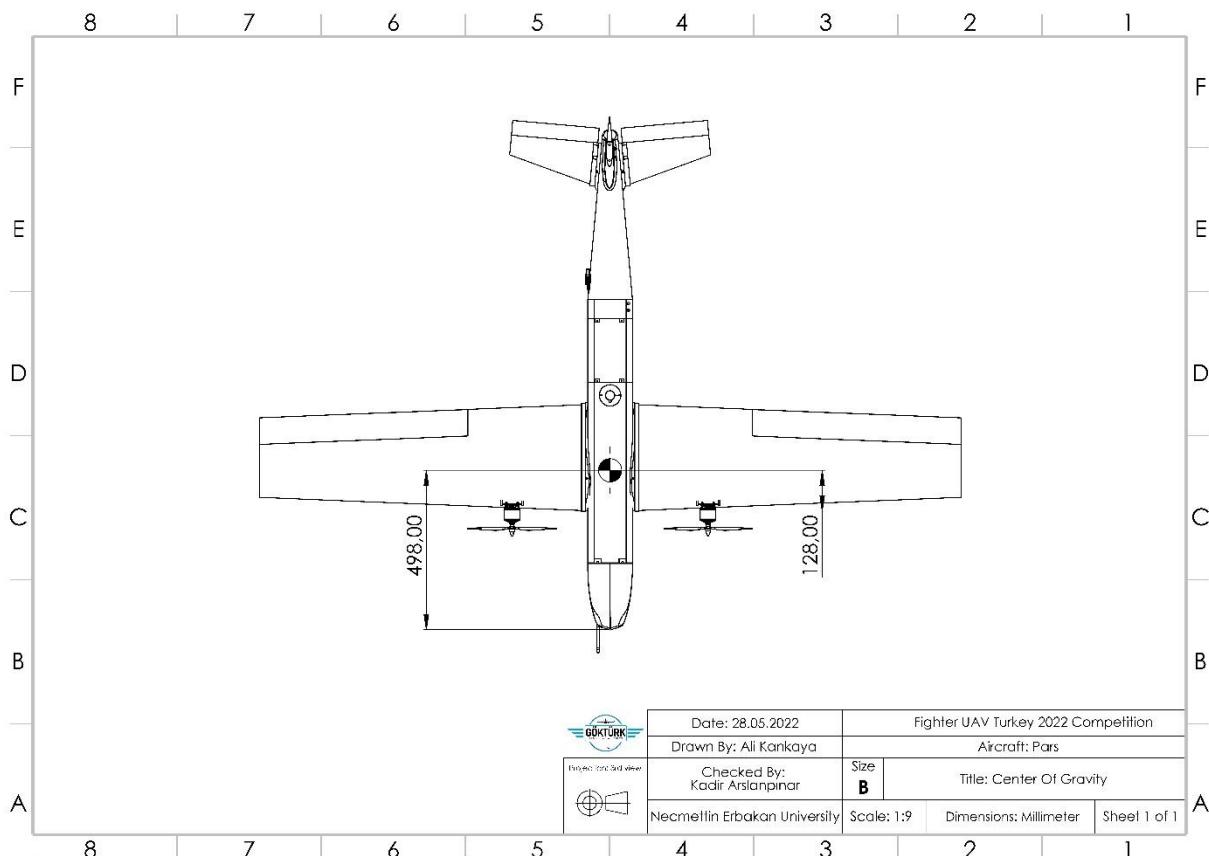
Ekipmanlar	X (m)	Y (m)	Z (m)	Ağırlık (g)
Sağ Motor	-0,0115	0,30626	0	220
Sol Motor	-0,0115	-0,30626	0	220
Sağ Pervane	-0,05633	0,30626	0	28
Sol Pervane	-0,05633	-0,30626	0	28
Sağ ESC	0,12	0,153	0	70
Sol ESC	0,12	-0,153	0	70
Sağ Servo	0,163	0,754	0	36
Sol Servo	0,163	-0,754	0	36
Pil	-0,1	0	-0,044	1552
Uçuş Kartı	0,43	0	-0,011	126
GPS	0,28	0	0,059	50
Alicı	0,46	0,049	-0,023	38
Telemetri	0,42	-0,049	-0,023	50
Pitot Tüpü	-0,3107	0,036	0	30
Yardımcı Bilgisayar	0,3615	0	-0,0279	205
Sağ Elevatör Servo	0,8	0,1547	0	16
Sol Elevatör Servo	0,8	-0,1547	0	16
Rudder Servo	0,16	0	0,1556	16
Gövde (CG)	0,225	0	0	1280,104

Tablo-19 Pars'a ait ekipmanların konumları ve ağırlıkları

XFLR5 programı ile yapılan analizler sonucunda ağırlık merkezinin konumu hücum kenarının 0,128 m gerisinde olacak şekilde belirlenmiştir. Nötr nokta ise 0,108 m'dedir. Pars kararlı uçuşa ve yüksek manevra kabiliyetine sahip olmalıdır. Kararlı uçuş için nötr nokta ve ağırlık merkezi arasındaki mesafe (statik marjin) olabildiğince büyük olmalıdır. Manevra kabiliyeti için ise statik marjinin az olması gerekmektedir. Bunlar göz önüne alınarak

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

ekipmanlar optimum bir statik marjin değerine göre yerleştirilmiştir. *Görsel 7*'de Pars'ın ağırlık merkezinin buruna ve hucum kenarına olan uzaklıklarını gösterilmektedir.



Görsel-7 Pars'ın ağırlık merkezinin konumu

4. OTONOM GÖREVLER

4.1. Otonom Kilitlenme

Otonom kilitlenme Savaşan İHA yarışması görevlerinden biridir. Pars'ın otonom kilitlenme aşamaları hedef tespiti ve hedef takibi olmak üzere iki alt başlığa ayrılmıştır. Hedef tespiti bölümünde, hedef İHA'nın tespiti için kullanılabilecek yöntemler ve bu yöntemlerin karşılaştırılıp en uygun olanını seçilmiştir. Hedef takibi bölümünde yarışma sunucusundan gelen hedef İHA verileri değerlendirilip kilitlenme dikdörtgeni içinde tutulacaktır.

Hedef Tespitİ

Hedef tespitinde amaç, hedef İHA'yı geliştirilen algoritma yardımı ile tespit etmektir. Hedef tespitinde kullanılmak üzere derin öğrenme tabanlı nesne tespit algoritmaları, kayan pencereler metodu (5) ve OpenCV kütüphanesi tabanlı hareket eden nesne tespiti algoritması (6-7) düşünülmüştür. Daha kesin ve doğru sonuçlar vereceği düşünüldüğünden derin öğrenme tabanlı nesne tespit algoritmalarının kullanılmasına karar verilmiştir. Derin öğrenme tabanlı hedef tespit algoritmalarından üç algoritma üzerinde araştırma yapılmıştır ve karşılaştırılmıştır. Bu algoritmalar sık kullanılan Single Shot Detector (SSD) (8), You Only Look Once (YOLO) (9) ve Faster Recurrent Neural Network (Faster-RCNN) (10) algoritmalarıdır. Tespit için

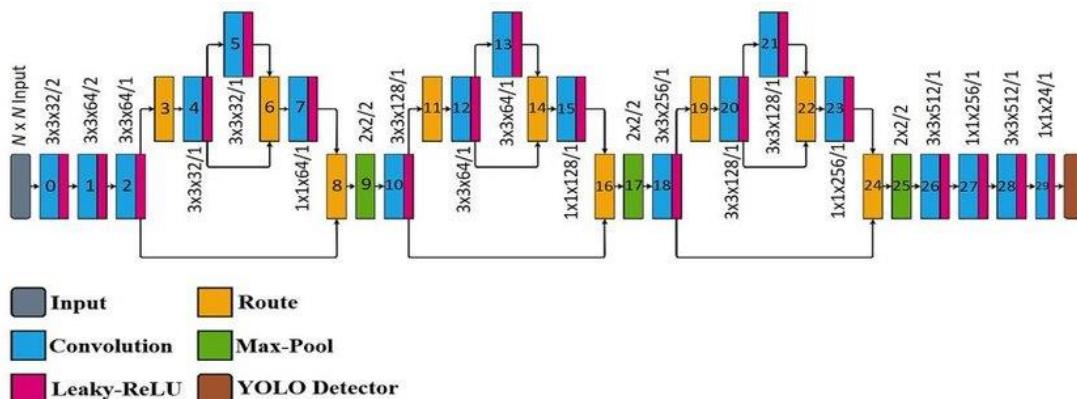
SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

kullanacağımız algoritmada doğruluk oranı (mAP) ve FPS değeri önemlidir. FPS değeri saniyede alınan görüntü sayısıdır. Düşük doğruluk değerleri yanlış hedefleri tespit etmemize neden olabilir. Gerçek zamanlı görüntü işleyebilmek için FPS değeri yüksek olmalıdır. Yardımcı bilgisayarın işlemcisi ve hızı, kullanılacak algoritmaların hızı FPS değerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle algoritmalar bu iki parametre ile kıyaslanmıştır.

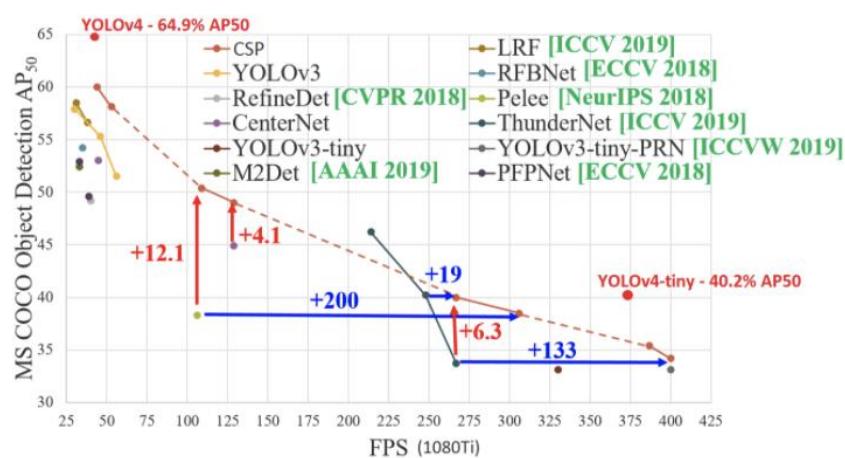
Algoritma	mAp (%)	FPS
Faster R-CNN	70	0.5
Yolo	90	8
SSD	75	7

Tablo-20 Farklı algoritmaların mAp ve FPS değerleri

Tablo 20'de hedef tespit algoritmalarının aynı veri setinde vermiş oldukları sonuçlar gösterilmektedir. Derin öğrenme tabanlı algoritmaların çalışma hızı ve doğruluğu göz önünde bulundurulduğunda YOLO algoritmasının kullanımına daha uygun olduğuna karar verilmiştir. YOLO, yapay sinir ağları kullanarak nesne tespiti yapan bir algoritmadır. YOLO modellerinde versiyonlarına göre katman sayıları değişmektedir.



Görsel-8 Yolo Ağ Mimarisi



Görsel-9 Farklı veri setlerinin YOLO sürümlerinde vermiş oldukları sonuçlar

YOLO algoritmasının YOLOV2, YOLOV3, YOLOV5 gibi birçok versiyonu vardır. *Görsel 9*'da hazır veri setinin farklı YOLO versiyonlarında vermiş olduğu FPS değerleri

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

gösterilmektedir. Versiyonlar arasında YOLOV3, YOLOV3-Tiny, YOLOV4 ve YOLOV4-Tiny modelleri karşılaştırılmıştır. Eğitimler sonucunda elde edilen değerler *Tablo 21*'de karşılaştırılmıştır.

