



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MODEL HELİKOPTER ÜZERİNDE İNSANSIZ HAVA ARACI OTONOM UÇUŞ UYGULAMASI

Emre AYVAZ

YÜKSEK LİSANS

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2014
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Emre AYVAZ

Tarih: 22.10.2014

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında, otonom insansız (küçük boyutlu) helikopter uçuşu yöntemi önerilmiş ve otonom uçuş sağlamak için gereken yazılım ve donanımların entegrasyonu ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır.

Öncelikle *İHA*'ların çeşitleri hakkında temel düzeyde bilgi verilmiş olup, insansız bir helikopter edinmek için yol haritası sunulmuş ve otonom insansız bir helikopterin nasıl yapılacağından detaylı olarak bahsedilmiştir. Otonomi için kullanılan uçuş kartları ve bu karta entegre edilen algılayıcılar incelenmiştir. İncelenen donanımlar arasından seçilip çalışmada kullanılan bu donanımların kalibrasyon ve testleri yapılarak birlikte entegre çalışabilmesi için gerekenler anlatılmıştır. Sonucunda helikoptere otonomi kazandırmak adına belirli bir yükseklikte helikopterin sabit kalması sağlanmıştır. Belirlenen yükseklikte sabit kalınabilmesi için gereken konum bilgisi *GPS*'ten alınmıştır. Otonom uçuşun belirli bir güzergâhta yapılması için gereken bazı aşamalar ek mali yatırımlar gerektirmesi ve uzun testlere ihtiyaç duyulmasından dolayı tez kapsamında değerlendirilmemiştir.

Anahtar kelimeler: *APM*, *Ardu, Heli, İHA, Otonom, PID, Rota, Uçuş*

ABSTRACT

MS THESIS

AUTONOMOUS UNMANNED AIR VEHICLE FLIGHT IMPLEMENTATION ON MODEL HELICOPTER

Emre AYVAZ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL SCIENCES OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN COMPUTER ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Erkan ÜLKER
Assist. Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK
2014, 146 Pages

In this study, autonomous UAV (Unmanned Air Vehicle) flight implementation on model helicopter) was suggested by deeply examining the integration of related software and hardware to enable the autonomous flight.

First, basic level of information about UAV types was presented. Then, a road map to establish a UAV helicopter was given by explaining every necessary phases in detail. The control cards and sensors which would be integrated into the UAV were comparatively investigated. The hardware chosen among these cards and sensors using predetermined criteria were calibrated and tested. The integrated peripherals were also analysed to ensure interoperability among them. As a result, the model helicopter was maintained at a fixed altitude automatically while the required altitude data were being received from the *GPS* module. Autonomous flight of a pre-planned path could not be covered, since additional expenses and additional time for tests were required.

Keywords: *APM*, *Ardu, Auto, Flight, Heli, PID, Route, UAV*

ÖNSÖZ

Havacılık insanoğlunun kuşlara özenmesi ile başlayan ve her zaman geliştirmeye çalıştığı bir alan olmuştur. Üçüncü boyutun hız, ekonomi ve görsellik gibi büyük bir avantaj sağlaması da bu alana olan ilgiyi her geçen gün biraz daha arttırmaktadır.

Birçok insan gibi benim de havacılığa büyük bir ilgim var ve bu ilgi, havacılık alanında daha fazla kontrol gücüne sahip olma isteğimi tetiklemektedir. Bu kontrolü sağlamak için seçtiğim ve bana en uygun gelen araç ise helikopterlerdir.

Helikopterlerin istenilen noktada durabilmesi, geri gidebilmesi ve hızlı manevra kabiliyeti gibi yetenekleri havadaki kontrolü tümüyle kullanıcının keyfine bırakmaktadır. Helikopterlerin bu eşsiz kontrol mekanizması ise diğer hava araçlarına göre büyük bir fark yaratmakta ve ilgimin asıl kaynağını oluşturmaktadır.

2010 yılında model helikopterlere olan merakım sonucu ilk helikopterimi alarak manual (insan faktörlü) uçurmaya başladım. Sonrasında model havacılıkta ulaşılan gelişmeleri gördükçe artan merakımı gidermek için bilimsel bir çalışma yapmaya karar verdim ve okuduğunuz bu çalışma ortaya çıktı. Çalışma süresince yaptığım araştırmalar sonucu otonom helikopter ile ilgili yapılan araştırmaların çok olmadığı ve hâlihazırdaki teknoloji ile birçok yenilik yapılabileceğini görmek bu çalışmadan sonrada yapılması gereken birçok iş olduğunu bana gösterdi. Kullanması diğer hava araçlarına göre oldukça zor olan helikopterlerin otonomi ile desteklenmesi ile daha da yaygınlaşacağı ve günlük alanda daha sık karşımıza çıkacağını tahmin etmek zor değil.

Otonom helikopterlerin bu gelişim sürecinde katkım olması için bu çalışmanın dışında da farklı fikirleri hayata geçirmeyi planlıyorum. Birçok farklı mühendislik disiplini barındıran otonom helikopter geliştirmede tek başına hareket edilemeyeceği gerçeğinden hareketle de iyi bir takım oluşturmanın öncelikli bir şart olduğunu değerlendiriyorum. İyi bir takım kurarak helikopter otonomosi alanında daha kapsamlı projeleri daha hızlı bir şekilde hayata geçirmek hayalim ise bu çalışma tamamlandıktan sonraki öncelikli hedefim olacaktır.

Çalışmamda bana ilham veren değerli hocalarım ve danışmanlarım Doç.Dr. Erkan ÜLKER ve Yrd. Doç.Dr. Ali ÖZTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim. Bu süreçte beni hep destekleyen biricik annem Ayfer AYVAZ ve babam Mustafa AYVAZ'a emeklerinden dolayı minnetarım ve bu çalışmayı onlara ithaf ediyorum.

Emre AYVAZ.

KONYA-2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **IV**

ABSTRACT ..... **V**

ÖNSÖZ ..... **VI**

İÇİNDEKİLER ..... **VII**

KISALTMALAR VE TANIMLAR ..... **IX**

GİRİŞ **1**

Otonom İHA'ların Kullanım Alanları 4

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **5**

2.1. İHA'ların El Yordamı ile Uçuşu Üzerine Yapılan Çalışmalar 5
2.2. İHA'lara Otonomi Kazandırılması Üzerine Yapılan Çalışmalar 7
2.3. Otonom İHA'ların farklı Kullanım Alanlarına göre Geliştirilen Yöntemler 9

3. MATERYAL VE METOD **12**

3.1. Geleneksel Model Helikopter 12
3.2. ArduFlyer Kart 13
3.2.1. Kartın çalışabilmesi için gereken zorunlu işlemler 15
3.2.2. Karta isteğe bağlı harici bağlanabilen aparatlar (Harici Algılayıcılar) 17
3.2.3. ArduFlyer parametreleri 18
3.3. Mission Planner (MP) 19
3.3.1. Basit ayarlar 20
3.3.2. İleri düzey ayarlar 21
3.3.3. Yer istasyonunun kullanılması 24
3.3.3. Komut satırı arayüzü (Command Line Interface – *CLI*) 27
3.3.4. Uçuş modları 28
3.3.5. Otomatik uçuş planlama ve hazırlama 36
3.3.6. Uçuş verisi loglama 39
3.3.7. Algılayıcı verilerini izleme 41
3.3.8. Log analizi ile problemleri saptama 42
3.4. X–Plane 46

4. ARAŞTIRMA BULGULARI **47**

4.1. Hava Aracının Temin Edilmesi 47
4.1.1. Kurulum 48
4.2. Kontrol kartı ve algılayıcıların temin edilmesi 52
4.3.Yer İstasyonunun Kurulması 55
4.4. Programlama 56
4.5. Entegrasyon 56
4.5.1. Helikopter – Uzaktan kumanda entegrasyonu 56
4.5.2. ArduFlyer Kart – Yer istasyonu entegrasyonu 56
4.5.3. ArduFlyer – Helikopter entegrasyonu 58
4.5.4. ArduFlyer kart – X–Plane simulasyon entegrasyonu 68

4.6. Kalibrasyon ve Test Aşaması 75
4.6.1. Kompas ayarları ve kalibrasyonu 75
4.6.2. Trim Kalibrasyonu 81
4.6.3. Kompasın manyetik sapma testi 83
4.6.4. Titreşim ölçme testi 85
4.6.5. Gaz çubuğunun orta nokta testi 89
4.6.6. PID kalibrasyonu ve çeşitleri (*PID* Tuning, Auto *PID* Tuning) 91
4.6.7. Geleneksel helikoptere özel ayarlar 95
4.5.8. Sanal uçuş testi 97
4.6.9. Gerçek uçuş testleri 98

5. TARTIŞMA 102

5.1. Belirlenen Güzergâh Üzerinden Otonom Uçuş 102
5.2. MATLAB ve Yardımcı Bileşenleri 102

6. SONUÇLAR 103

KAYNAKLAR 106

EKLER 111

EK – 1 ArduFlyer Karta ait Devre Şemaları 111
EK – 2 Tüm ArduFlyer Kart Parametreleri 112
EK – 3 Uçuşa Etki Eden PID Parametreleri 115
EK – 4 CLI MODU 125
EK – 5 İstatistiki Veriler 129
EK – 6 Log Kayıt Örneği 130

ÖZGEÇMİŞ 134

KISALTMALAR VE TANIMLAR

Kısaltmalar

AA:	Alternatif Akım
AC:	Alternatif Akım (Alternative Current)
ADC:	Analojik – Sayısal Çevirici (Analogic-Digital Converter)
AHRS:	Davranış ve Baş Referans Sistemi (Attitude and Heading Reference System)
AltHold:	Yükseklik Sabitleyici (Altitude Hold)
APM:	Ardu Pilot Mega
ATT:	Davranış (Attitude)
BEC:	Batarya Ayırıcı Devre (Battery Eleminator Circuit)
BVR:	Görülebilir Alanın Ötesi (Beyond Visual range)
CCD:	Çiftli Şarz Cihazı (Charge Coupled Device)
CCPM:	Dairesel Toplu Pitch Harmanlaması (Cyclic Collective Pitch Mixing)
CLI:	Komut Satırı Arayüzü (Command Line Interface)
Cm/s:	Santimetre/saniye
CMOS:	Tamamlayıcı Metal Oksit Yarı iletkeni (Complementary Metal Oxide Semiconductor)
CTUN:	Kontrol İnce Ayarı (Control Tuning)
DA:	Direk Akım
DC:	Direk Akım (Direct Current)
EEPROM:	Silinebilir Programlanabilir Sadece-Okunabilir Hafıza (Erasable Programmable Read-Only Memory)
ESC:	Elektronik Hız Denetleyicisi (Electronic Speed Controller)
GCS:	Yer Kontrol İstasyonu (Ground Control Station)
GPRS:	Genel Paket Radyo Servisi (General Packet Radio Service)
GPS:	Küresel Pozisyonlama Sistemi (Global Positioning System)
HD:	Yüksek Çözünürlük (High Definition)
HDOP:	Yatay olarak Hassasiyetin Seyrelmesi (Horizontal Dilution of Precision)
HIL:	Donanımı içeren Döngüsellik (Hardware In Loop)
HUD:	Baş Hizasında Görüntü (Head-Up Display)
IDE:	Bütünleşik Geliştirme Ortamı (Integrated Develeopment Environment)
IP:	Internet Protokol
İHA:	İnsansız Hava Aracı
İHMA:	İnsansız Hava Muharebe Aracı
IMU:	İçsel Ölçü Birimi (Inertial Measurement Unit)
INS:	İçsel Navigasyon Sistemi (Inertial Navigation System)
KML:	Anahtar Deliği MarkUp Dili (Key Hole MarkUp Language)
KMZ:	Sıkıştırılmış Anahtar Deliği Markup Dili (Key Hole Markup Language Zipped)
LCD:	Sıvı Kristal Görüntü (Liquid Crystal Display)
LIDAR:	Işık Saptama ve Derecelendirme (Light Detection and Ranging)
LiPo:	Lityum Polimer (Lithium Polymer)
LQG:	Doğrusal Dörtlü Gaussian (Linear Quadratic Gaussian)
Mag:	Manyetik Alan Ölçer (Magnetometer)
MEMS:	Mikro Elektro Manyetik Sistem (Micro Electro Magnetic Systems)

MHz:	Megahertz
MP:	Görev Planlayıcı (Mission Planner)
MOGA:	Çok Amaçlı/Hedefli Genetik Algoritma (Multi Objective Genetic Algorithm)
MUAV:	Mikro İnsansız Hava Aracı (Micro Unmanned Air Vehicle)
NSats:	Uydu Sayısı (Number of Satallites)
NTUN:	Navigasyon İnce Ayarı (Navigation Tuning)
NURBS:	Düzenli Olmayan B-Spline (Non uniform B-Spline)
OSD:	Ekran Üzeri Görüntü (On Screen Display)
PID:	Oransal, Toplamsal, Türevsel (Proportional, Integral, Derivative)
PPM:	Vurum Pozisyon Modülasyonu (Pulse Position Modulation)
PWM:	Vuruma göre Modülasyon (Pulse with Modulation)
R/LHS:	Sağ/Sol El Tarafı (Right/Left Hand Side)
Rlog:	Ham Log (Raw Log)
RIP:	Kısıtlı İzometrik Alan (Restricted Isometry Property)
RPV:	Uzaktan Kumanda Edilen Araç (Remote Piloted Vehicle)
RSC:	Rotor Hız Kalibrasyonu (Rotor Speed Calibration)
RTF:	Uçuşa Hazır (Ready-to-Fly)
R/T:	Alıcı/Verici (Receiver/Transmitter)
RTL:	Kalkış konumuna Geri Dönüş (Return to Land)
SPI:	Seri Çevrebirimi Arayüzü (Serial Peripheral Interface)
Tlog:	Telemetri Log
UBEC:	Evrensel Batarya Ayırıcı Devre (Universal BEC)
UDP:	Kullanıcı Veri Tablosu Protokolü (User Datagram Protocol)
UHF:	Çok yüksek Frekans (Ultra High Frequency)
URL:	Tekdüze Kaynak Konumlandırıcı (Uniform Resource Locator)
USB:	Evrensel Seri Veriyolu (Universal Serial Bus)
VCC:	Genel Voltaj Toplayıcısı (Voltage Common Collector)
WP:	Yol Güzergâhı (WayPoint)

Tanımlar

Aileron:	Hava aracının roll hareketini yapmasını sağlayan kanatçık/servo mekanizması
Alyan:	Altıgen civataları açmaya yarayan L biçiminde araç
ArduFlyer:	Arduino benzeri kontrol kartı markası
Arm:	Hava aracının uzaktan kumanda ile uçurulabilecek durumda, uçuşa hazır vaziyette olması.
Ball link:	Çember başlı bağlayıcı
Bind:	Birbirini tanıma, Bağlama
BootLoader:	Herhangi bir bilgisayar veya benzeri cihazın açılması için işletim sistemini yükleyen yazılım – Önyükleme yükleyici.
Collective Pitch:	Helikopterde gaz açılıp kapatıldığında Swashplate'in tümüyle paralel olarak kalkıp inmesi.
Cyclic Pitch:	Helikopterde pallerin aldığı açı
Disarm:	Hava aracının uzaktan kumanda ile uçurulabilecek durumda hazır olmaması
Firmware:	Donanım ve yazılım arasında ilişki kurmak için yapılan yazılım – Bellenim (TDK karşılığı)
Flybar:	Helikpoterin daha tutarlı uçuş yapabilmesi için kullanılan denge çubuğu
Grid:	Bir haritada kesişen yatay ve dikey hatlar sistemi – ızgara
Gyro:	Helikopterin ana pallerinin dönme hızına göre oluşan momentuma karşı helikopterin kuyruğunun dönmesini otomatik olarak engelleyen ve kuyruk pali vasıtasıyla anti-tork üreten elektronik mekanizma.
Home Location:	Başlangıç Konumum
Hover:	Uçuş sırasında hava aracının havada asılı gibi sabit kalması
Input:	Giriş
Jammer:	Sinyal karıştırıcı
Jumper:	İhtiyaç duyulan yerlerde devre tamamlama görevi gören aparat.
Kanopi:	Helikopterin motor aksamındaki görüntü kirliliğini önleyen dış kaplama
Kırım:	Hava aracının maddi hasar görecek şekilde kaza geçirmesi
Knob:	Uzaktan kumanda üzerinde bulunan, döner hassas ayar anahtarı
Kompas:	Sayısal pusula
Latitude:	Enlem
Log:	Hata, analiz, takip vb. amacıyla sistemde yapılan işlemlerin sayısal olarak kaydedilmesi
Longtitude:	Boylam
Pal:	Heliopterin uçmasında asıl itme gücünü sağlayan ana pervane
Pitch:	Hava aracının yere dik olan eksende yaptığı açı
PreArm Safety Check:	Uçuş öncesi Güvenlik Kontrolü
Prefetch:	Belleğe Alma
Relative:	Göreceli
Roll:	Hava aracının yere paralel iken kendi ekseni etrafında dönerken yaptığı açı
Rotor:	Makine ya da motorun dönen bölümü
Rudder:	Yaw yönünü vermek için kullanılan dümen
Servo:	Hava aracında yön verme ya da havada ihtiyaç duyulan şeyleri kumanda edebilmek için kullanılan kilogram bazında belirli güç uygulayan motor

Solid State:	Katı hal
Stabilize:	Dengeleme
Swashplate:	Helikopterde kullanılan ve helikoptere yön vermek için kullanılan Hareketli levha
Switch:	Anahtar
Throttle:	Gaz
Trim:	Helikopterin sabit rüzgar gibi dış etkenlerden kaynaklanan sabit sapmalarını ya da küçük kalibrasyon hatalarını tölere etmek için kumanda/ArduFlyer kontrol kartı üzerinden yapılan ince ayarlar.
Yaw:	Hava aracının yere paralel durumda iken sağa ve sola yaptığı açı

GİRİŞ

Teknolojinin son yüzyılda insan hayatına getirdiği baş döndürücü yenilikler havacılık alanında da hız kesmeden devam etmektedir. Özellikle uzaktan kumandalı model araçlar ve İnsansız Hava araçları (*İHA*) da teknolojiden nasibini almış ve son dönemde birçok yeni kullanım alanı ile karşımıza çıkmıştır. *İHA*'lara gösterilen ilgi ve gelişmelerin arkasındaki sebep ise diğer kara ve deniz araçlarından farklı olarak üçüncü boyutun yani gökyüzünün etkili ve ekonomik bir şekilde kullanılabilmesidir. Bu avantajı hemen herkesin erişebileceği bir konuma getirmek için ise son dönemde birçok çalışma yapılmıştır (Caffarelli ve ark., 2003; Nigam ve Kroo, 2008).

Birçok alanda akıllı, kendi kendini yönetebilen (otonom) sistemler kullanıldığı gibi havacılık alanında da uçan her nevinin en az riskle en etkili sonuca ulaşılması üzerine çözümler hedeflenmekte ve bu yönde insan hatasını asgari düzeye indiren, maliyet etkin, can ve mal kaybını önleyecek otonom sistemler geliştirilmektedir (Karim ve Heinze, 2005). Hali hazırda Terör ve Güvenlik, İnşaat, Tarım, Film ve Eğlence sektörü, Arkeolojik kazılar gibi birçok alanda karşımıza çıkan bu hava araçları insan refleks ve duyarlılığından çok daha hassas uçuşlar yapabilmekte, mal veya can kaybı olmadan önemli görevler icra edilebilmektedir.

İHA'lar sağladığı faydanın yanı sıra karmaşık araçlardır. Yazılım, elektronik, makina, uçak ve kontrol mühendisliği gibi disiplinlerin ortak çalışması sonucu oluşabilen *İHA*'ları günlük uygulamalarda kullanmak için karmaşıklığı azaltmak gerekmektedir. Aksi takdirde projenin başarısızlığının yanı sıra ciddi bir maliyet ve yaralanma riski kaçınılmazdır. Hem askeri hem sivil havacılıkta hâlihazırda zaten otonom sistemler kullanılmasına rağmen özellikle askeri alanda uçuş sırasında çok fazla değişken olmasından dolayı pilotun yerini dolduran tam otonom bir sistem henüz geliştirilememiştir (Bayraktar, 2012). Günümüzde askeri alanda insansız hava araçları ise insanlı uçaklara destek amacıyla kullanılmakta ve birbirlerinin eksiklerini tamamlamaktadırlar. Fakat özellikle askeri amaçlı *İHA*'ların insanlı uçaklardakinin aksine insan kabiliyet sınırlarından (yorgunluk / çalışma saati, G kuvveti vb. gibi) etkilenmemesi çok önemli bir kuvvet çarpanıdır (URL:1).

Hâlihazırda yüzbinlerce liralık, büyük boyutlarda otonom hava araçları mevcut olduğu gibi (Schrage, 1999; Garcia, 2006), gramlarla ifade edilen ve 20–30 liralık mini hava araçları da bulunmaktadır (Richardson, 2007). Mini *İHA* çeşitleri olarak ise model uçaklar ve model helikopterlerin yanısıra multikopter diye adlandırılan çok pervaneli (Dörtlü/Quad, Altılı/Hexa ve Sekizli/Octo) helikopter türevi hava araçları da mevcuttur.

Genelleme yapılırsa *İHA*'lar, uçak boyutlarından ziyade kanat tiplerine göre Sabit Kanatlı ve Döner Kanatlı olarak iki katagoride sınıflandırılabilir (Çetinsoy ve ark., 2011).

Sabit kanatlı *İHA*'lar hem askeri hem de sivil amaçlar için üretilen uzun süre havada kalabilen, sessiz, ağır yük taşıma kapasitesi olan, büyük ısı değişikliklerine dayanabilen, güçlü motorları olan vb. özellikler barındırmalıdır (Chao ve ark. 2007; Jung ve ark. 2005; Wu ve ark., 2004; Altuğ, 2003).



Şekil 1.1. Sabit kanatlı model uçak

Döner Kanatlı *İHA*'lar; helikopter ve multikopterler olarak sınıflandırılabilir. İlk helikopter fikrinin dördüncü yüzyılda ortaya atıldığı bilinse de 1900'lü yılların başına kadar dikey olarak bir helikopter kalkamamıştır (Fay, 1981). Elektrikli ve sıvı yakıtlı helikopter çeşitleri bulunmaktadır. Döner kanatlı hava araçları boyutlarına göre hem açık hem kapalı alanda kullanılabilmektedir. Aşağıdaki şekillerde döner kanatlı hava araçları gösterilmiştir.



Şekil 1.2.a. Klasik mikro model helikopter



Şekil 1.2.b. Model oktokopter



Şekil 1.2.c. Model quadkopter



Şekil 1.2.d. Üç palli model kopter

Kapalı alan uygulamalarında kullanılan heli/multi kopterler 30–40 cm'e kadar, hatta avuç içi büyüklüğünden daha küçük bile yapılmaktadır ve otonom olanları (*MUAV* – Micro Unmanned Air vehicle) çoğunlukla yer sistemlerinin işlemcisini kullanmak üzere tasarlanmışlardır. Şekil 1.3'de mikro bir helikopter gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Mikro helikopter - Kapalı alan

Açık alan uygulamalarında hava araçları genelde 40 cm üzeri olur. Bu tip *İHA*'lar yer istasyonları ile genelde konum bilgisi ve basit komutlar göndermek için görüşmekte ve yer sistemi bilgisayarlarının işlemcilerinin kullanımına yönelik tasarlanmamaktadır. Hava aracı üzerinde mikro bir bilgisayar ünitesi vardır ve tüm işlemler bunun üzerinden yapılmaktadır. Çünkü hava aracının havada kalma süresi ve manevra kabiliyetinin kısıtlanmaması açısından hafiflik önemlidir. Bu bakımdan *İHA* üzerinde sadece basit bir işlemci ve mutlaka olması gereken yardımcı donanım mevcuttur.

İHA'lar, insanlı hava araçları ile kıyaslandığında kullanım alanlarına göre aynı işleri çok daha ekonomik, risksiz (can ve mal kaybı) ve kolay uygulanabilir bir şekilde

yapabilir (Goth, 2009; Cetinsoy ve ark. 2011). Zaman tasarrufu ve esnekliği de kazandırdığı diğer kolaylıklardandır.

Otonom İHA'ların Kullanım Alanları

İHA'ların son on yılda hobi amaçlı olarak da sıkça kullanılması sonucu gelişen bu sektör, çok çeşitli kullanımı olabileceğinin görülmesini sağlamıştır. Yaygınlaşmanın temellerinden biri de *MEMS* (Micro-Electro-Mechanical Systems) teknolojisindeki gelişmeler ile küçük algılayıcı ve işlemciler kullanılabilmesi ve otonom uçuşun desteklenmesidir (Raicu, 2004).

En çok *İHA* kullanımı görülen sektörlerden bazıları Terör ve Yüksek Güvenlik, Keşif - Gözetleme, Arama - Kurtarma, Tarımsal Ormancılık - Bitki Koruma, Arkeolojik Alanların Tespiti ve incelenmesi olarak sıralanabilir.

Bu bilgiler ışığında günlük hayatta kullanılabilecek bir insansız küçük boyutlu helikopterin nasıl yapılabileceği, yapılan helikoptere otonomi kazandırmak için gereken entegrasyon aşamaları ve bu aşamalarda ihtiyaç duyulan donanımlar, kalibrasyon ve testler tez çalışması kapsamında detaylı şekilde incelenmiştir.

Tez çalışmasında, seçilen hava aracının geleneksel bir model helikopter olması; helikopterin manevra kabiliyeti, havada kalma süresi, taşıdığı yük ve ulaşabildiği en yüksek hız açısından multikopterlere üstünlük sağlamasındandır. Bunun yanı sıra normal boyuttaki insanlı helikopterlerin yaygın olarak hem askeri hem sivil amaçlı kullanılması da yapılan çalışmanın bu helikopterlere kolaylıkla uyarlanabileceğini düşündürmüştür. Diğer taraftan geleneksel helikopterler için yapılan geliştirme, çalışmanın ilerleyen kısımlarında da görüleceği gibi sabit kanatlı ya da multikopter hava araçlarına göre çok daha karmaşık bir süreç içermektedir.

Otonom küçük boyutlu helikopter üzerine yapılan bu tip yeni iyileştirme ve geliştirmeler sonucu kaza kırım oranı düşerken yaralanma ya da ölüm gibi istenmeyen durumlar azalacaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İlk *İHA*; A. M. Low tarafından 1916 yılında geliştirilmiştir. Takip eden yıllarda ise sınırlı sayıda üretilen Hewitt-Sperry otomatik uçak I. Dünya Savaşı sırasında kullanılmıştır. 1935 yılında ise film yıldızı ve model uçak tasarımcısı Reginald Denny ilk ölçekli Uzaktan Kumandalı Araç (RPV - Remote Piloted Vehicle) modelini geliştirmiştir. II. Dünya Savaşı süresince çok fazla miktarda uçak üretilmiş, bunlar trenleri koruma amacıyla uçaksavar ve saldırı görevlerinde kullanılmıştır. Jet motoru bulunan ilk model 1951 yılında Teledyne Ryan firması tarafından geliştirilen Firebee I dir. 1955 yılında ise başka bir firma Beechcraft ABD Deniz Kuvvetleri için Model 1001 modelini üretmiştir (Taylor, 1977). Bununla beraber bu araçlar Vietnam Savaşı süresince birer uzaktan kumandalı uçak olmaktan daha ileriye gidememişlerdir.

Askeri alandaki ihtiyaçlar ile şekillenen *İHA* konsepti, zaman içinde ticari olarak da hobi amaçlı pazara sunulmuştur. 2000'li yıllarda tüm dünyada yaygınlaşmaya başlayan kişiselleştirilmiş *İHA*'lar hem iş hem hobi amaçlı olarak kullanılabilmektedir. Günümüzde ise ticari amaçlı *İHA*'ların birçoğu açık kaynak kodlu yazılımları sayesinde geniş kitlelerin kendi amaçları doğrultusunda özellik eklemesine izin vermektedir.

Birçok alanda kullanılabilen *İHA*'lar olmakla birlikte otonom olarak *İHA* kullanımı için yol gösterici makaleler mevcuttur. Bu makaleleri, çalışmada incelenme sırasına göre üç başlık altında incelemek mümkündür; *i) İHA*'ların el yordamı ile uçuşu üzerine yapılan çalışmalar, *ii) İHA*'lara otonomi kazandırılması üzerine yapılan çalışmalar ve *iii)* Otonom *İHA*'ların farklı kullanım alanlarına göre geliştirilen yöntemlerdir.

2.1. İHA'ların El Yordamı ile Uçuşu Üzerine Yapılan Çalışmalar

Plasenci ve ark. (2012), helikopterin ana motorundan kaynaklanan bir dizi titreşimi üreten bir helikopter model simülasyonu üretmiş ve bu titreşimleri azaltmak için bir kontrol yöntemi tasarlamıştır. İnsansız helikopter, VehicleSim paket programı ile modellenmiştir. Helikopter gövdesinde oluşan titreşimlerin kamera üzerindeki etkisi Simmechanics yazılımı ile analiz edilmiştir. Sonrasında, titreşimlerin kamera üzerindeki etkisini azaltmak üzere Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) tabanlı bir kontrol modeli önerilmiştir. ANFIS kullanılan kontrol sistemi, kullanılmayana göre kamera tireşimlerini motorun ilk çalışması esnasında daha çok azaltmıştır.

Koeda ve ark. (2004), insansız helikopter uçuşunun ek bilgi veritabanı ile desteklenmesi için bir yazılım geliştirmişlerdir. Helikopteri uzaktan kumanda ile kullanan pilotun farkındalığını arttırıcı bir özelliktir.

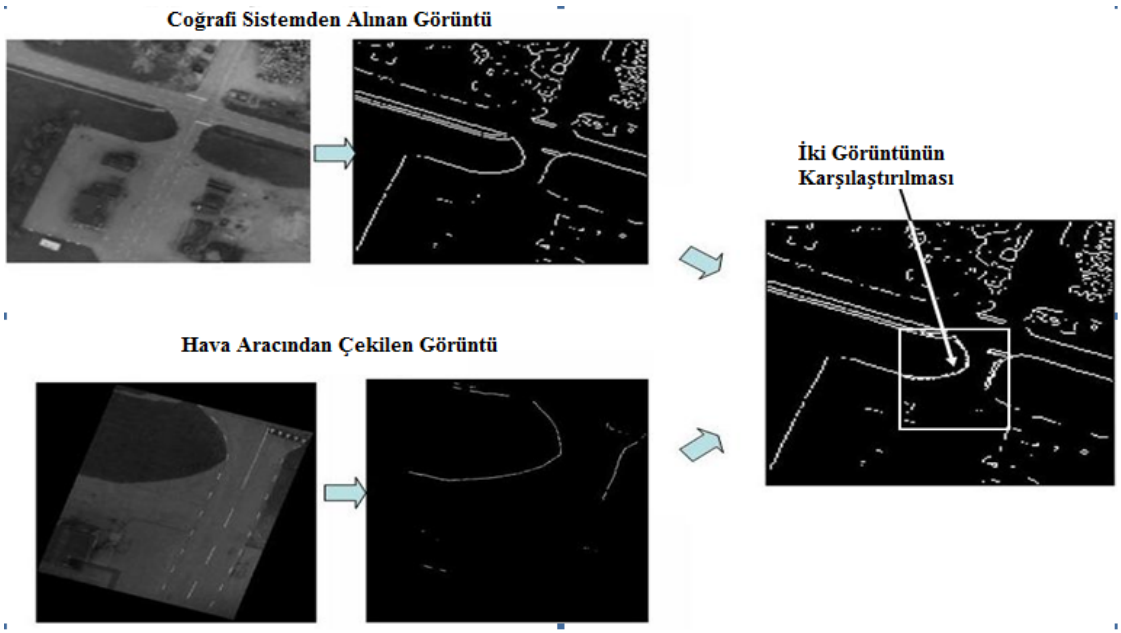
İnsansız helikopteri el yordamı ile uçurmak zor bir iştir. Çünkü helikopter pilottan uzaklaştıkça pilot helikopterin yüksekliğini kestirememektedir. Bir diğer sebep de helikopterin çok hızlı bir şekilde konum değiştirmesi ve kontrolden çıkabilmesidir. Bu tip zorlukların azaltılabilmesi için helikopteri kullanan pilota ek bilgi sağlayan bir veritabanı tasarlanmıştır. Bu veritabanı pilotun taktığı özel bir gözlüğün ekranına yansıtılarak o anki uçuş hakkında ek bilgi sağlamaktadır. Gözlük taşınabilir bir bilgisayara bağlıdır. Bilgisayar, helikopter üzerindeki kameradan aldığı canlı görüntüyü ve ek bilgi veritabanından aldığı ek bilgiyi ikinci bir ekrana gönderir gibi bu gözlüğe göndermektedir. Ek bilgi veritabanından gelen veriler helikopter üzerindeki *GPS* (Global Positioning System) verisine göre seçilmektedir. Böylece helikopter üzerindeki kamera görüntüsü üzerine uçulan bölgeye ait ek bilgi de eklenerek pilotun gözlüğüne yansıtılmakta ve pilotun uçuşla ilgili farkındalığı artırılmaktadır.

Cai ve ark. (2008), küçük ölçekli insansız bir helikopterin sistematik tasarımı için yöntem ve yapımı hakkında araştırma yapmışlardır. Hava akışı dinamiği(Aerodinamik) ve motor mekaniği konularında yetersiz bilgiye sahip araştırmacılar için, küçük ölçekli bir insansız helikopter tasarımı zor bir iştir. Uygun donanım seçimi, yazılım tasarımı ve titreme-önleme çözümleri gibi pek çok dikkat edilmesi gereken nokta bulunmaktadır. Bu çalışmada, küçük ölçekli insansız helikopterlerin inşası için kapsamlı bir tasarım metodolojisi verilmiştir. SheLion adındaki tam fonksiyonel insansız helikopterin inşa edilmesi için sistematik bir tasarım süreci uygulanmıştır. Bu süreç, uygun donanım parçalarının seçimi, tasarımı ve entegrasyonu adımları yanında donanımların deneysel olarak değerlendirme sürecini de içermektedir. İnşa edilen SheLion adındaki insansız helikopterin başarımını ve güvenirliğini doğrulamak için değişik yer ve uçuş testleri yapılmıştır. Bu çalışmada önerilen basit, sistematik ve etkin metodolojinin araştırma amaçlı küçük ölçekli insansız helikopterlerin geliştirilmesi için kolaylıkla izlenebilir ve kullanılabilir olduğu vurgulanmaktadır. Tasarım sürecini kısaltmak amacıyla sanal ortam olarak üç boyutlu tasarıma ve animasyona izin veren SolidWorks programı kullanılmıştır.

2.2. İHA'lara Otonomi Kazandırılması Üzerine Yapılan Çalışmalar

Conte ve Doherty (2008) yaptığı çalışmada, hava aracına takılan bir kamera, *INS* (Inertial Navigation System) ve basınç yükseklikölçer ile *GPS* cihazından bağımsız uçabilen bir sistem geliştirmiştir. Görüntü işleme (Image processing) doğası gereği şehirleşmenin daha yoğun olduğu yerlerde daha güvenilir çalışan ve *İHA*'nın düşmemesi için büyük avantaj sağlayan bir çalışmadır. Jammer'lara karşı kullanışlı bir çözüm olan bu yöntem (Sinyal bozulmalarına karşı önlem), ekonomik zorlukları, matematiksel işlemlerin zorluğundan dolayı yüksek işlemci gerektirmesi ve sonuçların tam güvenilir olmayışından dolayı geliştirilmeye ve daha güvenilir sonuçlara ihtiyaç duymaktadır.

Sistem *GPS* sinyalini kaybettiğinde *INS* ve görüntü işlemeişlemleri yaparak *GPS* bilgisi gelene kadar görevini en az hata ile yapmaya çalışmaktadır. *Sobel* kenar bulma metoduna göre görüntüyü işlemektedir. Şekil 2.1'de görüntü işlemenin nasıl kullanıldığı gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Coğrafi olarak referanslandırılan resim ile havada çekilen resmin karşılaştırılması

Kortunov ve ark. (2009), otonom uçuşun iyileştirilmesi üzerine yaptığı çalışmada, savaş uçaklarında da sıkça kullanılan *INS* ve *GPS*'in entegre çalıştığı bir sistemi model mini bir hava aracında kullanmayı araştırmışlardır. Çalışma, mini bir *INS*'in *GPS* ile desteklenmesi ve uçuş sırasında *INS* tarafından üretilen hataların, *MEMS* tarafından üretilen hatalar ile kıyaslanması ve en doğru uçuş verisinin seçilmesi

işlemlerini kapsamaktadır. Böylece otomatik uçuş daha istikrarlı hale getirilebilmektedir.

Merino ve ark. (2011), bu çalışmada helikopterin sapma, eğilme ve dönme değerlerindeki değişimi modellemek üzere adaptif sinirsel kontrolör tasarlamıştır. Söz konusu sinir ağı MATLAB'ın NNToolbox'ında bulunan Geri Yayılmalı Çok Katmanlı Algılayıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ara katmanda 5 sigmoid sinir hücresi bulunan sinir ağının girişlerine uygulanan değerler aşağıdaki gibidir:

- X ekseni için doğrusal ivmelenme değeri (m/s2)
- Y ekseni için doğrusal ivmelenme değeri (m/s2)
- Z ekseni için doğrusal ivmelenme değeri (m/s2)
- X ekseni için açısal hız (^{0}/sec)
- Y ekseni için açısal hız (^{0}/sec)
- Z ekseni için açısal hız (^{0}/sec)
- X açısı (^{0})
- Y açısı (^{0})
- Helikopterin yüksekliği (m)

Sinir ağının çıkışında ise Servo motorlara uygulanacak voltaj değerleri yer almaktadır. Sinir ağını eğitmek için kullanılacak giriş ve çıkış değerleri helikopterin gerçek bir uçuşundan alınmıştır. Sinir ağı tek bir çıkış hücresi içerdiğinden, her bir Servo motor çıkışı için ayrı ayrı eğitilmiştir. Sol ve sağ dönme Servo motorları, eğilme Servo motoru, ana pervane ve sapma servo motoru olmak üzere toplam beş ayrı eğitim ve test veri seti elde edilmiştir.

Çok katmanlı sinir ağı öğreticili bir ağ olduğu için, algılayıcılardan (sensör) alınmayan hedef değerleri sağlayan bir kontrolör gereklidir. Bu çalışmada ilgili verilerin elde edilmesinde, Kalman filtreleme ve hesaplama yöntemini kullanan Doğrusal Quadratic Gaussian (*LQG*) kontrolör kullanılmıştır.