Algoritma	FPS	mAP(%)
YoloV3	1,52	93,6
YoloV4	1,28	95,65
YoloV3-Tiny	9,52	85,2
YoloV4-Tiny	8,65	94,83

Tablo-21 Windows işletim sisteminde elde edilen karşılaştırma verileri

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde hedef tespitinde kullanılacak derin öğrenme algoritmasının **YOLOV4-Tiny** olmasına karar verilmiştir. YOLO algoritmasında Tiny modeli seçilmesinin nedeni katman sayısının daha az olması ve bundan dolayı eğitim sonunda oluşan dosyanın FPS hızıdır. YOLOV4-Tiny, YOLOV4'ün sıkıştırılmış versiyonudur. Ağ yapısını daha basit hale getirmek, parametreleri azaltmak ve gömülü cihazlarda geliştirmeyi mümkün kılmak için YOLOV4'e dayalı olarak geliştirilmiştir. YOLOV4 modeli 137 konvolüsyonel katman ile eğitilirken, Tiny modeli 29 konvolüsyonel katman ile eğitilmiştir. YOLOV4-Tiny modelindeki FPS sayısı YOLOV4 modelinin yaklaşık olarak sekiz katıdır. YOLOV4 modelinin teorikte doğruluk değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Hazır bulunan veri setlerinde görsellerin yetersiz olması ve tespit edilecek İHA'ların mini İHA kategorisinde olmasından kaynaklı kendi veri setimizi oluşturduk. Oluşturulan veri setinde **11716 adet görsel** kullanılmıştır. Farklı yarışmalarda bulunan uçuş videoları ve kendi üretimimiz olan uçaklarımızdan görseller alınmıştır. Bu görseller renk tonları ve yönleri ile oynanarak çoğaltılmıştır ve veri seti oluşturulmuştur. Veri setindeki görseller labelImg (11) ara yüzü kullanılarak etiketlenmiştir. Veri setinden bazı örnek görseller *Görsel 10*'da görülmektedir.



Görsel-10 Veri setimizde bulunan örnek görseller

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

Görseller üzerinde bulunan İHA'lar teker teker etiketlenip sonuçları .txt ve .xml uzantısı ile kaydedilmiştir. Veri setindeki görsellerin etiketlenme aşamaları *Görsel 11*'de görülmektedir.

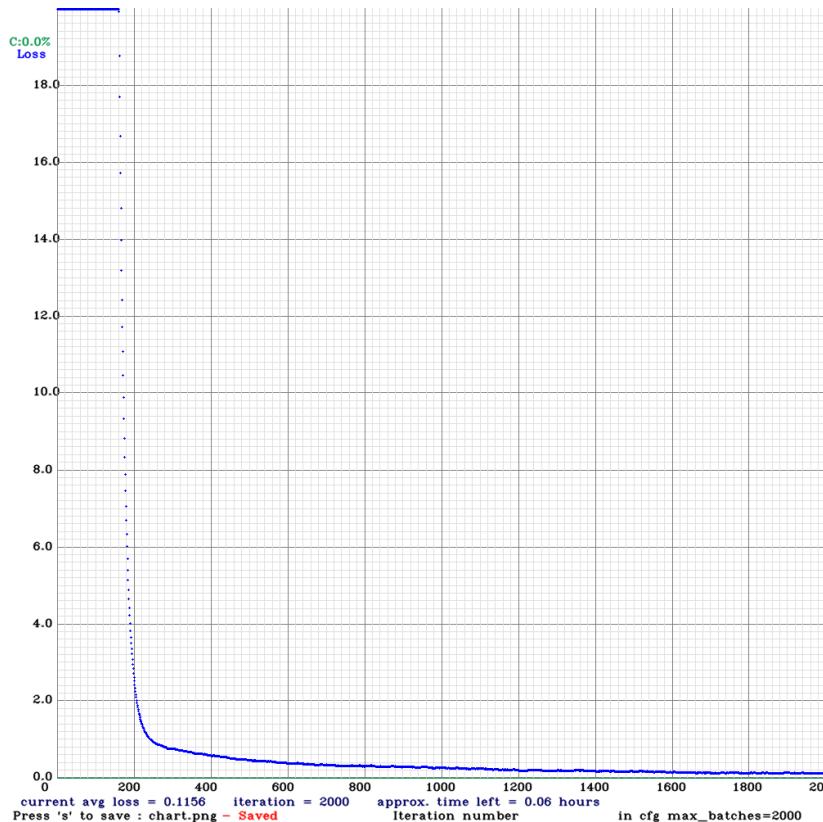


Görsel-11 Görsel etiketleme arayüzü

Hazırladığımız veri setimizin YOLO algoritması ile eğitimi için Google Colaboratory ortamı kullanıldı. GPU desteği sağladığı için model eğitimi Colab ortamında yapılmıştır. GPU ile desteklenen bir platformda eğitim süresi daha kısa olmaktadır. Eğitim C ve CUDA ile yazılmış açık kaynaklı bir yapay sinir ağı içeren Darknet üzerinden gerçekleştirilmiştir. Eğitim sonunda oluşan .weights uzantılı dosya hedef tespitinde kullanılmıştır. Eğitimde **8200 train 3516 test** verisi kullanılmıştır.

YOLO algoritmasında eğitimin kaç iterasyonda biteceği sınıf sayısına bağlı olarak belirlenmektedir (Sınıf sayısı x 2000). Kullanılan veri setinde bir sınıf olduğundan dolayı eğitim 2000 iterasyon sonucunda sonlanmaktadır. Eğitimde her iterasyonda kaç adet fotoğraf alınacağı, fotoğrafların boyutu ve uygulanacak filtre sayısını config dosyasında veri setine göre ayarlanmıştır. Eğitimdeki verilerin giriş boyutu 416x416 şeklinde ayarlanmıştır. YOLOV4-Tiny algoritması ile önceden eğitilmiş bir ağırlık dosyası kullanılarak transfer öğrenme ile eğitim gerçekleştirilmiştir. *Grafik 3*'te eğitim sonucunda loss (hata kaybı) değerinin her iterasyondaki durumu görülmektedir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



Grafik-3 Hata oranı ve iterasyon sayısı grafiği

YOLOV4-Tiny modelinde 94,83 doğruluk değeri elde edildi. Eğitimler sonucunda elde edilen F1-score ve mAP değerleri sonucunda modellerin doğruluklarına karar verildi. mAP değeri hesaplama işlemi *Formül 2* ile gerçekleştirılmıştır.

$$mAP = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{k=n} AP_k$$

Formül-2 mAP değeri hesaplama denklemi

F1-score değerinin kullanılmasının en temel sebebi eşit dağılmayan veri kümelerinde hatalı bir model seçimi yapmamaktır. F1-score tüm hata maliyetlerini içerebilecek bir ölçme metriğine sahiptir. F1-score değeri true positive, false positive ve false negative değerleri ile hesaplanmaktadır.

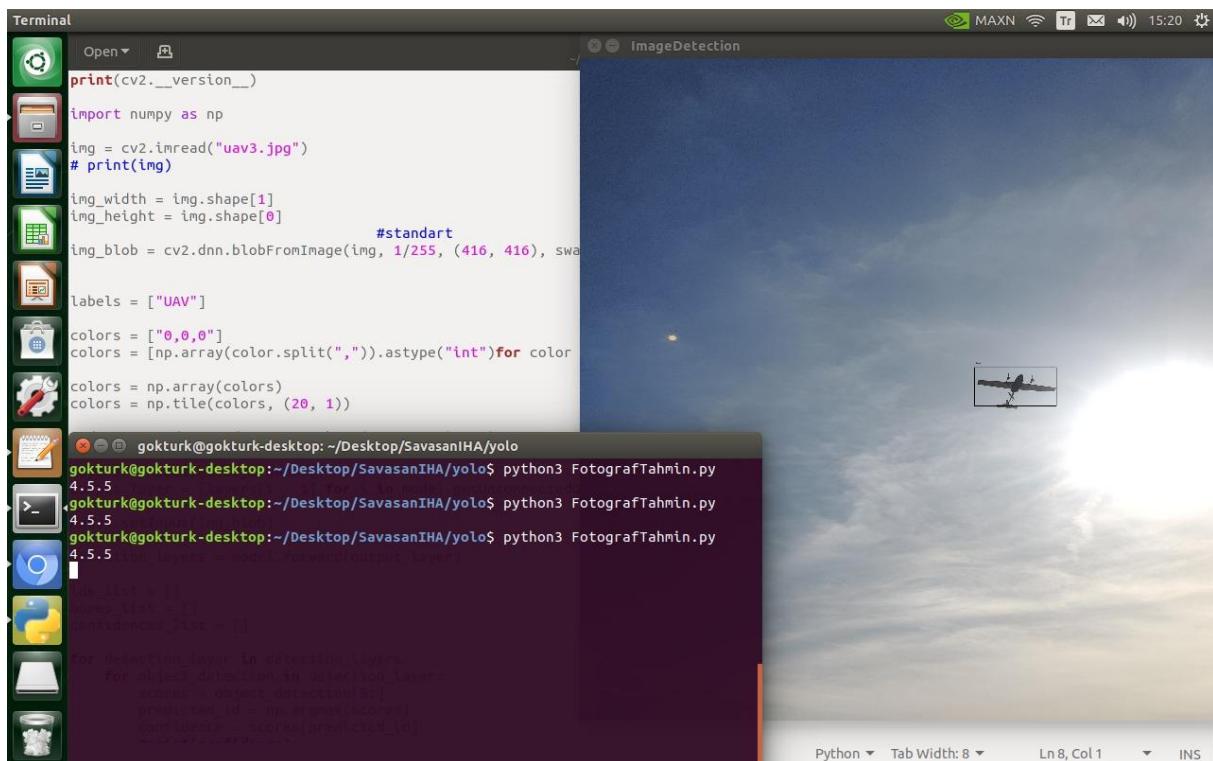
- True Positive (TP): Bunlar gerçek değeri 1 ve tahmin edilen değerinin de 1 olduğu örneklerdir.
- False Positive (FP): Bunlar gerçek değeri 0 ancak tahmin edilen değerinin 1 olduğu örneklerdir.
- False Negative (FN): Bunlar gerçek değeri 1 ancak tahmin edilen değerinin 0 olduğu örneklerdir.

$$\text{Precision} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}} \quad \text{Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}}$$

$$F_1 = 2 * \frac{\text{precision} * \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}}$$

Formüll-3 F1 score değerinin hesaplanması denklemi

Tespit algoritması ekibimizin kendi yapmış olduğu uçuşlardan görseller ile (*Görsel 12 ve Görsel 13*) test edilmiştir. Windows işletim sistemi üzerinde testler başarıyla gerçekleştirildikten sonra uçak üzerinde kullanılacak Jetson Nano yardımcı bilgisayarına gerekli kütüphane kurulumları yapılmıştır. Jetson Nano üzerinde video ve fotoğraf üzerinden test işlemleri gerçekleştirilmiştir.



```

Terminal
print(cv2.__version__)
import numpy as np
img = cv2.imread("uav3.jpg")
# print(img)
img_width = img.shape[1]
img_height = img.shape[0]
#standart
img_blob = cv2.dnn.blobFromImage(img, 1/255, (416, 416), swapRB=True, crop=False)
labels = ["UAV"]
colors = ["0,0,0"]
colors = [np.array(color.split(",")).astype("int") for color in colors]
colors = np.array(colors)
colors = np.tile(colors, (20, 1))
gokturk@gokturk-desktop:~/Desktop/SavasanIHA/yolo
gokturk@gokturk-desktop:~/Desktop/SavasanIHA/yolo$ python3 Fotograftahmin.py
4.5.5
gokturk@gokturk-desktop:~/Desktop/SavasanIHA/yolo$ python3 Fotograftahmin.py
4.5.5
gokturk@gokturk-desktop:~/Desktop/SavasanIHA/yolo$ python3 Fotograftahmin.py
4.5.5
for detection_layer in detection_layers:
    for object_detection in detection_layer:
        scores = object_detection[0]
        predicted_id = np.argmax(scores)
        confidence = scores[predicted_id]
        if confidence > 0.5:
            print("Detected: ", labels[predicted_id])
            print("Confidence: ", confidence)
            print("Predicted ID: ", predicted_id)
            print("Scores: ", scores)
            print("Object Detection: ", object_detection)
            print("Detection Layer: ", detection_layer)
            print("-----")

```

Görsel-12 Jetson Nano içinde tespit algoritmasının çalıştırılması

Video ve fotoğraf üzerinde yapılan testlerden olumlu sonuçlar alınmasıyla Jetson Nano üzerinde gerçek zamanlı denemelere geçilmiştir. Gerçek zamanlı testlerde kameralardan anlık görüntü alınıp alınan görüntü aynı kod içerisinde görüntü işleme fonksiyonlarına verilmiştir. Jetson Nano üzerinde YOLOV4-Tiny modeli yaklaşık olarak 6 fps değeri vermektedir. Fps değeri uçağımızın uçuş hızına göre yetersiz olduğu için TensorRT kullanılmıştır. TensorRT, görüntü sınıflandırma, segmentasyon ve nesne algılama sinir ağları için yüksek performanslı derin öğrenme çıkarım çalışma zamanıdır. Derin öğrenme çıkarımını hızlandırmaktadır. Weights uzantılı ağırlık dosyaları TensorRT ile .trt uzantılı dosyalar haline dönüştürülmüştür.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

YOLO dosyasının TensorRT'ye dönüştürülmesi ile gerçek zamanlı hedef tespitinde 25 fps değeri elde edilmiştir. Gerçek zamanlı hedef tespit kodu Python programlama dilinde yazılmıştır ve OpenCV kütüphanesi kullanılmıştır.



Görsel-13 Tespit algoritmasının testi

Otonom Takip

Sunucu verilerinden anlık olarak gelen hedef İHA verileri haberleşme sistemi ile yardımcı bilgisayara aktarılacaktır. Hedef İHA verileri ön tasarım raporunda açıklanan metot ile işlenip takibe en uygun hedef İHA belirlenecektir. Pars'ın koordinat verileri bilinen hedef İHA'yı takibe başlaması için MAVLink protokolü ile yeni bir ilerleme rotası belirlenecektir. MAVLink protokolü İHA'lar için kullanılan bir haberleşme protokolüdür. Hedef İHA'nın son bilinen koordinatları yardımcı bilgisayar tarafından uçuş bilgisayarına bildirilecek ve son konuma Waypoint noktası atanacaktır. Pars'ın hedef İHA'yı takibe uygun bir konuma geldiği yükseklik, enlem ve boylam verileri kontrol edilerek karar verecektir. Pars'ın mevcut yükseklik konumu uçuş kartından MAVLink protokolü ile alınacaktır. *Görsel 14*'te MAVLink mesajı ile uçuş kartından GPS kullanılarak yükseklik verisi alınmaktadır.

```
Yükseklik Kodu

try:
    altitude = the_connection.messages['GPS_RAW_INT'].alt
    timestamp = the_connection.time_since('GPS_RAW_INT')
except:
    print('No GPS_RAW_INT mesajı alınamadı')
```

Görsel-14 Uçuş bilgisayarıdan yükseklik verisi isteme kodu

Sunucudan gelen hedef İHA yükseklik bilgisi ile Pars'ın mevcut yükseklik verisi karşılaştırılacaktır. Pars, hedef İHA ile aynı irtifaya ulaştıktan sonra aradaki mesafe hesaplanacaktır. Mesafenin hesaplanması için Pars'ın ve hedef İHA'nın koordinatları kullanılacaktır. Hedef İHA'nın koordinatları sunucu verisinden yardımcı bilgisayara aktarılacaktır. Pars'ın koordinat verileri için *Görsel 15*'te bulunan kod kullanılacaktır.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



```
try:
    latitude = the_connection.messages['GPS_RAW_INT'].lat
    timesap = the_connection.time_since('GPS_RAW_INT')
    longitude = the_connection.messages['GPS_RAW_INT'].lon
    timesap = the_connection.time_since('GPS_RAW_INT')
except:
    print('No GPS_RAW_INT mesajı alınamadı')
```

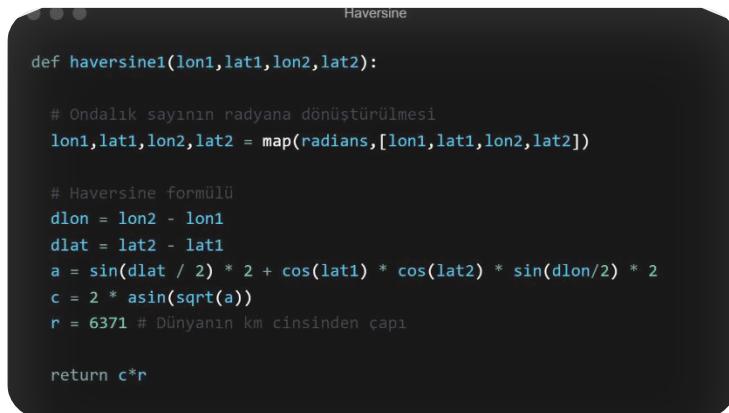
Görsel-15 Uçuş bilgisayarından enlem ve boylam verisi isteme kodu

Koordinatlar WGS84 formatında gelmektedir. WGS84 formatında iki koordinat arasındaki mesafe Haversine formülü ile hesaplanmaktadır. Haversine formülü aşağıda verilmiştir. Haversine formülünün koda dönüştürülmüş hali [Görsel 16](#)'da gösterilmiştir.

$$\text{haversine}(\theta) = \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

$$d = \text{haversine}(\Phi_2 - \Phi_1) + \cos(\Phi_1) \cos(\Phi_2) \text{haversine}(\lambda_2 - \lambda_1)$$

Formül-4 Haversine dönüşümü ile mesafe denklemi



```
Haversine

def haversine1(lon1,lat1,lon2,lat2):

    # Ondalık sayının radyana dönüştürülmesi
    lon1,lat1,lon2,lat2 = map(radians,[lon1,lat1,lon2,lat2])

    # Haversine formülü
    dlon = lon2 - lon1
    dlat = lat2 - lat1
    a = sin(dlat / 2) * 2 + cos(lat1) * cos(lat2) * sin(dlon/2) * 2
    c = 2 * asin(sqrt(a))
    r = 6371 # Dünya'nın km cinsinden çapı

    return c*r
```

Görsel-16 Haversine denklemi kodu

Pars, hedef İHA'ya istenen mesafede yaklaştıktan sonra otonom **tespit kodunu** çalıştıracaktır. Pars'ın ön kısmında bulunan kamera derin öğrenme algoritmasına görüntü aktarmaya başlayacaktır. Derin öğrenme yardımı ile ekranada bulunan hedef İHA tespit edilip [Görsel 13](#)'te gösterildiği şekilde dikdörtgen içerisine alınacaktır . Dikdörtgenin orta noktası belirlenip, görüntünün orta noktasına göre konumu bulunacaktır. Bulunan konum doğrultusunda Pars'a roll, pitch ve yaw eksende gerekli miktarda değişiklik yapması için MAVLink mesajları gönderilecektir. Mesajlar görüntünün orta noktası, dikdörtgenin orta noktasına isabetlenene kadar devam edecektir. [Görsel 17](#)'de Pars'ın tutum verisini değiştirmek için gönderilecek MAVLink mesajı gösterilmektedir. Son kısımda bulunan lat,lon,alt kısımları hedef İHA'dan gelen koordinat verilerine göre değişecektir.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

```
Waypoint Atama

# Connection tanımlanan bağlantının adıdır
connection.mav.command._long_send(connection.target_system,connection.target_component,
    mavutil.mavlink.MAV_CMD_NAV_WAYPOINT,0,0,0,0,lat,lon,alt)
```

Görsel-17 Hedef İHA'nın arkasına waypoint atama kodu

Hedef İHA takip penceresi içerisinde girmediği sürece *Görsel 17*'de bulunan kod çalışacak ve hedef İHA'nın son konumuna waypoint atayacaktır. Takip penceresinin içerisinde en az üç saniye kilitlenildikten sonra tespit edilen İHA işaretlenip yakında bulunan başka bir hedefe kilitlenecektir. Kilitlenme süresi boyunca hedef İHA tespit dörtgeninin içinde olduğu sürece sunuculara kilitlenme bilgisi yollanacaktır. Kilitlenme sonunda tespit kodu durdurulacak ve tekrar sunucudan gelen veriler işlenmeye başlanacaktır.

4.2. Kamikaze Görevi

Kamikaze İHA görevinde, yer hedefleri üzerinde bulunan QR kodu okunacaktır. Görev şartlarını yerine getirmek için OpenCV kütüphanesi ve Pyzbar kütüphanesi kullanılmıştır. Pyzbar kütüphanesi, bir görüntüden birden fazla kodu algılayabilir ve kod türünü döndürebilir. Pyzbar kütüphanesi, 1 boyutlu barkodları veya QR kodlarını kolayca okumaktan ve çözmekten sorumlu bir kütüphanedir. QR kodu anlamak ve çözmek için Pyzbar yanında kod çözme işlevi de eklenmiştir. Bu işlev, bir nesne dizisi döndürür. Kamikaze görevi için öncelikle yer hedefi üzerine kilitlenme gerçekleştirilecektir. Kilitlenme gerçekleştirildikten sonra hedef üzerinde QR kod Python programlama dili ile yazılmış bir script aracılığıyla okunacaktır ve görev gerçekleştirilecektir.

Pars'ın kamikaze görevi için kanatların yapısal dayanımı önemlidir. Bu nedenle **8. Test ve Simülasyon** kısmında kanat analizlerinde kamikaze görevi de göz önünde bulundurulmuştur. Uçuş testi aşamasında kamikaze görevi test edilmiştir.

5. YER İSTASYONU VE HABERLEŞME

Pars'ın haberleşmesini Haberleşme ve Görüntü Sistemi sağlamaktadır. Haberleşme ve görüntü sistemi üç başlık altında incelenmektedir. Bu üç başlık aşağıdaki şekidedir;

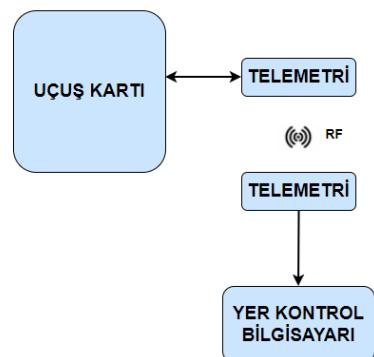
- Kontrol bilgisayarı ile Pars'ın haberleşmesi,
- Görüntü aktarım bilgisayarı ile Pars'ın haberleşmesi,
- Pilot ile Pars'ın haberleşmesi.

Kontrol Bilgisayarı ile Pars'ın Haberleşmesi

Pars'ın sensör verilerinin kontrol bilgisayarına anlık olarak aktarılması gerekmektedir. Bu veriler Pars'ın otonom görev sırasında davranışlarını, sensör hatalarını ve durum bilgilerini içermektedir. Bu bilgiler uçuş güvenliği için kritik bir öneme sahiptir. Bu nedenle diğer haberleşme ekipmanlarından ayrı bir haberleşme ağı kullanılmalıdır.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Kontrol bilgisayarı ve Pars, RF haberleşme ile veri aktarımı diyagramı *Görsel 18*'de gösterilmektedir. (RF haberleşme için Pars'ın üzerinde bulunan ve kontrol bilgisayarı üzerine bulunan RFD868 telemetri modülleri kullanılmıştır. RFD868 programlanabilme özelliğine sahiptir. Bu özelliği sayesinde yarışma alanında frekans çalışmaları önlenecektir. Telemetri geniş spektrum (FHSS) özelliği sayesinde aynı frekansta çalışan diğer cihazlarla çakışmayı ve veri kaybını engelleyerek daha stabil haberleşmeyi sağlamaktadır. Telemetrliler 868-869 MHz frekans aralığında çalışacaktır.