Cai ve ark. (2008), insansız bir model helikopterin sapma kanalının modellemesi ve uçuş-kontrol sisteminin tasarımını yapmıştır. Bunun için, yeni geliştirilen kompozit doğrusal olmayan bir geri besleme (KDOGB) kontrol tekniği önerilmiştir. Önerilen yöntem, belli bir hedefin takibinde bazen hiç bazen de çok az bir farkla başarısız olmaktadır. Literatürde insansız helikopter için daha önce önerilen sapma dinamik modeli çok kaba ve hatalı olduğu vurgulanmıştır. Bu durum, helikopterin belli bazı uçuş koşullarında ciddi biçimde titremesine neden olmaktadır. Bu yüzden bu çalışmada, ilk olarak insansız helikopterin sapma kanalı için daha doğru bir model geliştirilmiştir.

Daha etkin bir model kanunu tasarlamak için, KDOGB kontrol yöntemi kullanılmıştır. Önerilen model, helikopterin performansını genel olarak mükemmele yakın hale getirmiştir. Geliştirilen tasarım, askeri motorların standartlar kümesine göre Seviye–1 performans göstermiştir. Sonuçlar gerçek uçuş testleri ile doğrulanmıştır.

Shixianjun ve ark. (2006), çalışmalarında *HIL* (Hardware In Loop) sisteminin faydalarından bahsetmiş, böyle bir sistemin altyapısının nasıl dizayn edileceği üzerinde durmuştur. Öncelikle *HIL* sisteminin diğer sayısal ve fiziksel simülasyon sistemlerine göre avantajları ve ne kadar maliyet etkin olduğuna değinilmiştir. Sonrasında altyapının kurulması adımları anlatılmış ve kritik noktalara dikkat çekilmiştir. *HIL* sistemi MATLAB'in bir bileşeni olan SimuLink ve Simulink tabanlı bir program olan DSPACE kullanılarak kurulmuştur. Genel çalışma prensibi, *İHA* ve üzerindeki kontrol kartının, simülasyon programına entegre edilmesi ve simülasyondan gelen çıktıların (output) sonuçlarını görmek için hareketli bir düzenek (turntable) ile entegrasyonu şeklindedir. Çalışma sonunda, çok karmaşık olan *İHA* kontrol sistemlerinde ihtiyaç duyulan yüksek maliyetler ve uzun zaman vurgulanmış, *HIL* sisteminin gittikçe artan kullanımının getirdiği avantajlara değinilmiştir.

2.3. Otonom İHA'ların farklı Kullanım Alanlarına göre Geliştirilen Yöntemler

Merz ve Chapman (2011) ve Yi Lin ve Ark. (2011), tarım alanındaki ürünlerin mevcut durumunun incelenmesi veya ilaçlanması için geliştirilen *İHA* uygulamasında yapay sinir ağları kullanmıştır. Böylece *İHA*, önündeki beklenmedik engelleri *LİDAR* (Light Detection and Ranging - Sonar cihazı) kullanarak aşmakta ve güvenli bir şekilde rotasını uçup inebilmektedir.

Sistem kablosuz modem kullanarak yer sistemleri ile haberleşmektedir. Haberleşme koptuğunda üzerindeki algılayıcılardan aldığı bilgiler ile 2 farklı iniş modunda inmeye çalışmaktadır. Çok güvenilir sonuçları olmasa da en az Kırım ile inmek amaçlanmıştır.

Önceden tanımlı uçuş güzergâhı, uçuş kontrol kartına yüklenmekte ve gözle görülmeyen alanlarda (*BVR*– Beyond Visual Range) bile güvenli uçuş sağlanmaktadır. Beklenmeyen engelleri saptamakta ve gerekli kaçınmayı otomatik olarak yapabilmektedir.

Yu ve ark. (2007), insansız bir hava aracına görüntü tabanlı iniş kontrolü ile otomatik iniş özelliği kazandırmışlardır. Bir insansız hava aracına yüksek seviyede otonomi kazandırmak için inişin otomatik olması önemli fakat zor bir iştir. Otonom iniş

için temel gereksinim yerden yüksekliğin tespit edilmesi ve iniş sürecinin yönetimini sağlayacak kontrolörün tasarlanmasıdır. Bu çalışmada yerden yüksekliğin tespiti için 3 boyutlu görüntüleme sistemi kullanılmıştır. Yerden yüksekliğin hesaplanması için basit bir düzlem oturtma yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem, helikopter üzerine sabit bir şekilde yerleştirilmiş kamera ile titreşimsiz ölçüm yapılmasını sağlamıştır. Görüntüleme sistemi, sol ve sağ görüntüler arasında mutlak farkların toplamı korelâsyonunu hesaplayarak derinlik bilgisini elde etmekte ve derinlik görüntüsünü çıktı olarak vermektedir. Hesaplanan yükseklik değeri, iniş kontrol döngüsü tarafından kullanılmaktadır. İniş sırasında yer etkisini ele almak için, alçalma ve yere değme şeklinde iki aşamalı bir iniş süreci önerilmiştir. Her aşama için ayrı bir kontrolör tasarlanmıştır. Alçalma sırasında kullanılacak kontrolör fazladan rüzgârın etkisini de hesaba katmaktadır. Yapılan uçuş testleri, önerilen görüntüleme sisteminin ve kontrol stratejisinin tatmin edici bir performans sağladığını göstermiştir.

Semsch ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada, otonom bir hava aracı ile binaların yoğun olduğu karmaşık yapıda bir şehirde gözetleme işlemi üzerine inceleme yapmışlardır. Semch ve ark. otonom *İHA*'nın istenilen noktaya uçurulmasını bir yana bırakarak, havadan elde edilen kamera görüntülerinden binaların kör noktalarını saptamış ve bu noktaları gözetleyecek şekilde en kısa yolu bulmayı amaçlamıştır.

Byers ve ark. na göre (2010), *İHA*'lar terör ve yüksek güvenlik ile ilgili ihtiyaçları karşılamak amacıyla ihtiyaç duyulan bölgelerde; terör saldırısını önlemek, toplumsal olayları izlemek, şehir, site–blok güvenliğini sağlamak, genis alanlarda (göller, ormanlık alanlar), yüksek irtifalarda karmaşık yerlerde izleme ve denetleme yapmak, çalışırken can ve mal kaybını azaltmak gibi amaçlarla toplumsal olaylarda gözetleme, denetleme ve hatta müdahale etmek gibi görevler için tasarlanmıştır. Bunun yanı sıra Arama–Kurtarma (Ryan ve Hedrick, 2005; Ryan, 2004; Hrabar, 2005; Quigley ve ark., 2004) Hava fotoğrafçılığı, Keşif ve Gözetleme (Loyall, 2004; Quigley, 2005; Freed ve ark., 2004; Nygaards, 2004; Kingston ve ark., 2006) Eğlence Sektörü (Film, klip, belgesel vs…), Trafik Takibi (Dovis, F., 2000; Coifman, B., 2004; Srinivasan, S., 2004; Coifman, B., 2006), Yangın Saptama (Casbeer, D.W., 2006; Rufino, ve Moccia, 2005, Martinez ve ark., 2005; Ollero, 2004), Sınır Kontrolü ve Yönetimi (Morris, J., 2004, Girard, A.R., Howell, A.S. ve Hedrick, J.K., 2004,) Boru Hattı ve Elektrik Hattı İnceleme (Hausamann, D., 2005, Ostendorp, M., 2000), Hobi, İnşaat, Reklam, Meteoroloji gibi alanlarda da sıkça kullanılmaktadır.

Tarımsal ormancılık ve bitki koruma konularında *İHA*'nın kullanımının birçok avantajı vardır. Bunlar; alçak irtifalarda risksiz çalışması, özel iniş alanları

gerektirmemesi, rotor kanat tarafından üretilen hava akımı sayesinde ek püskürtme sistemine ihtiyaç olmaması, insan sağlığını tehdit etmemesi, küçük boyutu, hafifliği, düşük amortisman oranı, düşük işgücü maliyeti ve kolay bakımıdır (Goth, 2009). Arkeolojik kalıntıların tespiti ve sonrasında kalıntıların muhtemel yayılım alanlarını incelemek için de sıkça kullanılmaktadır (Dr. Thamm ve Scheele, 2011).

İncelenen makalelerden ilk bölüm, *İHA* konusunun kullanım ve uygulama alanlarını içeren ve çalışmanın *İHA* geliştirme olması yönünde ilham veren çalışmalar olmuştur. İkinci bölümde, otonom uçuşu kolaylaştırıcı ya da ek destek sağlayan (otonom iniş, ek bilgi veren veritabanı vb.) yayınlar ve çalışma sırasında yaşanan sorunların çözümü için helikopterde titreşim azaltıcı önlemler üzerine yapılan yayınlar incelenmiştir. Bunun yanı sıra simülasyon kullanılarak zaman ve maliyet açısından tasarruf yapılması amaçlanan yayınlar incelenmiştir. Son bölümde ise otonom *İHA*'ların farklı kullanım alanları incelenmiştir. Çalışmanın bu noktaya gelmesinde her bir yayın önemli katkılar sağlamıştır.

3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde, çalışmada kullanılan tüm donanımlar detaylı olarak incelenmiş ve kullanılan yazılımların neler olduğu anlatılmıştır. Çalışma kapsamında incelenip uygulanmak istenen fakat bazı gerekçelerle amacına ulaşmayan yazılım ve donanımların incelemesi ise 7. Tartışma bölümü altında kapsanmıştır. Çalışmada kullanılan Materyal ve metodlar; Geleneksel Model Helikopter, ArduFlyer Kart, ve Mission Planner (MP), X–Plane başlıkları altında incelenmiştir.

3.1. Geleneksel Model Helikopter

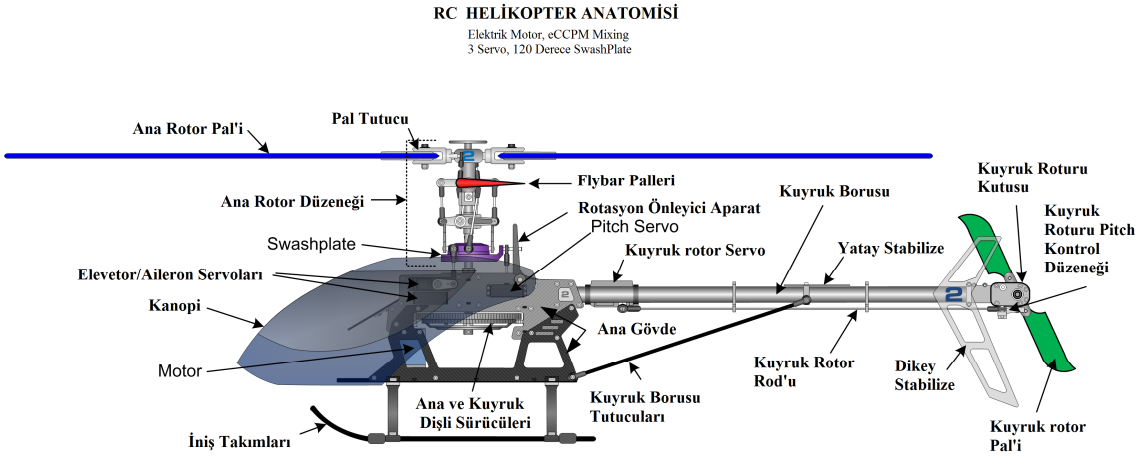
Diğer multikopterlerden farklı olarak geleneksel helikopterler çok daha karışık bir çalışma prensibine sahiptirler. Bu karışıklık helikopterin temininden kurulumuna ve uçuşuna kadar birçok noktada zorluklarla karşılaşılmasına neden olmuştur.

Helikoptere alınan alıcı, motor dişlisi ve Servo gibi önemli parçaların birbiri ile uyumunun saptanması ve fiyat/performans oranı gibi araştırmalar yapılması uzun bir zaman gerektirmektedir. Bu tip model helikopter parçalarının tümü yurtdışından temin edilmekte ve birbirine benzer fakat farklı kalite ve fiyatlarda çok çeşitli ürünler bulunmaktadır.

Geleneksel helikopterler birçok farklı boyutta üretilebilmektedir. Çok kolay bir şekilde Kırım yaşayabilen helikopterler için devamlı yedek parça bulundurmak gerekmektedir. Bu parçaların hangileri olduğunu saptamak, uyumlu olan boyutu bulmak, yeterli malzeme kalitesini sağlamak, ihtiyaç duyulan özellikteki parçaları belirlemek ve yeterli yedek parça temini testlerin aksamaması için önemlidir ve önceden temin edilmesi gerekmektedir. Parçaların genelde yurtdışında üretildiği ve buradan sipariş edildiği düşünüldüğünde, parçalar alınmadan önce teknik detaylara hâkim olmak önemlidir. Aksi takdirde, zaman kaybı ve istenmeyen parçalar ile karşılaşılır. Alınan parçanın özelliğine göre ana Rotor ise; dişli sayısı, Servo ise; uyguladığı birim kuvvet ve kullandığı volt/akım, güç aktarımını sağlayan şaft ise; boyutu, üzerindeki vida gediği ve konumu, Pal ise; boyut ve malzeme kalitesi gibi detaylar zaman ve bütçe tasarrufu açısından bilinmesi gereken detaylardır.

Motordan aldığı gücü ana dişlilere üreten “pinion” isimli küçük dişli üzerindeki diş sayısı bile uçuş dinamikleri için hayati önem taşımakta ve 12 dişli yerine 16 dişli bir pinion kullanıldığında hava aracı Kırım’a uğrayabilmektedir. Çalışmada benzer bir örnek yaşanmış ve helikopter yanlış pinion kullanıldığı için küçük çaplı Kırım’a

uğramıştır. Geleneksel model helikopterin ana bileşenleri Şekil 3.1'de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Uzaktan kumandalı helikopter anatomisi (URL:2)

Helikopterler diğer hava araçlarından farklı olarak doğrusal olmayan (kararsız) uçuş dinamiğine sahip ve kolayca dengesi bozulabilen hava araçlarıdır (Shim ve ark., 2003; Wills ve ark., 2001; Rojas, 2003; Kanade, 1999; Abbeel, 2007).

Helikopter yüzlerce parçadan oluşmakta ve en küçük vida kalitesi dikkatle incelenip diğer parçalar ile aynı kalitede seçilmek zorundadır. Fakat üretilen birçok parçanın kalitesi kullanmadan anlaşılamamakta ve fiyatın yüksekliğine göre çıkarım yapılabilmektedir (Cai ve ark., 2007). Bu noktada, benzer ürünlerin ucuz olanının kalitesinden ödün verilerek satın alınması büyük Kırımlara ya da yaralanmalara sebep olabilmektedir. Fiyat/Performans oranı iyi ürünü belirleyebilmek için, kullanıcılardan bilgi almak ve detaylı inceleme yapmak gerekmektedir. Çalışmada, helikopter için üçer adet veya daha fazla yedek ürün alınmış, uzman kullanıcılar ile görüşülmüş ve maliyetler bu yollarla düşürülmeye çalışılmıştır.

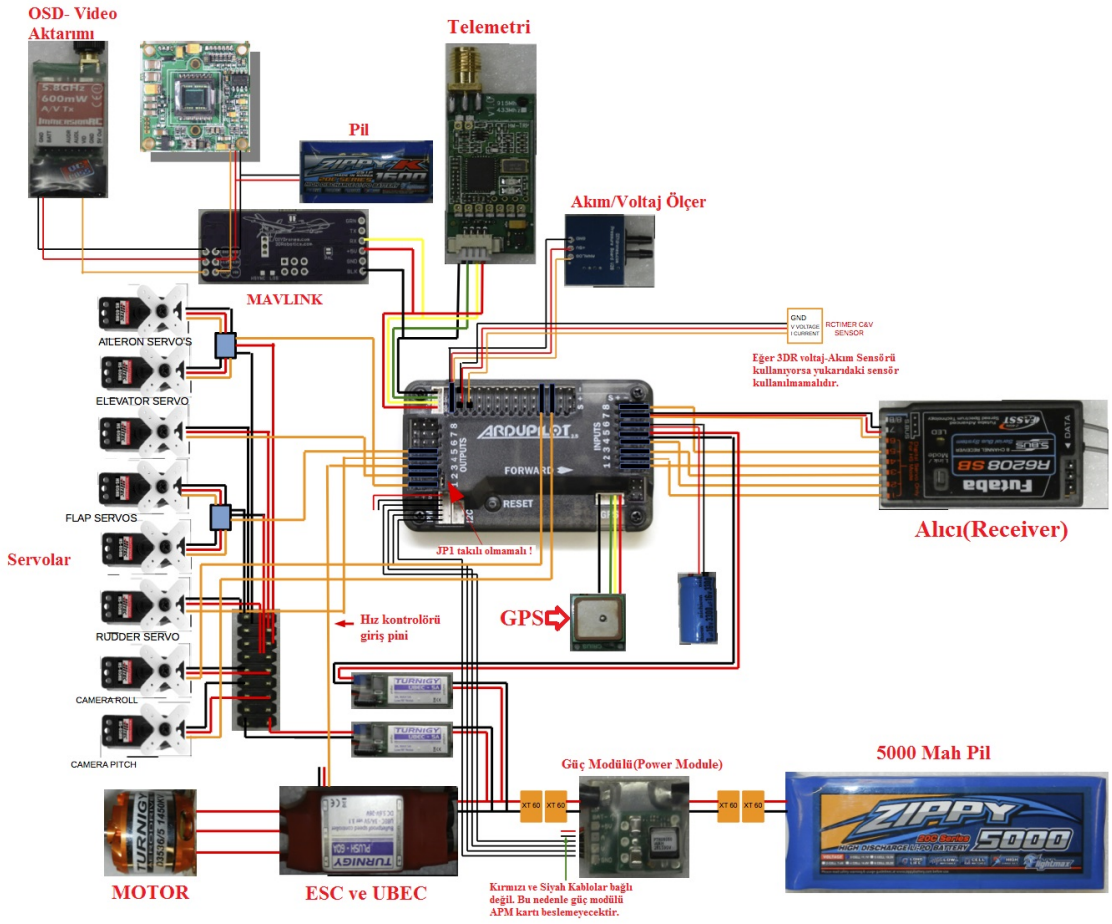
3.2. ArduFlyer Kart

ArduFlyer kart küçük ölçekli hava araçlarının otomatik uçuş yapması için tasarlanmış bir kontrol kartıdır. Kartın farklı markalar altında birçok eşdeğer üretimi bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan kart Ardu Pilot Mega (*APM*) kontrol kartının eşdeğeri olup maliyet açısından daha uygun olduğu için seçilmiştir. Kart model hava araçlarının birçoğunu otomatik ya da el yordamı ile uçurabilmektedir. Her çeşit hava

aracı için ise ayrı bellenimlerin (Firmware) yüklenmesi, parametre değerlerinin girilmesi, kalibrasyon ve test yapılması gerekmektedir.

Çalışma, helikopter için planlandığından ArduFlyer kartın ayarları da helikoptere yönelik yapılmıştır. Helikoptere özel bu ayarların detayları Mission Planner başlığı altında geniş bir şekilde kapsanmıştır.

ArduFlyer kartın giriş ve çıkış bacaklarının işlevlerinin bilinmesi önemlidir. Bunun yanı sıra helikoptere yön veren Ball linkleri (çember başlı bağlayıcı) yöneten Servolar, *ESC* (Elektronik Hız Denetleyicisi – Electronic Speed Controller), algılayıcılar (*GPS*, Kompas), Güç Modülü (Power Module) gibi aparatlar ArduFlyer kartın üzerindeki kendilerine ait bacaklara takılırlar. Şekil 3.2'de yukarıda bahsedilen genel bağlantılar gösterilmiştir.



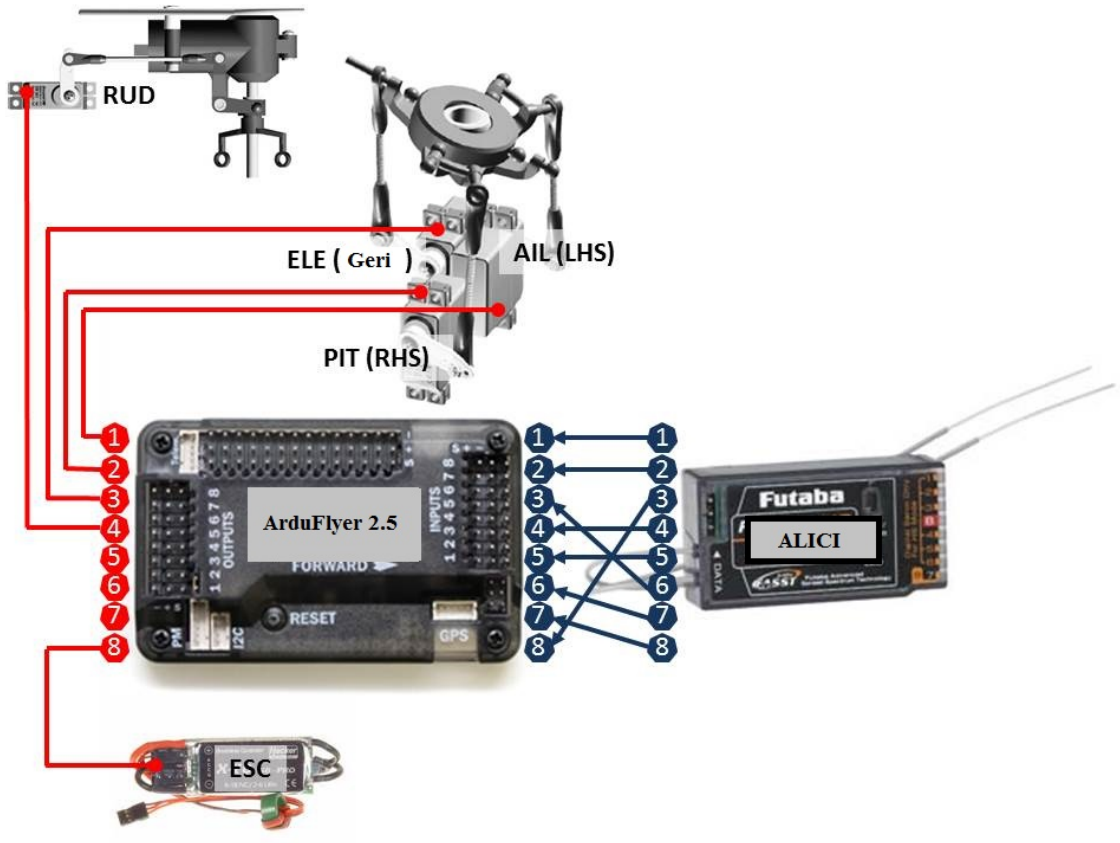
Şekil 3.2. ArduFlyer kart ve diğer harici takılabilir donanımları (URL:3)

ArduFlyer kart başlıca iki başlık altında incelenmiştir. Bunlar; kartın çalışabilmesi için gereken zorunlu işlemler ve karta isteğe bağlı harici bağlanabilen aparatlar (harici algılayıcılar)'dır.

3.2.1. Kartın çalışabilmesi için gereken zorunlu işlemler

ArduFlyer kartın çalışabilmesi için gerekli aparatların (Servo, *ESC*, *LiPo* - Lithium Polymer Pil) bağlanması ve dâhili algılayıcıların (Kompas, Accelerometer - İvmeölçer, Magnetometer-Manyetik alan ölçer) kalibre edilmesi gerekmektedir. Bu kalibrasyon ayarları *MP* programı vasıtasıyla yapılabilmektedir.

Uzaktan kumanda ile helikopterin seyrüsefer sistemleri (Servolar, *ESC* ve Alıcı) arasındaki giriş çıkış bacaklarının görünümü Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Bu bağlantılar uzaktan kumanda alıcısına göre değişiklik gösterebilmektedir.



Şekil 3.3. ArduFlyer kart bağlantı şeması (URL:4)

Şekil 3.3'de görüldüğü gibi çıkış bacaklarına helikopter üzerinde bulunan Servolar ve motora ne kadar güç üretmesi gerektiğini söyleyen *ESC* bağlanmaktadır. Giriş bacaklarına ise kumandanın alıcı (receiver) bacakları bağlanmaktadır.

Karta birçok harici algılayıcı bağlanabilmektedir. Otonom uçuş için zorunlu bağlanması gereken algılayıcılar *GPS*, barometre ve Kompas'dır. Genelde otonom uçuş kartlarında *GPS* haricinde dâhili olarak bulunan bu algılayıcılar istendiğinde harici olarak da takılabilmektedir.

GPS: Otomatik uçuş için zorunlu olan bir donanımdır. Uydulara bağlanarak konum tespiti yapar ve ArduFlyer kart planlanan rotayı *GPS*'ten gelen koordinatlara göre icra eder.

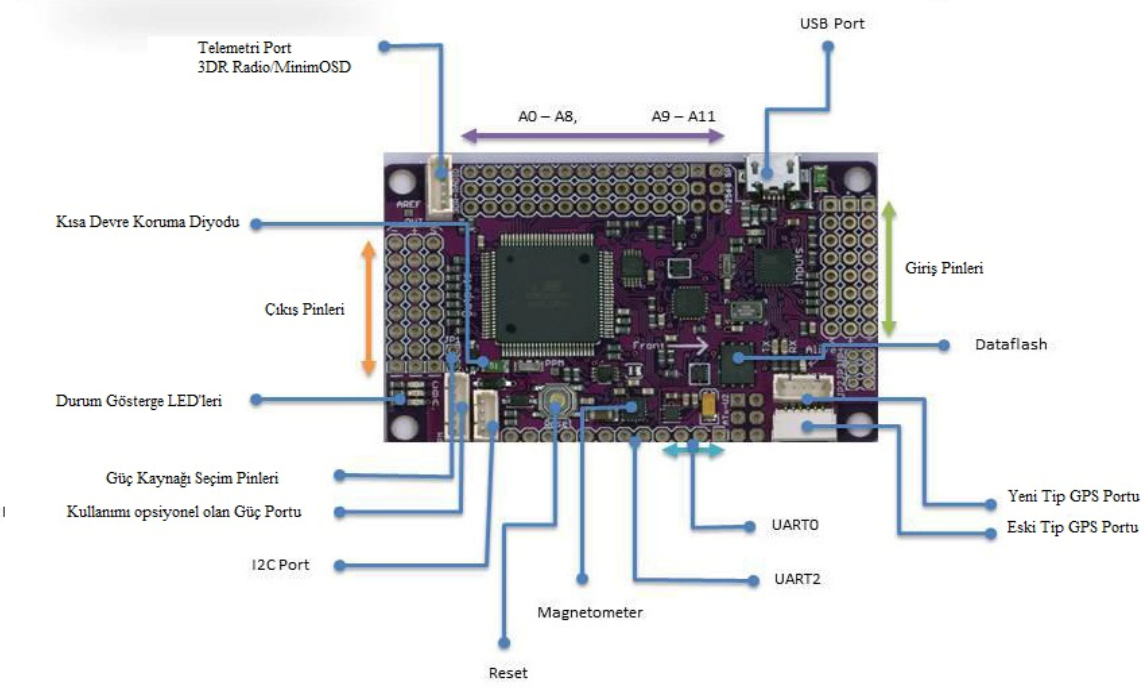
Barometre: Hava aracının otomatik uçuş sırasında yüksekliğini tespit için kullanılır. Otomatik uçuş yapabilmek için zorunlu bir donanımdır. ArduFlyer kart üzerinde dâhili barometre mevcuttur fakat performansı yeterli görülmez ise harici olarak takılabilmektedir.

GPS'ten gelen veri yükseklik konusunda hassas değildir. Barometre çok daha etkili sonuç vermektedir. Fakat ilk 20 metrede yüksekliğin daha etkin ölçülmesi gerekmektedir. Bunun için sonar algılayıcısı kullanımı yaygındır.

Kompas: Kompas hava aracının yönünü bulmasında *GPS*'e destek vermektedir. ArduFlyer kart da dâhili olarak mevcuttur, istenirse harici olarakta takılabilir. Harici takılmasına genelde ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü ArduFlyer kart, hava aracı üzerinde titreşimin az olmasını sağlamak için hava aracının orta noktasına yakın bir yere takılmaktadır. Bu bölgelerde ise manyetik kirlilik çok olabilmekte ve dâhili Kompasın düzgün çalışmasını engellemektedir. Harici takılabilen bir Kompas, hava aracının manyetik alandan uzak bir bölgesine ayrıca bağlanabildiği için ve daha düzgün çalışması sağlanabildiği için sıklıkla tercih edilebilmektedir.

GPS'ten gelen yön bilgisinin hassas olmaması ya da bulunan uydu sayısındaki yetersizlikten dolayı çok değişken olabilmektedir. *GPS* ve Kompasın belirli bir katsayı girilerek ayarlanması sonucu hava aracının hangi algılayıcılardan gelen veriye göre uçacağı belirlenebilir. *MP* programı vasıtasıyla ilgili sekmeye 1 – 5 arası girilebilen bir parametre ile hangi algılayıcının ne kadar oranda dikkate alınacağı belirlenir. Algılayıcılardan gelen yön bilgileri bu orana göre harmanlanarak uçuş yönü tespit edilir.

Bunun yanı sıra kart üzerindeki giriş ve çıkış bacakları farklı güç kaynaklarından beslenebilmektedir. Bu kaynakların birbirinden ayrı beslenebilmesi için kart üzerindeki Jumper çıkarılmalıdır. Kart 4.5V - 5.5V arasında çalışmaktadır. Kartın çevre birimleri ile bağlantıları karışık olabilmektedir. Bunun için devre şemasına ihtiyaç duyulmaktadır. İlgili devre şemaları Ek – 1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. ArduFlyer kart genel yapısı

3.2.2. Karta isteğe bağlı harici bağlanabilen aparatlar (Harici Algılayıcılar)

ArduFlyer karta harici olarak birçok algılayıcı ve aparat bağlanabilmektedir. Kullanılan model hava aracına ve yapılacak görevin tipine göre seçilen algılayıcılar ve aparatlar uçuşun daha hassas, fonksiyonel ve daha güvenli olmasını sağlamaya yöneliktir. Takılması zorunlu olmayan başlıca algılayıcı ve aparatlar; Telemetri, Anten Takip Edici, Sonar, Titreşim algılayıcısı, Batarya ölçer, *OSD* (On Screen Display)'dir.

Telemetri: ArduFlyer kartın yer bilgisayarına eş zamanlı veri göndermesini sağlar. Böylece hava aracının tüm seyrüsefer bilgileri yakından takip edilebilir. Yer bilgisayarından hava aracının uçuş verilerini izlemek, olası bir arıza durumunda hava aracına müdahaleyi hızlandırabilmektedir.

Anten takip edici: ArduFlyer karta takılan bu algılayıcı ile hava aracının yerden gelen bir sinyali takip etmesi sağlanabilmektedir. Telemetriler'de de anten takip edici özelliği mevcuttur.

Sonar: Hava aracının otomatik kalkış ve inişlerinde ya da alçak uçuşlarında (20 feet ve altı) hassasiyet çok önemlidir. Yükseklik ölçme için kullanılan barometre ve *GPS* değişken veriler üretebilmektedir. Bu algılayıcılardan çok daha kesin sonuç üretebilen

sonar, ArduFlyer karta bağlanabilmekte ve alçak uçuş ve iniş kalkış otomasyonunu daha güvenli hale getirmektedir.

Titreşim Algılayıcısı: Otomatik uçuş gerçekleştirebilmek için titreşimi en aza indirmek hayati önem taşımaktadır. Özellikle helikopterlerde titreşim yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Titreşimin hızlı bir şekilde saptanması ve helikopterin uçuş karakterinin bozulmadan indirilebilmesi için titreşim algılayıcısı kullanmak faydalı olabilmektedir.

Batarya ölçer: Hava aracına otomatik uçuşlarda destek sağlayan batarya ölçer, voltaj ve akımı ölçebilmekte ve belli bir değerin altına düştüğünde otomatik iniş ya da kalkış noktasına geri dönüş gibi karar vermesi sağlanmaktadır. Bunun için gerekli ayarlar *MP* programı vasıtasıyla yapılmaktadır.

OSD (On Screen Display): Bu aparat, hava aracına takılan kameranın görüntüsünü yer bilgisayarına ek bir alıcı/verici (RX/TX) kullanmadan gönderebilmektedir.

3.2.3. ArduFlyer parametreleri

ArduFlyer parametre ayarları tüm uçuşu yöneten ve hava aracı üzerindeki tüm donanımların kalibrasyon ayarlarının bulunduğu bölümdür. Gerekli parametre ayarları *MP* aracılığıyla yapılır ve kart üzerine *USB* (Universal Serial Bus) arabirimi aracılığıyla yüklenir.

Kartın 331 adet parametre ayarı mevcuttur. Buradaki tüm ayarların yüzeysel de olsa ne işe yaradığını ve nerede kullanıldığını bilmek gerekmektedir. Uçuşa direk etkili ve her hava aracına göre değişiklik gösteren 50 civarında parametre hakkında ise geniş bilgi sahibi olunmalıdır. Bu parametreler üzerinde değişiklik yapılarak uçuş mükemmel hale getirilebilmektedir (titremeyi azaltma, komutlara tam uymasını sağlama, otomatik uçuşu sağlama vs.).

Değişen her parametrenin sonucunu görmek için gerçek uçuş yapmak şarttır. Sonuçlara göre parametre değerleri yeniden ayarlanmalı ve istenilen uçuş elde edilinceye kadar bu işlem devam etmelidir.

Tüm uçuş parametreleri EK – 2'de sunulmuştur. EK – 2'deki parametrelerin bazıları, manual(el yordamı ile) ve otomatik uçuşa direk etkili ayarlardır. Bu ayarlar kullanılan hava aracı ve üzerinde bulunan Servo, *ESC*, Paller ve Pal tutucuları gibi

birçok donanımdan etkilenir ve bu donanımların değişmesi ile tekrar ayarlanması gerekir. Bu ayarlar sonrasında *PID* (Proportional, Integral, Derivative) kalibrasyonları yapılmaktadır ve bu kalibrasyonların ayrıntısına EK – 3'de değinilmiştir.

Parametrelerin (özellikle uçuş kararlılığına direk etki eden Pitch, Roll, Yaw *PID* değerleri) neyi etkilediğini öğrenmek ve doğru ayarları bulabilmek için haftalar süren çalışmalar gerekmektedir. Araştırma Bulguları bölümünde detaylı olarak değinildiği üzere, *HIL* sistemi ArduFlyer parametrelerinin test ve kalibrasyonunda kullanılamamıştır. Testlerin gerçek uçuş yaparak koşulması gerektiği için maddi risk, yaralanma riski oluşabilmekte ve geniş bir zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Parametrelerin daha anlaşılır olabilmesi için incelenmesi sınıflandırılarak yapılmıştır. El yordamı ile uçuşa ve otomatik uçuşa direk etkili parametreler; *PID* algoritması ile çalışan parametreler ve uçuşa etki eden önemli parametreler olarak sınıflandırılabilir. Paremetreler bu başlıklar altında EK – 3'de sunulmuştur.

3.3. Mission Planner (MP)

MP programı ArduFlyer kartın tüm konfigürasyon ayarlarının yapıldığı ve görev yüklendiği programdır. Bu program vasıtasıyla kullanılan hava aracına yönelik tüm özel ayarlar yapılıp kalibre edilebilmektedir.

ArduFlyer kartın yönetebildiği her hava aracının temel bir kontrol yazılımı bulunmaktadır. Bu bellenim ArduFlyer karta yüklenmekte ve sonrasında hava aracının verdiği tepkilere göre kalibrasyon işlemleri yapılmaktadır. Kalibrasyon işlemlerinin nasıl yapıldığı Entegrasyon ve Test başlığı altında detaylı olarak açıklanmıştır.

ArduFlyer kartın tam anlamıyla yönetildiği yer *MP* programı olduğu için çalışmada en çok irdelenen konu olmuştur. ArduFlyer kartın ve dolayısıyla helikopterin tüm elektronik donanımlarının ayarları, kalibrasyonu, uçuşu ve testi bu program vasıtasıyla yapılmıştır. *MP* vasıtasıyla farklı birçok işlem yapıldığı için aşağıdaki başlıklar altında *MP* fonksiyonlarını incelemek karmaşıklığı azaltacaktır.

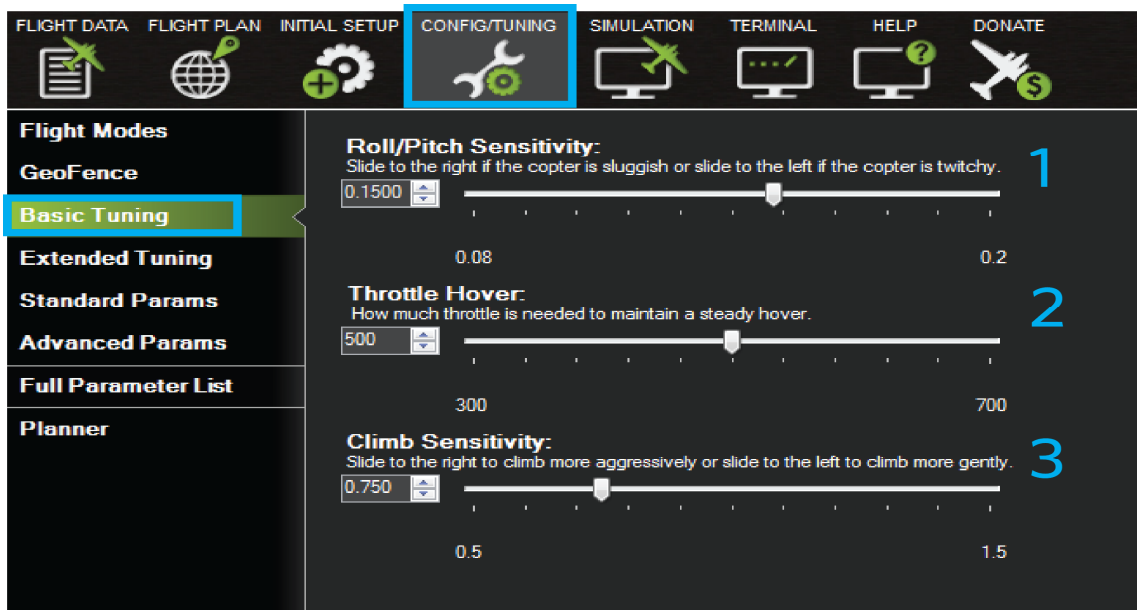
- Basit Ayarlar
- İleri Düzey Ayarlar
- Yer İstasyonunun Kullanımı
- Otomatik Uçuş Planlama ve Hazırlama
- *CLI* (Command Line Interface) Mod
- Uçuş Modları

- Uçuş Verisi Loglama
- Log Analizi ile Problemleri Saptama
- Alıcı Testi

3.3.1. Basit ayarlar

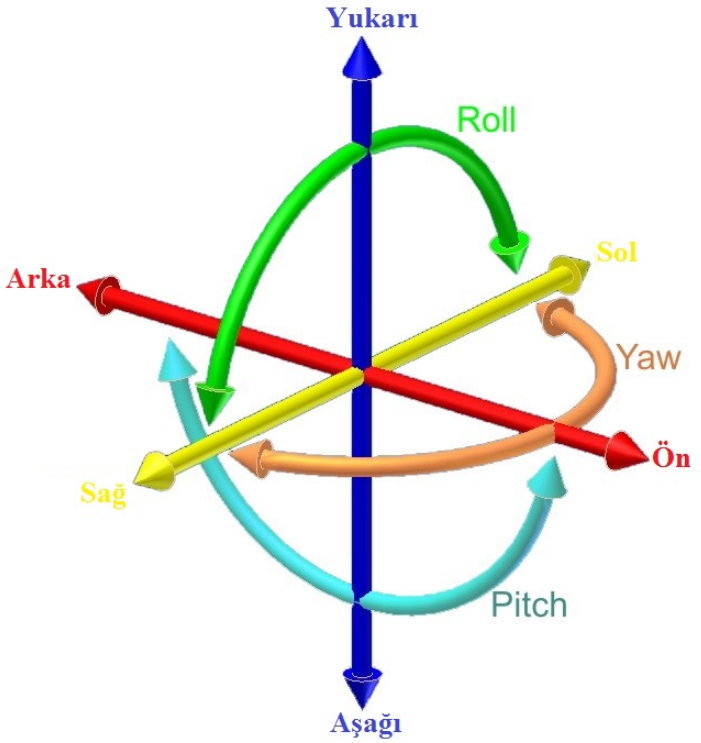
Basit ayarlar bölümü, Pitch/Roll ayarlarında değişiklikler ve küçük kalibrasyon ayarlarını içerir. İlk uçuş sırasında ya da sonrasında ihtiyaç duyulan basit ayarlar sekmesi ise *MP* programında "Config/Tuning" bölümünde "Basic Tuning" adı ile geçmektedir. Şekil 3.5'te ilgili arayüz gösterilmiştir. Bu sekme altında;

- Roll/Pitch Hassasiyeti (Roll/Pitch sensitivity),
- Havada Sabit Olduğundaki Gaz Konumu (Throttle Hover),
- Tırmanma Hassasiyeti (Climb Sensitivity) ayarları mevcuttur.