Görsel-18 yer istasyonu diyagramı

Kontrol bilgisayarı kullanım kolaylığı için Göktürk Ekibi tarafından özel olarak tasarlanmıştır. *Görsel 19*'da kontrol bilgisayarı gösterilmektedir. Kontrol bilgisayarı taşıınabilirlik, kullanım kolaylığı ve hava koşullarına dayanıklı olacak şekilde tasarlanmıştır. Her tip bilgisayara uygun şarj istasyonu ve akım, voltaj kontrol ekranı sayesinde uzun uçuş sürelerinde dahi çalışmasını sürdürmektektir.



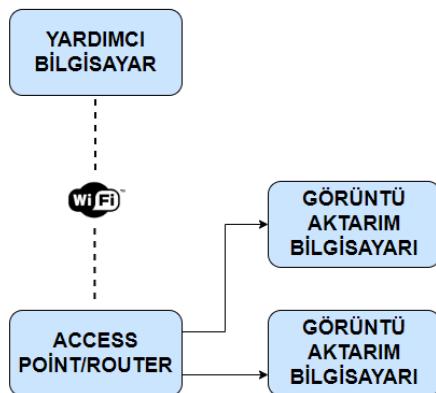
Görsel-19 Göktürk ekibine ait kontrol bilgisayarı çantası

Görüntü Aktarım Bilgisayarı ile Pars'ın Haberleşmesi

Pars'ın içinde bulunan Jetson Nano kilitlenme durumu, yarışma sunucusu için veriler ve anlık görüntülerini almaktadır. Bu verilerin ilgili yerlere aktarılabilmesi için Wi-Fi ağları kullanılacaktır. *Görsel 20*'de diyagram gösterilmektedir. Wi-Fi ağları 5 GHz bandında çalışacaktır ve buna uygun modüller **3.1 Nihai Sistem Mimarisi** başlığında seçilmiştir. Jetson Nano üzerinde bulunan Wi-Fi modülü sayesinde Pars'ın menzili artsa da veri iletiminde herhangi bir sorun yaşanmayacaktır. Gelen verilerin bir kısmı yarışma sunucusuna bir kısmı ise görüntü aktarım bilgisayarına iletilecektir. Verilerin dağıtımını acces point aracılığıyla sağlanacaktır. Acces point,

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

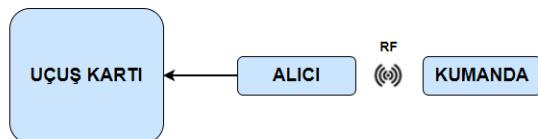
gelen görüntütü görüntü akatarım bilgisayarına, kilitlenme durumu ve Pars'ın verilerini yarışma sunucusuna yönlendirecektir. Acces point yerde bulunan cihazlar ile kablolu bağlantı sağlayacaktır. Bu sayede veri aktarım hızında yavaşlama olmayacağından emin oluyoruz.



Görsel-20 Görüntü aktarım bilgisayarı ve Pars haberleşme diyagramı

Pilot ile Pars'ın Haberleşmesi

Pars'ın istenmeyen durumlarda veya tehlike anında kontrolünü sağlamak için pilot müdahalesına ihtiyaç duyabilmektedir. Bu müdahaleyi yer istasyonunda bulunan kumanda ve Pars'ın üzerinde bulunan kumanda alıcısı sağlayacaktır. Kumande ve alıcı RF haberleşme ile iletişim sağlamaktadır. Pars'ın pilot ile haberleşme diyagramı [Görsel 21](#)'de gösterilmektedir.



Görsel-21 Pilot ile Pars'ın haberleşme diyagramı

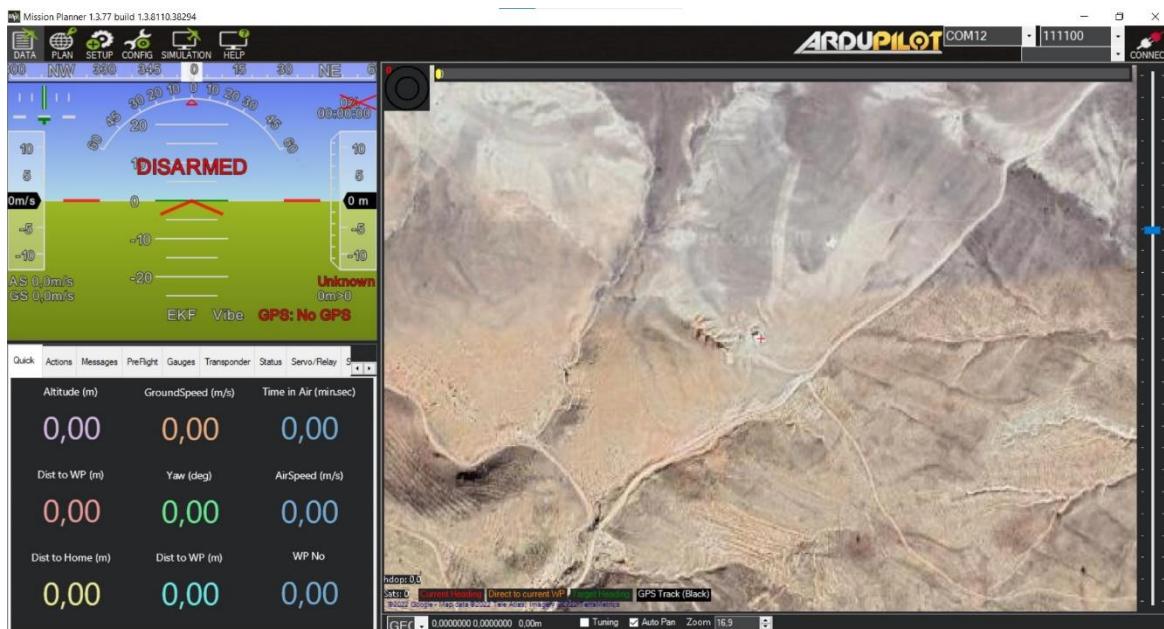
6. KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

Kontrol bilgisayarının ve görüntü aktarım bilgisayarına ait iki farklı arayüz bulunmaktadır. Bu nedenle arayüz tasarımları iki başlık altında incelenecaktır.

Kontrol Bilgisayarı Arayüzü

Kontrol bilgisayarında kullanılacak olan arayüz açık kaynak kodlu Missionplanner'dır. Missionplanner arayüzü [Görsel 22](#)'de gösterilmektedir. Arayüzde HUD ekranı, anlık tutum verileri, mod değişikliği gibi kısımlar bulunmaktadır. Harita üzerinden uçağın anlık rotasını izleyebilir ve görev noktaları atayabilmekteyiz. Kullanışlı ve açık kaynaklı olmasından kaynaklı Missionplanner arayüzü seçilmiştir.

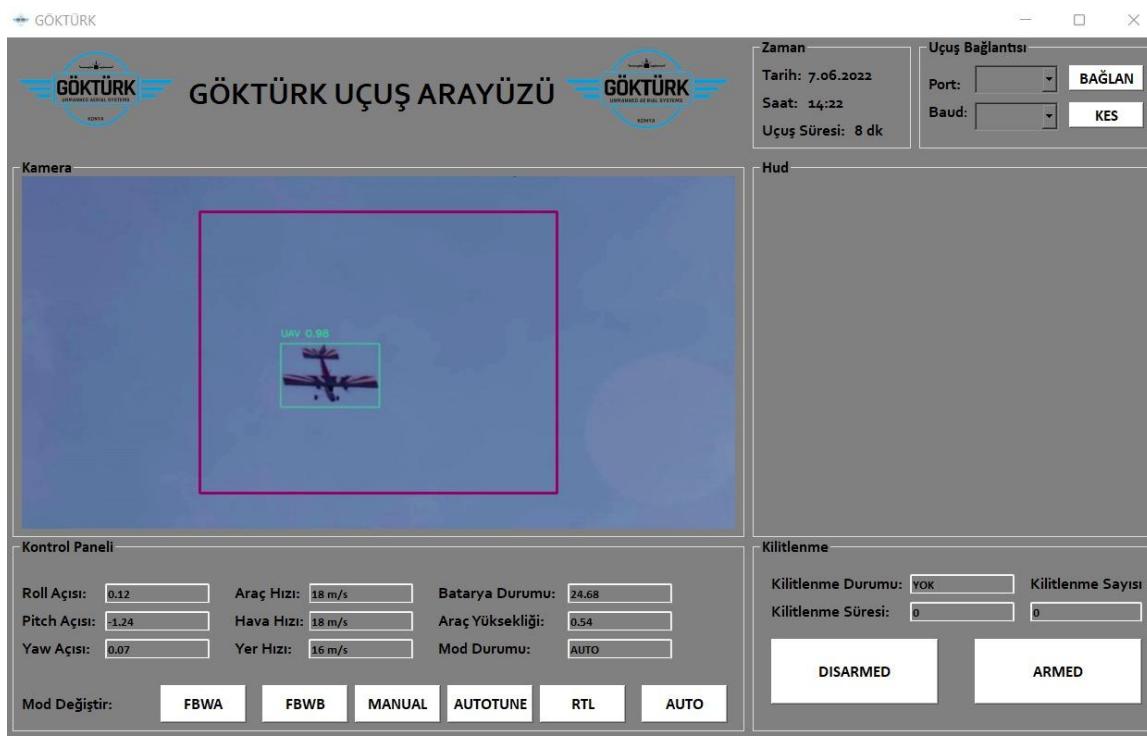
SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Görsel-22 Yer kontrol bilgisayarı arayüzü

Görüntü Aktarım Bilgisayarı Arayüzü

Görüntü aktarım bilgisayarı için isterler doğrultusunda özgün bir arayüz tasarımlı yapılmıştır. Arayüzün geliştirilmesinde Python programlama dili ve PyQt5 kullanılmıştır. Tasarlanan arayüz *Görsel 23*'te verilmiştir. Yardımcı bilgisayardan gelen görüntü, arayüz ekranının sol alt kısmında canlı olarak gösterilecektir. Arayüz ekranına şartnamede belirtildiği şekilde kilitlenme dörtgeni çizilmiştir. Alt kısmında bulunan kilitlenme panelinden, kilitlenme verileri kontrol edilebilecektir. Pars'ın anlık tutum verileri kontrol panelinde gösterilecektir.

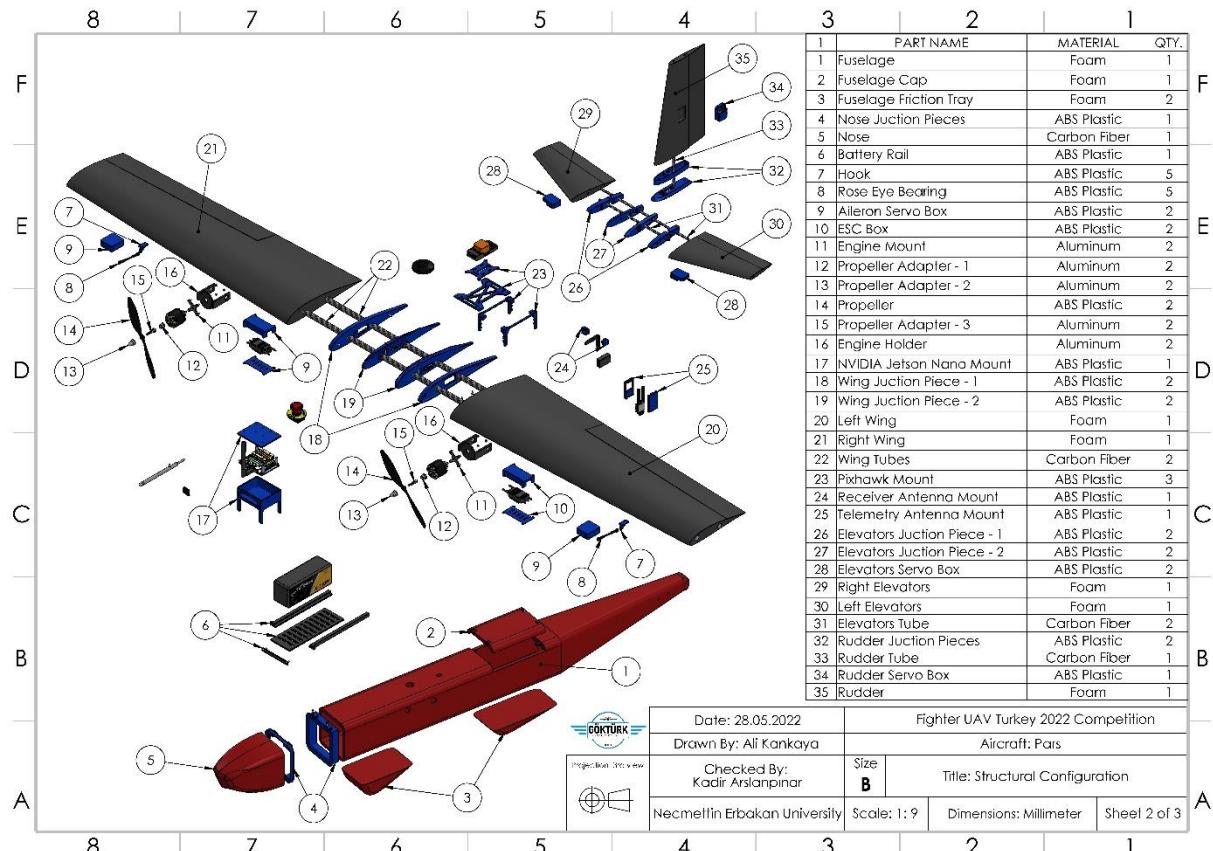


Görsel-23 Görüntü aktarım bilgisayarı arayüzü

7. HAVA ARACI ENTEGRASYONU

7.1. Yapısal Entegrasyon

Parsın üretimi dayanıklılığın fazla olması ve aynı zamanda ağırlığının minimum düzeyde tutulması için köpük üzerine cam fiber kaplama ile üretilmiştir. Pars'ın kanat, burun ve kuyruk kısmında cam fiber kullanılmıştır. *Görsel-24*'te Parsın mekanik bileşenlerine ait yapısal konfigürasyonu verilmiştir.



Görsel 24 Pars'ın yapısal konfigürasyonu

Gövde

Parsın gövdesi tek parça olarak köpükten üretilmiştir. Gövde dışında Pars'ın burnu, kanatları, iniş takımları ve kuyruk kısmı ayrı olarak üretilmiştir ve bu kısımlar gövde ile sonradan birleştirilmiştir. *Görsel-25*'te Parsın tüm parçalarının entegre edilmiş hali gösterilmiştir.



Görsel-25 Pars'ın montajlı hali

Burun

Burun kısmı gövdeden ayrı şekilde üretilmiştir. Burun, kalıba cam fiber el ile yatırılarak üretilmiştir. Burun kısmının gövdeye bağlantısı 3D yazıcıdan üretilen parça ile sağlanmaktadır. Üretilen parça buruna iki vida ile bağlanmıştır. Burun bağlantısı [Görsel 26](#)'da gösterilmiştir.



Görsel-26 Pars'ın burun kısmı tasarımları ve üretilmiş hali

Kanat

Pars'ın kanatları CNC köpük makinesinde uygun ölçülerde köpüğün kesilmesi ve cam fiber ile kaplanmasıyla üretilmiştir. Kanatlar ile gövde arasındaki bağlantı parçaları 3D yazıcıdan üretilmiştir ve kanat bağlantı parçaları iki adet vida ile gövdeye sabitlenmiştir. Kanatların dayanımlarının artması için kanatların ve gövdenin içinden geçecek şekilde iki adet karbon boru kullanılmıştır. Kanatların hareketli yüzeyleri için menteşe delikleri açılmıştır ve menteşe deliklerine 3D yazıcıdan üretilen menteşe kullanılmıştır. Hareketli yüzeylerin hareketi de servo motorlar ile sağlanmıştır. Kanat bağlantıları ve hareketli yüzeyler [Görsel 27](#)'de gösterilmiştir.



Görsel-27 Pars'ın Kanat bağlantı parçasının tasarımları ve üretimi

Kuyruk

Pars'ın kuyruk kısımları CNC köpük makinesinde köpüğün uygun ölçülerde kesilmesi ve köpük üstüne cam fiber kaplanmasıyla üretilmiştir. Kuyruk bağlantı parçaları 3D yazıcıdan üretilmiştir. Hareketli yüzeylerin hareketi iki yatay ve bir dikey stabilizede bulunan üç adet servo motor ile sağlanmıştır. Kuyruk kısmı [Görsel 28](#)'de gösterilmiştir.



Görsel-28 Pars'ın kuyruk tasarımları ve üretilimi

7.1.5.İniş Takımı

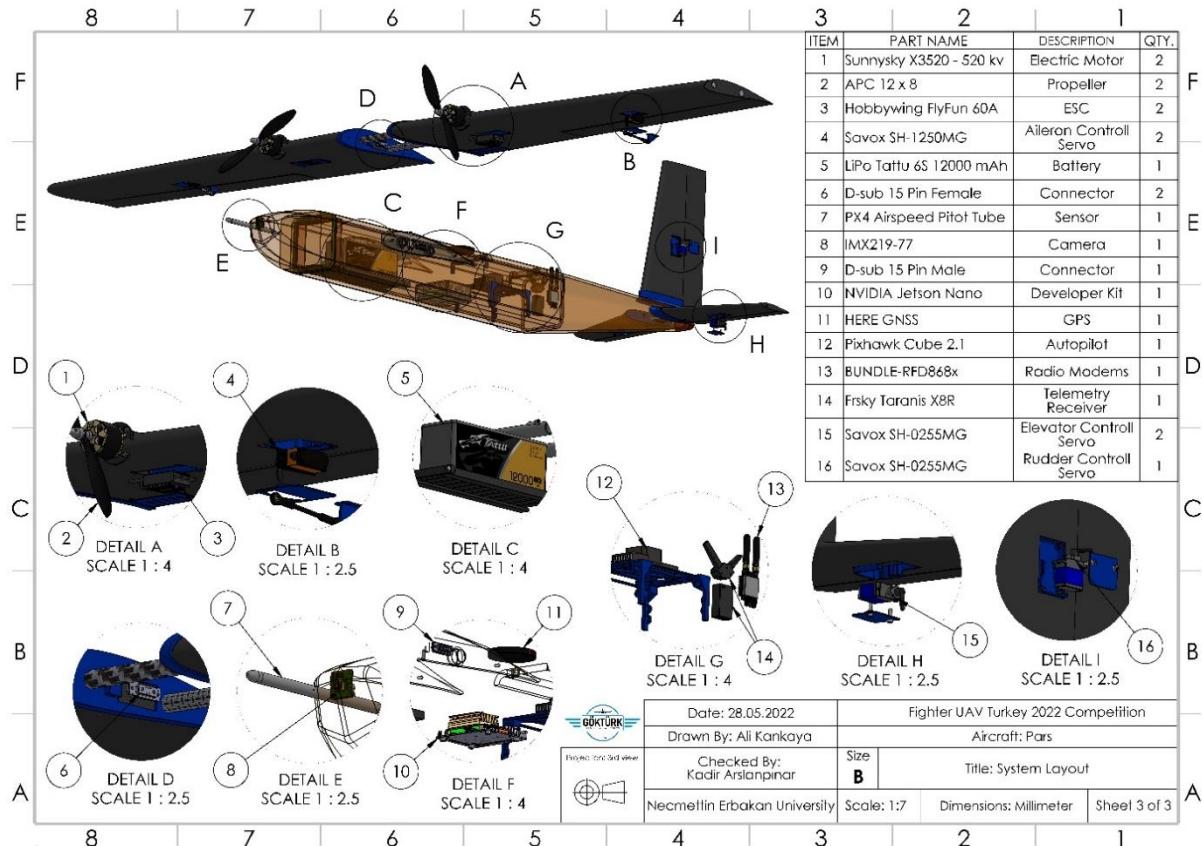
Pars'ta iniş takımı olarak gövde kısmına iniş kuvvetini sökünlemesi için 2 adet sürtünme tablası koyulmuştur. Sürtünme tablaları köpük üzerine cam fiberin kaplanmasıyla üretilmiştir. Sürtüme tabaları [Görsel 29](#)'da gösterilmiştir.



Görsel-29 Pars'ın iniş takımları

7.2. Mekanik Entegrasyon

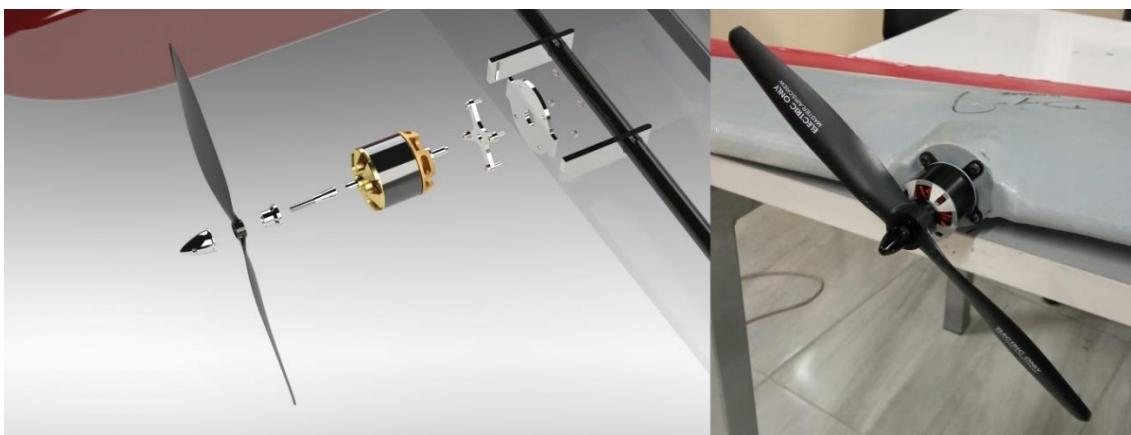
Görsel 30'da Pars'a ait mekanik entegrasyonu gösterilmektedir.



Görsel-30 Pars'a ait mekanik entegrasyon

Motor Montajı

Motorlar kanat içerisinde bulunan karbon boruya harici bir parça ile sabitlenmektedir. Motorun üretmiş olduğu itki kanada zarar vermemekte ve kanadın esnemesi ile motorun açısı değişmemektedir. *Görsel 31*'de motorun tasarımını ve montajı gösterilmektedir.

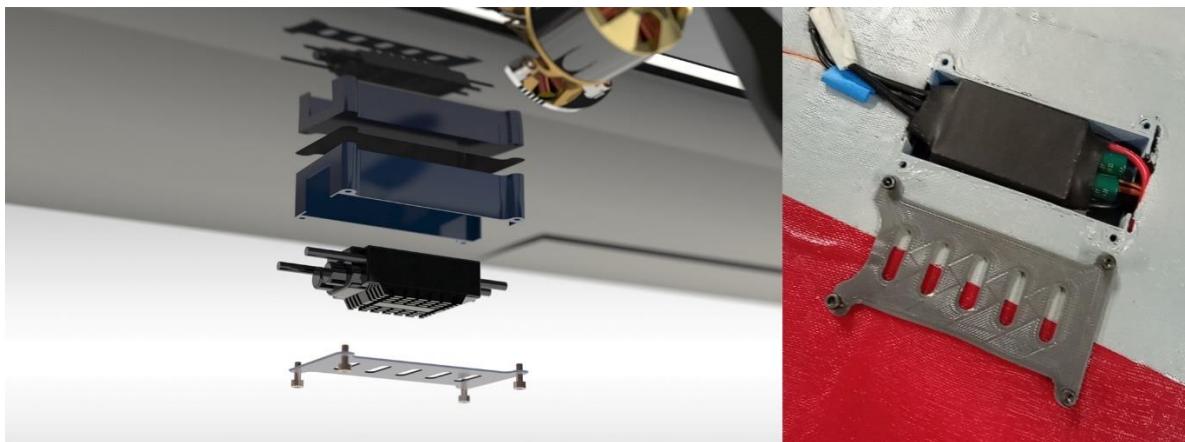


Görsel-31 Pars'in motor kısmının tasarımını ve montajı

ESC Montajı

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Pars'ın motor sürücülerini (ESC) kanat içine entegre edilmiştir. ESC'lerin değişimi kolay olabilmesi için ESC'ler 3D yazıcı ile üretilen bir kutu içerisinde bulunmaktadır. [Görsel 32](#)'de kutunun ve ESC'nin kanada montajı ve tasarımları gösterilmektedir.