Şekil 3.5. Basit ince ayarlar menüsü

Roll/Pitch hassasiyeti (Roll/Pitch sensitivity): Bu ayarlama uçuş sırasında yapılıyorsa telemetri kullanılması faydalı olacaktır. Eğer helikopter kumandadan gelen komutlara çok duyarsız ise Roll/Pitch hassasiyetini yükseltmek için biraz sağa kaydırmak gerekir. Helikopter uçuş sırasında sağa sola sallanıyor ve titreme yapıyor ise ayar çubuğu biraz sola kaydırılmalıdır yani düşürülmelidir. Bu ayarlama "Extended Tuning" sekmesi altında daha hassas yapılabilmektedir. Pitch/Roll/Yaw, hava aracının üç boyutlu ortamda dönüş manevralarına verilen isimlerdir. Şekil 3.6'da bu manevra yönleri ve isimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Pitch-Roll-Yaw eksenleri (URL:5)

Havada sabit iken gaz konumu (Throttle Hover): Helikopter havada sabit duruyor iken gaz çubuğunun konumu tam ortada olmalıdır. Bu durum otomatik uçuş modunun sağlıklı çalışabilmesi için önemlidir. Fakat helikopterin ağırlığı, motorun güçsüzlüğü ya da pil durumu gibi birçok etken gazın konumunu değiştirmektedir. Gaz çubuğunun, helikopter havada sabitken tam ortada olması buradaki ayar çubuğundan yapılabilmektedir.

Tırmanma hassasiyeti (Climb sensitivity): Helikopter gaz çubuğunun hareketleri doğrultusunda ani tırmanıp alçalıyorsa ya da tam tersi çok tepkisiz kalıyorsa bu ayar çubuğundan istenilen ayarlama/kalibrasyon yapılabilmektedir.

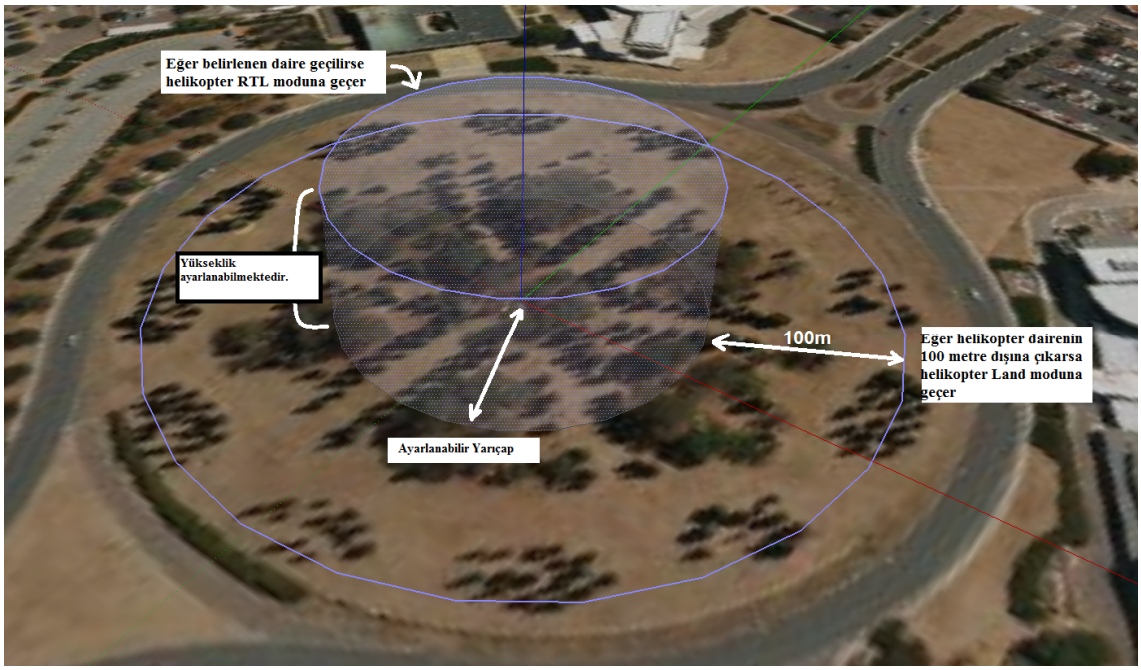
3.3.2. İleri düzey ayarlar

Bu bölüm hava aracının tüm parameter ayarlarının yapılabildiği ve geniş uzmanlık bilgisi gerektiren bir bölümdür. Ana başlıklar halinde incelenmiştir.

Kompas ayarları: Bu bölüm Entegrasyon başlığı altında detaylı olarak incelendiği için burada yer verilmemiştir.

Hata Durumunda Güvenlik (Failsafe) ayarları: Radyo sinyali kaybı, düşük pil, *GPS* kilitlemesi kaybı, yer istasyonu ile iletişim kaybı gibi durumlarda ArduFlyer kartın ne yapması gerektiği ile ilgili ayarlar bu sekme altında yapılabilmektedir.

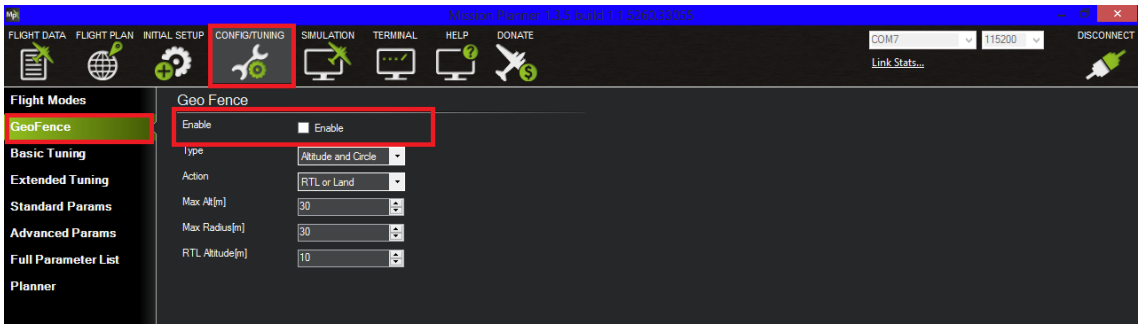
Çit (Fence): Helikopterin kontrolden çıkıp uzak bir yere gitmesini engelleyen bir özelliktir. *MP* ile belirlenen kriterler ile helikopter belirli bir menzilin dışına çıktığında Kalkış Konumuna Geri Dönüş (*RTL* - Return to Land) modu devreye girer ve helikopter kalktığı noktaya geri döner.



Şekil 3.7. MP programında çit özelliği (URL:6)

Hava aracının en uzak dairesel noktaya, yüksekliğe ulaştığında ya da aracın belirlenen sınırları aşması sonucu ne yapacağı gibi ayarlar *MP* programı vasıtasıyla belirlenebilir. Eğer belirlenen alanın dışına çıkan bir araç aynı zamanda kontrol de edilemediyse ve böylece 100 metre daha sınır dışına çıkarsa iniş (land) modu devreye girer ve iniş yapmaya zorlanır. Çit özelliğinin nasıl çalıştığını gösteren arayüz Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

MP'dan çit özelliğinin aktif hale getirilmesi için Şekil 3.8'deki ekran görüntüsünde görüldüğü gibi "Config/Tuning" sekmesi altında "GeoFence" bölümünden ulaşılmaktadır. Öncelikle "Enable" seçilerek Fence özelliği aktif edilmelidir. Azami yükseklik ve azami yarıçap ise gelen ayarlar menüsünden girilebilmektedir.



Şekil 3.8. MP programında çit özelliğinin açılması

Fence modunun aktif olabilmesi için aynı zamanda kumandadan bir anahtar (Switch) atanması da mümkündür. Anahtar atamasını yapmak için aşağıdaki adımlar izlenmelidir.

Adım 1: "Mission Planner > Config/Tuning" sekmesine gidilerek "Ch7 Opt" veya "Ch8 Opt" aşağı açılır kutudan herhangi birinden "Fence" seçilmelidir.

Adım 2: Kumandadan bu seçeneğe bir anahtar atanması ile çit özelliği çalışmaktadır. Atanan anahtar değerinin 1800 *PWM* (Pulse With Modulation) üstü bir değer olması çit özelliğini aktif yapacak, düşük olması ise bu özelliği devre dışı bırakacaktır. Çit özelliğinin çalışabilmesi için dikkat edilmesi gereken bazı ayrıntılar aşağıdaki gibidir;

- Tavsiye edilen en küçük yarıçapın 30 metre olması,
- En iyi sonuç için *RTL* modunun düzgün çalışıyor olması,
- Çit özelliği aktifleştirildiğinde (enable seçili iken) Arm-öncesi (Pre-Arm) özelliği *GPS* kilidi gereksinimi duyduğu için Arm (Uzaktan kumanda ile uçuşa hazır durumda olma) işlemi öncesi *GPS* kilidinin sağlanması,
- Eğer failsafe özelliği kapalı ve çit özelliği açık ise *GPS* kilidi kaybolunca çit özelliğinin devre dışı kalacağının bilinmesi,
- Eğer hem *GPS* failsafe açık hem de çit özelliği aktif iken *GPS* kilidi kaybolursa ArduFlyer kartın iniş moduna gireceğinin bilinmesi (eğer uçuş sırasında pilot land moduna giren hava aracının kontrolünü tekrar almak isterse uçuş modunu değiştirerek kontrolü tekrar alabilmektedir.) gerekmektedir.

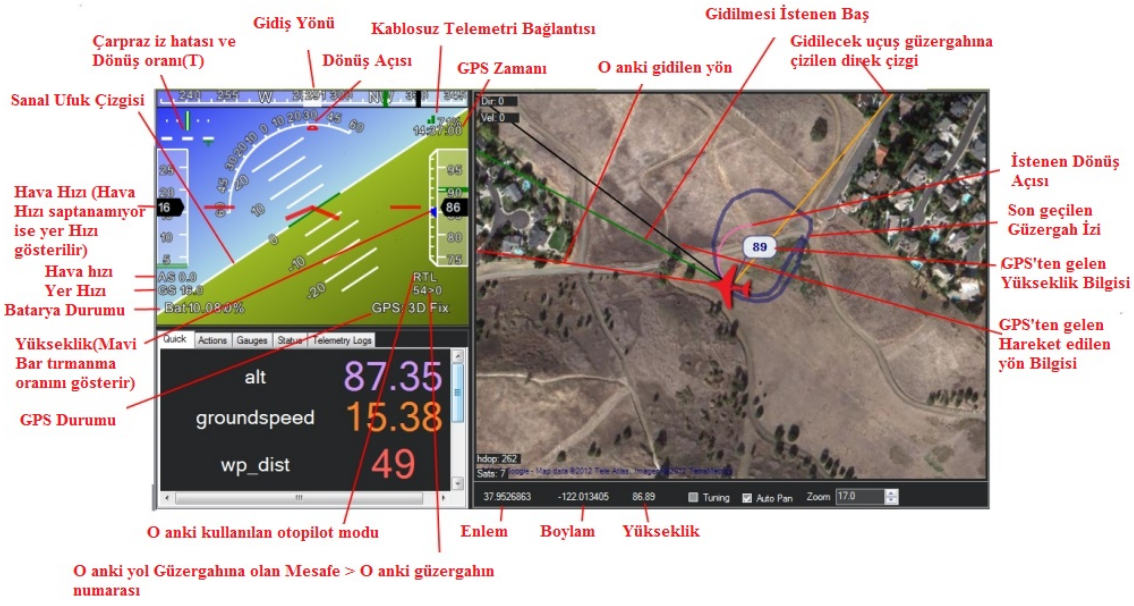
PPM (Pulse Position Modulation) encoder bilgisi: Eğer ArduFlyer kartın kullandığı *PPM* şifre çözücü (encoder) bozulduysa ya da yeni versiyon yüklenmesi gerekiyorsa bu yapılabilmektedir. Bunu yapmak için ATMega32-U2 özel bir Bootloader (önyükleme yükleyici) kullanmaktadır. Bu Bootloader vasıtasıyla *SPI* (Serial Peripheral Interface) programcısı kullanmadan flashlama yapılabilmektedir. 32U2 bellenimi *USB* bağlantısı yoluyla 2560'ı kullanabilmektedir. Bu işlem uzmanlık gerektirmektedir ve birçok işlem

adımından oluşmaktadır. Çalışma kapsamında ihtiyaç olmadığı için ayrıntılı olarak ele alınmamıştır.

Ch7 & Ch8 Ek kanal ayarları: Kumandadan yedinci ve sekizinci kanallara atama yapılabilir ve bu atamanın uçuşun hangi özelliği etkileyeceği seçilebilir.

3.3.3. Yer istasyonunun kullanılması

Şekil 3.9'daki ekran görüntüsü *MP* programının ana yer istasyonu ekranıdır. *MP* programında "Uçuş Verisi (Flight Data)" sekmesinden ulaşılabilen bu menü hava aracının anlık konumu ve seyrüsefer ile ilgili tüm verileri içermektedir. Ekran görüntüsü üzerinde programın özeliklerini gösteren detaylı açıklamalar mevcuttur.



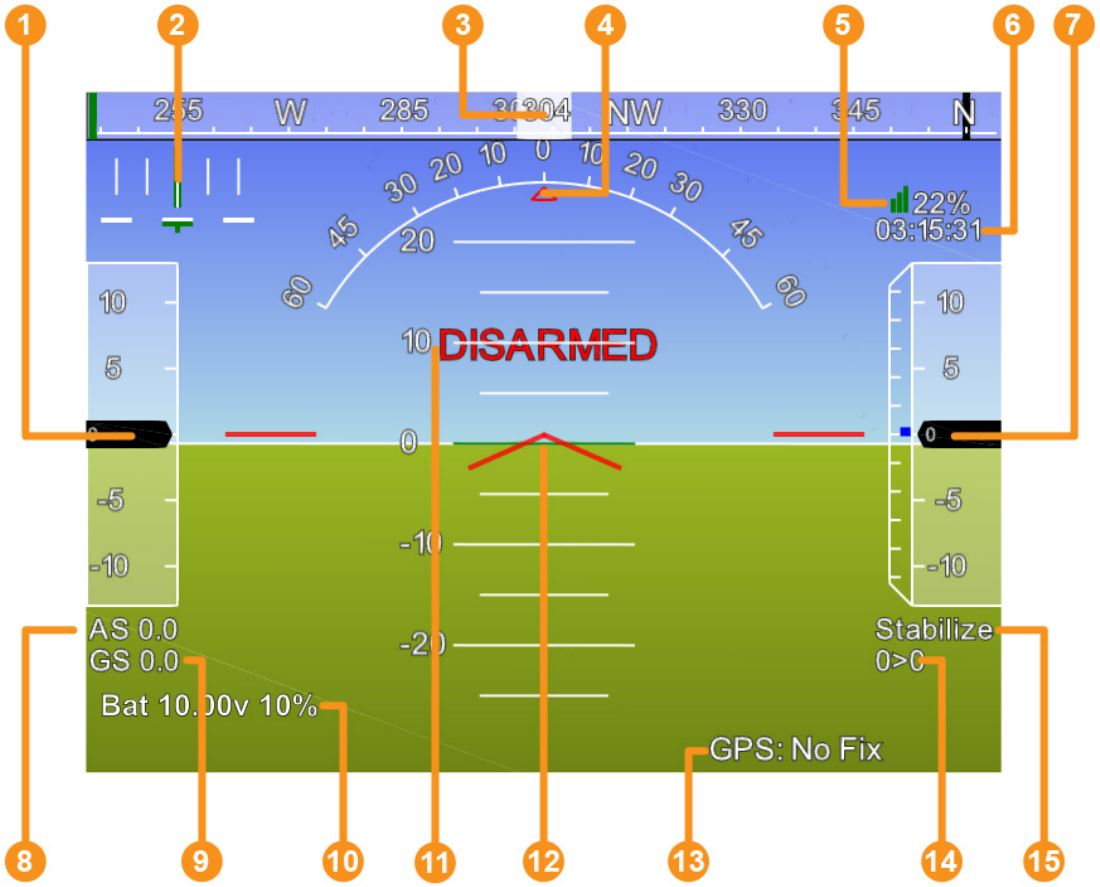
Şekil 3.9. MP Programı – Uçuş verileri arayüzü

Helikopter *MP* programına bağlı ise harita sadece o andaki helikopter pozisyonunu ve seyrüsefer bilgilerini gösterir. *MP*'da, *APM*:Copter yazılımı yüklenmiş bir durumda, ekran çıktısında gözüken bazı özellikler aşağıdaki gibidir;

- "WP_Dist (Waypoint Distance)", bir sonraki uçuş güzergahına ne kadar mesafe olduğunu gösterir.
- "Bearing ERR(Bearing Error)", bir sonraki güzergaha giden doğru yoldan ne kadar uzak olduğunu gösterir.

- "Alt ERR(Altitude Error)", hava aracının olması gereken yükseklik ile arasındaki farkı gösterir.
- "WP_Time(Way Point Time)", bir sonraki uçuş güzergahına ulaşmak için kalan zamanı gösterir.
- "Mode", hali hazırda kullanılan uçuş modunu gösterir.
- Mod değiştirme ve diğer bir çok komut helikopter havada iken *MP* programı vasıtasıyla verilebilir fakat bu sırada verilen komutların etkili olabilmesi için helikopter otomatik kontrol ile uçuyor olmalıdır.
- Ekranda görülen "Tuning" onay kutusu (checkbox) seçilirse ve "tuning" üzerine çift tıklanırsa "status" tab'ında bulunan herhangi bir verinin grafiği çıkarılabilmektedir. Bu özellik yükseklik, helikopterin davranışı (attitude) ve benzer birçok seyrüsefer verisi gibi verilere eş zamanlı olarak erişilebilme yeteneği sağlamaktadır.
- İstenirse google haritaları yerine o bölgenin çekilmiş başka bir resmi yüklenebilir. Bunun için "Control – F" tuş kombinasyonuna basmak gerekir. Gelen menüden hangi resmin yüklenmesi isteniyorsa seçilerek (*MP*'ın tanıyacağı bir formatta olması gerekmektedir) yüklenir.

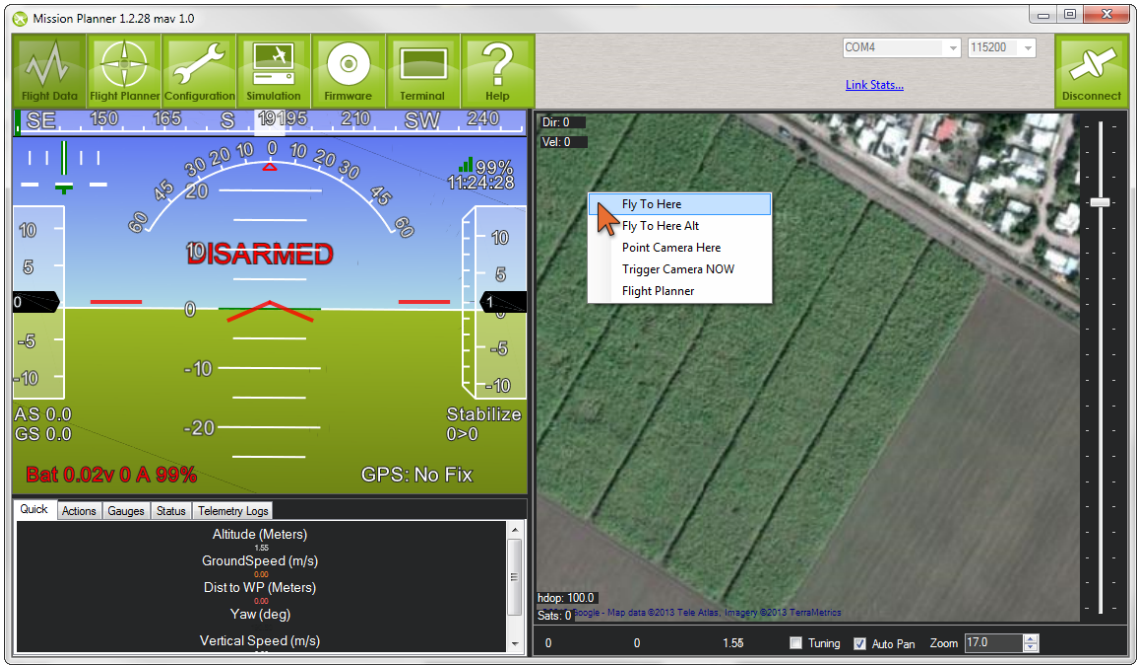
Arayüzde, Şekil 3.10'da gösterilen baş hizası görüntü (Head Up Display – HUD) olarak adlandırılan bir pencere bulunmaktadır.



Şekil 3.10. MP programı - HUD görüntüsü arayüzü (URL:6)

1. Havadaki Hızı (Eğer hava hızı – air speed algılayıcısı takılmamış ise yer hızı – ground speed gösterilecektir.)
2. İz hatası ve dönüş oranı (T)
3. Hava aracının uçuş başı
4. Yatış açısı (Roll)
5. Kablosuz telemetri bağlantı durumu (% kayıp paket oranı)
6. *GPS* zamanı
7. Yükseklik (Mavi bar tırmanma oranını gösterir)
8. Hava hızı
9. Yer hızı
10. Batarya durumu
11. Sanal ufuk çizgisi
12. Helikopterin duruş yönü
13. *GPS* kilitleme durumu
14. Açısal fark
15. Hali hazırdaki Uçuş modu

Yer istasyonunda “Flight Data” sekmesinin “Guided Mode” isimli bir özelliği vardır. Bu özellik sayesinde helikopter havada uçarken, harita üzerinden seçilen bir noktaya eş zamanlı olarak uçması sağlanabilir. Bu özelliğin avantajı, önceden planlanan bir rotadan ziyade hava aracının bir anda istenilen rotaya uçmasını sağlamaktır. Bunun için haritadan sadece uçması istenilen noktanın seçilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.11. MP programı – Harita üzerinden rota seçimi

GCS (Ground Control System) ekranı olarak isimlendirilen ve şekil 3.11’deki ekran görüntüsünde görülen haritada üzerinde sağ tıklanarak “Fly to Here” seçeneği seçilerek o noktaya hava aracının uçması sağlanır. Belirlenen noktaya uçuş tamamlandığında helikopter havada sabit kalma (Loiter) moduna geçecek ve yeni bir komut gelene kadar orada bekleyecektir. Bu moda kılavuz (Guided) mod denmektedir.

3.3.3. Komut satırı arayüzü (Command Line Interface – *CLI*)

Bu arayüz grafiksel kullanıcı arayüzünü kullanmayı sevmeyen kullanıcılar için tasarlanmıştır. Fakat *CLI* arayüzünü kullanabilmek için gerekli anahtar kelimeleri ve bu paramatrelerin ne işe yaradığını bilmek gerekir. EK – 4’de bu ayrıntılara detaylı olarak değinilmiştir. *CLI* sayesinde arayüz ile yapılamayan bazı ayarlamalar ve kalibrasyonlar da yapılabilmektedir.

3.3.4. Uçuş modları

Uçuş modları hava aracının uçabileceği tüm modları kapsar ve detaylı olarak tarif eder. Uçuş modları ve işlevleri; Dengeleme (Stabilize), Akrobasi (Acro), Basit/SüperBasit (Simple/SuperSimple), Yükseklik sabitleme (Altitude Hold - *AltHold*), Otomatik (Auto), Yol Gösterici (Guided), Kılavuz (Loiter), Kalkış Noktasına Dönüş (*RTL*-Return to Land*)*, Çember (Circle), İniş (Land), Spor (Sport), Otomatik İnce Ayar (AutoTune)'dır.

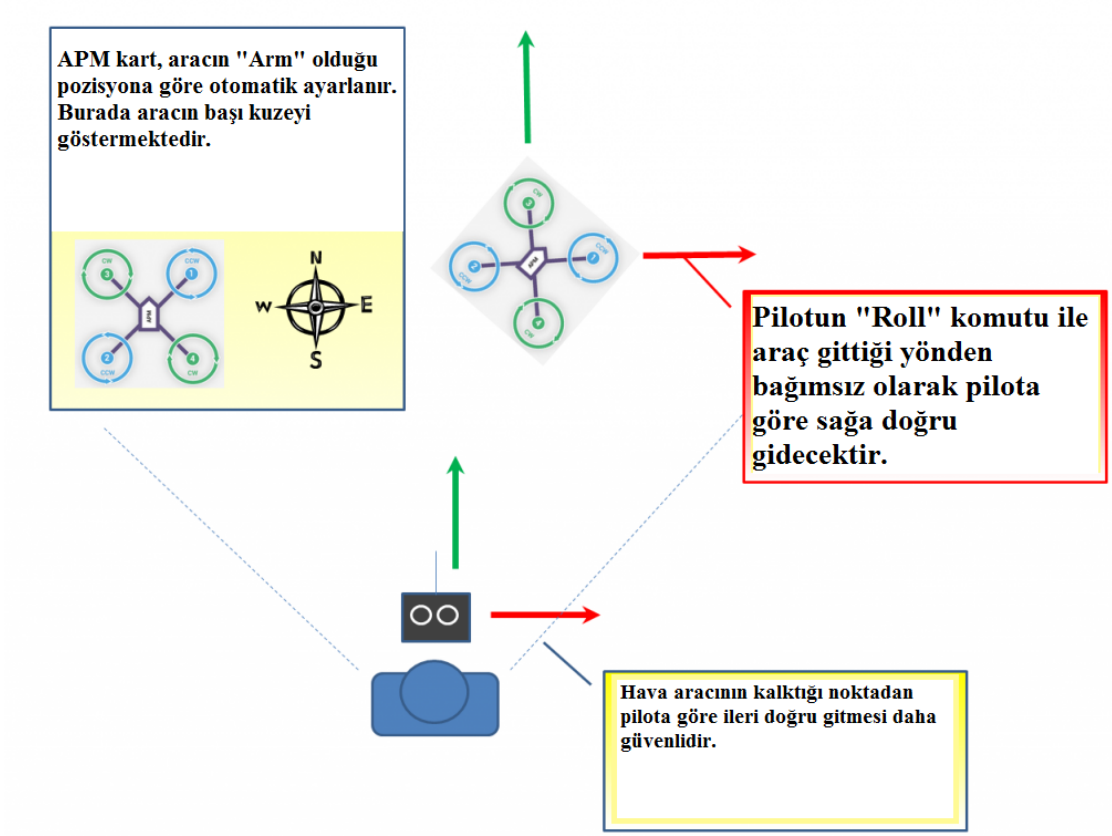
Uçuş modlarını *GPS* verisine ihtiyaç duyan ve duymayanlar olarak iki gruba ayırmak mümkündür. *GPS* bağımlı modlar *RTL*, Loiter, Auto, Guided, *AltHold*, Circle, Land, AutoTune ve SuperSimple modlarıdır. *GPS* bağımlı olmayan modlar ise Stabilize, Acro, Sport ve Simple modlarıdır.

Otomatik uçuş modlarının hepsi *GPS* donanımına bağımlıdır ve *GPS* bağımlı modun düzgün çalışabilmesi için yeterli uydu kilitlenmesini sağlamak çok önemlidir. Uydu kilitlenmesi ile ilgili detaylı bilgi "Log analizi ile problemleri saptama" başlığı içindeki "*GPS* uydu kilitleme" bölümü altında sunulmuştur.

Dengeleme (Stabilize) Modu: Bu modda el yordamı ile uçuş yapılmakta ve otomatik bazı düzeltmeler ile el yordamı ile uçuş desteklenmektedir. Pilot herhangi bir yön ile kumanda çubuklarını hareket ettirirse helikopter o yöne gitmektedir. Fakat yön vermeyi bırakırsa helikopter kendini düzelterek havada sabitleme (Hover) konumuna geçmektedir.

Akrobasi (Acro) Modu: Tam olarak el yordamı ile kullanım için tasarlanmış moddur. Akrobatik hareketler bu moda geçilerek yapılmaktadır. ArduFlyer kart sadece *CCPM* (Cyclic Collective Pitch Mixing) yapar. İstenilen uçuş karakteristiğine göre parametreleri değiştirmek gerekir.

Basit/En Basit (Simple/SuperSimple) modları: Simple mod helikopter Arm olunca hangi başta ise pilot manevra yaptığında baş sabit kalmaktadır. Bu da uçuşu basitleştirip helikopterin uçuşunu kolaylaştırmaktadır.



Şekil 3.12. Simple/Süper simple modları (URL:6)

SuperSimpleMod ise *GPS* desteği ile çalışır. Ev lokasyonu *MP*'da ne tanımlanmış ise kontrol kartı bu noktayı baz alır. Pitch/Roll çubuğu ileri itildiğinde ev lokasyonundan uzaklaşır çekildiğinde ise ev lokasyonuna doğru hareket eder. Simple modun aksine helikopter ilk Arm edildiğindeki baş açısını dikkate almaz. Şekil 3.12'de bu modların nasıl çalıştığı görsel anlatım ile desteklenmiştir.

Yükseklik Sabitleme (Altitude Hold – *AltHold*) Modu: *AltHold* modu kullanıldığında helikopter *GPS*'ten aldığı yüksekliği muhafaza etmeye çalışır. Fakat *GPS*'ten alınan konum verilerinin tutarsızlığı tehlikeli durumlar yaratabilir veya Kırıma sebep olabilir. Bu bakımdan yeterli sayıda uydu kilitlemesi olmadan bu modu kullanmak önerilmez.

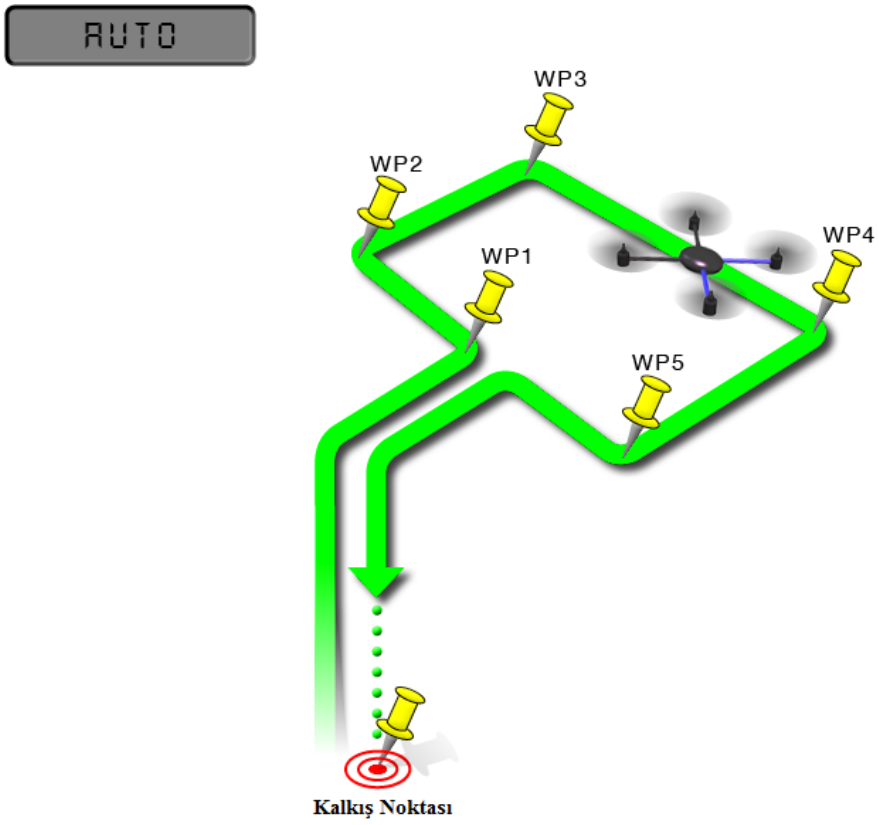
Bu modda hava aracı sadece yüksekliği muhafaza etmektedir. Rüzgâr gibi dış etkenlere mukavemet göstermez ya da belli bir bölgede konum sabitleme yapmaz. Pilot yükseklik dışında diğer ayarları uzaktan kumanda ile yönetmelidir.

Altitude Hold modu devrede iken yükseklik uzaktan kumandadan da belli bir oranda yönetilebilir. Eğer uzaktan kumanda üzerindeki gaz çubuğu %40 – %60 arasında bir konumda ise hava aracı bulunduğu yüksekliği korur. Bu oranların altında veya

üstünde ise ön tanımlı olan 2,5 m/sn. hız ile alçalır ya da yükselir. Bu değer PILOT_VELZ_MAX parametresinden değiştirilebilir.

Otomatik (Auto) Mod: Otomatik modda helikopter önceden programlandığı gibi hareket eder. El yordamı ile yönledirme komutları çalışmaz. Önceden programlama ise, *MP* vasıtasıyla yol haritası planlama ve bunu ArduFlyer karta yükleme işlemidir. Yol haritası yükseklik hız ve gideceği rota ile ilgili detaylı bilgiler içerir. Otomatik modda Roll, Pitch ve Throttle (gaz) komutları çalışmamasına rağmen Yaw komutları çalışmaktadır.

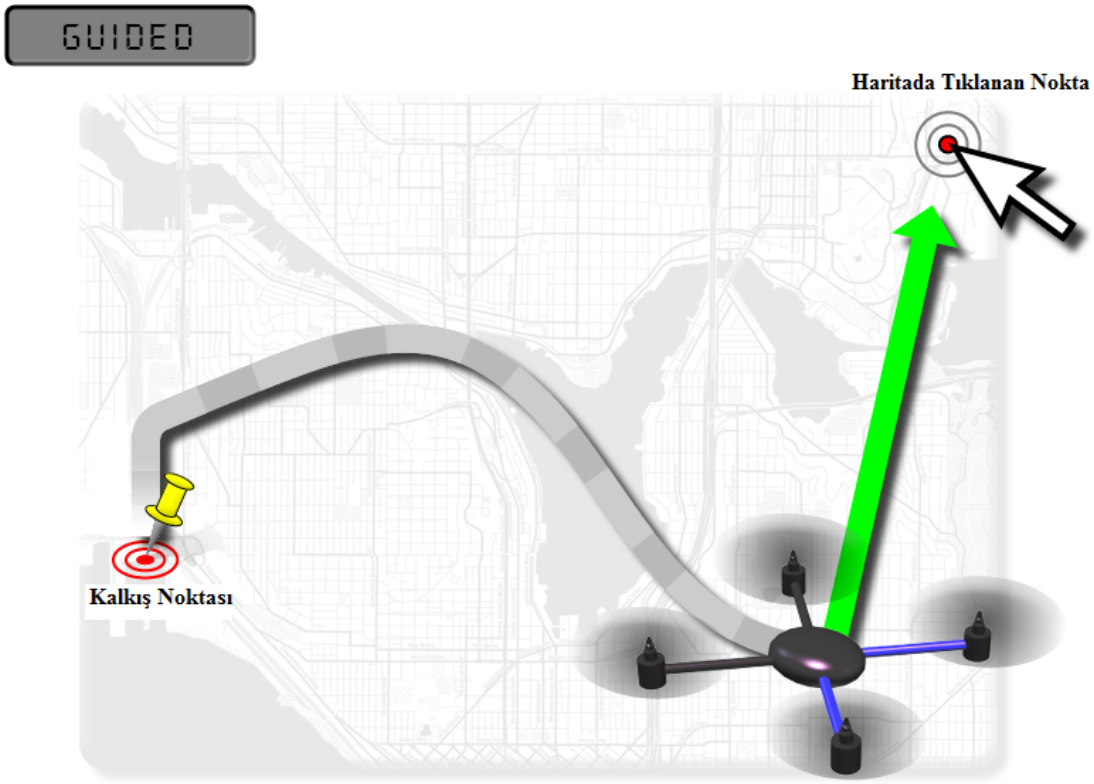
Otomatik uçuş planlamasında kalkış ve inişte dâhil tüm uçuş otomatize edilebilmektedir. Şekil 3.13'de otomatik modun nasıl çalıştığı gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Otomatik uçuş modu (URL:6)

Kılavuz (Guided) Modu: Bu modu kullanmak için telemetri donanımı olması gerekmektedir. Donanım bilgisayara takılan yer modülü ve hava aracına takılan hava modülünden oluşmaktadır. 433MHz *UHF* (Ultra High Frequency) bandından iletişim kuran modüller vasıtasıyla hava aracına nereye gitmesi istendiği iletilir. Hava aracının gitmesi istenen nokta bilgisayardaki *MP* programının harita bölümünden seçilmektedir.

Seçilen noktanın koordinatları telemetri modülü ile hava aracına gönderilir ve araç o noktaya gider. Gidilen noktaya ulaşan hava aracı Hover modda beklemeye geçer. Aynı zamanda bu mod yer modülünün takılı olduğu bilgisayarı takip etme için de kullanılabilir. Bu özellik kullanıcı hareketliyse faydalı olabilir. Şekil 3.14'de bu modun nasıl çalıştığı gösterilmiştir.

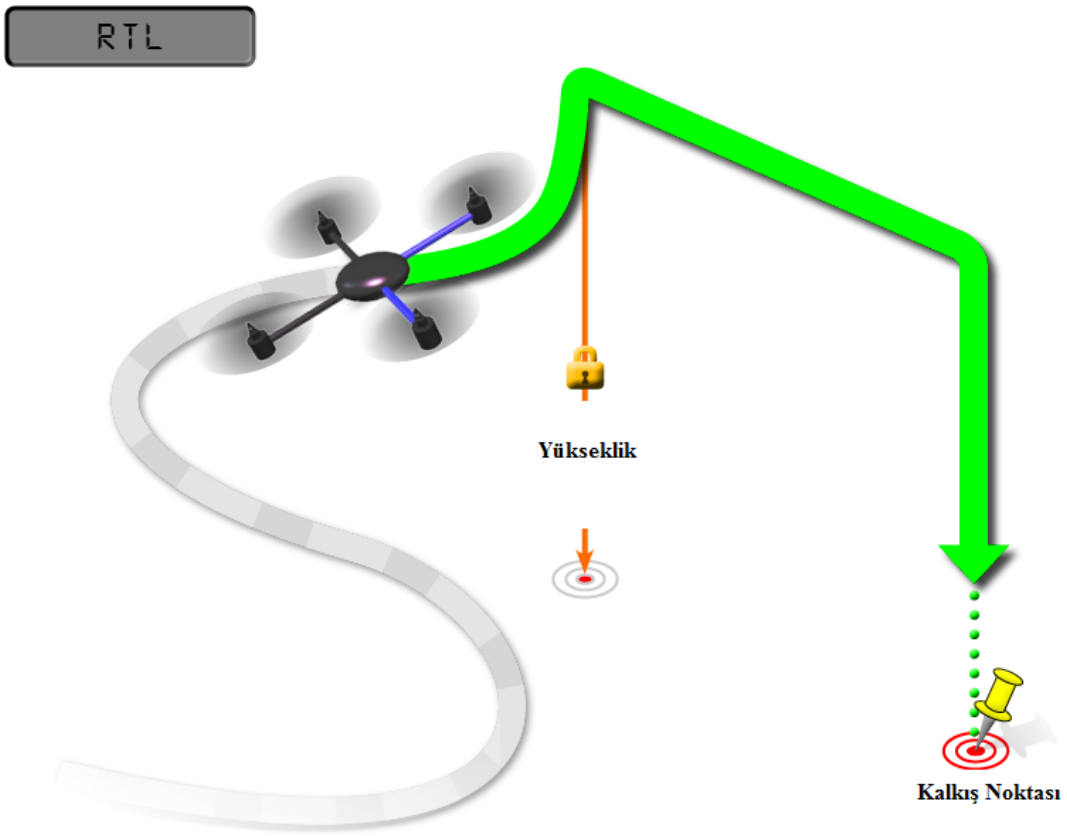


Şekil 3.14. Kılavuz modu (URL:6)

Havada Sabit Kalma (Loiter) Modu: Belli bir konumda yükseklik, baş ve pozisyonu koruyarak otomatik olarak hava aracının sabit durmasıdır. Tam belirtilen yerde hava aracının durması için; *GPS* bilgisinin sağlıklı olması, Kompas ayarının iyi yapılmış olması, hava aracının maruz kaldığı titreşimin az olması ve uçulan ortamda manyetik kirlenmenin az olması önemli etkenlerdir.

Pilot, Loiter modda uzaktan kumanda ile hava aracını kontrole devam edebilir. Pilot tarafından komut gelmez ise hava aracı kaldığı noktada sabitlenmeyi hedefler. Loiter modda iken kumandadan yükseklik kontrol edilmesi ise Altitude Hold modunda anlatıldığı gibi çalışmaktadır.

Kalkış Noktasına Dönüş (*RTL*) Modu: Hava aracı bu moda alındığında bulunduğu pozisyondan ev lokasyonu olarak belirlenen yere gelerek Hover konumunda beklemeye geçer. Ev lokasyonu, *GPS* uydulara kilitlendiğinde helikopterin Arm konumuna geçtiği yerdir. Şekil 3.15'de *RTL* modunun nasıl çalıştığı gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Kalkış noktasına dönüş modu (URL:6)

RTL modu *GPS* bağımlılığı olan bir moddur. Yüksekliği ölçmek için ise kart üzerindeki dâhili barometre kullanılmaktadır. Uçulması planlanan bölgede basınç değerleri farklılık gösteriyorsa hava aracı bu değişikliklerden etkilenecektir. Fakat harici sonar aparatı takılıp *MP*'dan etkinleştirilmesi durumunda 20 feet (6metre) altındaki irtifalarda yükseklik ölçmede sonar dikkate alınmaktadır. *RTL* modunun ayarlanabilmesi için kullanılan parametreler (kullanıcı tarafından ayarlanabilen parametreler – User Adjustable Parameters) şunlardır;

RTL_ALT parametresi, hava aracının *RTL* moda geçtiğinde gitmesi gereken en düşük yükseklik bu parametre vasıtasıyla belirlenmektedir. Bulunduğu yükseklikte *RTL* yapması için 0'a ayarlanır. Verilebilecek değerler 1 – 8000 cm arasındadır. Öntanımlı değeri 15 metredir (1500cm).

RTL_ALT_FINAL parametresi, *RTL* sonucu hava aracının gelmesi gereken konuma geldiğinde durması beklenen yükseklikliktir. Otomatik iniş yapmasını sağlamak için değer sıfır olarak verilmelidir. Değer aralığı 0 – 1000 cm arasındadır.

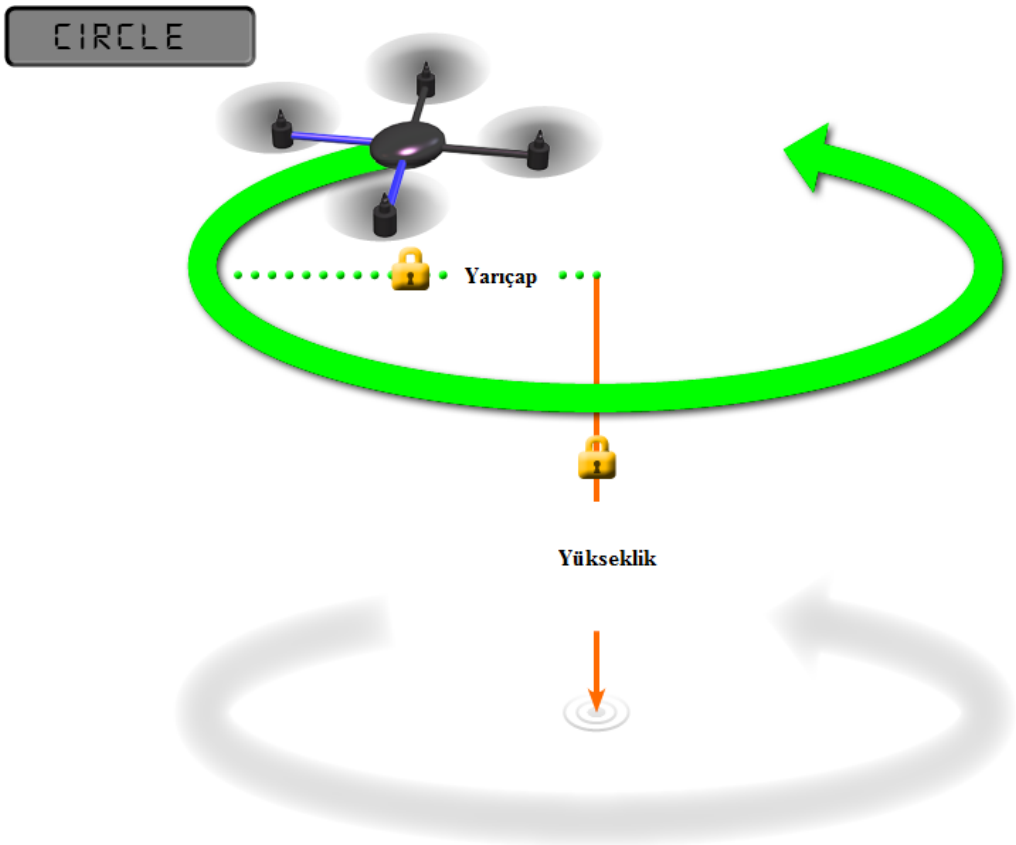
RTL_LOIT_TIME parametresi, son alçalmaya başlamadan loiter modda kaç milisaniye kalacağı bu parametre ile belirlenmektedir. Verilebilecek değerler 0 – 60.000 millisaniye arasındadır.

WP_YAW_BEHAVIOR parametresi, *RTL* sırasında otopilotun Yaw değerini yani kuyruğun hareketini belirlemeye yarar. 0 = Yaw pozisyonunu değiştir, 1 = Bir sonraki uçuş noktasına giderken ya da geri dönerken hedefi yüzleyerek git, 2 = Bir sonraki uçuş noktasını yüzle veya eve dönerken arka arka gel (away from Home) anlamına gelen değerlerdir.

LAND_SPEED parametresi, otomatik iniş sırasında alçalırkenki iniş hızını saniye/cm bazında belirlemektedir. İniş hızı 20 – 200 arasında değer alabilmektedir.

Çember (Circle) Modu: Circle modu aktif edildiğinde, hava aracı belirlenen kriterlere göre burnu daire merkezine bakacak şekilde dönmeye başlamaktadır. Dairenin yarıçapı CIRCLE_RADIUS parametresi ile metre cinsinden belirtilebilmektedir. Yarıçapı sıfır olarak vermek helikopterin kendi konumunda yavaşça dönmesine sebep olmaktadır. Şekil 3.16'da çember modunun nasıl çalıştığı gösterilmiştir.

Hava aracının circle modunda hızı CIRCLE_RATE parametresi (açı/sn) ile değiştirebilmektedir. Pilot bu modda Roll ya da Pitch değerlerini değiştiremezken yüksekliği gaz çubuğu ile değiştirebilmektedir. Pilot aynı zamanda kuyruk konumunu da (Yaw) değiştirebilmektedir. Fakat hava aracı tekrar Circle moduna geçene kadar kuyruğu kontrolüne almamaktadır. Bir otomatik uçuş görevi sırasında LOITER_TURNS komutu görev sırasında Circle modunu aktive etmektedir.



Şekil 3.16. Çember modu (URL:6)

İniş (Land) Modu: Bu modda hava aracı otomatik olarak iniş yapabilmektedir. Yere 10 metre kalana kadar Speed Dn parametresindeki hız değerine göre hareket eden otopilot, 10 metreden daha küçük mesafalerde LAND_SPEED parametresine göre iniş hızını ayarlamaktadır. Bu değer 50 cm/sn öntanımlıdır.

Hava aracı inişi gerçekleştirdikten sonra pilot gaz çubuğunu en düşük seviyesine getirdiğinde motor duracak ve ArduFlyer kart Disarm (Uzaktan kumanda ile uçurmaya hazır olmama durumu) durumuna geçecektir. Aksi takdirde ArduFlyer kart motor dönmeyi durdurma kararını kendisi veremez. Fakat hava aracı ev lokasyonu üzerinde ve 10 metrenin altında ise yapılan ayarlar doğrultusunda motor durdurma komutu otomatik olarak verilebilir.

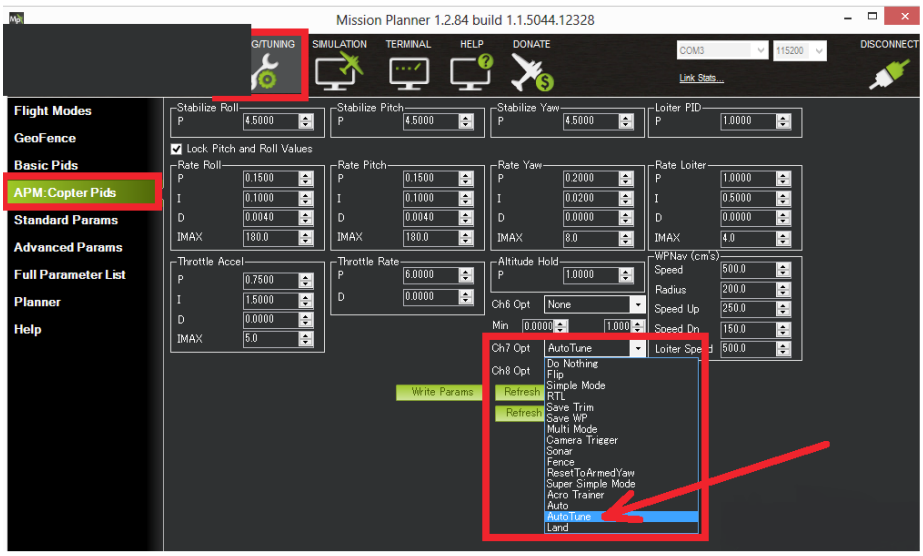
Spor (Sport) Modu: Bu modda hava aracı belirlenen belli bir açıda uçabilmektedir. Havadan çekimler için kullanılan Spor modu, aynı zamanda yüksekliği de sabitlemektedir. Pilotun verdiği komutlar sonrası hava aracı belirlenen açı ve yüksekliğini korumaya devam etmektedir.

Otomatik İnce Ayar (AutoTune) Modu: Bu mod, hava aracının *PID* ayarlarının otomatik yapılmasını sağlamaktadır. *PID* değerleri her hava aracında değişmekte ve sağlıklı değerleri bulmak için birçok test yapmak gerekebilmektedir. Aslında otonom uçuş modundan ziyade otomatik kalibrasyon yapmak için kullanılmaktadır.

AutoTune modunun kullanılabilmesi için hava aracının asgari *AltHold* modunda uçurulabilmesi gerekmektedir. AutoTune modunun aktive edilebilmesi için aşağıdaki adımlar sırasıyla izlenmelidir;

Adım 1: Uzaktan kumandadan bir anahtar atanır,

Adım 2: Atanan anahtarın çalışabilmesi için yedinci veya sekizinci kanallardan birisi *MP* programı vasıtasıyla atanır ve kumandadan atanan anahtar kapalı pozisyona getirilir (Şekil 3.17'de gösterilmiştir),



Şekil 3.17. MP programı - Otomatik ince ayar arayüzü

Adım 3: Hava aracı uçurulur ve güvenli bir yüksekliğe çıkılarak anahtar açık pozisyonuna getirilir,

Adım 4: Hava aracının otomatik testinin bitmesi için beklenir (20°'lik açılarla sağ ve sola yatması ve ileri geri gitmesi işlemleri otomatik yapılacak ve *PID* değerleri bu hareketlere göre otomatik belirlenecektir),

Adım 5: Hava aracının uzağa gitmesi veya beklenmedik tepkileri olması durumunda, kumanda yön çubuğuyla (*AltHold* modunda yapıldığı gibi) uygun bir konuma getirilir (El yordamı ile yön verme bırakıldığında hava aracı kalibrasyona kaldığı yerden devam edecektir).

Yapılan *PID* ayarlarının kaydedilmesi istenmez ise anahtarı kapalı duruma getirmek ve ArduFlyer kartı Disarm etmek yeterlidir. Yeni ayarlanmış *PID* ayarlarının kaydedilmesi isteniyor ise uzaktan kumanda üzerindeki kanal aktif modda bırakılarak hava aracı indirilir ve kart Disarm durumuna getirilir. Böylece yeni ayarlar kaydedilmiş olur.

Hava aracı Stabilize modda iken AutoTune moduna geçince problem yaşanabilir. Sorun yaşamamak için önce *AltHold* moduna ve sonrasında AutoTune moduna geçmek gerekmektedir.

3.3.5. Otomatik uçuş planlama ve hazırlama

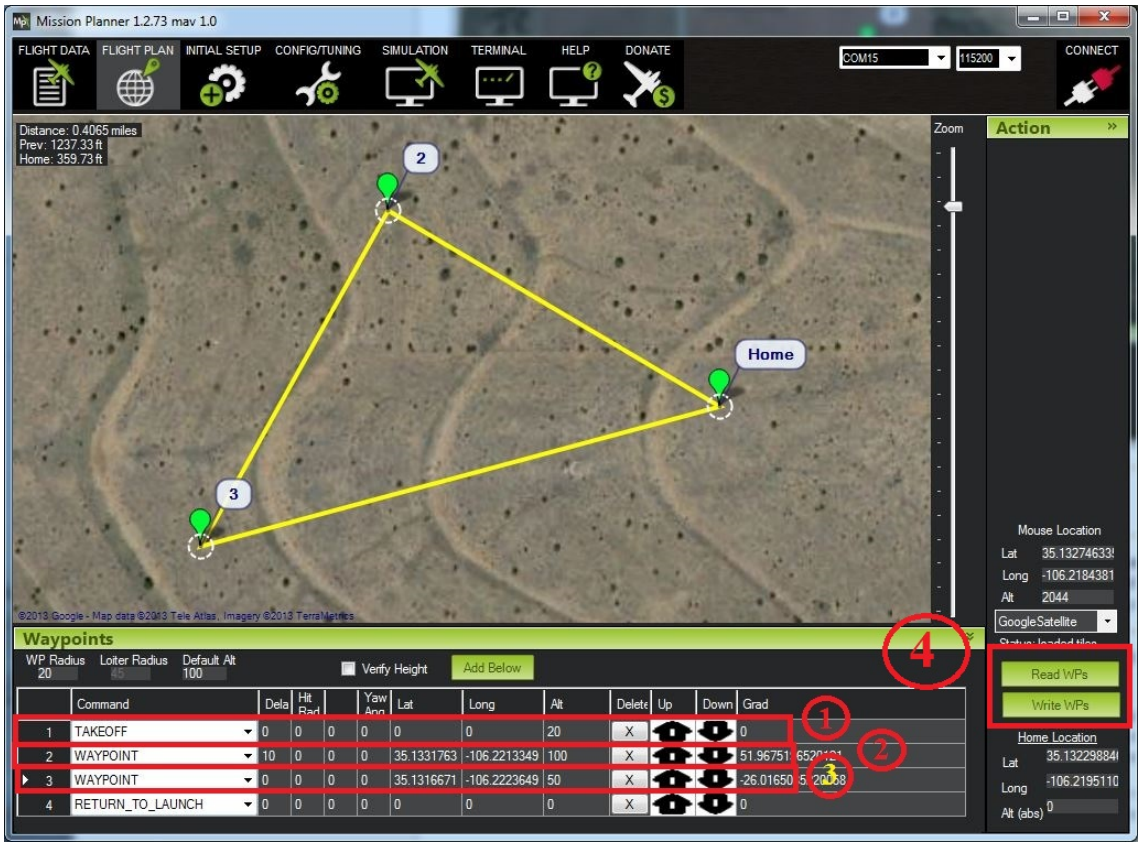
Görev için hazırlanan dosya; korkutucu ve karışık gözüksede otopilot için çok güçlü bir betik (script) dilidir. Otomatik uçuş planlama arayüzünün özellikleri Belleğe Alma (Prefetch), Izgara (Grid), Başlangıç Konumum (Home Location), Mesafe Ölçme (Measure distance)'dir.

Belleğe Alma: Harita bilgisi belleğe alınarak uçuş yapılacak alanda internet bağlantısına gerek olmadan planlama yapılabilir. Bunun için "Prefetch" düğmesine tıklanır ve klavyeden "Alt" tuşuna basılarak seçilen bölgenin çevrimdışı kullanılabilmesi için kaydedilmesi sağlanır. Prefetch düğmesi uçuş planlama ekranında harita üzerinde sağ tıklandığında Harita Araçları (Map Tools) seçeneği altında bulunmaktadır.

Izgara: Bu özellik bir çokgen (polygon) çizmeyi (sağ tık ile) ve otomatik olarak seçilen alanda yol güzergâhları belirlemeye yarar.

"Başlangıç Konumum" ayarlama: Bulunulan konumu "Home Location" olarak ayarlamak için *MP* programında *GPS* bağlantısı yapıldıktan sonra "Home Location" düğmesine tıklamak yeterlidir.

Mesafe Ölçme: İki yol güzergâhı arasındaki mesafeyi ölçme, yol güzergâhı üzerinde sağ tıklama işlemi ile yapılır. Diğer noktaya gidilerek orada sağ tıklama ile gelen menüden mesafeyi ölç (measure distance) seçeneği seçilir. Böylece bir açılır pencere (pop up menü) ile iki nokta arasındaki mesafe ölçülür.



Şekil 3.18. MP programı – Otomatik uçuş rotası belirleme arayüzü

Şekil 3.18'de görüldüğü üzere, helikopter için hazırlanan bir görev 20 metreye otomatik kalkış ile başlıyor (1 numaralı satır) ve ikinci güzergâha 100 metreye tırmanarak ilerliyor ve 10 saniye bekliyor (2 numaralı satır). Sonrasında üçüncü güzergâha 50 metreye inerek ilerliyor (3 numaralı satır) ve en sonunda kalktığı yere geri dönüyor. Ön tanımlı yükseklik 100 metre olduğu için geri döndüğündeki yükseklik 100 metre olacaktır. Dönüş noktasına ulaştığı zaman helikopter inişe geçecektir. Hazırlanan görev kalkış noktasını başlangıç konumu olarak farz edecektir.

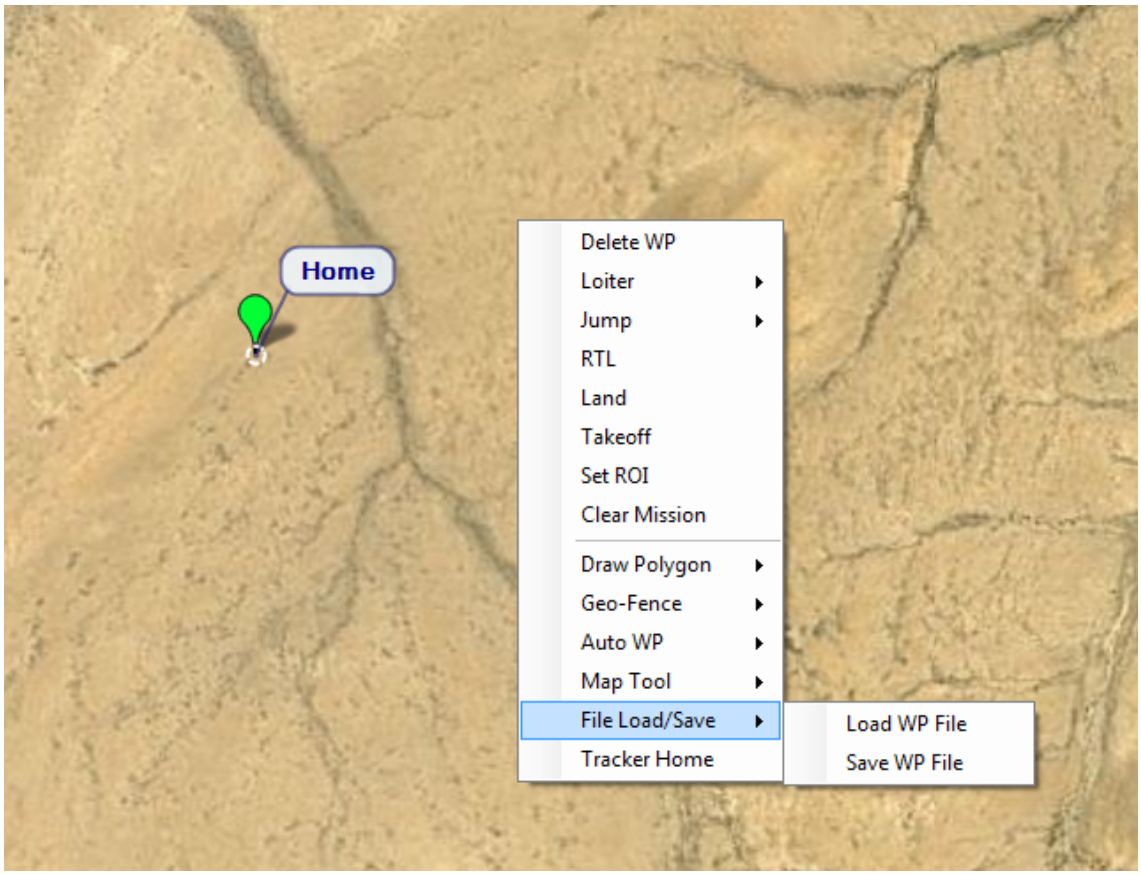
Arayüz ile yol güzergâhları ve diğer komutlar girilebilmektedir. Her satırda bulunan aşağı açılır (drop down) menülerden istenilen komut kolaylıkla seçilebilir. Sütundaki başlıklar hangi komut ne tür bilgi gerektirir gösterecektir. Enlem ve boylam (Lat.ve Lon.) bilgileri harita üzerinde tıklama ile otomatik olarak girilmiş olacaktır. Yükseklik bilgisi bulunulan konuma göre göreceli (relative) girilecektir. Yani yükseklik 100 metre olarak ayarlanmış ise helikopter bulunulan noktanın 100 metre üzerinde uçacaktır.

"Varsayılan Yükseklik (Default Alt)" değeri, yeni bir yol güzergâhı girildiğinde gelen öntanımlı değerdir. *RTL* modunda eğer "Öntanımlı Yüksekliği Koru (HoldDefaultALT)" seçeneği seçili ise helikopter öntanımlı değerde belirtilen

yüksekliğe gelecektir. Seçili değilse *RTL* moduna geçtiği yükseklik ne ise o yüksekliği muhafaza etmeye çalışacaktır.

"Yüksekliği Doğrula (Verify height)" özelliği, *MP* programının Google Earth topolojisinden gelen veriyi istenen yükseklik ile karşılaştırarak kullanması anlamına gelmektedir. Yani eğer yol güzergâhlarından birisi bir tepenin üstü ise *MP* programı ayarlanan yüksekliği tepenin yüksekliği kadar artıracaktır. Bu özellik helikopterin dağa çarpmasını engellemek için faydalıdır.

Tüm yol haritası ayarlamaları yapıldıktan sonra arayüzde bulunan "Write" düğmesine tıklanarak ArduFlyer içerisindeki *EEPROM* (Erasable Programmable Read Only Memory)'a veriler kaydedilir ve istendiğinde yine aynı arayüzden "Read" düğmesine tıklanarak yazılan uçuş planı okunabilir veya değişiklik yapılabilir (Şekil 3.18'de 4 numara ile gösterilmiştir). Bu şekilde birçok farklı görev planlanıp *EEPROM*'a kaydedilebilmektedir. Şekil 3.19'daki ekran görüntüsünde kaydedilen görevlerin nasıl yüklendiği görülebilmektedir.



Şekil 3.19. MP programı – Uçuş rotasının kaydedilmesi

Hazırlanan görevin uçulabilmesi için uzaktan kumandadan Auto Mod için anahtar ataması yapılması ve uçuş öncesinde ya da sırasında atanan anahtarın aktif edilmesi ile görevin icrası başlamaktadır.

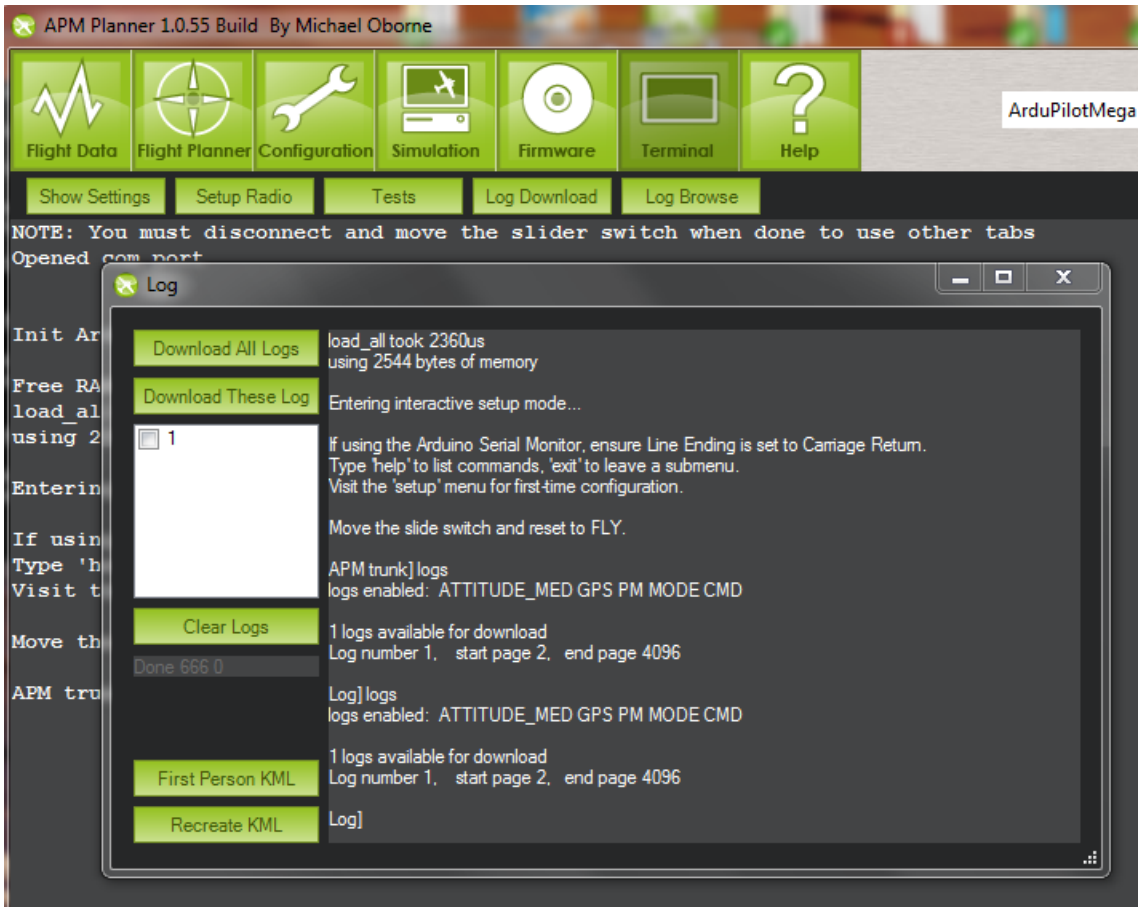
Helikopter ile otomatik uçuş yapılmadan önce Altitude Hold modu ve Loiter modunun tam anlamıyla çalıştığı test edimeli ve bu modlarda başarılı uçuş yapıldıktan sonra otomatik uçuş denenmelidir. Loiter ve Altitude Hold uçuş modunda başarılı bir uçuşun yanı sıra uçuş sırasındaki loglar incelenerek saptanan hatalar ve uçuş sırasındaki performans analizleri detaylı olarak irdelenmelidir. Otomatik uçuşta bir aksaklık çıkmaması için titreşim azaltma, motor performansını beklenen duruma getirme, Kompas ve Accelerometer gibi çok önemli donanımların beklenen değerlerde çalışması gibi isterlerin sağlanması gerekmektedir. Belirtilen bu aşamalardan sonra otomatik uçuş için tek güzergâhlı bir uçuş planlaması yapılarak denenmeli ve başarılı olundukça daha detaylı uçuş güzergâhları planlanarak aşama aşama gidilmelidir. Böylece Kırım ve yaralanma riskini azaltmak mümkün olabilecektir.

Otomatik uçuş sırasında her an uçuşun kontrolden çıkacağı unutulmamalıdır. Çünkü helikopterin uçuşu çevre etkenleri (basınç, rüzgâr, yükseltiler), donanım ve yazılım gibi birçok farklı değişkene bağlıdır. Dolayısıyla devamlı helikopterin hareketleri gözlenmeli ve bir aksaklık durumunda Stabilize uçuş moduna alarak gerekli düzeltmeler yapılmalıdır.

3.3.6. Uçuş verisi loglama

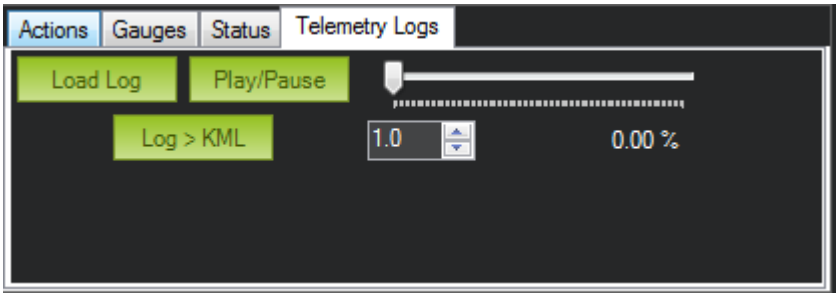
Uçuş verisini loglama için iki seçenek mevcuttur. Birincisi ArduFlyer kart üzerinde gömülü 16 Mb'lik alanı kullanmak ve ikincisi telemetri ile yer istasyonuna kaydetme işlemidir.

Dâhili log tutma: ArduFlyer üzerinde 16 Mb'lik bir alan loglama işlemi için ayrılmıştır. ArduFlyer karta *USB* ile bağlanıldığında bu loglar *MP* programının "Terminal" sekmesi altından yer istasyonuna indirilebilir. İndirilen bu log dosyaları üzerine tıklanarak "Recreate KML" seçeneği seçilerek *KML* (Key Hole MarkUp Language) formatına dönüştürülür ve Google Earth vasıtasıyla izlenebilir. Bu işlemlerin yapıldığı arayüz Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. MP programı – Log işlemleri

Telemetri ile log tutma: Telemetri yer istasyonuna bağlı ise otomatik olarak kayıt işlemine başlayacaktır. Log dosyaları *MP* programı altında "logs" isimli klasörde kaydın yapıldığı tarih saat ismi ile kaydedilmektedir. İki tür log tipi mevcuttur. Bunlar *.tlog* (telemetri log) ve .rlog (Raw log)'dur. *Tlog* dosyaları klasik analizlerde kullanılmaktadır. Fakat *.rlog* hata ayıklama (debugging) amaçlı kullanılmaktadır. ArduFlyer kartın seri bağlantısından gelen çıktıları hata ayıklama amaçlı kullanılır. *Rlog* genelde ileri düzey geliştiriciler tarafından kullanılmaktadır.



Şekil 3.21. MP programı – Telemetry log ayarları

Herhangi bir *tlog* tekrar izlenebilir ve *KMZ* (Key Hole MarkUp Language Zipped) dosyasına dönüştürülerek Google Earth üzerinden de uçuş sırasındaki olaylar gözlenebilir. Bu işlemlerin yapıldığı arayüz şekil 3.21'de gösterilmiştir.

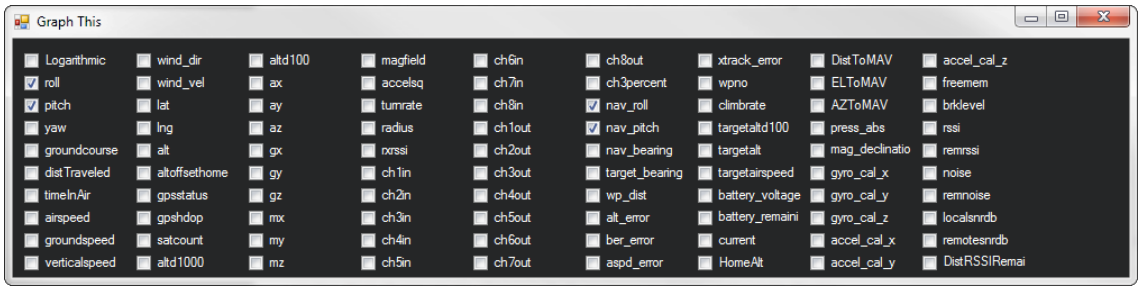
3.3.7. Algılayıcı verilerini izleme

Tüm ArduFlyer'a bağlı algılayıcıların çıktıları, Şekil 3.22'de ekranın sağ alt köşesinde 1 numara ile gösterilen "Tuning" onay kutusu tıklanarak görülebilir. Gelen menü Şekil 3.22'de 2 numara ile gösterilen arayüzdür. Bu pencereden tüm grafiksel algılayıcı verileri izlenebilir.



Şekil 3.22. MP programı – Algılayıcı verilerini izleme arayüzü

Gelen bu pencerenin üst tarafı tıklanarak (2 yazan yerin üstündeki siyah alan) Şekil 3.23'deki arayüz görüntülenecektir. Bu ekranda tüm algılayıcılar ve ölçülebilen tüm seçeneklerin bir listesi mevcuttur. Hangi verinin görüntülenmesi isteniyorsa o verinin yanındaki onay kutusunun tıklanması yeterlidir.

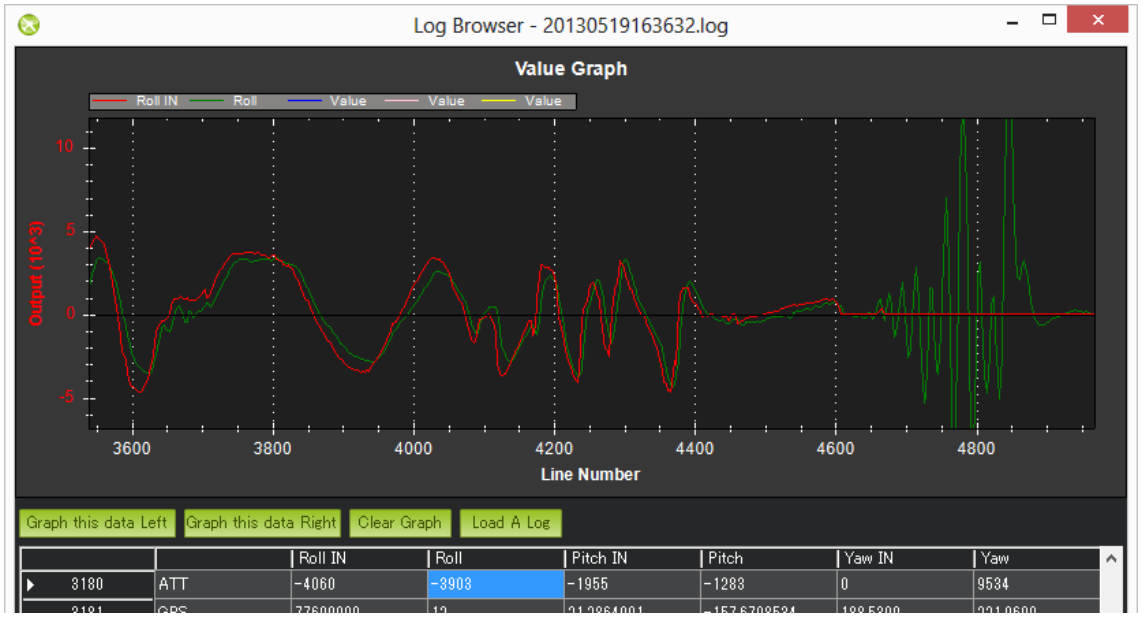


Şekil 3.23. MP programı – Ölçülebilen seçeneklerin listesi arayüzü

3.3.8. Log analizi ile problemleri saptama

Log analizi uçuş sonrası durumu tüm açıklığıyla ortaya koymaktadır. Bu analizlerin doğru olarak yapılabilmesi, kaza Kırımı önleyebildiği gibi bir sonraki uçuşun çok daha başarılı olmasını sağlayabilmektedir. Log analizleri ile saptanabilenler; Mekanik hatalar, Titreşim Ölçme, Kompas 'taki manyetik sapmaların tespiti, *GPS* uydu kilitleme kayıpları ve Güç kayıplarıdır.