Görsel-32 ESC'lerin montajı ve tasarımları

Servo Motor Montajı

Servo motorlar Pars'ın hareketli yüzeylerini kontrol etmekte kullanılmıştır. Servo motorlar kanat ve kuyruklara yuva açılarak yerleştirilmiştir. 3D yazıcı ile servolar için kutu tasarlanıp yuvalara kutular sabitlenmiştir. Servo motorlar değişim kolaylığı için bu kutulara takılıp sökülebilmektedir. [Görsel 33](#)'te servo motorlarının montajı ve tasarımları gösterilmektedir.



Görsel-33 Servo motorlarının montajı ve tasarımları

Pil Montajı

Pars'ın pil montajında kolay ulaşılabilirlik ve ağırlık merkezinin dengelenebilmesi için raylı bir sistem tasarlanmıştır. Pil dolumu veya değişimi için sistem gövdeden çıkabilmektedir. [Görsel 34](#)'te tasarım ve montaj gösterilmektedir.



Görsel-34 Pars'ın pil yerleşiminin montajı ve tasarımı

Aviyonik Montajı

Pars'ın aviyonik montajında elektroniklerin manyetik alandan en az etkileneceği şekilde tasarlanmıştır. Elektroniklerin sökülüp takılabilir oluşuna önem verilmiştir. [Görsel 35](#)'te tasarım ve montaj gösterilmektedir.



Görsel-35 Pars'ın aviyonığının tasarımı ve montajı

7.3. Elektronik Entegrasyon

Pars'ın içerisinde Pars'ın kablolarası yapılrken elektroniklerin manyetik alandan etkilenmemesi ve yanlış bağlantının olmamasına önem verilmiştir. Elektroniklerin manyetik alandan etkilenmemesi için Pars'ın geniş iç hacmi kullanılmıştır. Geniş iç hacim sayesinde elektronikler [Görsel 36](#)'da gösterildiği şekilde güç ve sinyal kabloları üstünde olacaktır.

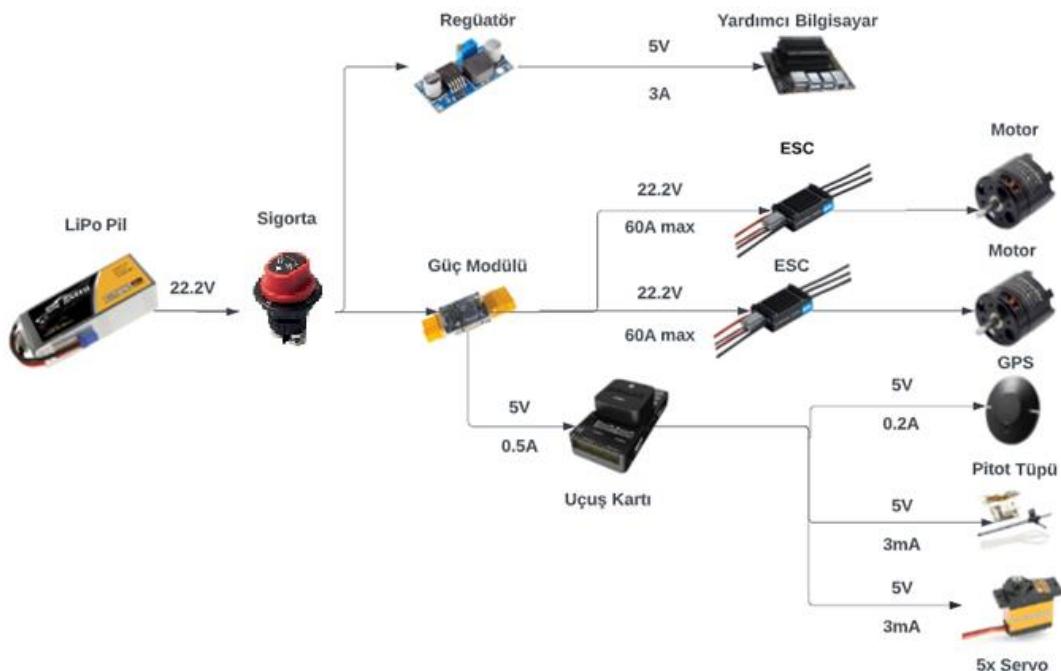
Pars'ın kanatlarında bulunan elektroniklerin sinyal ve güç kablolarının bağlantı sayısı çok fazladır. Bu nedenle yanlış bağlantının önüne geçmek ve modülerlikte kolaylık sağlamak için [Görsel 36](#)'da gösterilen soketler kullanılmıştır.



Görsel-36 Kanat bağlantı soketleri

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

Görsel 37'de Pars'a ait güç dağılımları gösterilmektedir.



Görsel-37 Pars'ın güç dağılım görseli

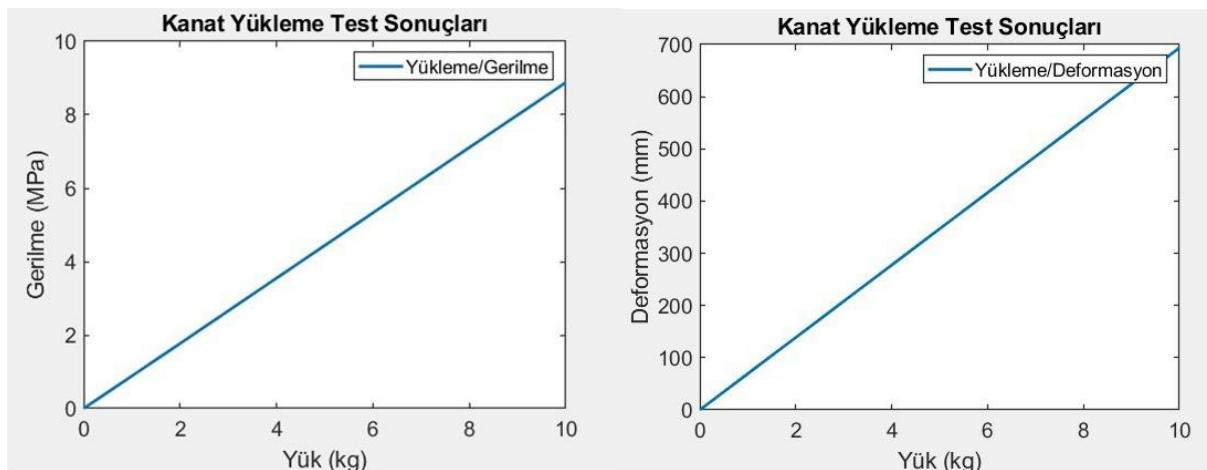
8. TEST VE SİMÜLASYON

8.1. Alt Sistem Testleri

Kanat Yapısal Testi

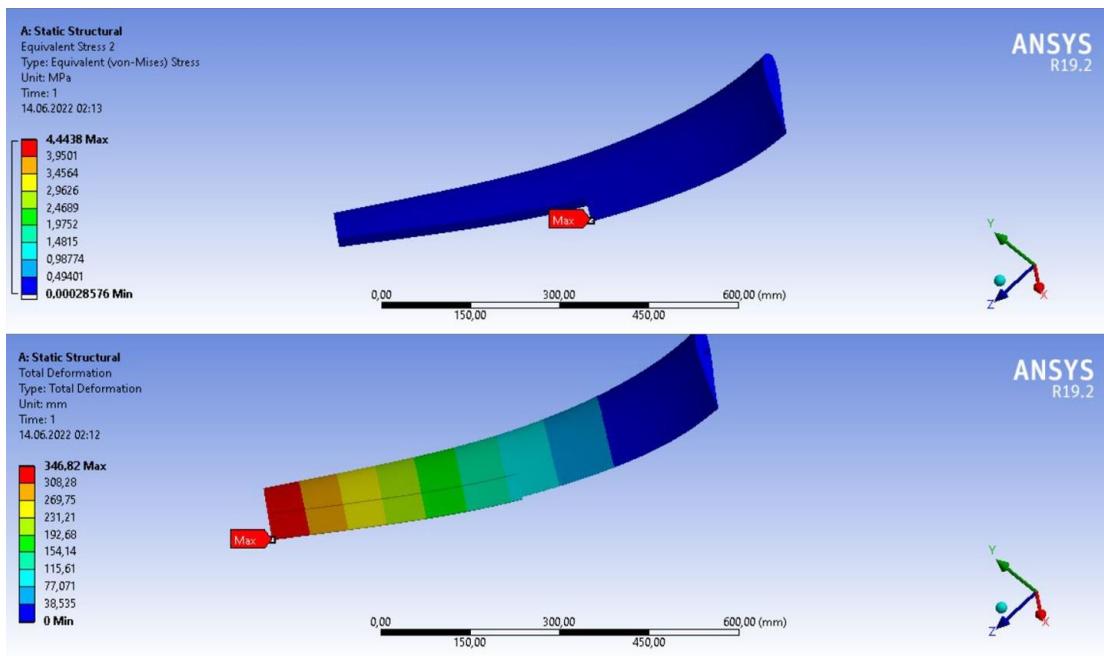
Kanatlara manevra anında ve düz uçuşa farklı büyülükte kuvvetler etki ederek havada kalma sağlanır. Kanat yükleme testleri ise bu farklı büyülükteki kuvvetleri analiz ederek kanadın kırılma uğramadan dayanabileceği maksimum deformasyonu ve gerilim değerini tespit edilir. Uçak uçarken üzerine pozitif g kuvveti etki etmektedir. Analizler sırasında minimu 1 g kuvvet etki ettiği düşünülerek Ansys Workbench program analizler gerçekleştirılmıştır. Pars'ın toplam ağırlığı yaklaşık 5.5 kg'dır. *Görsel 38*'de kanat yükleme gerilim-deformasyon ve kanat yükleme miktarı - gerilim grafikleri gösterilmektedir. Bu grafiklerden 5 kg yüklemde kanadın büyük oranda gerilime maruz kalıp deformasyona uğrayarak kırılma uğrayacağı görülmektedir.

SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022



Görsel-38 kanatların gerilme ve deformasyon grafikleri

Kanadın 1 g kuvvette ve 5 kg yük altındaki gerilim skalası ve buna bağlı olarak maksimum gerilmenin nerde olacağı *Görsel 39*'da gösterilmektedir. Gerilimin maksimum olduğu kısımlar üretim aşamasında güçlendirilmiştir.



Görsel-39 Ansys Workbench analiz görselleri



Kanat dayanımının ölçülmesi için kanat yüzeyine yayılmış bir şekilde 4 kg ağırlık konulmuştur. Yapılan testler sonucunda kanatların dayanabildiği görülmüştür. Pars'in uçuş öncesi kanat yapısal testi için *Görsel 40*'ta gösterilen ağırlıklar kullanılmıştır. Kanatın yüzeyine eşit bir şekilde dağıtılarak *Görsel 41*'de gösterildiği şekilde kanadın dayanımı test edilmiştir.