Mekanik hatalar: *ESC* hatalarını da içeren birçok mekanik hata, loglar vasıtasıyla saptanabilmektedir. Bu hatalar *istenen*-Roll/Pitch açıları ile *elde edilen*-Roll/Pitch açılarını karşılaştırarak bulunabilmektedir. İki değer arasındaki tutarsızlık Şekil 3.24'deki ekran görüntüsünde görüldüğü gibi ortaya konabilmektedir.



Şekil 3.24. MP programı – Roll/Pitch log analizi

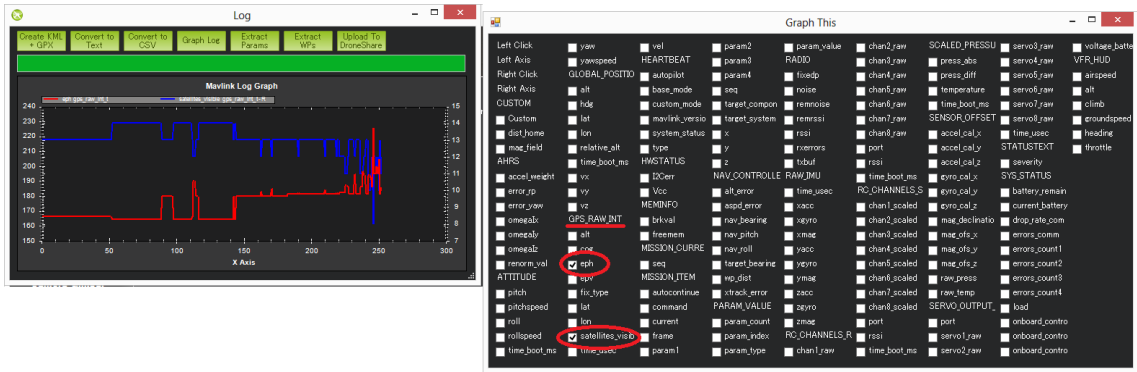
Hava aracının gerçek Roll hareketi çok yakın olarak istenen Roll (roll-in) hareketini takip etmektedir. Fakat log'un ilerleyen bölümünde bir anlık sapmalar olmuştur. Bu mekanik bir hatadan çok yazılımsal bir hata olarak yorumlanır.

Titreşim ölçme testi: Bu test Entegrasyon bölümü altında detaylı olarak incelenmiştir.

Kompas'ın manyetik sapma tespiti: Bu test Entegrasyon bölümü altında detaylı olarak incelenmiştir.

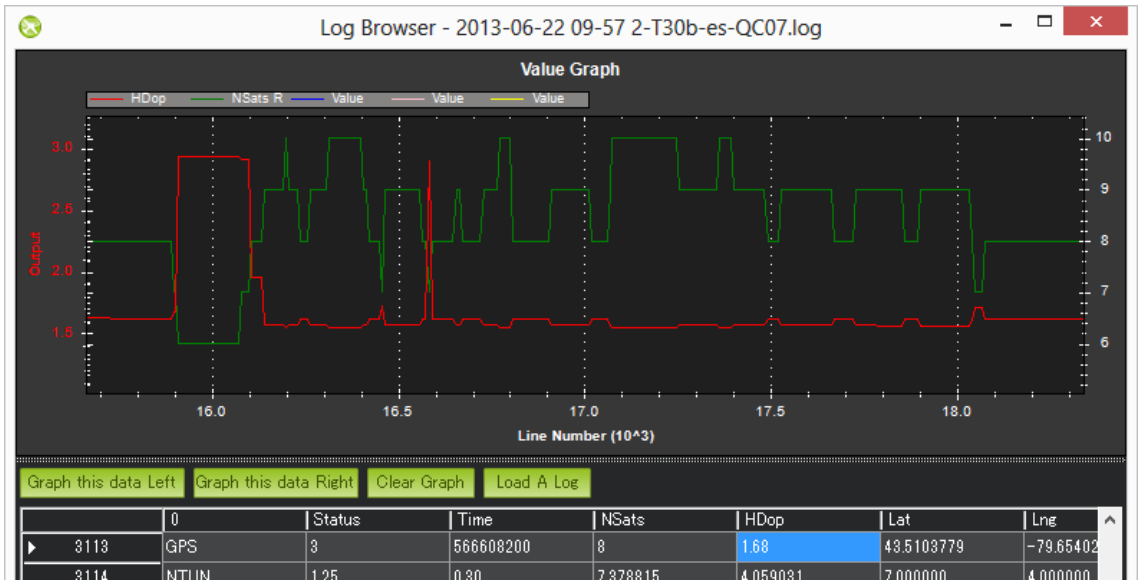
GPS uydu kilitleme kayıtları: Otopilot modları *GPS* kilitlemesine ihtiyaç duyduğu için *GPS*'in bulduğu uydudaki kayıplar ArduFlyer kartın bir anda kendisini yanlış yerde zannetmesine sebep olabilir. Bu uydu kayıpları ise yine *tlogs* ve *dataflash* log dosyaları sayesinde rahatlıkla gözlenebilmektedir. Uydu kayıplarının gözlenmesi *HDOP* (Horizontal Dilution of Precision) değerinin artması anlamına gelmektedir.

Eğer *tlogs* grafiği kullanılarak uydu durumu gözlenmek isteniyorsa Şekil 3.25'de sağ pencerede gösterildiği gibi GPS_RAW_IT grubunun "eph" değeri seçilmelidir. Burada *HDOP* değerinin 1,5 (150 olarak görüntülenir) veya daha altı bir değer olması çok iyi bir *GPS* kilitlemesi anlamına gelmektedir. Bu değer 200 ve üzerinde ise *GPS* kötü bir pozisyonlama yapıyor denilebilir. Diğer bir deyişle saptanan uydu sayısının dokuzun altında olması iyi değildir.



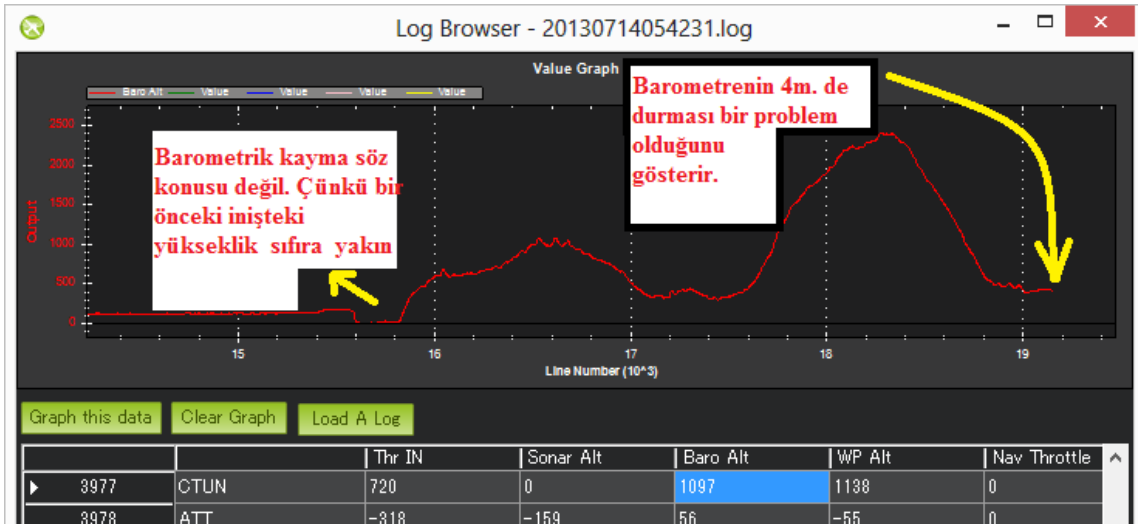
Şekil 3.25. MP programı – GPS log analiz arayüzü

Loglar içindeki *GPS* mesajlarında *HDOP* ve *NSats* (Number of Satellites) adlarında iki kolon bulunmaktadır. Ulaşılması istenen *HDOP* değerinin ikinin altında ve *NSats* değerinin dokuz ve üstünde olması beklenmelidir. Şekil 3.26'da bu değerlerin kontrol edildiği arayüz gösterilmiştir.



Şekil 3.26. MP programı – GPS log analizi

Güç kayıpları: 3DR™ (Ticari bir markadır) ve benzeri güç modülleri birçok kullanıcı için kullanımı kolay ve güvenilir bir araç olmuştur. Kullanılan bu tip güç kaynaklarının artması ile beklenmeyen sorunlar ile karşılaşılaşılan kullanıcı raporlarında ciddi bir düşüş sağlanmıştır. Fakat nispeten az da olsa bir takım sorunlar oluşmaktadır. Bu tip sorunlar logdan kolayca anlaşılmaktadır. Eğer helikopter havada iken log bir anda sonlanıyorsa bu durum güç kaybı yaşanmış olabileceğini göstermektedir. Şekil 3.27'deki ekran görüntüsünde de bu durum açıklanmıştır.



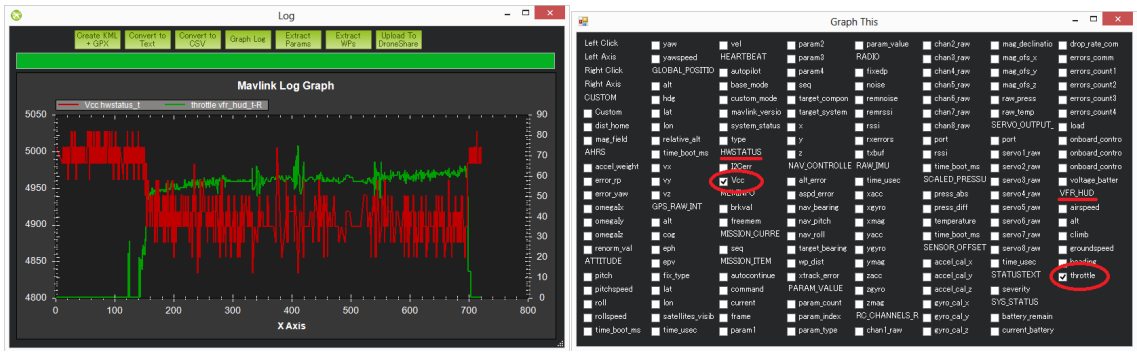
Şekil 3.27: MP programı – Barometrik yükseklikölçer log analizi(URL:6)

Şekil 3.27'de barometrik yükseklikölçer kaytlarında saptanan beklenmedik sonlanmanın sebebi detaylı irdelenmelidir. Bunun için kart üzerindeki voltajda yaşanan değişiklik incelenmiştir. Voltaj değişikliği bir güç problemi olabileceğinin bir işaretidir.

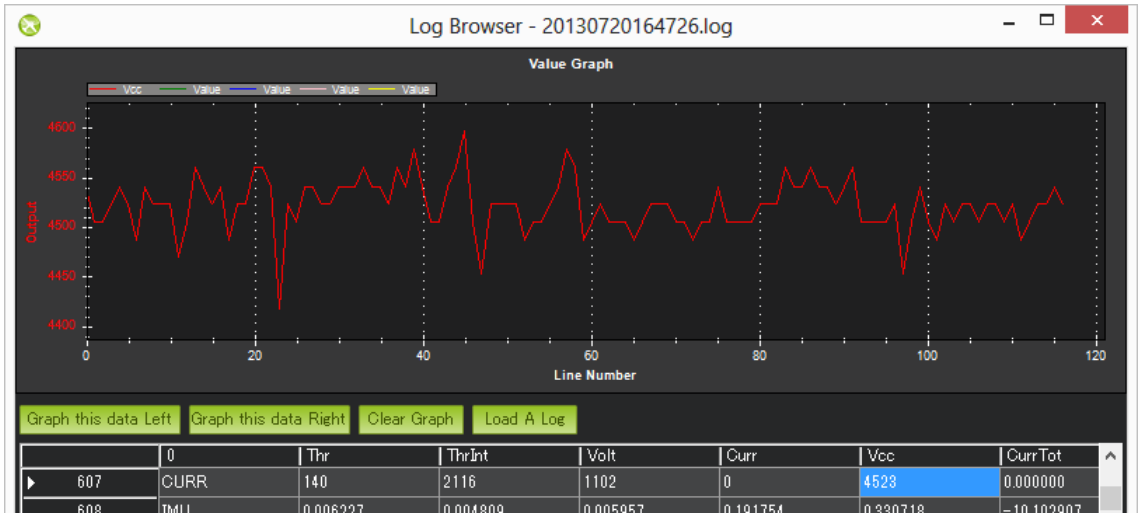
0.10 ila 0.15 arası voltaj sapması normaldir. Bu değerlerin üstündeki farklılıklar gücü paylaşan cihazlar ile ArduFlyer kart arasında bir dalgalanma olduğunu gösterir. Bu durum beklenmedik hatalara sebep olabilir. Kart voltajı her iki log dosyasından da DataFlash CURRENT mesajındaki *VCC* (Voltage Common Collector) kolonu ve *Tlog* içindeki HwSTATUS bölümündeki *VCC* kolonu seçilerek grafik şeklinde incelenebilir.

Şekil 3.28'de ekran görüntüsünde sol pencerede görüldüğü gibi kartın voltajı gaz açıldığı zaman 0.15 voltluk bir düşüş yaşıyor. Bu iyi bir şey olmasada 0.15 voltluk bir kayıp göz ardı edilebilir. Şekil 3.29'daki ekran görüntüsünde ise gelişigüzel voltaj değişiklikleri gözükse de 0.15 volt sınırını aşmamıştır ve göz ardı edilebilir.

Barometrik yükseklikölçer log kayıtlarında saptanan beklenmedik sonlanma ArduFlyer kart üzerindeki voltajdan değildir denebilir. Kullanılan güç modülü en güvenli güç modüllerinden olsa da bu tip hatalar kart ve yazılım halen geliştirilme aşamasında olmasından dolayı görülebilmektedir.



Şekil 3.28. MP program – ArduFlyer kart güç log analizi



Şekil 3.29. MP programı – ArduFlyer kart voltaj analizi

3.4. X–Plane

X–Plane, sanal uçuş sistemi oluşturmayı sağlayan bir simülasyon programıdır. İncelenen sanal uçuş sistemleri arasında en kolay uygulanabilir olan program X–Plane programıdır. Bu program aslında bir simülasyon oyunu olmakla beraber *HIL* sistemini desteklemektedir. *HIL*, ArduFlyer kartın bilgisayar ortamında modellenmesine gerek kalmaksızın yazılımsal olarak modelleme yerine kartın kendisini bilgisayara tanıtarak kullanma yöntemine verilen isimdir.

HIL yöntemi ile otomatik uçuş yapılmasını sağlayan kartın test edilmesi için kartın bilgisayara bağlanması ve simülasyon programı olan X–Plane'e tanıtılması gerekmektedir. Bu özellik sayesinde simulasyon programı, ArduFlyer kart ile entegre çalışarak kartın gerçek uçuş yaptığını sanması için sahte veriler göndermektedir (Garcia, 2008). Böylece MATLAB'ın alt fonksiyonu olan simulink'te ArduFlyer kartın modellemesinin yapılması gibi uzmanlık gerektiren bir işlem adımı kolaylıkla aşılabilmektedir.

HIL yöntemini kullanmak için FlightGear, AeroSimRc, JSBSim ve X–Plane gibi *MP* tarafından desteklenen 4 simulasyon programı mevcuttur. X–Plane simülasyonu daha geniş veri sağlaması, yapılacak sanal uçuşun dünya üzerindeki herhangi bir nokta üzerinden seçilmesi ve gerçek *GPS* verileri sağlaması kolaylığından dolayı seçilmiştir. Böylece gerçek uçuş yapılarak GPS verisi toplamak yerine, sanal uçuş yaparak o bölgedeki *GPS* verisi toplanabilmektedir.

X–Plane isimli simulasyon programı bilgisayara bağlanan ArduFlyer kartı tanımakta ve karta bağlı olan kumandadan gelen komutlara göre simulasyon yapabilmektedir. Program ArduFlyer kartın uzaktan kumanda vasıtası ile aldığı giriş verilerini (Pitch, Roll, Yaw, Throttle) okuyabilmekte ve ArduFlyer kartta bulunan algılayıcıları simüle ederek sanal ortamda uçuş gerçekleştirebilmektedir. Bu olanaklar model helikoptere yapılan tüm değişiklik ve geliştirmelerin gerçek uçuş öncesi test edilebilmesini sağlamaktadır.

HIL için kullanılmak üzere seçilen X–Plane simulasyonu vasıtası ile uçuşa etki eden ArduFlyer parametrelerinin hangileri olduğu, bu parametrelerin ne kadar hassas ve uçuşa etkili olduğu gibi sonuçlar maddi kayıp ya da yaralanma riski olmadan öğrenilebilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmanın nihai hedefi, otonom bir model helikopteri kurulumundan entegrasyonuna ve otonom uçurmasına kadar oluşturmak ve aşamaları detaylı olarak çalışmada kapsamak olmuştur.

Otonom bir *İHA;* hava aracı, haberleşme linki ve yer kontrol istasyonu ana bileşenlerinden oluşmaktadır. Otonom bir *İHA*'nın geliştirme aşamaları ise çalışmanın ilerleyen bölümlerinde detaylı olarak incelenmiş ve ana bileşenlerin birbiri ile entegrasyonu yapılarak kalibrasyon ve testlere tabi tutulmuştur.

4.1. Hava Aracının Temin Edilmesi

Piyasada bulunan birçok hava aracı hakkında araştırma yapılmış ve çok Palli olarak tabir edilen multikopterler ile geleneksel helikopterler arasında geleneksel helikopterlerin çalışmaya daha uygun olduğu görülmüştür. Geleneksel helikopterin seçilmesindeki amaçlar; gerçek helikopterler ile aynı çalışma prensibi ile çalışmasından dolayı gerçek helikopterler üzerinde de uygulama alanı bulabilmesi, multikopterlere oranla helikopterlerin etikili manevra kabiliyeti, uzun uçuş süresi ve daha yüksek hızlara ulaşabilmesidir.

Geleneksel helikopterlerin otomatik uçurulması üzerine multikopterlere oranla daha az yazılımın geliştirilmiş olması ve uçurmasının daha zor olması da çalışmanın geliştirme süreci açısından olumsuz etkenler olarak sayılabilir. Şekil 4.1'de tez çalışmasında uygulama amaçlı kullanılan geleneksel model helikopter Trex 700E gösterilmiştir.



Şekil 4.1. T-REX 700E model helikopter (helikopterin havada paller dönerken ki uzunluğu 165 cm'dir.)

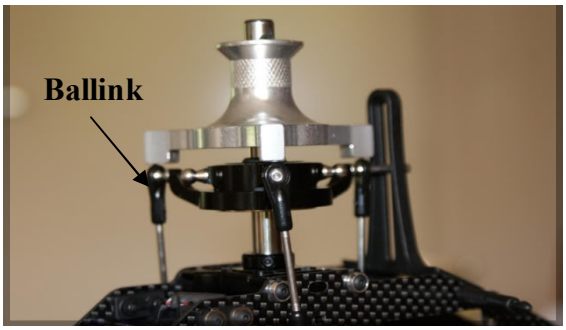
4.1.1. Kurulum

Helikopterin kurulumu, monte edilmemiş olarak geldiği için yaklaşık iki hafta sürmüştür. Kurulum sırasında milimetre cinsinden hassas ölçümler yapmak ve birçok farklı parçayı birbirine entegre etmek gerekmektedir. Servo, Gyro ve *ESC* gibi elektronik ekipmanların montaj ve kurulumu da yapıldığı için teknik/elektronik bilgisi ve altyapısı gerekmektedir.

Kurulum; helikopter ile gelen kurulum el kitabını adım adım izleyerek yapılmaktadır. Burada uçuşa direk etkili ve hassas yapılması gereken Servo, Swashplate ve Ball link ayarlarına azami oranda dikkat edilmelidir. Ball link diye tanımlanan ve Servolardan aldığı komutları ana Pal ve denge çubuğuna ileten çubukların kurulum kitapçığında belirtildiği gibi milimetrik ve tam doğru olarak ayarlanması gerekmektedir. Ball link montajının bitmesinden hemen sonra Şekil 4.2.c'de görülen yön verici hareketli levha tesviyecisi (Swashplate leveler) ile Şekil 4.2.a'da görülen yön verici hareketli levha (Swashplate)'nın Şekil 4.2.b'de görüldüğü gibi her üç Ball link'inde üst kısmına temas ediyor olması beklenmelidir.



Şekil 4.2.a. Swashplate



Şekil 4.2.b. Ball link



Şekil 4.2.c. Swashplate tesviyecisi

Montaj sırasında dikkat edilmesi gereken noktalardan birisi de Swashplate'e yön veren Servoların monte edilirken dikkatle ayarlanması ve Gyro ayarlarının doğru yapılmasıdır. Helikopter üzerinde kullanılan elektronik materyaller; Servo, Gyro, Alıcı / Verici (*R/T*), Fırçasız motor ve *ESC*'dir.

Helikopteri almanın yanı sıra uçuşa hazır bir sistem (RTF - Ready-to-Fly) oluşturmak için piller, şarz cihazı ve şarz cihazına uyumlu bir güç kaynağı almak gerekmektedir. Böyle bir sistem oluşturmak için fiyat ise çok değişkendir. Alınan parçaların kalitesinden *İHA*'nın büyüklüğüne ve *İHA* ile kullanılacak ek ihtiyaçlara göre birçok farklı değişken mevcuttur.

Kurulum sırasında gereken alet/edavat ve ilk uçuş öncesi tüm kontrolleri yapmak için gereken kontrol ekipmanları havya, şarj unitesi, voltmetre, altıgen (Hexagonal) tornavida, Pal denge ölçer (Blade Balancer), Pal takip ölçer (blade tracking) ve Pal açıölçer (Pitch gauge)'dir. Bu ekipmanların ayrı ayrı satın alınması gerekir, alınan hava aracı ile set olarak gelmemektedir.

Havya: *LiPo* pillerin *ESC*'ye bağlanması ve güç ünitesinin Servoları beslemesi için xt – 60 konnektörleri kullanılmştır ve kablo – konnektör bağlantıları lehimlenerek bağlanmıştır. Hava aracı ve pillerin bağlanması sırasında bu ve benzeri birçok bağlantı için ısı ayarlamalı iyi bir havya seti ve kaliteli bir lehim gerekmektedir.

Şarz ünitesi: Helikopterde kullanılan birçok pil için gereken şarz cihazları doğru akımla çalışmaktadır. Bu sebeple iyi bir şarz ünitesinin yanı sıra bu şarz ünitesini çalıştırmak için *AA – DA* (Altrnatif Akım – Direk Akım) çeviricisi olan 30 Amper ve 300 Watt'lık bir güç kaynağı alınması gerekmektedir. Şekil 4.3.a'da şarz ünitesi ve Şekil 4.3.b'de güç kaynağı görülmektedir.



Şekil 4.3.a Şarz ünitesi



Şekil 4.3.b. Güç kaynağı

Voltmetre: Çalışmanın birçok aşamasında algılayıcıların, ArduFlyer kartın, pillerin voltaj ve akım durumu hakkında bilgi edinilmesi gerekmektedir. Bu sebepten hem volt hem de akım ölçebilen bir voltmetre alınması gerekmektedir.

Altıgen (Hexagonal) tornavida: Birçok hava aracında olduğu gibi model helikopterinde neredeyse tüm vidaları altıgen (hexagonal) vida kullanılarak monte edilmektedir. Bu bağlantıları yapmak için hexagonal başlı vidanın ölçeğine gore Alyan alınmalıdır. Alyan'ın kalitesi vidanın ya da Alyan'ın sıyrılmaması için önemlidir.

Pal denge ölçer (Blade Balancer): Helikopterde uçuşu sağlayacak gücü yaratan asıl etken ana Pallerdir. Ana Pallerin ölçü ve ağırlıklarının bire bir eşit olması, titreşim azaltma ve daha kontrol edilebilir bir uçuş için çok önemlidir. Uçuş başarısını sağlamak için ise Pal Leveler alarak Pallerin ağırlıklarını ve denge noktalarını eşitlemek gerekmektedir. Dengesizlik saptanması durumunda, dengesizliği gidermek için hafif olan Pal'e denge noktasını da gözeterek denge ve ağırlık eşitlemesini sağlayana kadar selebant veya benzeri yapışkanlar eklenmelidir. Şekil 4.4'de Pal denge ölçer gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Pal denge ölçer

Pal takip ölçer (Blade Tracking): Paller helikopter üzerinde dönerken tam olarak aynı hizada dönmesi titreşim azaltma ve sağlıklı bir uçuş için kritik bir önem arz etmektedir. Bu hizalamayı sağlayabilmek için Şekil 4.5.a'da görüldüğü gibi yapışkan renkli bir bandın Pallerden birine takılması ve Paller dönerken göz hizasında bakılarak hizalı olup olmadığı kontrol edilmelidir. Pallerin olması gereken hizası Şekil 4.5.b'de gösterilmiştir. Hizalı olmayan Pallerin hizalanması için Pallere bağlı olan ilgili Ball link diğer Palle aynı hizaya gelene kadar uzatılmalı ya da kısaltılmalıdır.



Şekil 4.5.a. Pal takibi için renkli band



Şekil 4.5.b. Pal takibi kalibrasyonu

Pal açı ölçer (Pitch gauge): Pallerin gaz çubuğunun konumuna göre sahip olması gereken açılar vardır. Bu açılar gaz çubuğu en düşük seviyedeyken –11, orta seviyedeyken 0, en yüksek seviyede iken ise +11 değerlerini almalıdır.

Fakat helikopterden beklenen uçuş karakteristiğine göre bu değerler değişebilir. Bu değerlerin daha uygun değerler ile değiştirilmesi için açıların nasıl işlev gördüğü anlaşılmalı ve model helikopter uçuşu hakkında deneyim kazanmak gerekmektedir. Şekil 4.6'da Pal açı ölçer'in temsili resmi verilmiştir.



Şekil 4.6. Pal açı ölçer

4.2. Kontrol kartı ve algılayıcıların temin edilmesi

Piyasadan temin edilebilen programlanabilir kontrol kartları mevcuttur. Bu kartlardan en bilineni Arduino'dur. İlk olarak İtalyan firması olan Smart Project tarafından üretilmiştir ve Amerikan firması olan SparkFun Elektronik şirketi tarafından Arduino markası altında üretilmektedir. Arduino kontrol kartının farklı markalar ardında birçok benzeri bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan kart ise bu kopyalardan biri olan ArduFlyer 2.5'dir. Kart, programlanabilmesi ve birçok algılayıcıyı desteklemesi açısından *İHA*'ların otomatikleştirilmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır (Schmidt,2011). Bu tip kartlar ve desteklediği algılayıcılar kolayca temin edilebilmektedir (Margolis, 2011).

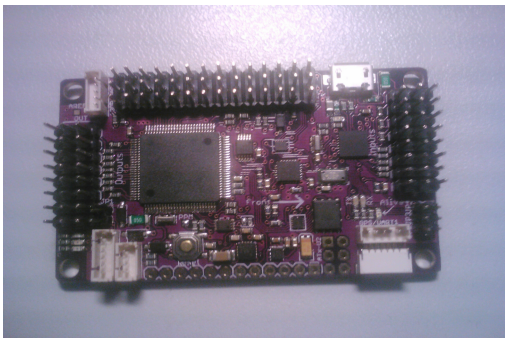
Tablo 4.1'de açık ve kapalı kaynak kodlu otomatik uçuş sistemleri verilmiştir (Çakır, 2011).

Tablo 4.1. Otonom uçuş kartları (Çakır, 2011) ve ArduFlyer 2.5'in konumu

Ürün Adı	**İşlemci**	**Hafıza**	**Algılayıcılar**	**Açık/Kapalı Kaynak Kodu**
SPB400 & MNAV (Cossbow)	400MHz (Intel PXA255)	64 Mb (sd) 32 Mb (flash)	3-axis accelerometers 3-axis angular rate sensors 3-axis magnetometers altitude sensor airspeed sensor, GPS	Kaynak Kodu Açık
MP2028xp (MicroPilot)	N/A	N/A	y-accelerometer roll, pitch, yaw gyros altitude sensor airspeed sensor, GPS	Kaynak Kodu Kapalı
Kestrel (Procerus)	29MHz (Rabbit 3-axis angular rate sensors RCM 3100)	512K	3-axis accelerometers 3-axis angular rate sensors 3-axis magnetometers altitude sensor airspeed sensor, GPS	Kaynak Kodu Kapalı
Piccolo LT (Cloud Cap Technology)	40 MHz (Motorola MPC555)	448K(flash) 26K(sram)	3-axis accelerometers 3-axis angular rate sensors static pressure sensor dynamic pressure sensor GPS	Kaynak Kodu Açık
UNAV 3500 (UNAV,LCC)	16-bit	256K(flash)	inertial measurement unit barometer airspeed sensor, GPS	Kaynak Kodu Açık
PhoenixAX (O-Navi)	32 MHz (Motorola MMC 2114)	32K (ram) 256K (flash)	3-axis accelerometers 3-axis angular rate sensors static pressure sensor dynamic pressure sensor GPS	Kaynak Kodu Açık
Multiwii	20MHz, ATMega 328 P-AU	32 K(ram) 32K(flash)	3-axis gyro, accelerometers magnetometer high-performance barometer Barometric pressure sensor GPS	Kaynak Kodu Açık
NAZA	180MHz, ARM Cortex M3	64K (ram) 512(flash)	inertial measurement unit barometer airspeed sensor,GPS	Kaynak Kodu Kapalı
ArduFlyer 2.5	66MHz, 32-bit ATMEGA2560, 32U-2	8K(ram) 256K(flash)	3-axis gyro, accelerometers magnetometer high-performance barometer Barometric pressure sensor GPS	Kaynak Kodu Açık

Bu çalışmada, model hava araçları için ilk geliştirilen kartlardan biri olan Arduflyer kontrol kartının 2.5 versiyonu kullanılmıştır. Çünkü bu kart üzerine geliştirilen açık kaynak kodlu yazılımlar diğer kartlara göre oldukça fazladır. Buna ek olarak, kartın kullanımının yaygın olması daha istikrarlı ve güvenli olmasını beraberinde getirmektedir.

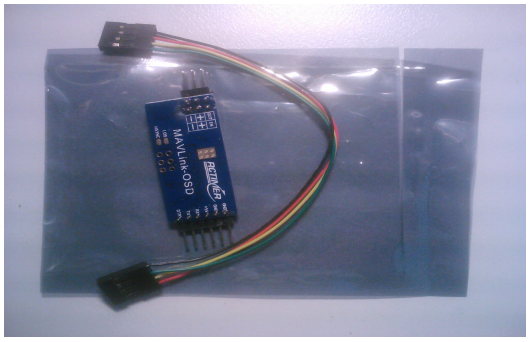
Tez kapsamında, Şekil 4.7.a'de gösterilen kontrol kartının yanı sıra karta entegre edilen elektronik donanımlar; kamera (Complementary Metal Oxide Semiconductor - *CMOS*), Şekil 4.7.b'da gösterilen telemetri (Yer istasyonu ile Helikopter arasında çift yönlü seyrüsefer bilgi alışverişini sağlamaktadır.), Şekil 4.7.c'de gösterilen veri aktarımı için verici (*OSD*), Şekil 4.7.ç'de gösterilen voltaj/akım algılayıcı, Şekil 4.7.d'de görülen harici kompas ve Şekil 4.7.e'de gösterilen *GPS* modülüdür.



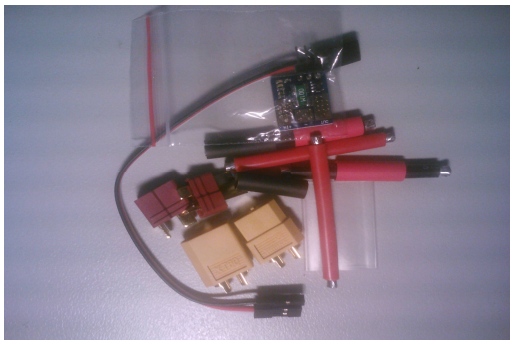
Şekil 4.7.a. Mikro kontroller – Kontrol kartı



Şekil 4.7.b. Hava aracı üzerinde kullanılan Alıcı/Verici



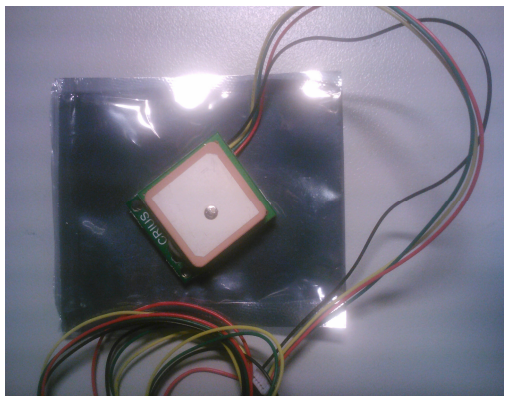
Şekil 4.7.c. Görüntü aktarımını kart üzerinden yapmayı sağlayan Mavlink - *OSD*



Şekil 4.7.ç. Voltaj & Akım algılayıcı



Şekil 4.7.d. Harici Kompas



Şekil 4.7.e. GPS modülü

4.3.Yer İstasyonunun Kurulması

Yer istasyonu; kamera görüntüsün eş zamanlı izlenebilmesi için *LCD* (Liquid Crystal Display) ekran, verinin yer istasyonuna aktarılması için alıcı/verici, güç ünitesi, *İHA*'nın seyrüsefer bilgilerinin alınması ve gerekirse işlenebilmesi için dizüstü bilgisayardan oluşmaktadır. Çalışma kapsamına göre yer istasyonu bileşeni sayıları değişebilmektedir. Kullanılan yer istasyonu donanımları Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Yer istasyonu

4.4. Programlama

Çalışmada, ArduFlyer kartın otomatik uçuşu destekleme ve geliştirme için programlanması planlanmıştır. Bunun için öncelikle ArduFlyer kartın yazılım geliştirme ortamı incelenmiştir. ArduFlyer kart, Arduino yazılım geliştirme ortamında geliştirilmiştir ve altyapısında C++ kullanmaktadır.

Arduino programları, C++ ile Arduino *IDE* (Integrated Development Environment) platformu kullanılarak yazılmaktadır. Arduino *IDE* daha kolay kodlama yapılmasını sağlayan Java dilinde yazılmış bir platformdur (McRoberts, 2013). Programlama dili ile önceden geliştirilmiş hazır projelerin bulunduğu (wiring projects) bir kütüphane kullanarak kolay bir geliştirme ortamı sunulmaktadır (Banzi, 2011). Arduino *IDE* ile yazılan temel yazılım ise *MP* programıdır. Bu program vasıtasıyla ArduFlyer kartın tüm ayarları kolaylıkla yapılabilmektedir.

4.5. Entegrasyon

Entegrasyon süreci, tez çalışmasını geliştirme sürecinde en uzun zaman alan ve karışık bir süreç olmuştur. Karmaşıklığı azaltmak için entegrasyon, aşağıdaki başlıklar altında ikili bölümlere ayrılmıştır:

- Helikopter – Uzaktan Kumanda Entegrasyonu
- ArduFlyer Kart – Yer İstasyonu Entegrasyonu
- ArduFlyer Kart – Helikopter Entegrasyonu
- ArduFlyer kart – X–Plane Simulasyon Entegrasyonu

4.5.1. Helikopter – Uzaktan kumanda entegrasyonu

Bu süreç helikoptere uzaktan kumanda alıcısını bağlamayı içermektedir. Süreç, alıcının ilgili portlarına helikopter üzerindeki Servolar ve *ESC*'yi bağlamaktan ibarettir. Şekil 3.3'de bu bağlantı gösterilmiştir. Kullanılan uzaktan kumanda ve alıcı tipine göre Servolar ve *ESC* bağlantı sırası değişiklik gösterebilmektedir.

4.5.2. ArduFlyer Kart – Yer istasyonu entegrasyonu

Bu entegrasyon, ArduFlyer kartın yer istasyonu olarak kullanılacak bilgisayara bağlanarak gerekli sürücülerin kurulması ve kartın programlanma işlemleri olarak

özetlenebilir. Yer istasyonu; "Mission Planner" programının kurulu olduğu bir bilgisayar, bilgisayarı helikopter üzerindeki ArduFlyer karta bağlayabilen telemetri (veya *USB* kablo) ve uzaktan kumandadan oluşmaktadır. Kullanılacak bilgisayar, testler sırasında kolaylık için taşınabilir bilgisayar olarak tercih edilmiştir. ArduFlyer kartın öncelikle yer istasyonu ile entegrasyonu gerekmektedir. Çünkü kartın kullanılacağı platform (helikopter, multikopter vs..) ve gerekli parametre ayarları yapılmadan hava aracına takılması söz konusu değildir.

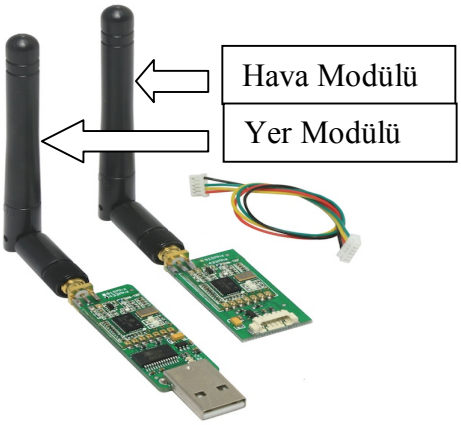
ArduFlyer kart ve bilgisayar arasında bağlantı yapılabilmesi için öncelikle gerekli sürücüler, kullanılan işletim sistemine uygun olarak yüklenmelidir. Diğer bir gereksinim ise *MP* programının kurulması ve ArduFlyer kart ile *MP* arasındaki bağlantının kurulmasıdır.

Bilgisayar ve ArduFlyer kartın bağlanabilmesi için *USB* kablo bağlantısı ya da telemetri (kablosuz) bağlantı olmak üzere iki yol mevcuttur. *USB* kablo bağlantısı ile bağlantı ve port seçip bağlanma işlemi Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Telemetri bağlantısında tek fark, bilgisayar tarafından telemetriye atanan portun seçilmesi ve bağlantının bu port üzerinden yapılmasıdır.

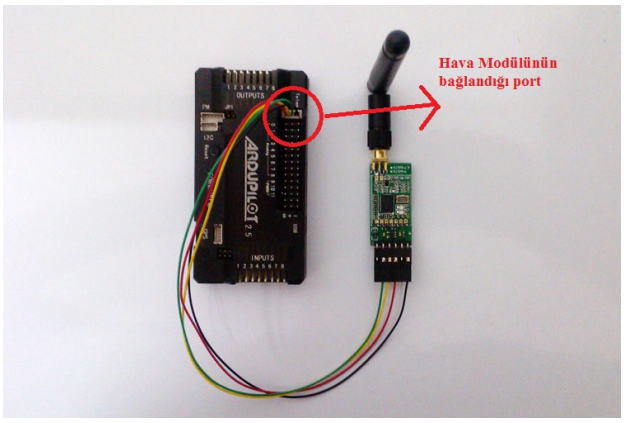


Şekil 4.9. MP Programı – ArduFlyer kart bağlantısı

Telemetri, Şekil 4.10.a'da görüldüğü gibi hava (air) ve yer (ground) modülü olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Yer modülü, yer istasyonuna *USB* portu vasıtasıyla takılmakta olup, hava modülü ArduFlyer kart üzerine Şekil 4.10.b'de görülen porta takılmakta ve 5V ile beslenmektedir.



Şekil 4.10.a. Telemetri



Şekil 4.10.b. ArduFlyer kart bağlantısı

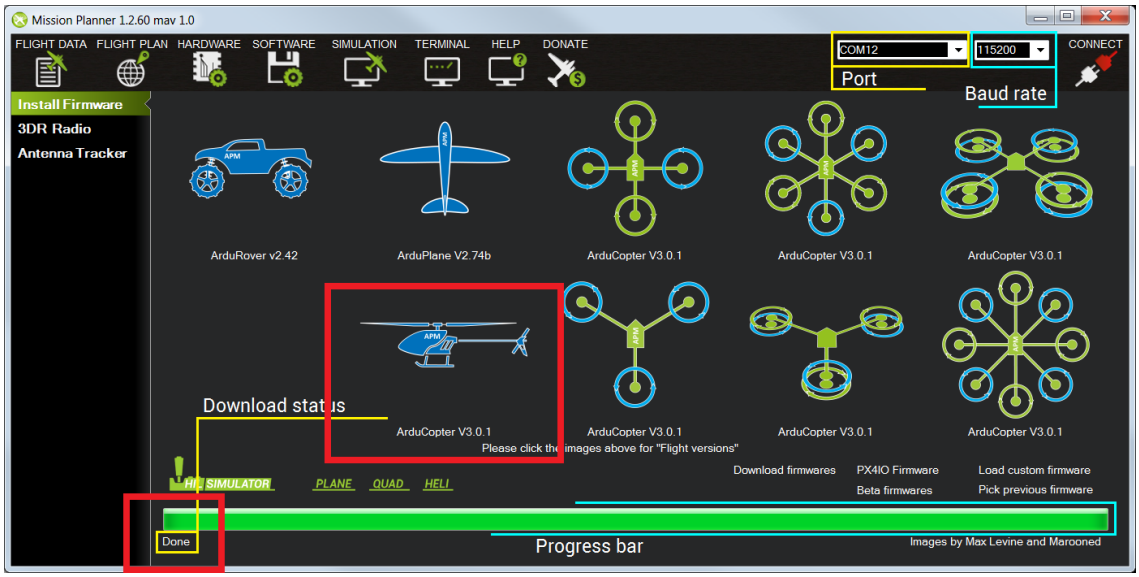
4.5.3. ArduFlyer – Helikopter entegrasyonu

ArduFlyer kart ile helikopter arasındaki entegrasyon öncelikle fiziksel olarak kartın helikoptere sabitlenmesi işlemidir. Bu işlem çok kritiktir. Kartın yerleştirilmesinde dikkat edilmesi gereken unsurlar; titreşimin en az olduğu yere yerleştirilmesi (Helikopterde bu yer ana Pal şaftının altıdır), mevcut titreşimin azaltılması için elastik bir zemin üzerine yerleştirilmesi, kartın manyetik alandan en az etkilenen bir yere monte edilmesi ve doğru yönde monte edilmesidir (Kartın ön ve arka yönü helikopter ile aynı olmalıdır).

Yukarıdaki unsurlardan her biri uçuş başarısı ve uçuş dinamikleri üzerine direk etkilidir. Bu maddeler yeterli hassasiyet ile yapılmaz ise uçuş öncesi yapılan titreşim, manyetik alan gibi birçok test başarısız olacaktır.

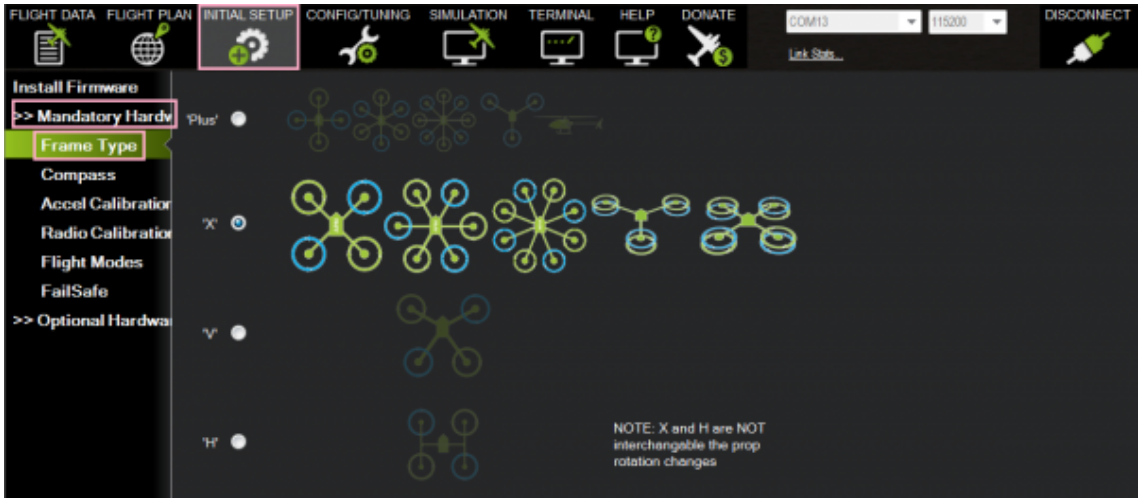
ArduFlyer kartın helikopter ile ilgili tüm ayar ve kalibrasyon'unu yapabilmek için bilgisayara bağlamak ve *MP* isimli programı kurmak gerekmektedir. *MP* programının özellikleri Mission Planner başlığı altında detaylı olarak incelenmiştir.

ArduFlyer kart ile yer istasyonu arasında fiziksel bağlantı kurulduktan sonra ArduFlyer kartın hava aracını yönetebilmesi için gerekli olan hava aracı yazılımı kurulmuştur. İlgili işlemlerin yapıldığı arayüz Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. ArduFlyer karta hava aracı belleniminin yüklenmesi

Firmware tipi seçildikten sonra ilgili bellenim kurulur. Şekil 4.12'de görülen arayüzden hava aracı tipi (frame type) olarak ilgili kopter (multi/heli) tipi seçilmelidir. Çalışmada kullanılan hava aracı geleneksel helikopter olduğu için seçim bu yönde yapılmıştır.



Şekil 4.12. Bellenim için hava aracı tipinin belirlenmesi

Yukarıdaki aşamalar tamamlandıktan sonra kumanda, alıcı, *ESC* ve Servoların ilk kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir. Bunlar Kompas, accelometer, kumanda, *ESC* ve motor'dur.

Yukarıda adı geçen kalibrasyonlardan Kompas kısmı, Test ve Kalibrasyon başlığı altında incelenmiştir çünkü Kompas kalibrasyonu kolay bozulabilmekte ve sıkça yapılması gerekebilmektedir. Bu başlık altında Kompas ile ilgili özel yapılan

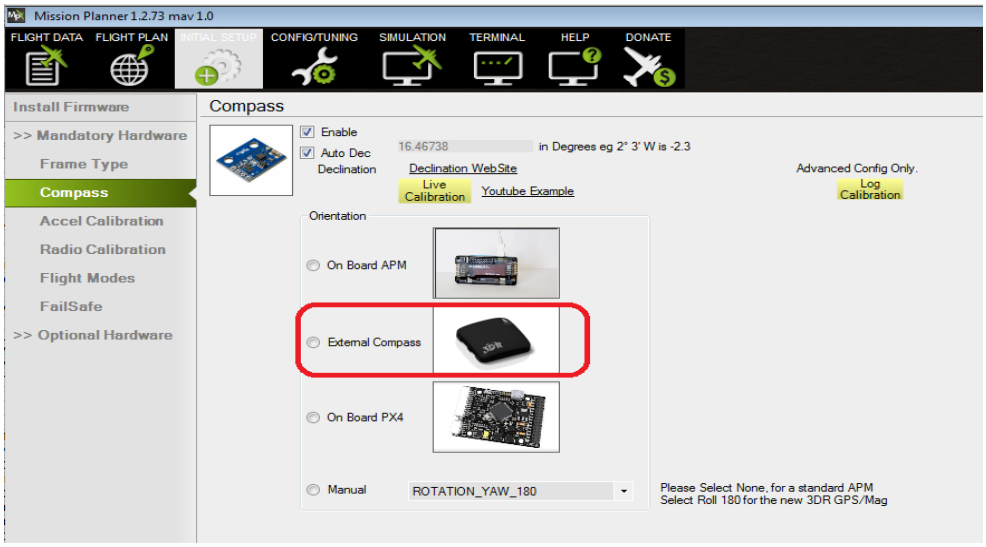
ayarlamalara değinilmiştir. Geri kalan kalibrasyonlar ilgili cihaz değişmemiş ise sadece bir kez ve ilk entegrasyon sırasında yapılmaktadır.

Kompas: Kompas kalibrasyonu, Kalibrasyon ve Test başlığı altında, Canlı (Uçuşsuz) Kalibrasyon modelindeki işlemlerden ibarettir ve bu işlemler belirtilen konu başlığı altında detaylı olarak incelenmiştir.

Diğer taraftan ArduFlyer kart üzerinde bulunan dâhili Kompasın kalibrasyonu defalarca yapılmasına rağmen düzgün çalışmadığı görülmüştür. Yapılan araştırma sonucu dâhili Kompasın manyetik alana çok duyarlı olduğu ve harici iyi bir Kompas kullanılması gerektiği görülmüştür.

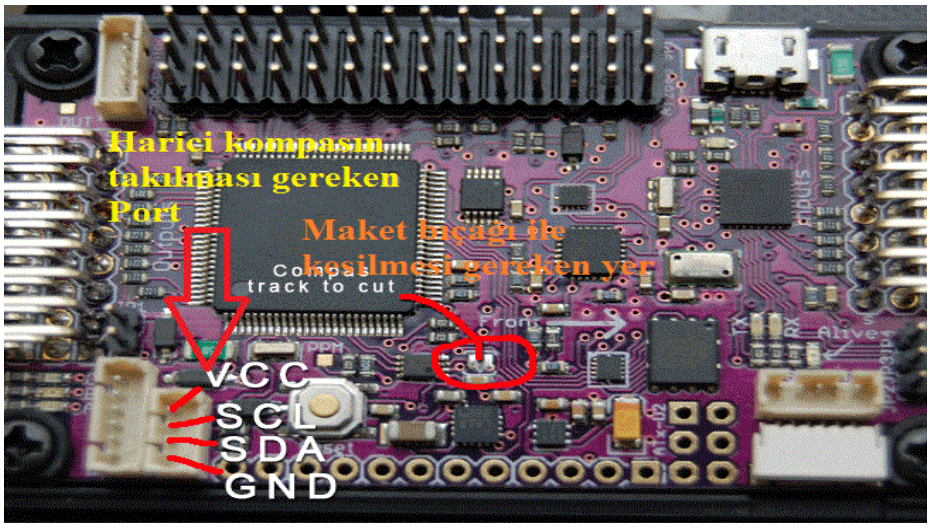
Alınan harici Kompas, helikopterin en az manyetik alandan etkilenen bölümü olan kuyruk dikmesine yakın bir noktaya monte edilmiştir. Montaj sırasında izlenen adımlar aşağıdaki gibidir;

Adım 1: Mission Planner programında "Initial Setup" başlığı altında "Compass" seçilip, açılan arayüzden "External Compas" seçeneği işaretlenerek harici Kompas kullanılacağının ArduFlyer karta Şekil 4.13'de görüldüğü gibi bildirilmesi,



Şekil 4.13. MP programından harici kompasın seçilmesi

Adım 2: ArduFlyer kart üzerindeki dâhili Kompas ile harici Kompasın aynı anda ölçüm yapmaması için ArduFlyer kart üzerindeki dâhili Kompasın kart ile bağlantısını kesmek gerekmektedir. Bunun için Şekil 4.14'de görülen kart üzerindeki ince bakır telin maket bıçağı veya benzeri bir aparat ile dikkatlice kesilmesi,



Şekil 4.14. ArduFlyer kart üzerindeki dâhili kompasın kullanım dışı bırakılması

Adım 3: Harici Kompasın Şekil 4.14'de görülen dört bacaklı porta bağlanması,

Adım 4: Yeni takılan harici Kompasın kalibrasyonunun yapılması,

Adım 5: Harici Kompasın çalışıp çalışmadığının test edilmesidir.

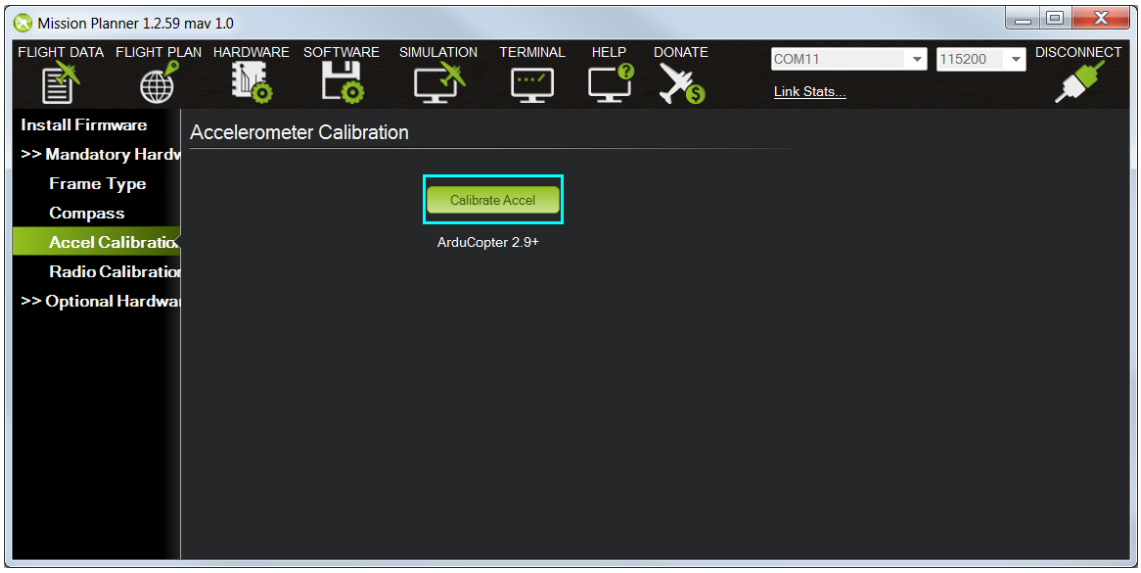
Barometre: ArduFlyer üzerindeki dâhili barometre için ayrıca bir kalibrasyona ihtiyaç yoktur. Fakat cihaz ışığa karşı çok duyarlıdır. Bu duyarlılığı azaltmak için barometre algılayıcısının üzeri kauçuk türü ışık geçirmeyen yoğunlukta bir materyal ile örtülmelidir. Algılayıcının üzerine yapıştırıcı bir madde sürülmemeli, üstüne birşey temas etmemelidir. Işıktan koruyucu materyali karta, algılayıcıya temas etmeyecek şekilde yapıştırmak uygun olacaktır. Işık korumasının işe yarayıp yaramadığının testi, o bölgeye ışık (el feneri vb.) tutmak ve *MP*'dan "Flight Data" başlığına girerek alt taraftaki barometre ölçümünün ışık tutulmasına göre değişip değişmediği gözlenerek yapılabilir. Şekil 4.15'de ilgili barometre algılayıcı verisinin okunduğu yer gösterilmiştir.



Şekil 4.15. MP programı vasıtasıyla barometrik yükseklikölçerin değerinin okunması

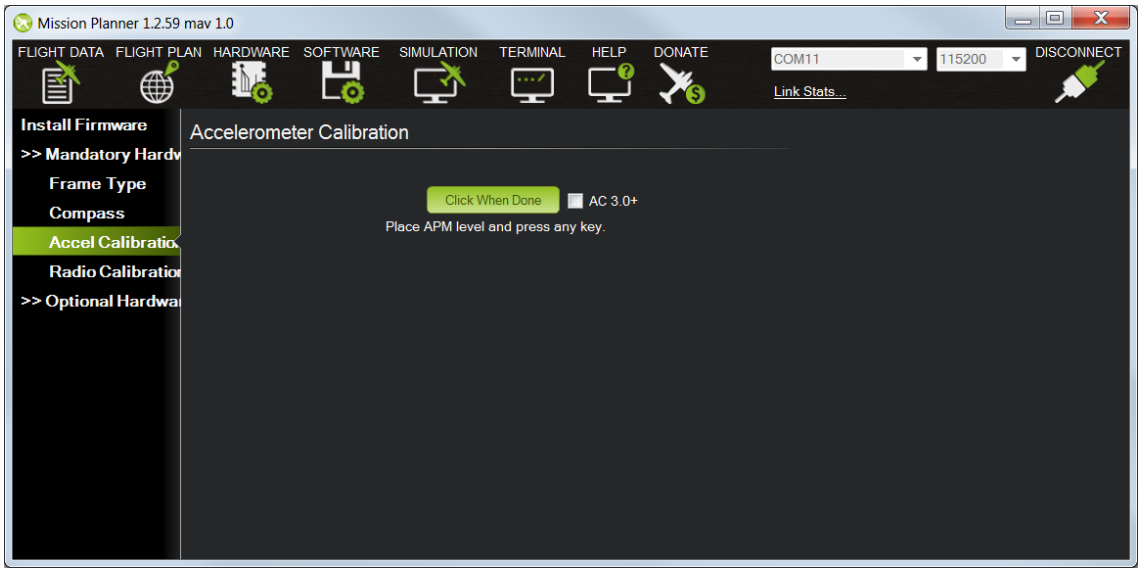
Accelerometer: ArduFlyer kartın, hava aracına yerleştirildiği konumun değişmesi durumunda veya ilk entegrasyon sırasında kalibrasyon yapılması gerekmektedir.

Kalibrasyonun doğru yapılması ArduFlyer kart ile uçuş yapabilmek için çok kritiktir. Çünkü ArduFlyer kart uçuş sırasında bu pozisyonları baz alarak pozisyonunu belirleyecek ve manevraları bu kalibrasyona göre yapacaktır. Bu kalibrasyonu yapmak için Şekil 4.16'da görülen *MP* programının "Initial Setup" menüsü altında bulunan "Accelometer Calibration" çalıştırılmalıdır.



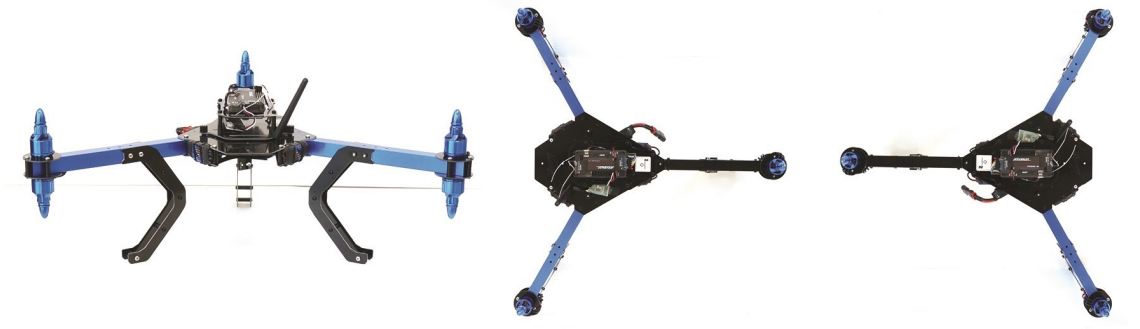
Şekil 4.16. Accelerometer kalibrasyonu ekran görüntüsü

Kalibrasyon programının yönlendirmesiyle hava aracının belirli yönlere çevrilmesi işlemleri yapılmalıdır. Kalibrasyon başlamadan önce hava aracının yere tam paralel olan bir zemin üzerinde konumlandırmak ve Şekil 4.17'de gösterilen düğmeye tıklandıktan sonraki arayüz adımlarını takip etmek gerekmektedir.



Şekil 4.17. Accelerometer kalibrasyonu

Kalibrasyon programının yönlendirmesiyle hava aracı dönüş komutları Şekil 4.18'de gösterildiği gibi yapılmalıdır. Yön sırası Şekil 4.18'deki gibi soldan sağa doğru yapılmalıdır. Kalibrasyon sırasında program, hava aracının döneceği yönü sıra ile adım adım tarif etmektedir. "Kalibrasyon Başarılı – Calibration Completed Successfully" mesajı görüntülenmesi ile sonlandırılmış olur.



Yere paralel **Sola 90 derece** **Sağa 90 derece**

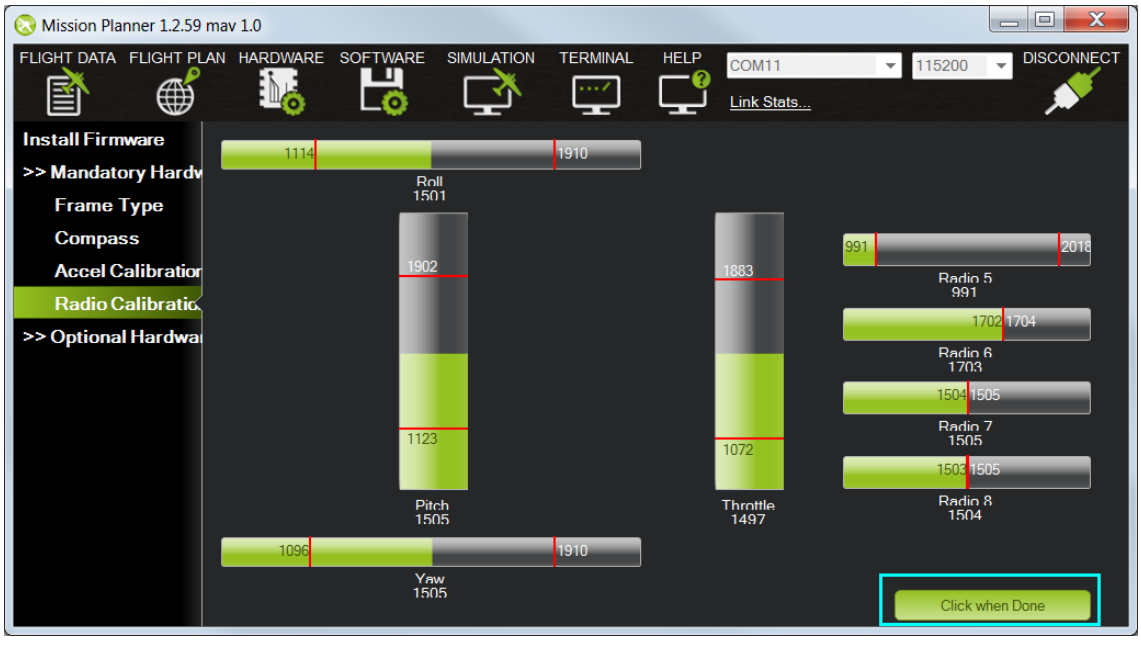


Şekil 4.18. Accelerometer kalibrasyonunda hava aracının dönmesi gereken yönler (URL:6)

Kumanda: Uzaktan kumandanın doğru çalışıp çalışmadığı da *MP* programının ilgili arayüzü ile kalibre ve test edilmelidir. Başlıca test ve kalibre edilmesi gerekenler; Gaz ve yön çubuklarının limitlerinin belirlenmesi, Kumanda üzerindeki anahtarlar ve Knob'un (hassas ayar anahtarı) limitlerinin belirlenmesi, gaz ve yön çubuklarının doğru yönde hareket edip etmediğinin belirlenmesi, gerekirse hareket yönünün ters çevrilmesi (Reverse) işlemleridir.

Yukarıdaki adımların yapıldığı arayüz Şekil 4.19'da görüldüğü gibi olup, "Initial Setup" sekmesi altındaki "Radio Calibration" seçeneğine tıklayınca ulaşılmaktadır.

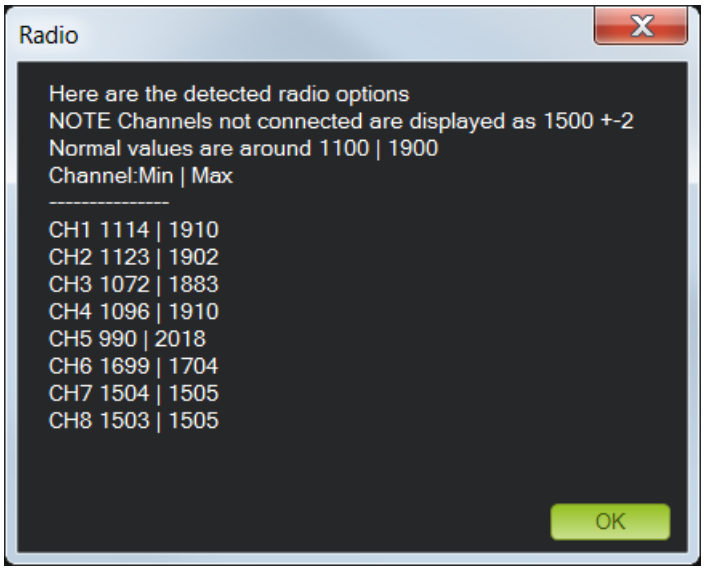
Burada dikkat edilmesi gereken kritik bir nokta vardır. Kalibrasyon, hangi hava aracının kullanıldığından bağımsız olduğu için uzaktan kumanda menüsünden "Airplane" modu seçilmelidir ve kalibrasyon bu şekilde yapılmalıdır. ArduFlyer kart, uzaktan kumandadan gelen komutları kendi içinde işleyip hangi hava aracının bellenimi yüklendiyse o hava aracını kumanda etmek üzere çevirecektir.



Şekil 4.19. MP programı uzaktan kumanda kalibrasyon arayüzü

Uçuş modunun değiştirilebilmesi için uzaktan kumanda üzerinde üç seçeneği olan anahtarlardan birisinin atanması gerekmektedir. Atama işlemi uzaktan kumanda ayarlarından yapılır ve alıcının yedek portlarından biri ile ArduFlyer kartın giriş bacaklarından beşincisine bağlanarak kanal atama işlemi tanımlanır. Atama işleminin başarılı olup olmadığı ise atanmış olan 3 seçenekli anahtarın hareket ettirilmesiyle görülebilir. Kalibrasyon menüsünde Radyo (kanal) 5'i temsil eden bar'ın en yüksek ve en düşük değerlere geldiğinin görülmesi kanalın doğru atandığı ve çalıştığı anlamına gelir.

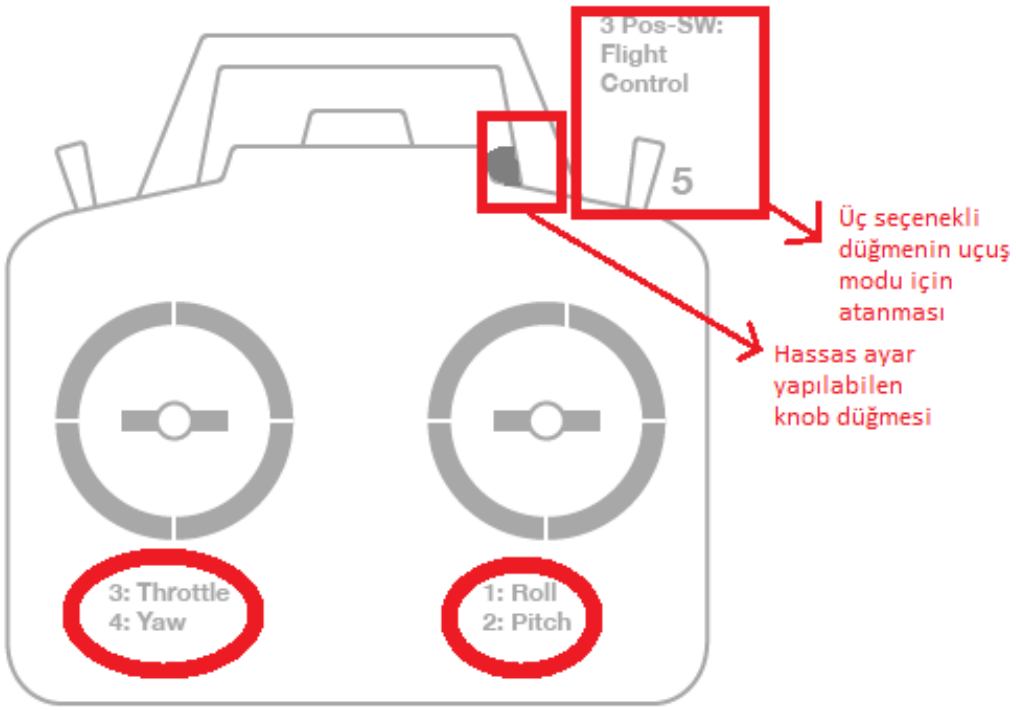
Kalibrasyon işlemi sırasında Pitch, Roll, Yaw ve önceden atanmış olan kanal 5 (isteğe bağlı olarak kanal 6, 7 ve 8) en yüksek ve en düşük pozisyonlarına ayarlanır, işlem bittiğinde "Click When Done" düğmesine basılarak kalibrasyon bitirilir. Kalibrasyon bittiğinde Şekil 4.20'de gösterilen menü gelir ve radyo kanalları kalibrasyon verilerinin kısa özetini gösterir. Normal değerler en düşük 1100 civarı ve en yüksek 1900 civarı olmaktadır. Eğer kalibrasyon bar'ından herhangi birisi çubuklar ile ters yöne hareket ediyorsa uzaktan kumandadan veya *MP* programının "Heli Setup" sekmesinden tersine çevir (REVERSE) seçeneğiyle tersine çevirilebilir.



Şekil 4.20. Uzaktan kumanda kalibrasyonu sonucu

Uzaktan kumandalar iki farklı modda çalışabilmektedir. Mod 1 vericilerde sol çubuk Pitch ve Yaw, sağ çubuk ise Throttle ve Roll komutlarını gönderir. Mod 2 vericilerde ise tersi bir durum söz konusudur. Sol çubuk Throttle ve Yaw komutu gönderirken sağ çubuk, Pitch ve Roll komutlarını gönderir. Yaygın olarak kullanılan

mod 2'dir. Bu çalışmada mod 2 kontrol kullanılmıştır. Şekil 4.21'de mod 2 ayarlı bir uzaktan kumanda görülmektedir.



Şekil 4.21. Mod 2 olarak ayarlanmış uzaktan kumanda (URL:6)

İsteğe bağlı Knob anahtarı uçuş sırasında ayar yapmak için kanal 6'ya atanarak kullanılmalıdır. Kanal 7 ve kanal 8, ek fonksiyonlar tanımlayabilmek için ek olarak atanabilmektedir.

ESC: "Electronic Speed Controller" baş harflerinden oluşan *ESC,* motorun istenen hızda (pilot ya da otomatik pilot tarafından) dönmesini sağlamaktadır. Neredeyse bütün *ESC*'lerin, ArduFlyer karttan gelen *PWM* değerlerini işleyebilmek için kalibre edilmesi gerekir. Kalibrasyon ise ArduFlyer karttan gelebilecek en yüksek ve en düşük *PWM* değerlerini saptama işlemidir.

Birçok farklı *ESC* olduğundan kalibrasyon işlemi, kullanım kılavuzuna göre yapılmalıdır. *ESC* kalibrasyonu yapılmadan önce radyo kalibrasyonu işlemi yapılmış olmalı ve ana Pal ile kuyruk Palinin kesinlikle takılı olmaması gerekmektedir. Aksi takdirde ciddi yaralanmalar ve maddi hasar meydana gelebilir. *ESC* kalibrasyonu, Tek-Seferde-Hepsi (All-at-Once) ve Tek-Tek (*ESC* by *ESC*) ses tonlamasına göre yapılabilmektedir.

Tek-Seferde-Hepsi (All-at-Once) kalibrasyonunda, *ESC* kalibrasyonuna başlamadan önce ArduFlyer kart, *USB* ile bağlanmamış olmalı ve *ESC*'ye pil takılı olmamalıdır. Kalibrasyon adımları aşağıdaki gibidir;

Adım 1: Uzaktan kumandanın açılması ve gaz çubuğunun en yüksek seviyeye getirilmesi,

Adım 2: LiPo bataryanın bağlanması (ArduFlyer kart üzerinde sarı kırmızı ve mavi ışıklar yanıp sönecektir. Bunun anlamı ArduFlyer bir sonraki açılışta kalibrasyona hazır olacak demektir),

Adım 3: Gaz çubuğu en yüksekte dururken *LiPo* pilin çıkarılıp tekrar bağlanması (Böylece *ESC* kalibrasyon moduna geçer),

Adım 4: ESC'den müzik tonu gelene kadar beklenmesi (Belli bir orandaki bip sesi pilin hücre sayısını belirtir ve arkasından gelen ek iki bip sesi en yüksek gaz seviyesi tespit edildi anlamına gelir),

Adım 5: Gaz çubuğunun en düşük pozisyona çekilmesi (Bu adımda uzun bir bip sesi gelmelidir. Bu ses en düşük gaz seviyesinin saptandığı ve kalibrasyonun bittiği anlamına gelmektedir),

Adım 6: Bataryanın çıkarılması ile kalibrasyon işlemi sonlandırılır.

Eğer tek-seferde-hepsi kalibrasyonu çalışmaz ise ya da ayrıntılı kalibrasyon yapılmak isteniyorsa tek-tek kalibrasyonu yapılmalıdır.

Tek-tek ses tonlaması kalibrasyonu, *ESC*'nin kullanım klavuzuna göre yapılmalıdır. Model helikopter için kullanılan bir *ESC*'de tek-tek ses tonlaması kalibrasyonu sonucu beklenen ayarlar aşağıda sıralandığı gibidir:

Adım 1: Brake: OFF

Adım 2: Battery Type: Ni-xx (NiMH veya NiCd) (*LiPo* bataryalar kullanılsa bile tavsiye edilen ayar Ni-xx olmalıdır. Böylece düşük voltaj durumunda güç kesme gerçekleşebilir.)

Adım 3: CutOff Mode: Soft-Cut (Default)

Adım 4: CutOff Threshold: Low

Adım 5: Start Mode: Normal (Default)

Adım 6: Timing: MEDIUM

Motor: Motorun kullanılan helikopterin boyutlarına göre seçilmesi önemlidir. Çalışmada, 3400KV, 500Watt motor kullanılmıştır. Moturun döndüğü yön ve Pallerin yönüne dikkat etmek gerekmektedir. Motorun dönme yönünü tersine çevirmek için

Şekil 4.22'de gösterildiği gibi *ESC*'ye bağlanan mavi uç ve siyah uçların yer değiştirilmesi yeterlidir.



Şekil 4.22. ESC ve moturun bağlanması

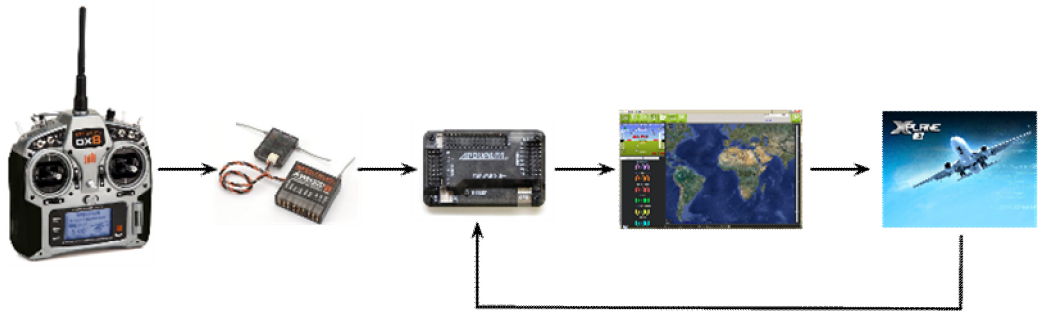
4.5.4. ArduFlyer kart – X–Plane simulasyon entegrasyonu

Çalışmanın başında MATLAB ile ArduFlyer kartın entegre edilmesi planlanmış fakat ayrı bir çalışma konusu kadar karışık olduğu anlaşılmış ve alternatif olarak X–Plane programı ile ArduFlyer kartın simulasyon ortamı yaratabilmesi için kısa sürede birbirine entegre edilebileceği görülmüştür (Bayha ve ark. 2012). Bu entegrasyon, ArduFlyer kartın sanal ortamda modellenmesi gibi karmaşık bir süreç yerine ArduFlyer kartın kendisini kullanmaya dayalıdır. Bu işleme *HIL* denilmektedir. *HIL*, ArduFlyer karta gerçek uçuş yaptığını sandırmakta ve sanal uçuş testi sırasında ihtiyaç duyulan *GPS* ve Seyrüsefer bilgileri gibi her türlü veri X–Plane programından elde edilebilmektedir. Bu veriler model hava aracını uçurmadan ve riske atmadan test verilerini sağlamaktadır. Ayrıca sanal uçuşta elde edilen test verileri otonom uçuştaki rotanın daha düzgün belirlenmesi için yapılan rota düzenleme programı için de kullanılabilmektedir.

X–Plane programını *HIL* şeklinde bir simulasyon programı olarak kullanmak için ArduFlyer karta *MP* programı vasıtasıyla "Sim" modu yüklemek gerekmektedir. Sim mod yüklendiği zaman X–Plane gerçek uçuş sırasında kullanılan uzaktan kumanda ile kontrol edilebilmektedir. Bunun için ArduFlyer karta uzaktan kumanda alıcısının bağlanmış ve birbirini tanıma (Bind) işleminin yapılmış olması gerekmektedir. ArduFlyer kart ile kumanda alıcısının kanal bağlantıları tam ve doğru olarak yapılmış olmalıdır. Bu işlemlerin nasıl yapılacağı ilerleyen bölümlerde adım adım açıklanmıştır.