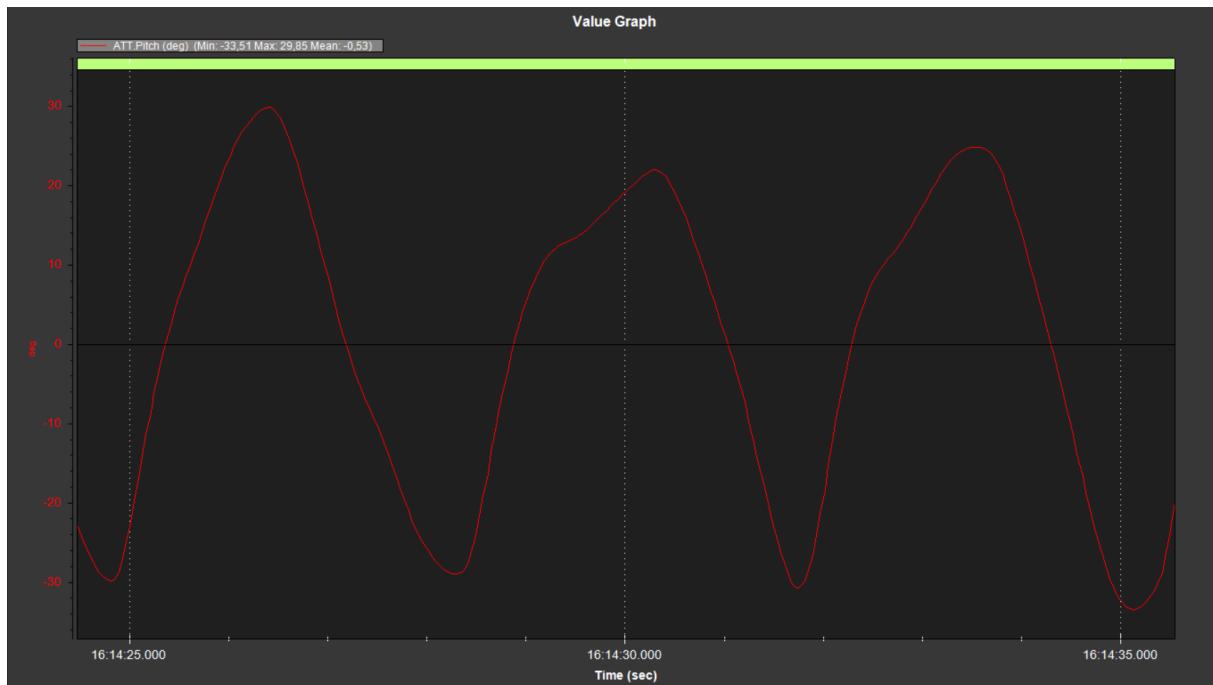
Görsel-40 Kanat ağırlıkları

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022



Görsel-41 Kanat yapışal dayanım testi

Pars test uçuşu sırasında kamikaze görevi için 3 saniye boyunca 30° dalışa geçmiştir. Dalış hareketi üç defa tekrarlanmıştır. Dalış anının log kaydı *Görsel 42*'de gösterilmiştir. Pars'ın dalış testi de başarı ile sonuçlanmıştır.



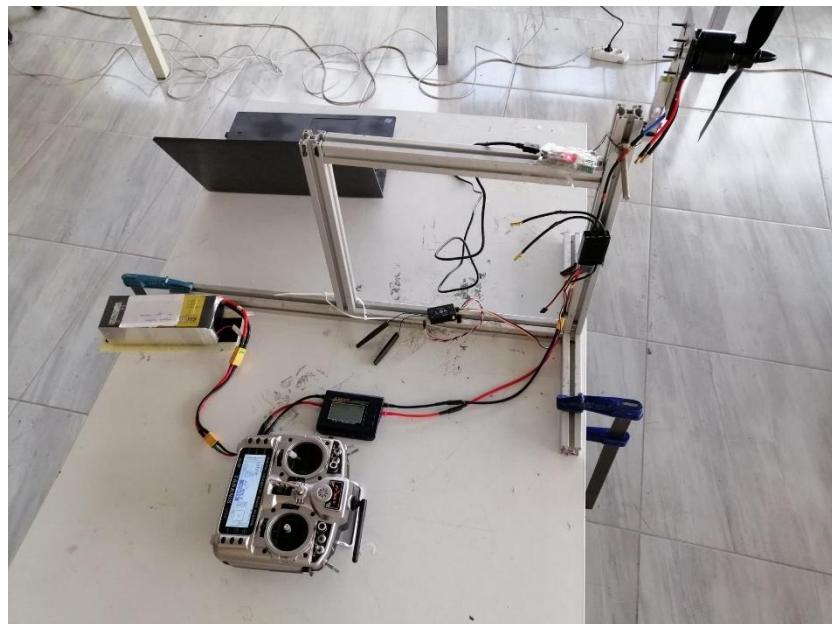
Görsel-42 Pars'in uçuş anında pitch açısı grafiği

İtki Testi

Hava Aracı Performans Özeti başlığı altında gerekli olan itki değeri ve uçuş süresi hesaplanmıştır. Seçilen motor ve pervane konfigürasyonunu gerekli itkiyi karşıladığı ve seçilen

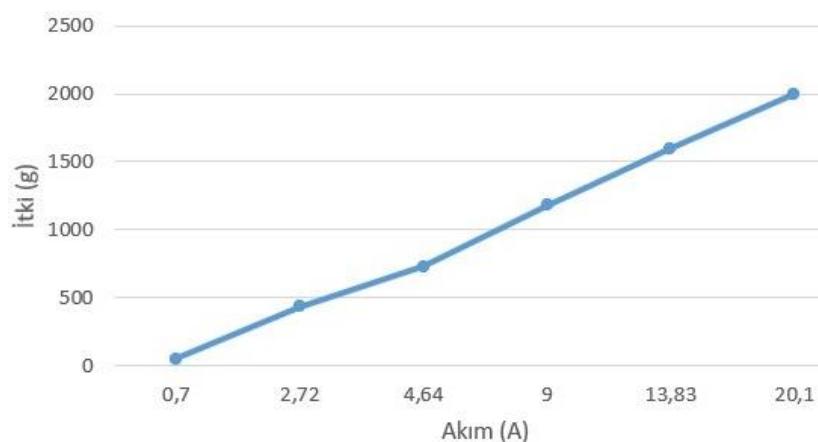
SAVAŞAN İHA YARIŞMASI 2022

pilin uçuş süresi boyunca kararlı davranışını test etmek için *Görsel 43*'te bulunan itki standı kullanılmıştır. Test standına itki sistemi bağlanmış ve kumanda yardımı ile belli değerler aralığında PWM sinyalleri yollanmıştır. Test sonuç grafiği *Grafik 4*'te verilmiştir. Gerekli itki değerinin (tek motor için 700 gf) sağlanabilmesi için motor başına 4,46 A verilmesi gerekmektedir. Bu test sonucunda seyir uçuşunda gerekli akım değeri hesaplanmış ve uçuş süresi doğrulanmıştır.



Görsel-43 GökTürk ekibine ait motor itki standı

İtki-Akım Grafiği



Grafik-4 Sunnysky X3520'ye ait itki akım grafiği

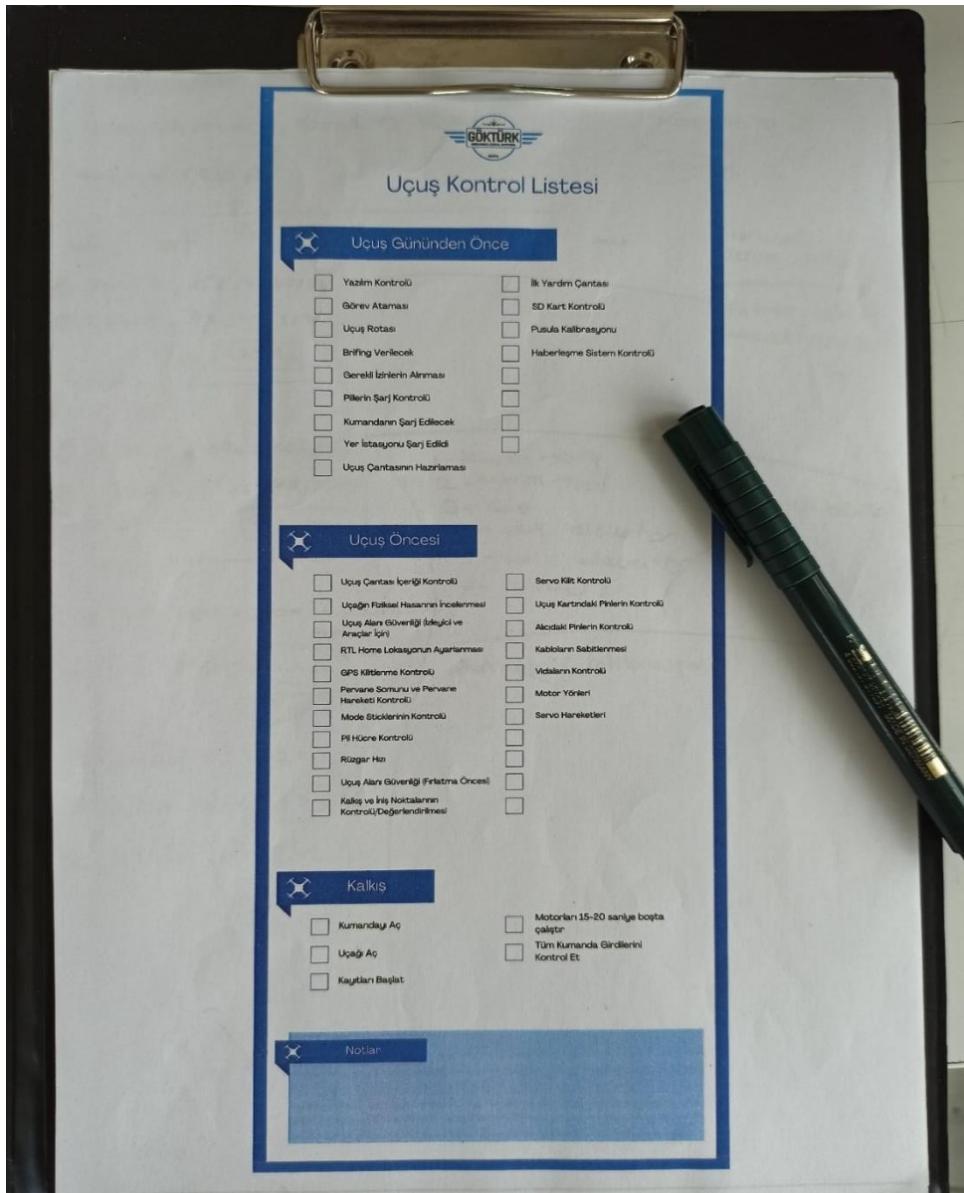
Uçuş Testi

Tüm analizler ve yer testleri sonucunda yerleşim yerlerinden uzak bir alanda uçuş testi yapılmıştır. Uçuş testinin detayları ve sonuçları **Uçuş Testi ve Uçuş Kontrolü** başlığında belirtilmiştir.

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

8.2. Uçuş Testi ve Uçuş Kontrol Listesi

Göktürk ekibi tarafından hazırlanan ve 2016 yılından itibaren revize edilen uçuş kontrol listemizin son hali *Görsel 44*'te gösterilmektedir. Uçuş kontrollerinin yanı sıra test amacı, hava şartları ve yaşanan sorunlar da not alınmaktadır. Alınan notlar, uçuş sonrası incelenip bir sonraki uçuş testine kadar onarılmaktadır. Pars uçuş alanında her departmandan onay aldıktan sonra uçuşunu gerçekleştirmektedir.



Görsel-44 Göktürk ekibine ait uçuş kontrol listesi

Pars üretim aşamasından sonra ilk uçuşunu 22.05.2022 tarihinde gerçekleştirmiştir. Bu uçuşun amaçları;

- Pars'ın mekanik ve aerodinamik yapısının uçuşa elverişli olduğunu belirlemek,
- Pars'ın PID kazançlarını belirlemek,
- Pilot'un, Pars'ın karakteristik özelliklerini kavraması,
- Haberleşme ekipmanlarından kesintisiz ve doğru veriler almak,

SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

- Otonom rotada kalabilme kabiliyeti
- Cruise hızında çektiği akım verilerini almak amaçlanmıştır.