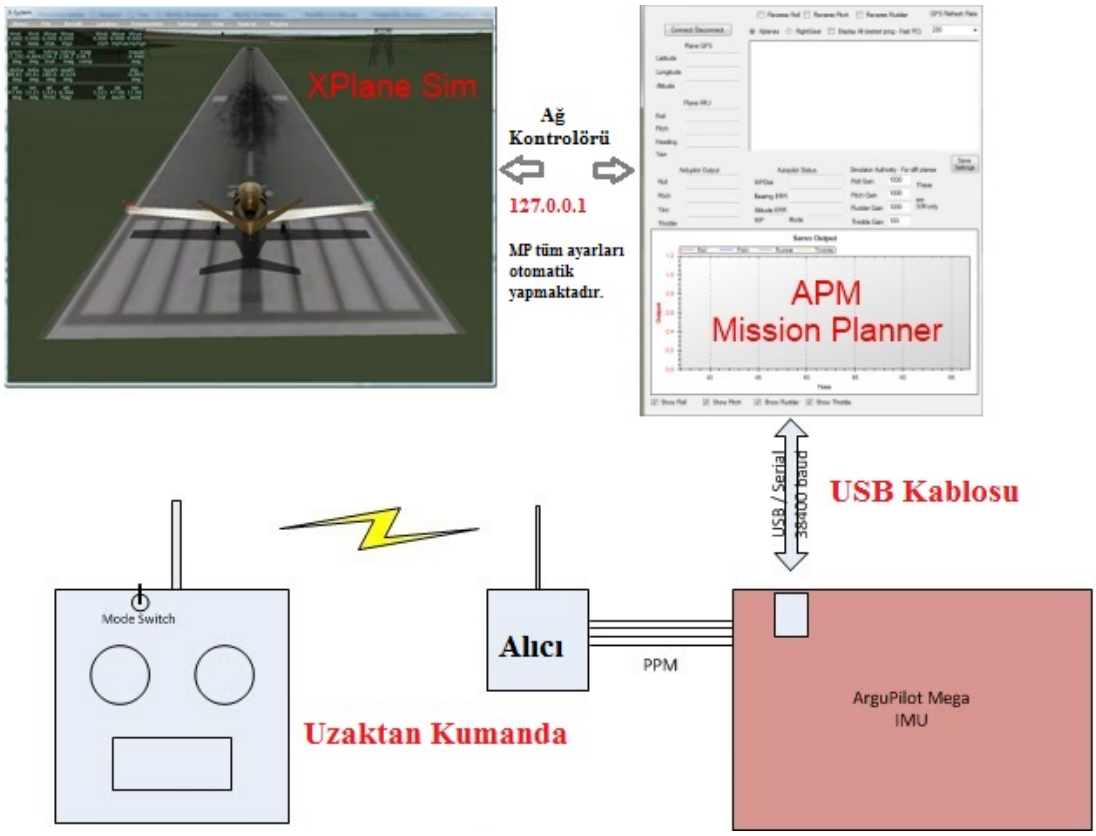
Simülasyon programı kullanarak *HIL* sistemini kurmak için *MP* programına ihtiyaç vardır. *MP*'ın desteklediği bazı simulasyon programlarını kurmak ve *MP* programının ilgili sim modunu ArduFlyer karta yükleyerek *HIL* sistemini kurmak mümkün olabilmektedir.

Şekil 4.23'de gösterilen, *HIL* sisteminin kurulması için gerekli donanım ve yazılımlar; uzaktan kumanda, uzaktan kumanda alıcısı, ArduFlyer kart, *MP* programı ve X–Plane simulasyon programıdır.



Şekil 4.23. HIL sistemi kurulumu parçaları (URL:7)

MP, ArduFlyer kart, Uzaktan kumanda ve X–Plane programı arasındaki bağlantı Şekil 4.24'te gösterildiği gibidir:

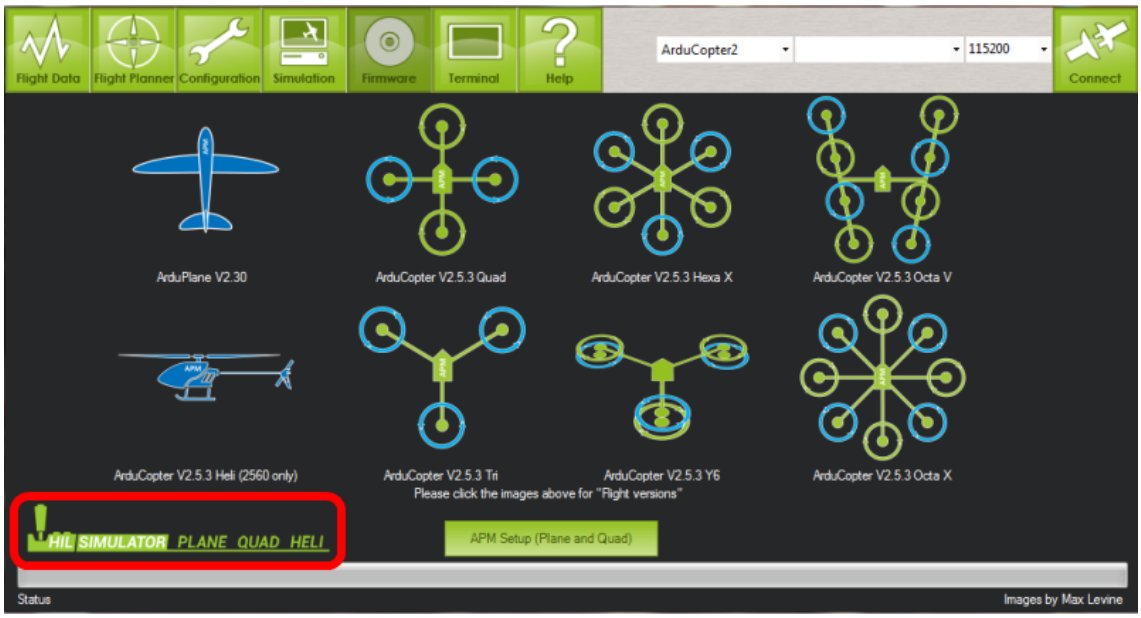


Şekil 4.24. HIL Sistemi entegrasyonu (URL:7)

HIL sistemini kurmak için aşağıdaki adımların sırasıyla izlenmesi gerekmektedir:

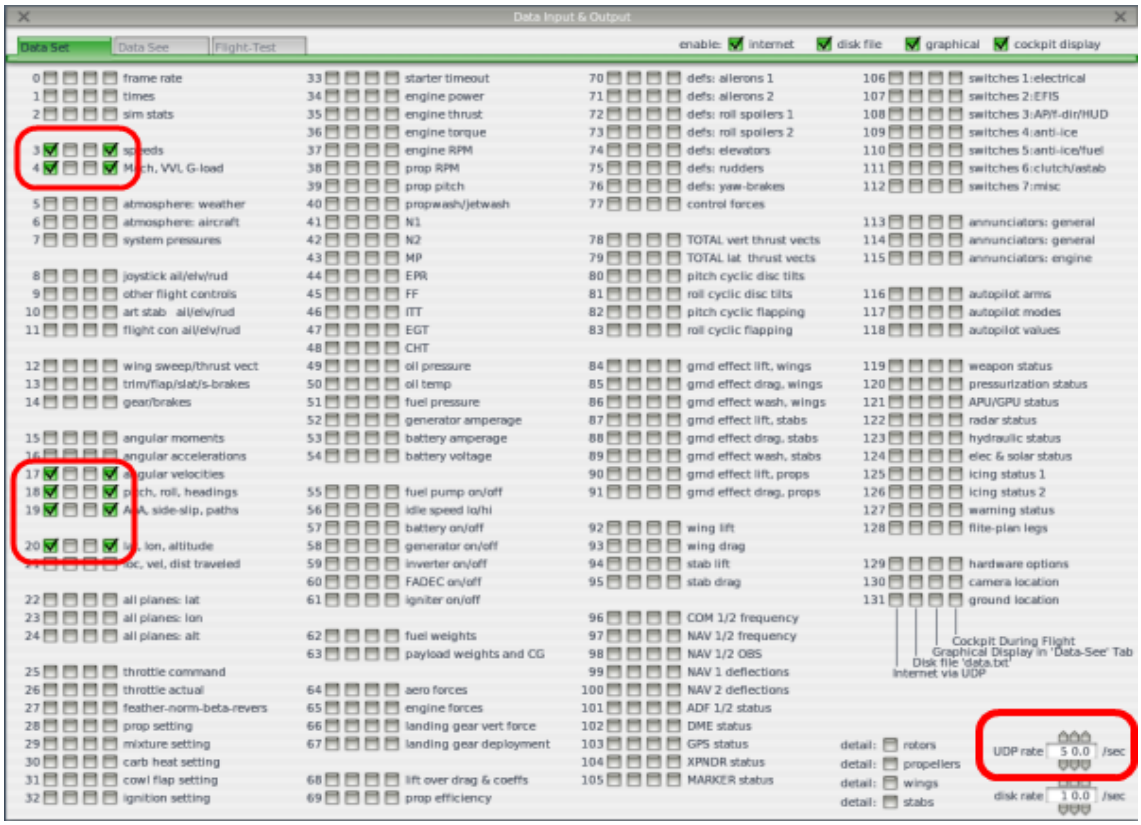
Adım 1: X–Plane programı bilgisayara kurulur.

Adım 2: Şekil 4.25'te gösterildiği gibi *MP* programına simülasyon modu yüklenir (Kırmızı çerçeve içine alınmış bölüme tıklanması yeterlidir).



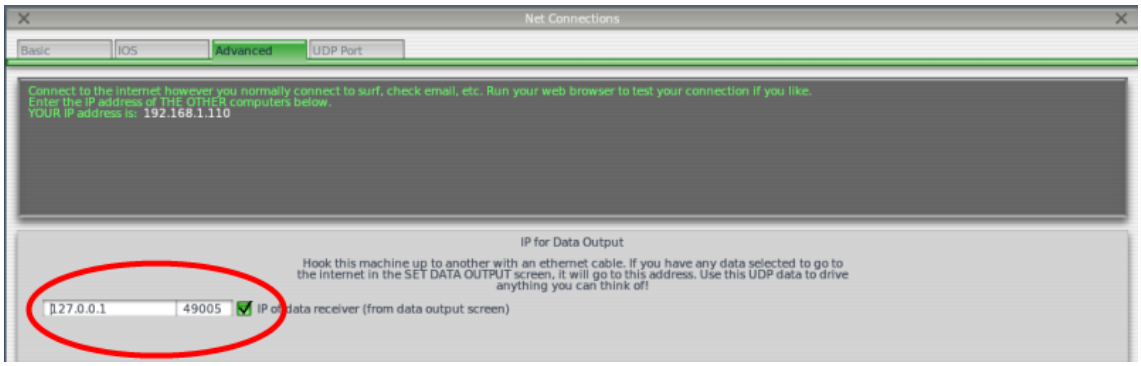
Şekil 4.25. HIL sistemi için ArduFlyer karta bellenim yüklenmesi

Adım 3: X–Plane programının ağ ayarları yapılır.



Şekil 4.26. X–Plane programı ve MP programı ağ iletişimi arayüzü (URL:7)

X–Plane programı *MP* programı ile ağ arayüzü üzerinden iletişim kurmaktadır. Şekil 4.26'da sağ alt tarafta kırmızı çerçeve içine alınmış veri paketi boyutu'nun (frame rate) yüksek tutulması veri transferinin sağlıklı olabilmesi için önemlidir.



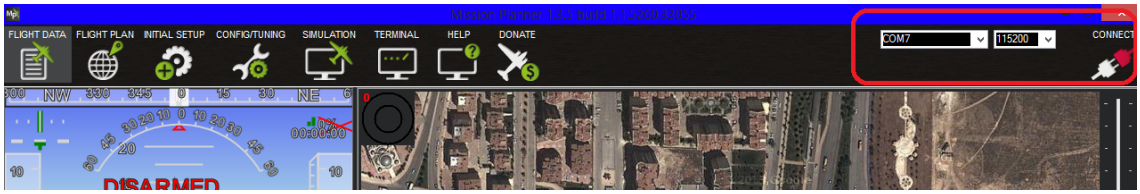
Şekil 4.27. X–Plane programı ağ ayarları (URL:7)

X–Plane programındaki *IP* (Internet Protocol) ekranında *UDP* (User Datagram Protocol) veri (data) portu Şekil 4.27'de kırmızı çerçeve içinde görüldüğü gibi 49005 olmalıdır. *MP*'ın gelişmiş *IP* ayar menüsünde bu değer öntanımlı olarak 49000

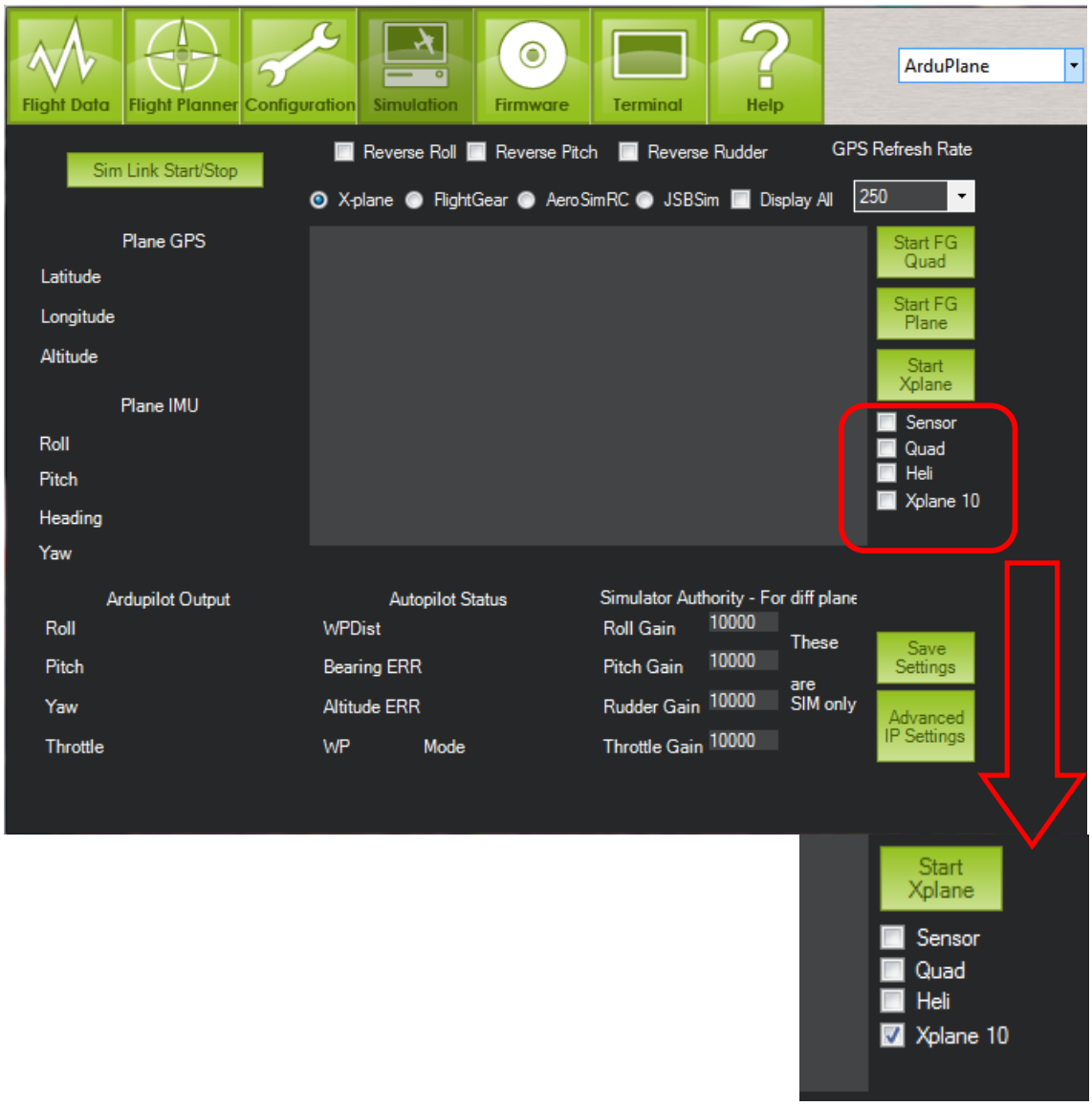
gelmektedir ve değiştirilmemelidir. 49005 değeri, X–Plane'den gelen verileri içeren *UDP* portudur, 49000 ise *MP*'dan giden verileri içeren *UDP* portudur.

X–Plane, ağ arayüzü ile çalışmak üzere tasarlanmıştır. Bu çalışmada ağ ortamına gerek duyulmadan aynı bilgisayar üzerinde X–Plane ve *MP* programı çalıştırıldığı için geri dönüş devresi (loopback) *IP* adresi Şekil 4.27'de görüldüğü üzere 127.0.0.1 olarak girilmiştir. Başka PC üzerinde X–Plane Kurulu olsaydı *IP* adresi bölümüne bu bilgisayarın adresinin girilmesi yeterli olacaktı.

Mission Planner ayarlarının yapılması: *HIL* sisteminin kurulması için yukarıdaki adımlar tamamlandıktan sonra artık simülasyon çalıştırılmak için hazırdır. *MP* programı açılarak ArduFlyer hangi com port'a tanımlanmış ise Şekil 4.28'de görüldüğü gibi sağ üst köşedeki aşağı açılır kutudan seçilir ve hemen yanındaki kutucuktan "baud rate 115200" olarak veri gönderme hızı seçilir.



Şekil 4.28. MP programı ile X–Plane programı bağlantısı



Şekil 4.29. MP programı ile HIL sisteminin başlatılması

"Simulation Tab" seçilerek Şekil 4.29'daki arayüze gidilir. X–Plane programı simülasyon programı olarak kullanılacağı için yukarıdaki ekranda X–Plane 10 onay kutusu seçili duruma getirilmelidir.

SimLink "Start/Stop" düğmesine tıklanıldığı zaman ArduFlyer bağlı ise *MP*'daki "Simulation" ekranının X–Plane'den gelen verilerle dolduğu görülecektir. Uzaktan kumanda yön ve gaz çubukları hareket ettirildiğinde X–Plane'de seçilen hava aracı verilen komutlar doğrultusunda hareket etmelidir.

X–Plane ve Mission Planning programının entegrasyonu için yapılan işlemler aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

Adım 1: MP ve X–Plane programı kapatılır ve X–Plane programı kapatılmadan once Sim Link'in bağlantısı kesilir,

Adım 2: MP programının açılarak helikopter ile ilgili Simulasyon "Firmware" tab'ından seçilerek yüklenir,

Adım 3: ArduFlyer kart, yer istasyonuna bağlanır ve "Simülation" tab'ında Auto Pilot – AP durumunu gösteren "mode" bölümünde "initializing" yerine "manual" yazdığı görülmesi beklenir(Hangi mod atanmış ise o mod gösterilir. Yani el yordamı ile uçuş yerine stabilize gibi bir mod türü de yazabilir).

Adım 4: X–Plane programının başlatılması (Programı ilgili dizinden açarak ya da *MP* programı içinden "Simulation Tab" bölümünden X–Plane seçilerek de başlatılabilir).

Ek Bilgi: X–Plane'de simülatörü durdurmak için 'p' ye basmak ve bakış açısını değiştirmek için shift+8'e basmak gerekir. "SimLink Start" düğmesine basılırak *MP* programı içerisinde "Simulation" tab'ındaki telemetri değerlerinin X–Plane'den geldiği görülecektir.

Entegrasyonun yapılabilmesi için yukarıdaki işlem adımları yapılmış fakat X–Plane programının helikopter uçuşlarını doğru olarak simüle edemediği görülmüştür. Bu durum *MP* vasıtasıyla yapılan parametrik ayarların test edilememesine sebep olmuş ve yapılan ayarların uçuşa etkisinin sağlıklı olarak tespitini sağlayamamıştır. ArduFlyer kart ve kullanımının nispeten yeni olmasından dolayı açık kaynak kod üzerinde çalışan yazılımcıların bu sorunu sonraki dönemlerde çözmeyi planladığı saptanmıştır.

X–Plane programı vasıtasıyla gerçek uçuş yapmadan öğrenilmesi istenen parametrik ayarların uçuşa doğrudan etkisi testi bu program ile yapılamamıştır. İlgili testler gerçek uçuş yapılarak koşulmuş ve gerekli parametre değerleri gerçek uçuş ile elde edilmiştir. Bu durum çalışmada hem zaman hem maliyet (kaza – Kırım) açısından beklenmeyen olumsuz sonuçlar doğurmuştur.

4.6. Kalibrasyon ve Test Aşaması

İHA'nın otomatikleştirilmesi için yapılan testler ölümcül derecede tehlikeli ya da çok yüksek maliyetli olabilir. Bilhassa açık kaynak kodlardan yararlanılan bir yazılımda göz ardı edilen tehlikeler çok daha fazla olacaktır. Bu bakımdan testleri en az iki kişi yapmalı, mümkünse öncesinde detaylı plan yapılmalı ve gerekmedikçe canlı uçuş yapmadan test edilmeye çalışılmalıdır. Nihai hedefin başarısını görmek için ise gerçek uçuş yaparak test etmek kaçınılmazdır. Uçuş testlerini ise nispeten maliyeti düşük ekipmanlar ile yapmak ve güvenlik önlemlerine azami derecede dikkat etmek gerekmektedir.

Model helikopterin ArduFlyer kartla otomatik bir şekilde uçmasında düğüm noktası entegrasyon aşamasıdır. Birçok farklı donanımın (harici algılayıcılar, Servolar, uzaktan kumanda, motor, *ESC*) beraber uyumlu bir şekilde çalışması gerekmektedir. Bu donanımların çalışma prensipleri her hava aracına göre farklılık göstermekte ve donanımların ayrı test/kalibrasyon işlemlerinden geçmesi gerekmektedir.

Sistemdeki karmaşayı azaltmak için önce ArduFlyer kart ve ArduFlyer kartın tüm ayarlarının yapılmasını sağlayan *MP* programı kapsamlı olarak incelenmiş, sonrasında kart üzerindeki algılayıcıların kalibrasyonu ve testleri adım adım koşulmuş, sonrasında helikopterin sanal ve canlı uçuş testleri yapılmıştır.

Hem kalibrasyon hem de test aşaması, maddi kayıplar ve yaralanmaları önlemek için çok dikkatli yapılmalıdır. Test ve kalibrasyon iç içe geçmiş aşamalar olduğu için aynı başlık altında incelenmiştir. ArduFlyer karta gömülü bazı donanımlar test edilmeden önce kalibre edilmelidir (Ör: Kompas). Bu bakımdan önce kalibrayon sonra test aşamaları yazılmamış ve hava aracının uçması için gereken sıra ile yazılmıştır.

4.6.1. Kompas ayarları ve kalibrasyonu

Kompas yani pusula ayar ve kalibrasyonu otomatik uçuş modları için hayati önem taşımaktadır. Bunun için kalibrasyonun ve ayarların düzgün yapılabilmesi ve Kompas sapmalarının düzgün belirlenmesi gerekmektedir. Kompasın manyetik sapma kalibrasyonu için beş yöntem mevcuttur:

- Canlı (Uçuşsuz) kalibrasyon
- Uçuş Anında Yapılan El Yordamı ile Kalibrasyon
- Uçuş anında yapılan Otomatik Kalibrasyon
- Uçuş Sonrası Log bazlı kalibrasyon

- Manyetik Sapmanın uçuş bölgesine göre el yordamı ile girilmesidir.

Canlı (Uçuşsuz) kalibrasyon: Canlı (Uçuşsuz) kalibrasyon için takip edilmesi gereken adımlar aşağıdaki gibidir:

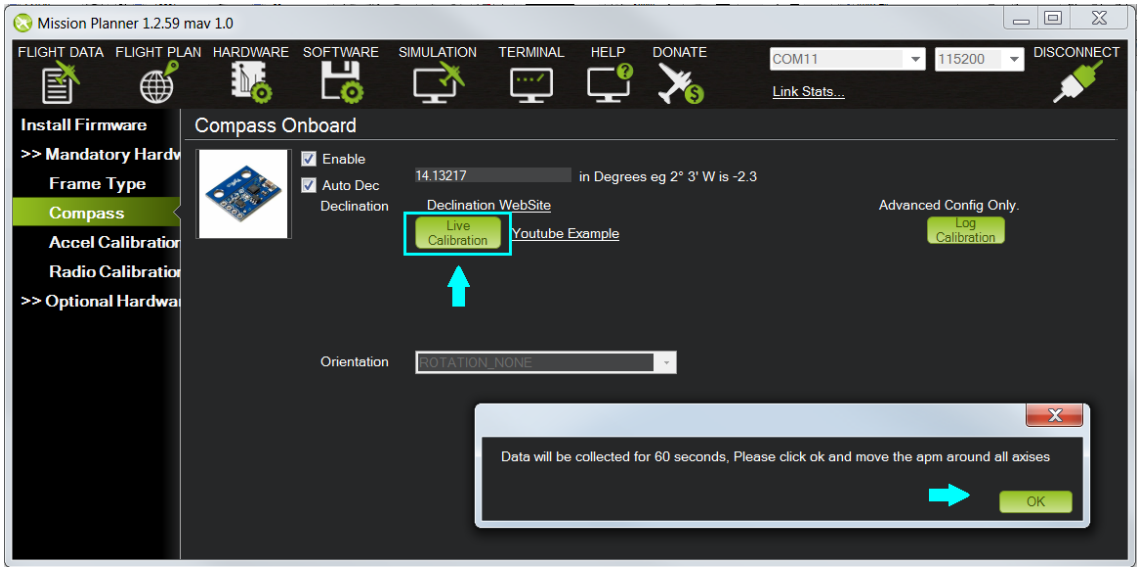
Adım 1: ArduFlyer kart *MP* programına bağlanır.

Adım 2: "Hardware > Mandatory Hardware > Compass" ekranı açılır.

Adım 3: "Live Calibration" düğmesine basılır.

Adım 4: Şekil 4.30'da görülen ekran açıldığında "OK" düğmesine basılması sonrasında 60 saniye içinde kalibrasyon yapılır.

Adım 5: 60 sn. süresince hava aracı her yöne çevirilir ve o yönde birkaç saniye bekletilir(ön, arka, sağ, sol, alt, üst).



Şekil 4.30. MP programı kompas kalibrasyonu ekranı

Adım 6: 60 saniye süre sonunda toplanan veriler analiz edilmiş olarak yeni sapma değerleri ekranda görüntülenir.

Tespit edilen sapma değerlerinin [-150, +150]'nda bir değer alması beklenmektedir. ArduFlyer 3.1 versiyonu ve üstü bellenimlerde eğer sapma değerleri [-150, +150] değilse ve PreArm Safety Check (Uçuş Öncesi Güvenlik Kontrolü) özelliği açık ise ArduFlyer kart Arm olmamaktadır. Bu değerler "Advanced Param" ekranından COMPASS_OFS_X, COMPASS_OFS_Y, COMPASS_OFS_Z olarak görülebilmektedir.

Açık alanda yapılacak kalibrasyon esnasında metal objelerden uzak durmak ve kablosuz telemetri gibi donanımları mümkünse kullanmamak daha başarılı kalibrasyon sağlayabilmektedir.

CompassMot analizi ile Kompas test işlemi, test aşaması bölümünde ayrıntılı olarak anlatılmıştır. CompassMot testinin başarılı olduğunu söyleyebilmek için otonom uçuşun başarı ile uygulanması gerekmektedir.

Uçuş anında yapılan el yordamı ile kalibrasyon: Otomatik sapma ayarı yerine uçuş sırasında Knob anahtarını altıncı kanala atayarak da sapma ayarlanabilmektedir. Bunun için izlenmesi gereken adımlar aşağıdaki gibidir;

Adım 1: ArduFlyer kart, *MP* programına bağlanır,

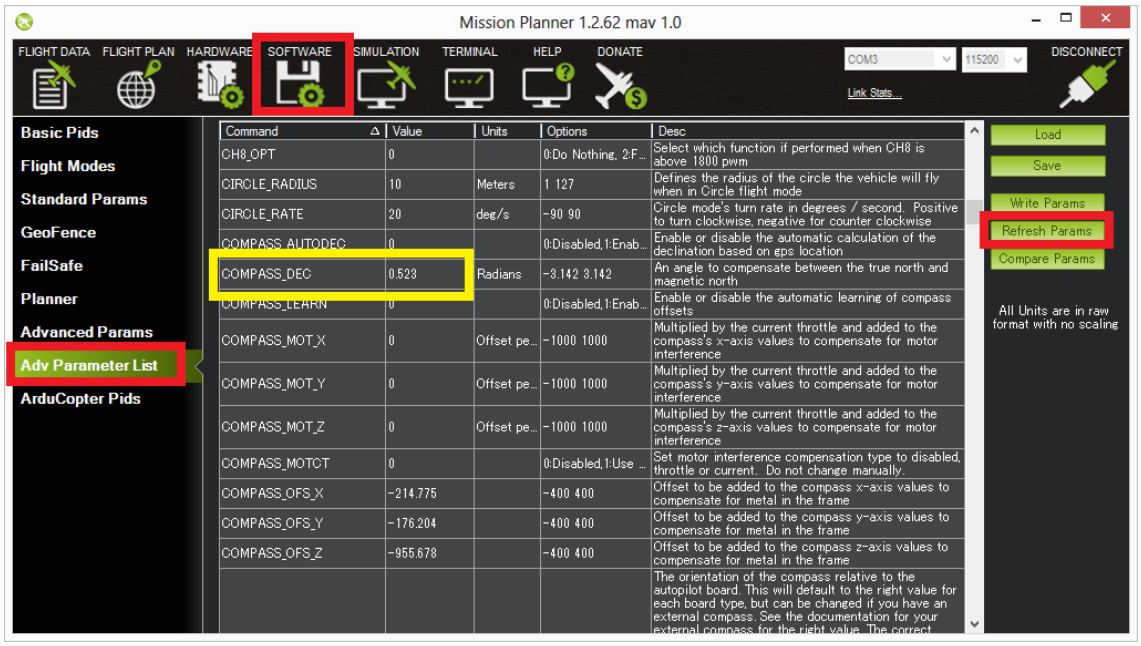
Adım 2:" Software > ArduCopter PIDS" ekranı açılır,

Adım 3: Şekil 4.31'de gösterildiği gibi PIDS ekranında "ch6 Opt" aşağı açılır kutudan "Declination" seçilir ve min değeri "0.0" ve max değeri "3.0" olarak ayarlanır (Bu ayar -30° ile +30° arasında test aralığı sağlamaktadır. Eğer max değeri "2" olarak ayarlansaydı –20 ile +20 arasında bir test aralığı elde edilirdi).



Şekil 4.31. MP – Uçuş sırasında kompas kalibrasyonu yapmak için gereken ayarların yapıldığı arayüz

Adım 4: Sapma değerinin doğru ayarlandığını kontrol etmek için altıncı kanala atanan Knob anahtarı çevirilerek en yüksek pozisyonuna getirilir ve Şekil 4.32'de gösterildiği gibi "Software > Adv Parameters List" ekranına giderek "Refresh Params" düğmesine basılır ve COMPASS_DEC değerinin 0.523 olup olmadığına bakılır (0.523 radian cinsindendir ve 30°'ye karşılık gelir).



Şekil 4.32. MP programı – kompas sapmasının kontrol edildiği arayüz

Bu ayarlardan sonra helikopter Loiter modda ve en az iki farklı yönde uçurulur. İleri doğru hızlı bir uçuşu da tamamladıktan sonra helikopterde bir sallanma ya da beklenmedik komut dışı tepkilerin görülmemesi beklenir.

Eğer yine helikopterde beklenmeyen titreme ve sallanma oluyor ise Kompas üzerindeki manyetik parazit fazladır ve harici Kompas ya da harici *GPS* ve Kompas modülü kullanımı gerekmektedir.

Uçuş anında yapılan otomatik kalibrasyon: ArduFlyer kartın otomatik olarak sapma değerlerini uçuş sırasında öğrenebilme yeteneği mevcuttur. Fakat helikopterler için otomatik öğrenme yeterince iyi sonuçlar üretememektedir. Çünkü helikopterde kullanılan donanımlar (motor, yüksek akımlı piller vs.) daha fazla manyetik parazit yaratmakta, sapma değerleri büyümekte (–150 den az +150 den fazla) ve büyük değerlerin hesaplanması ArduFlyer işlemcisi için zor olabilmektedir. Bu durum yanlış yön bilgileri üretilmesine ve *RTL*, Loiter ve Auto modlarında yanlış yönlere gidilmesine sebep olmaktadır.

Otomatik olarak Manyetik Sapma özelliğinin etkinleştirilmesi için yapılması gerekenler aşağıdaki gibidir:

Adım 1: ArduFlyer kart, *MP* programına bağlanır.

Adım 2: "Software > Advanced Params" ekranına gidilir, "Learn compass offsets automatically (COMPASS_LEARN)" parametresi bulunur ve "Enabled" olarak seçilir.

Adım 3: Şekil 4.33'de gösterildiği gibi "Write Params" düğmesine basılır.



Şekil 4.33. Kompas kaymalarının otomatikleştirilmesi

Uçuş sonrası log bazlı kalibrasyon: Bu özellik otomatik öğrenme (auto learn) metodu ile neredeyse aynıdır. Sadece gerçek uçuş sırasında kalibrasyon yerine daha önce uçulmuş bir log dosyasından kalibrasyon yapmaktadır. Fakat canlı uçuş yapılmadığı için kalibrasyon, gerçek uçuş sırasındaki yüksek parazit, titreşim gibi sapmaya etki eden etkileri ölçemez ve kalibrasyon başarılı olmayabilir.

Kaydedilen log dosyası en az birkaç dakikalık uçuş verisi içermelidir. Hava aracı uçuş sırasında tüm yönlerde (kuzey, güney, doğu, batı) hareket etmelidir. Kalibrasyon adımları aşağıdaki sırayla özetlenebilir:

Adım 1: ArduFlyer kart, *MP* programına bağlanır.

Adım 2: Şekil 4.34'de görüldüğü gibi "Hardware > Mandatory Hardware > Compass" ekranına gidilir ve "Advanced Config Only" başlığı altındaki "Log Calibration" düğmesine basılır,

Adım 3: En düşük gaz *(*Min. Throttle) kutusu açılınca öntanımlı gelen 30 değeri değiştirilmeden bırakılır,

Adım 4: Eğer açılır pencerede "Log yeterli uçuş verisi içermiyor – Log does not contain enough data" mesajı geliyorsa daha uzun veya her yöne uçuş yapılmış bir uçuşun log dosyası seçilir.

Eğer işlem başarılı bir şekilde tamamlanmış ise yeni sapma değerleri ekranda görüntülenecektir. Bu değerler [–150, +150] arasında ise kalibrasyon başarı ile sonuçlanmış denilebilir.



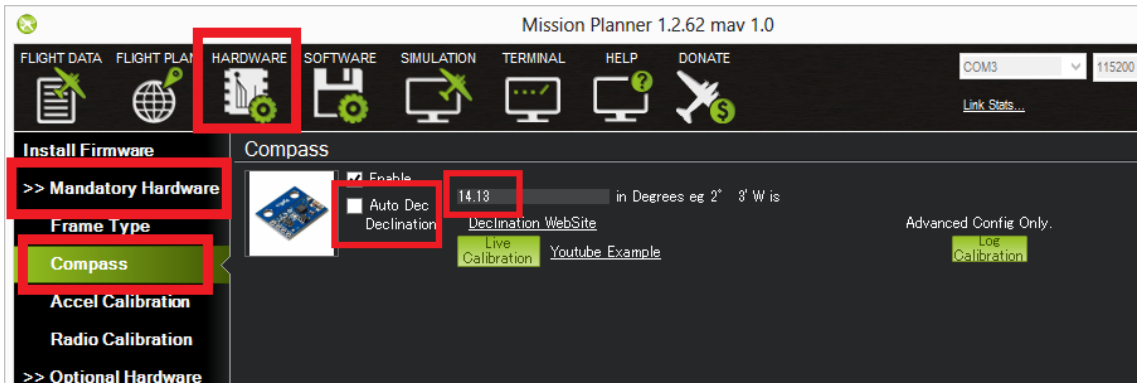
Şekil 4.34. Log bazlı kompas kalibrasyonu arayüzü

Manyetik sapmanın uçuş bölgesine göre el yordamı ile girilmesi: Öntanımlı olarak ArduFlyer kart manyetik sapma değerini, *GPS* kilidi sağlandığında sıkıştırılmış bir tablodan okuyacaktır. Bu yöntem genelde bir (1°) derece hata payı üretir. Eğer sıkıştırılmamış manyetik sapma değeri kullanılması isteniyorsa aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

Adım 1: Manyetik sapma sitesinden uçuş yapılacak bölgeye göre sapma değeri bulunur,

Adım 2: "AutoCheck" onay kutusundaki işaret kaldırılır ve tespit edilen manyetik sapma değeri ilgili kutucuğa girilir (Şekil 4.35'de kırmızı kutu ile seçilen alanda bu değer "14.13" olarak girilmiştir).

Adım 3: Değer ilgili alana girildikten sonra ondalık değere otomatik olarak çevirilir ve *EEPROM*'a kaydedilir.



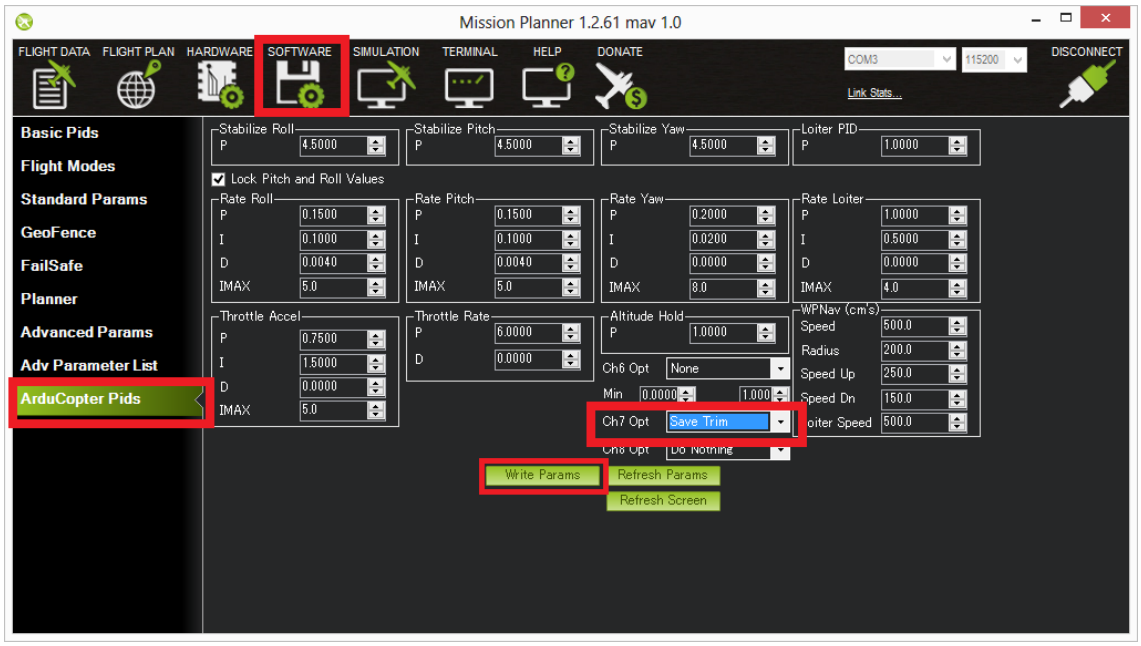
Şekil 4.35. Manyetik sapmanın uçuş bölgesine göre el yordamı ile girilmesi

4.6.2. Trim Kalibrasyonu

Trim kalibrasyonu, helikopterin uçuş sırasında havada sabit kalmasını engelleyen küçük hataları tölere eden ayarlardır. Rüzgâr gibi dış etkenlerin uçuşa etki etmediği bir ortamda, helikopter havada iken komut vermeden helikopterin 5–10 saniye gibi kısa bir süre de olsa havada sabit kalabilmesi (Hover) beklenir. Fakat uçuş birçok parametreye bağlı olduğundan her zaman bu durumu sağlamak mümkün olamayabilir. Bunun için Trim ayarları kullanılarak helikopterin Hover'da kalması sağlanabilir. Bu özellik, rüzgârlı havalarda, rüzgâra mükavemet içinde kullanılabilir. Trim ayarları uzaktan kumandadan yapılabildiği gibi ArduFlyer kart üzerinden de yapılması mümkündür. Bunun için *MP* programında "Initial Setup –> Mandatory Hardware" sekmesi altında "Heli Setup" bölümünde ilgili Trim ayarları değiştirilebilir. Trim ayarları el yordamıyla ve Otomatik olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir.