Uçuş alanı için yerleşim alanlarından uzak ve görüş menzili yüksek bir alan seçilmiştir. *Görsel 45*'te Pars'ın uçuşa hazır halini ve yer istasyonu gösterilmektedir.



Görsel-45 Pars'ın uçuş öncesi montajlanmış görüntüsü

Pars'ın otonom uçuşu sırasında roll, pitch ve yaw değerleri *Görsel 46*'da verilmektedir. Düz uçuş sırasında hava durumundan kaynaklı düşük miktarda sapmalar yaşanmaktadır. Bu nedenle Pars'ın aerodinamik yapısının uçuş için uygun olduğunu karar verilmiştir.

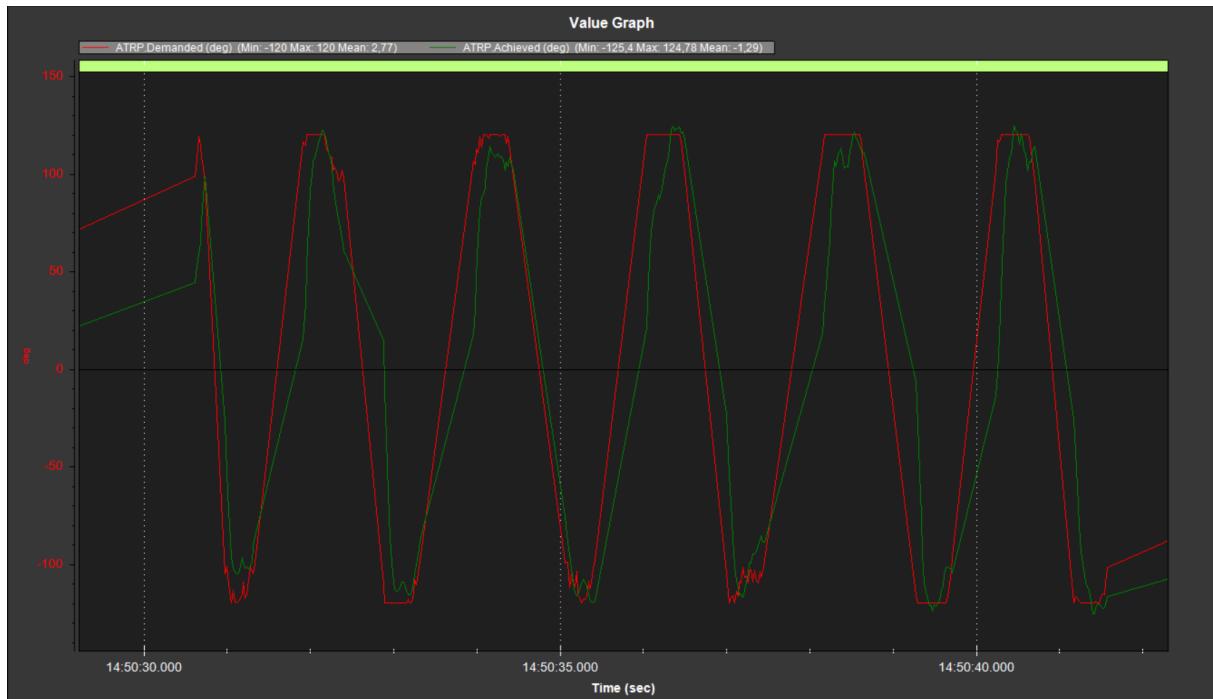


Görsel-46 Seyir uçuşu sırasında roll,pitch ve yaw değerleri

Pars'ın PID kazançlarını belirlemek için havada kalibrasyon yapılmıştır. *Görsel 47*'de bu konfigürasyonun sonuçları gösterilmektedir. Kırmızı grafik pilot tarafından istenen davranıştı yesil grafik ise Pars'ın tepkisini göstermektedir. Bu çizgiler birbirine yakınlığı PID

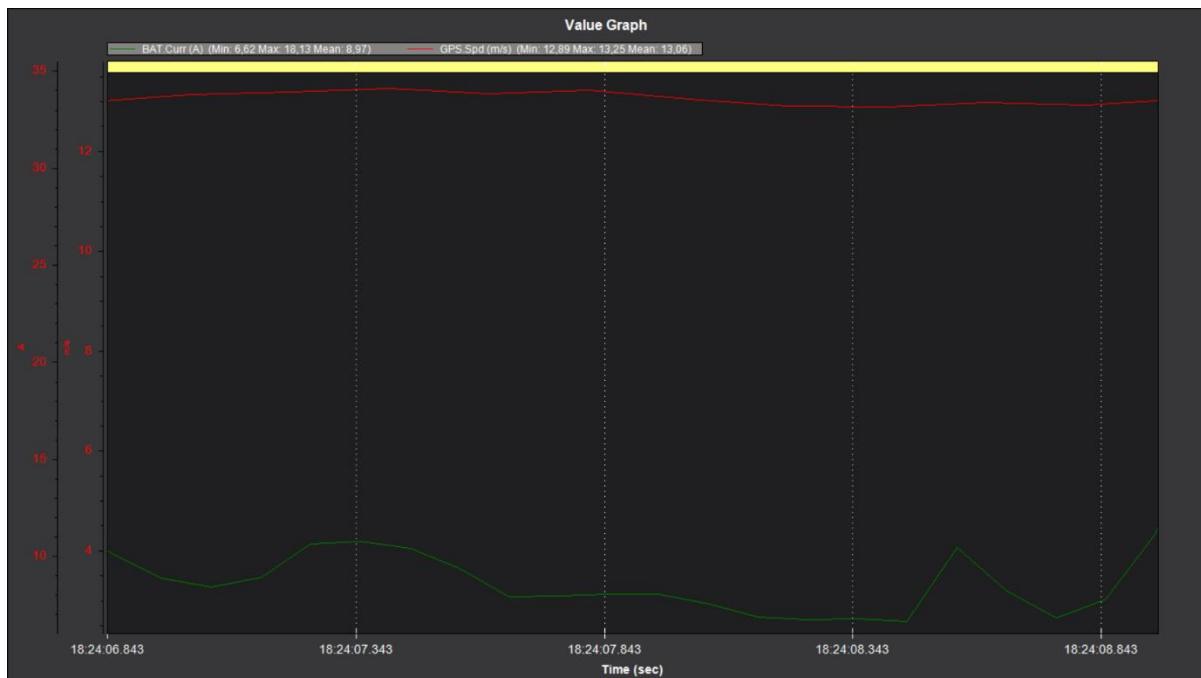
SAVASAN İHA YARIŞMASI 2022

kazançlarının doğru olduğunu göstermektedir. *Görsel 47*'de bu çizgiler otonom uçuş için yeterlidir ancak bir sonraki test uçuşlarında tekrar kalibrasyon yapılacaktır.



Görsel-47 PID kazançlarının belirlenmesi için pilot girdisi ve Pars'in tepki grafiği

Pars'ın seyir uçuşu 13 m/s anında çekmiş olduğu akım grafiği *Görsel 48*'da verilmiştir. Kırmızı grafik uçuş hızını ve yeşil grafik çekilen akım değerini göstermektedir. Pars seyir uçuşu sırasında ortalama 8,97 A akım çekmektedir. Motor veri sayfasına bakıldığı zaman 8,97 A motor başına 750 g itki üretmektektir. Bu değer **Hava Aracı Performans Özeti** başlığında hesaplanan gerekli itki değerini doğrulamaktadır.



Görsel-48 Seyir uçuşu sırasında çekilen akım grafiği

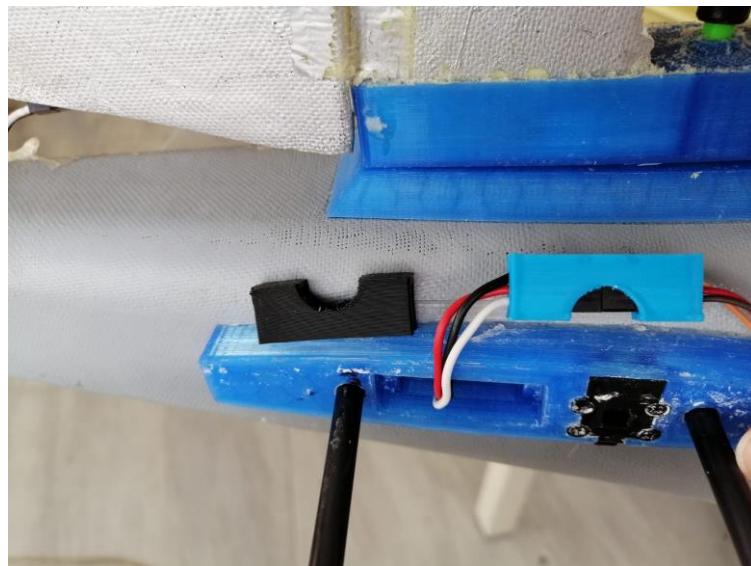
9. GÜVENLİK



Çalışmaların atölye ortamında olması, çalışmalar sırasında birçok elektronik alet kullanılması işlerin yüksek güvenlik önlemleriyle yapılmasını gerekmektedir. Yapılan atölye çalışmalarını ekibimiz belirli kurallar çerçevesinde dikkatli bir şekilde gerçekleştirmektedir. Atölye çalışmaları sırasında meydana gelebilecek yaralanmalar olabileceğinden dolayı ilk yardım kiti ve yanın çıkışma ihtiyaline karşı yanın söndürme tüpü bulundurulmaktadır. Atölye çalışmaları bittiğinde gün sonunda kullanılan tüm aletler güvenlik tedbirleri nedeniyle prizlerden çıkarılmaktadır. Üretim çalışmaları sırasında kullandığımız malzemelerden korunmak için eldiven, gözlük gibi koruyucu malzemeler kullanılmaktadır. Pars'ta güç kaynağı olarak kullanılan Li-Po bataryaların bazı durumlarda yanma riski olduğundan dolayı *Görsel 49*'da görülen pil koruma çantalarında muhafaza edilmektedirler.

Görsel-49 Pil çantası

Uçuş anında servolarda temassızlık ve çıkışma gibi durumlar olmaması için üç boyutlu yazıcıdan basmış olduğumuz servo kilitler kullanılmaktadır. Uçuş anında kopma, çıkışma gibi sorunlardan kaçınmak için uçuştan önce bağlantı parçaları ve vidaları kontrol edilmektedir.



Görsel-50 3D yazıcıdan basılan servo soket kilitleri

10. REFERANSLAR

- (1) Savaşan İHA Hakem Komitesi, Savaşan İHA 2022 Şartnamesi,
https://cdn.teknofest.org/media/upload/userFormUpload/Sava%C5%9Fan_%C4%B0HA_Yar%C4%81%C5%9Fma_%C5%9Eartnamesi_PjMhK_1_3Vp7x.pdf
- (2) J. D. Anderson, Aircraft Performance and Design, Nobel, 2016
- (3) 2022, Savaşan İHA 2022 Yarışması Ön Tasarım Raporu, Sabit kanat, NEÜ Kapsül Göktürk Ekibi
- (4) SunnySky USA, Motor Datasheet, <https://sunnyskyusa.com/products/sunnysky-x3520-brushless-motor>
- (5) J. Lee, J. Bang, S. Yang, "Object detection with sliding window in images including multiple similar objects", 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2017
- (6) L. Yu, W. Sun, H. Wang, "The Design of Single Moving Object Detection and Recognition System Based on OpenCV", 2018 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), 2018
- (7) N. J. Uke, "Moving Vehicle Detection for Measuring Traffic Count Using OpenCV", Journal of Automation and Control Engineering, 2013
- (8) Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C. Y., & Berg, A. C., Ssd: Single shot multibox detector, Springer, Cham, 2016
- (9) Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A., "You only look once: Unified, real-time object detection", In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2016
- (10) Girshick, R., "Fast r-cnn. In Proceedings of the IEEE international conference on computer vision", 2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2015
- (11) Graphical LabelImg, Arayüz, <https://github.com/tzutalin/labelImg>