El yordamıyla trim ayarı: Birçok hava aracının özellikle model helikopterlerin düzgün uçması birçok etkene bağlıdır. Bunlardan bir tanesi de kalibrasyondur. Donanımsal olarak her şey düzgün yapılmış olsa da gözle fark edilemeyen Swashplate'teki bir eğim ya da herhangi bir Ball link'in 1 mm kısa olması helikopterin hatalı olarak istenmeyen bir yöne uçuşuna sebep olur. Bunu düzeltmek için kalibrasyon yapmak gerekmektedir. El yordamıyla kalibrasyon yapabilmek için aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

Adım 1: MP programında Şekil 4.36'da gösterildiği gibi "ArduCopter PIDS" arayüzünden "Ch7 Opt" sekmesinden yedinci kanala "Save Trim" özelliği atanır ve "write params" düğmesi tıklanarak kaydedilir (Uzaktan kumandadan da gerekli kanal ataması yapılmalıdır. Farklı uzaktan kumandalar için farklı ayarlar söz konusu olduğundan ayrıca araştırılması gerekmektedir).



Şekil 4.36. MP programı – El yordamı ile trim kalibrasyonu

Adım 2: Atanan yedinci kanal kapalı durumdayken helikopter Stabilize modda uçurulur ve helikopter Hover modda sabit durana kadar kumanda üzerinden Trim ayarları yapılır.

Adım 3: Helikopter yere indirilir ve gaz çubuğu en alta çekilerek motor durdurulur. Disarm işlemi yapılır.

Adım 4: Roll ve Pitch çubuğu serbest bırakılır ve kanal yedi (7) en az bir saniye süreyle açık tutulur (*EEPROM*'a ayarların kaydedilmesi için) ve geri kapatılır.

Adım5: Hover sırasında yapılan Trim ayarları tekrar merkeze gelecek şekilde ayarlanır ve Arm işlemi yapılarak tekrar uçulur. Uçuş yine düzgün değilse 2, 3 ve 4'üncü adımlar tekrar edilir.

Otomatik trim ayarı: Otomatik kalibrasyonda, el yordamıyla yapıldığı gibi kanal atama işlemi yoktur ve daha basittir. Bunun için izlenmesi gereken adımlar aşağıdaki gibidir:

Adım 1: ArduFlyer kart Arm edilir (Throttle/Yaw çubuğunun en alt ve en sağa çekilerek 2 sn. beklenmesi işlemi),

Adım 2: Arm işlemindeki gibi Throttle/Yaw çubuğu 15–20 sn. daha en sağ ve en altta tutulur,

Adım 3: ArduFlyer kart üzerindeki sarı, mavi ve kırmızı LED ışıkların yanıp sönmeye başlaması ile en az 20 sn. uçularak helikopter Hover modda tutulur,

Adım 4: İniş yapılmasının hemen ardından yapılır (Böylece Trim ayarları *EEPROM*'a kaydedilecektir),

Adım 5: Uçuş testinin tekrarlanarak uçuşun daha düzgün olduğu kontrol edilir.

4.6.3. Kompasın manyetik sapma testi

Akım ve voltajın ArduFlyer kart üzerindeki etkisinin test edilmesi önemlidir. Bunun için güç modülü aparatı kullanılması gerekmektedir. Bu aparat hem pil üzerindeki akımı üzerinden geçirir hem de istenirse bir kablo ile 5V gücü ArduFlyer karta vererek kartı besler. Aparatın ArduFlyer karta olan bağlantısı sayesinde *MP* programı helikoptere giden anlık voltaj ve akım bilgilerini okuyabilmekte ve oluşan manyetik alanın dâhili Kompas üzerindeki etkisini analiz edebilmektedir.

Tez çalışmasında bu test *MP* ile yapılmıştır fakat değerlerin çevre değişkenlerine (elektronik ortam, radyo sinyalleri, mıknatıs) bağlı olarak değişmediği gözlenmiştir. Bu sorunun *MP* yazılımındaki bir hatadan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Testin aşamaları aşağıdaki gibidir:

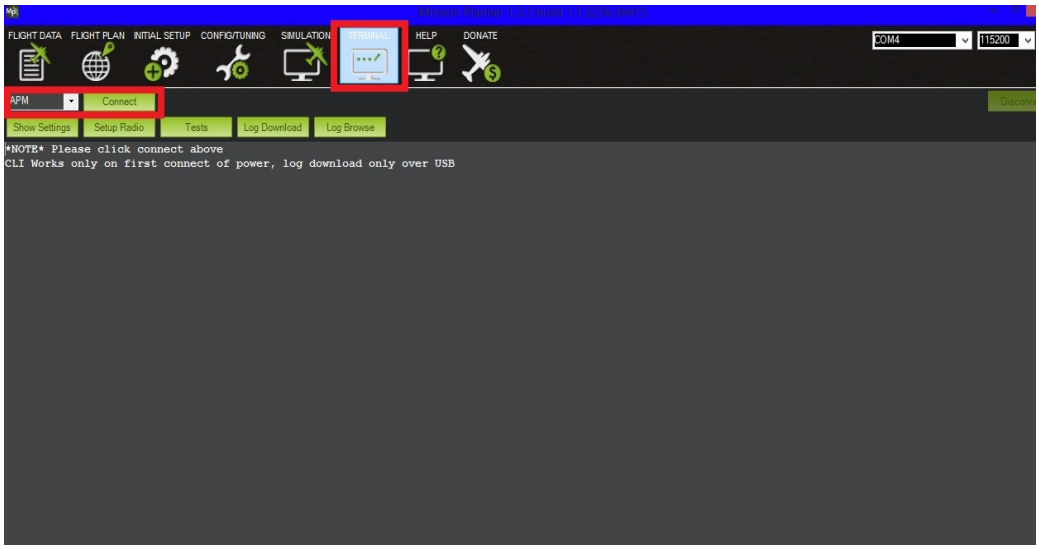
Adım 1: 3DR modülü, ArduFlyer karta bağlanır,

Adım 2: Kumanda açılır,

Adım 3: Pil helikoptere bağlanır,

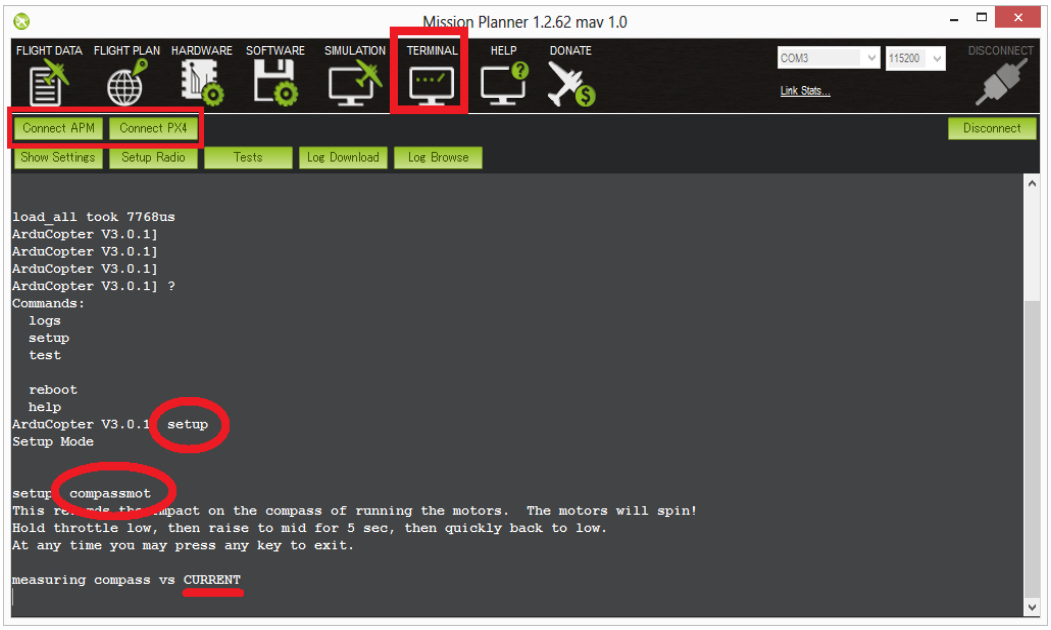
Adım 4: ArduFlyer kart *USB* ile PC'ye bağlanır,

Adım 5: Şekil 4.37.'de görüldüğü gibi *MP* açılarak terminal ekranından bağlantı yapılır,



Şekil 4.37. MP programı– Terminal bağlantısı

Adım 6: Şekil 4.38'deki gibi terminal ile bağlantı sağlandığı görüldükten sonra "Setup" ve "compassMot" komutları girilir,



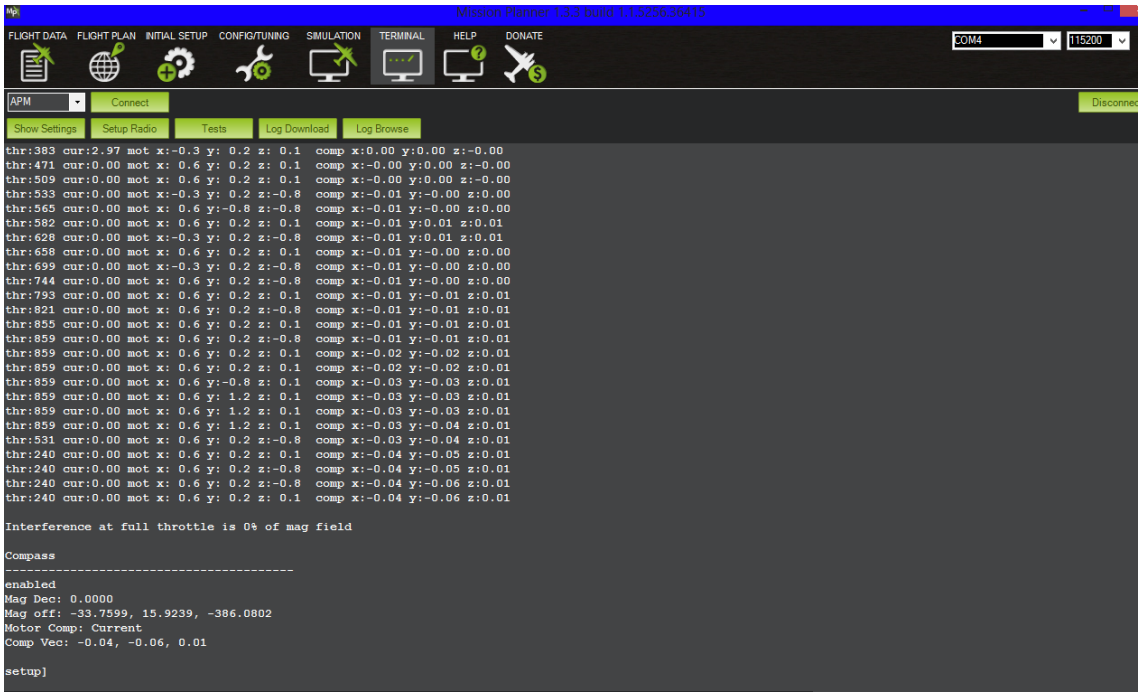
Şekil 4.38. MP programı – Terminal komutlarının girilmesi

Adım 7: Gaz çubuğu yavaşça %50 ile %75 seviyesine kadar arttırılır (motor dönecektir) ve 5–10 saniye bu seviyede bekletilir,

Adım 8: Hızlıca gaz çubuğu sıfır (en alt) pozisyonuna getirilip "Enter" tuşuna basılarak kalibrasyon tamamlanır,

Adım 9: Kalibrasyon tamamlanınca alt satırlara kalibrasyon sonuçları yazılacaktır. Yüzde "%" ile gösterilen parazit (interference) değerine bakılmalıdır. Bu değer % 30 dan az ise kabul edilebilir bir değerdir ve Loiter, *RTL* ve otomatik mod performanslarının uçuş sırasında iyi olacağı beklenmektedir. Eğer değer %31 ile %60 arasında ise yine uçuşun iyi olacağı beklenir, fakat sorun yaşanabilmektedir. Eğer değer %60 ve üzeri ise ArduFlyer kartı, manyetik alan sonucu parazit yaratan kaynaklardan (motor, kablosuz aygıtlar, yüksek akım geçen kablolar) uzakta tutmak gerekir. Bu yapılamıyorsa harici Kompas veya *GPS* + Kompas modülü ArduFlyer karta ayrıca takılabilir.

Bu işlemler sonucu yapılan kayıtlar ile Kompasın; motor ve diğer manyetik sapma yaratan ekipmanlardan ne kadar etkilendiği görülecektir.



Şekil 4.39. Terminal ekranında kayma değerlerinin görülmesi

Şekil 4.39'da görüldüğü gibi Kompas'ın x, y ve z sapması sırasıyla 33, 15 ve 386'dır. Burada 150 değerini geçen değerler, uçuş sırasında kaymaya ve hava aracının kontrolden çıkmasına neden olabilmektedir.

Çalışma kapsamında yapılan testlerde MAG_OFF_Z değeri 390 civarında çıkmıştır. Bu durum, kart ile uçuşu tehlikeye atabilecek bir değer olduğundan ArduFlyer karta harici takılan ve manyetik alandan uzak bir yere monte edilebilen *GPS* ve Kompas özelliği olan bir aparat alınmıştır. Aparatın takılmasından sonra elde edilen MAG (Magnetic) x,y,z değerleri sırasıyla –14, +6 ve –59 dur. Bu değerler [–150, +150] sınır değerlerinin çok altındadır.

Diğer taraftan compassMot testi ArduFlyer kartın helikopteri desteklememesi ve zorunlu ek donanım kullanılması gerektirdiğinden başarıya ulaşamamıştır. Bunun yerine helikopterin uçuş sırasında ürettiği sapma değerlerine bakılarak manyetik sapma problemi olmadığı anlaşılabilmiştir.

4.6.4. Titreşim ölçme testi

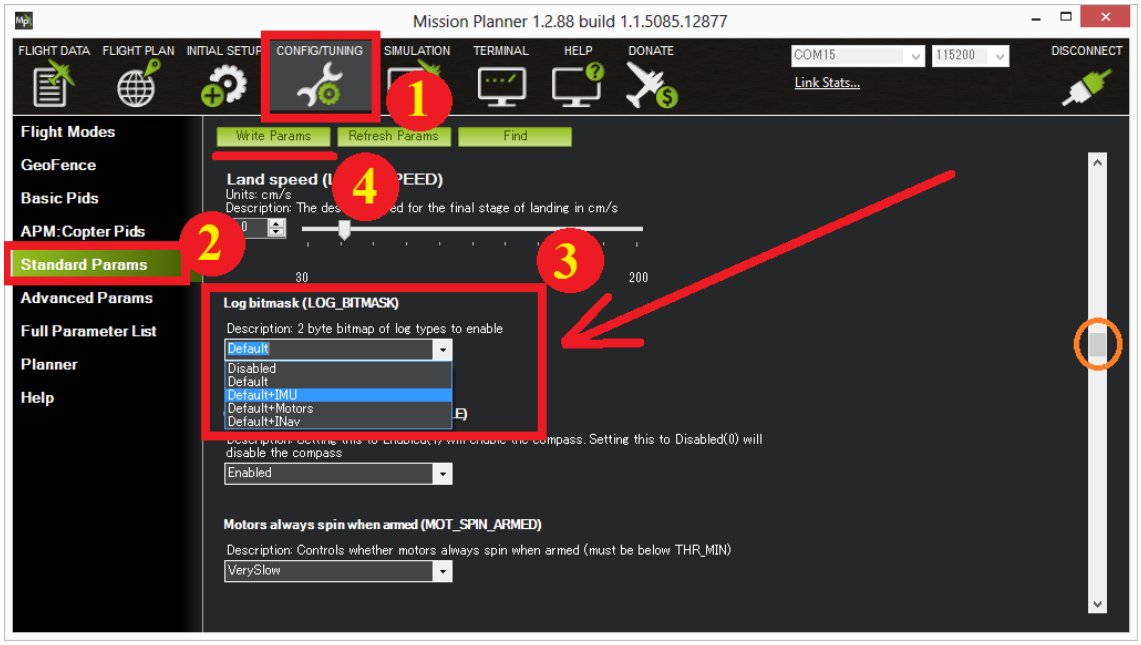
Otomatik uçuş için önemli olan Loiter ve *AltHold* modun düzgün çalışması için titreşimi ölçme ve bu titreşimin belli sınırlar içinde olmasını sağlamak gerekmektedir. Titreşim ölçme işlemi adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: ArduFlyer kart *MP* programına bağlanır,

Adım 2: "Config/ Tuning > Standart Params" ekranına gidilir,

Adım 3: Şekil 4.40'da görüldüğü gibi "Log Bitmask" parametresi bulunarak aşağı açılır kutu'dan "Default + IMU" değeri seçilir (Bu seçenek dataflash log'una Accelerometer loglarının da kaydedilmesini sağlamaktadır),

Adım 4: "Write Params" düğmesine basılarak ayarlar kaydedilir.

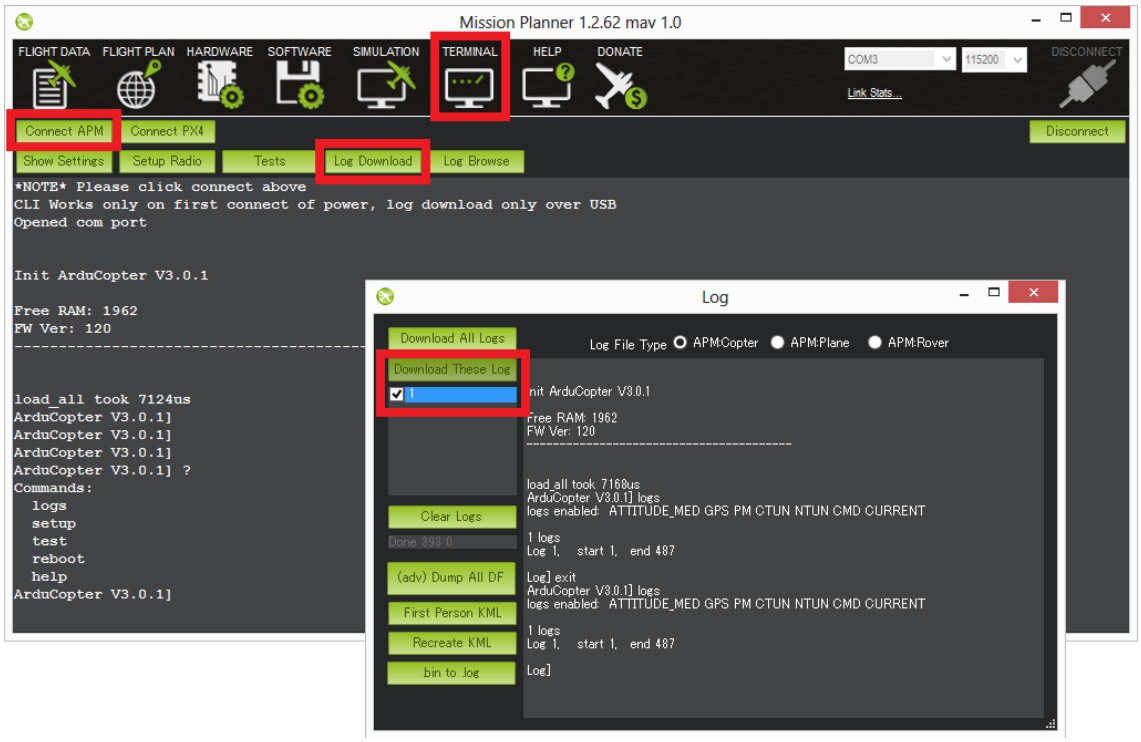


Şekil 4.40. Accelerometer loglarının kaydedilmesi

Adım 5: Bu ayarlardan sonra helikopter Stabilize modda uçmalıdır uçuş sırasında Hover modda kalmayı sağlamak grafik analizinde kolaylık sağlayacaktır,

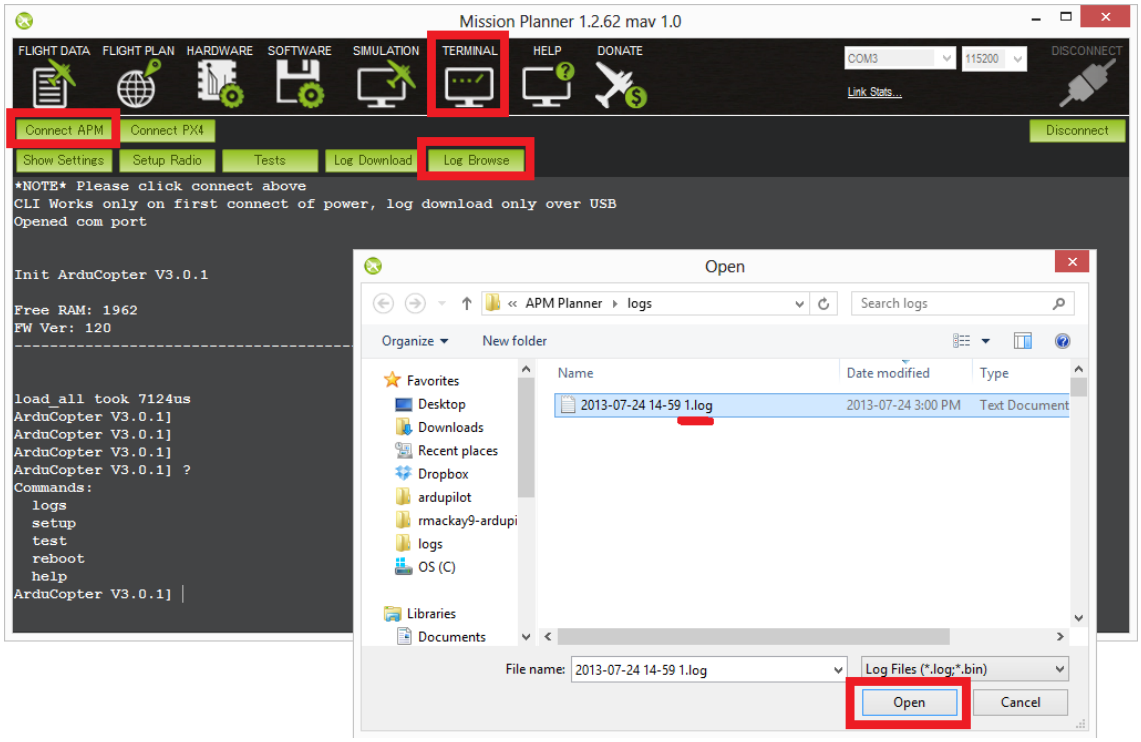
Adım 6: Uçuş sonrası ArduFlyer kart *MP* programına bağlanır,

Adım 7: Uçuş sırasında kaydedilen loglar, Şekil 4.41'de görülen terminal ekranı aracılığıyla bilgisayara indirilir,



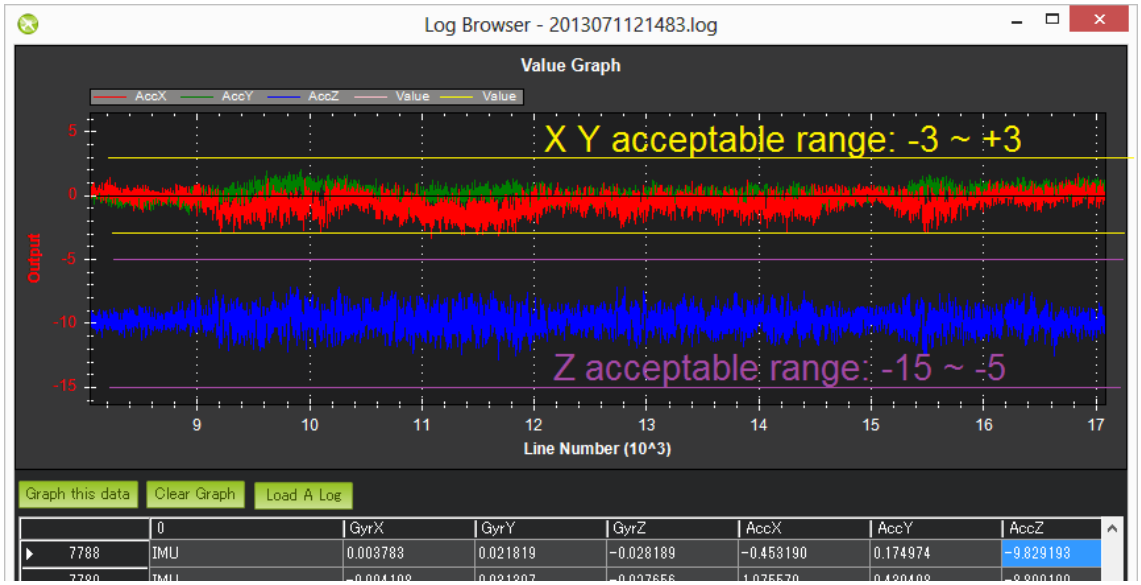
Şekil 4.41. Logların bilgisayara indirilmesi

Adım 8: Log dosyası indirildikten sonra log penceresi kapatılır ve indirilen log dosyası Şekil 4.42'deki gibi "Log Browser" düğmesine tıklanarak seçilir,



Şekil 4.42. Logların analiz için açılması

Log grafik halinde ekranda görülecektir. Grafiğin altında *IMU* mesajı bulunana kadar scroll çubuğu aşağı indirilir. *IMU* mesajı içinde AccX, AccY ve AccZ sütunları sıra ile seçilerek "Graph this data" düğmesine tıklanır ve Şekil 4.43'deki gibi bir grafik elde edilir.



Şekil 4.43. Logların analizi (URL:6)

Grafikte AccX, Y ve Z değerlerinin [–3, +3] arasında olup olmadığı kontrol edilir. AccZ için kabul edilebilir değer aralığı [–15, –5]'dir. Eğer değerler bu aralıklara çok yakınsa titreşim azaltmak için Paller ve donanımsal bağlantılar gözden geçirilerek titreşim belirtilen değerler arasına çekilmelidir.

Yukarıdaki tüm bu işlemler yapıldıktan sonra *MP* içinde "Standart Parameters" bölümünde "Log Bitmask" parametresinin ayarlandığı aşağı açılır kutudan tekrar "Default" seçeneği seçilerek "Write Params" düğmesine tıklanır ve ayarlar kaydedilir. Bu işlem önemlidir çünkü ArduFlyer kartın fazla log tutması işlemciye çok fazla yük bindirmektedir.

Titreşim beklenen aralıklardan fazla çıkıyor ise azaltmak için aşağıdaki yollara başvurulabilir;

1- Motor, Paller ve *ESC*'nin gözden geçirilmesi;

- Helikopter titreşiminin kaynağı; Paller, helikopterin iskelet aksamındaki esneme miktarı/kalitesi ile motor gibi etkenlerdir. Titreşimi önemli ölçüde azaltmak mümkündür.

- İskelet aksamı ve özellikle Pal tutucunun esneme yapması, titreşimin ana sebeplerindendir. Pal tutucular olabildiği kadar sıkı ve esnemeyen türde olmalıdır.
- Kaliteli karbon fiber malzemeden yapılmış gövde iskeleti de eğilme, esneme ve bükülmeye karşı dirençlidir.
- Daha ağır olan aluminyum gövde helikopterlerin belli başlı markaları tercih edilebilir, esneme yapmazlar. Fakat kopya ürünler aluminyum da olsa titreşim konusunda başarısızdır.
- Düşük kalitede malzeme ile yapılan gövde üstüne, ağırlık da eklenirse titreşim artacaktır. Titreşim azaltma için göz önünde bulundurulmalıdır.
- Motorun ana gövdeye bağlantısına dikkat edilmeli, olabildiğince parallel ve simetrik bir şekilde en az titreşim sağlanması göz önüne alınarak monte edilmelidir.
- Paller eşit ağırlıkta, ağırlık merkezi birebir aynı ve Pal takibi testi yapılmış olarak takılmalıdır. Her üç unsur da titreşim azaltmak için çok önemli etkenlerdir.

2- ArduFlyer Kartın izolasyonunun gözden geçirilmesi;

- Çift yönlü elastik yapıştırıcı kullanımı (Dubro Foam),
- Jel Pad kullanımı (Gel Pad),
- Kauçuk elastik çember kullanımı (O–ring Suspension Mount),
- Kulak tıkacı benzeri yalıtım kullanımı (Ear Plug Mount).

4.6.5. Gaz çubuğunun orta nokta testi

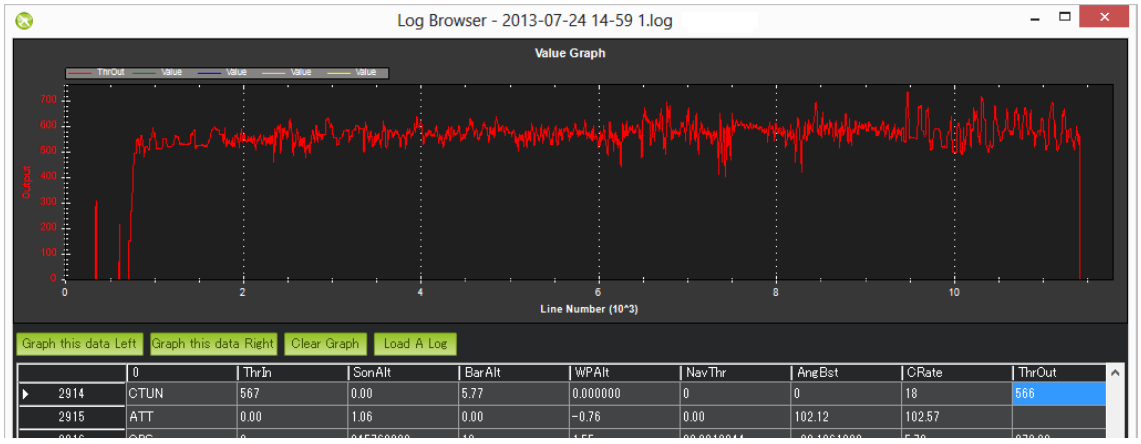
AltHold ve Loiter gibi otomatik uçuşda, kritik uçuş modlarının düzgün çalışabilmesi için gaz çubuğunun orta noktasının düzgün belirlenmesi önemlidir. Çünkü Loiter ve *AltHold* modunda gaz çubuğu %40 ve %60 arası bir konumdaysa otomatik moddan çıkmakta ve öntanımlı belli bir yüksekliğe (2,5m) konumlanmaktadır. Otomatik moddan çıkmamak için helikopterin %50 civarında Stabilize modda Hover yapabilmesi bu bakımdan çok önemlidir. Orta noktayı düzgün sağlamak için yapılması gereken ayarlar aşağıdaki gibidir:

- Helikopter ile en az 30 sn. Stabilize modda Hover'da duracak şekilde uçulması,
- Helikopter üzerindeki bataryanın çıkarılarak ArduFlyer kartın *MP* programına bağlanması,

- *MP*'da "Terminal" ekranına giderek "Dataflash Log" dosyasının bilgisayara indirilmesidir (Bakınız Şekil 4.41).

İndirme işlemi bitince "Log" penceresi kapatılır ve "Log browse" düğmesine basılır ve gelen pencereden en son tarihli log dosyası açılır. Şekil 4.42'de görüldüğü gibi dosyanın en sonundaki sayı log numarasını göstermektedir, tek bir dosya mevcut olup Log #1 indirilmiştir, bunun için dosyanın sonu 1.log ile bitmektedir.

Şekil 4.44'de görüldüğü gibi "Log Browser" ekranında kontrol ince ayar (Control Tuning – *CTUN*) mesajı bulunana kadar kaydırma çubuğu aşağı çekilir. *CTUN* mesajı içinde "ThrOut" kolonu seçilir ve "Graph This Data Left" düğmesine basılır.



Şekil 4.44. Gaz çubuğunun orta noktasını saptama

Şekil 4.44'deki grafiğin sol tarafında, gaz(ThrOut) seviyesinin Hover pozisyonunda iken yaklaşık ne kadar olduğu görülmektedir ve 550 seviyesindedir.

Eğer ortalama gaz 300'ün altında olursa (%30) bu fazla güçlü bir helikopter olduğunu gösterir ve ekstra ağırlık koymak, daha büyük bir batarya koymak veya motoru küçültmek gibi önlemler almak gerektiği anlamına gelir.

Eğer ortalama gaz 700 ve üstü olursa (%70) bu güçsüz bir helikopter anlamına gelir ve daha güçlü bir motor veya pil kullanmak ya da daha hafif bir helikopter gerektiği anlamına gelebilir.

Grafik analizinden sonra, grafikte bulunan ortalama gaz değeri (550), *MP* programında "Standart Params" penceresinde gaz orta değeri (Throttle Mid Position – THR_MID) yerine girilir ve aynı pencerede bulunan "Write Params" düğmesine basılarak güncelleme ArduFlyer karta kaydedilir.

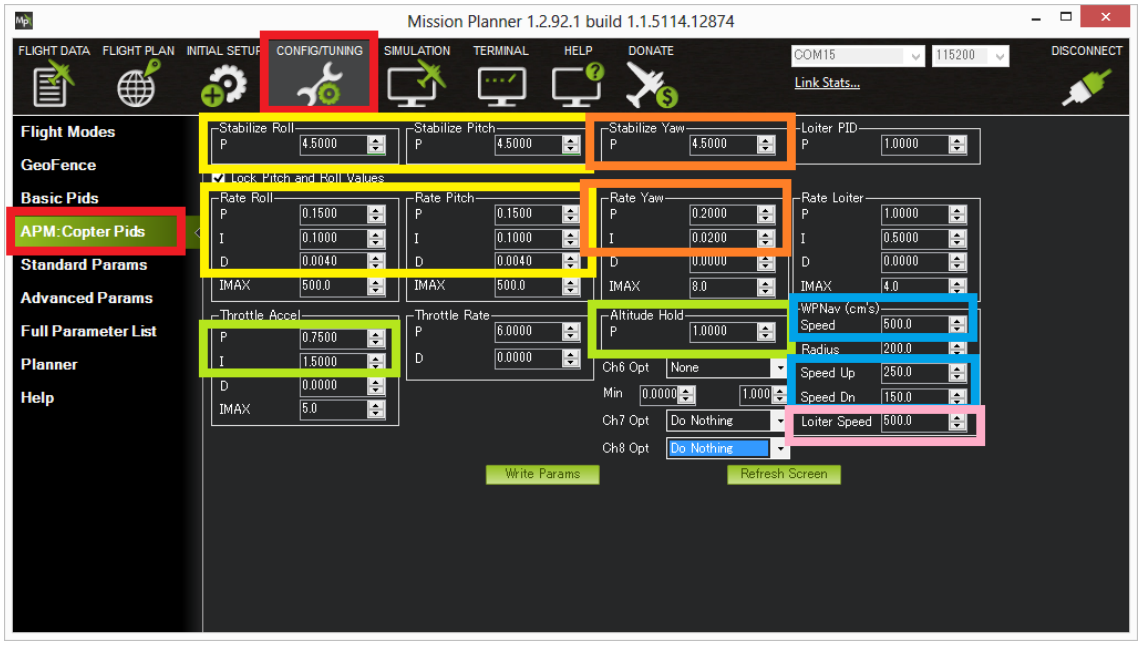
Böylece bir sonraki uçuşta helikopter gaz çubuğu %50 güç civarında Hover modda uçacaktır.

4.6.6. PID kalibrasyonu ve çeşitleri (*PID* Tuning, Auto *PID* Tuning)

Bu başlık altında *PID* ayarlamalarının *MP* programı vasıtasıyla nasıl yapılacağı açıklanmıştır. Daha önce ise ArduFlyer kart başlığı altında *PID* algoritmasının çalışma prensibi detaylı olarak açıklanmıştır. *PID* ayarları *MP* programı ile üç türlü yapılabilmektedir. Bunlar; Çevrimdışı El Yordamı ile *PID* Kalibrasyonu, Uçuş sırasında Eş Zamanlı El Yordamı ile *PID* Kalibrasyonu, Otomatik *PID* Kalibrasyonudur.

Çevrimdışı el yordamı ile PID kalibrasyonu:

PID parametrelerinin el yordamı ile ayarlanması *MP* programında "Config/Tuning" sekmesi altında "Extending Tuning" bölümü ile yapılabilmektedir. Şekil 4.45'de gösterilen ve uçuşu direk etkileyen bu parametreler; Roll/Pitch (Sarı), Yaw (Turuncu), Altitude hold (Yeşil), Loiter (Pembe), Waypoint navigation (Mavi)'dır.



Şekil 4.45. PID parametrelerinin ayarlanması

Roll/Pitch kalibrasyonu (Tuning): "Stabilize Roll/Pitch" ve "Rate Roll/Pitch" parametreleri Şekil 4.45'deki ekran görüntüsünde sarı çerçeve ile gösterilmiştir. Burada Rate parametresi, istenen rotasyon bilgisini Servoların döndürme değerine çevirmesinden dolayı en önemli parametredir.

"Stabilize Roll/Pitch P*"* istenen dönüş açısını istenen dönüş oranına çevirir, bu değer ise Rate kontrolcüsünü besleyen bir değer olarak kullanılır. Bu değer ne kadar yüksek verilirse helikopter Roll/Pitch komutlarına o kadar duyarlı olur, çok yüksek ayarlanırsa Roll/Pitch ekseninde helikopter titreme yapar, çok düşük ayarlanırsa helikopter verilen komutlara çok duyarsuz kalır.

Roll/Pitch kalibrasyonu sadece Stabilize ya da *AltHold* modda iken yapılmalıdır. Bu kalibrasyon aynı zamanda otomatik olarak da yapılabilmektedir. Yapılan kalibrasyonun ne kadar etkili olduğu loglardan görülüp analizleri yapılabilmektedir. Dataflash logları içinde "davranış (Attitude – *ATT)* mesajları" sekmesi seçilerek "Roll vs Roll–In" ve "Pitch vs Pitch–In" seçenekleri ile grafiksel analiz yapılabilir. Bu analizin nasıl yapıldığı Şekil 3.24'deki örnek grafikte gösterilmiştir.

Yaw kalibrasyonu: "Stabilize Yaw" ve "Rate" parametreleri turuncu renk ile Şekil 4.45'deki ekran görüntüsünde gösterilmiştir. Yaw parametresi genelde kısa süreli bir kalibrasyon ile bulunur. "Yaw Stabilize P" ve "Yaw Rate P" değerlerinin yüksek olması da titremeye sebep olur. Çok düşük olması ise hava aracının yönü sabitleyememesine sebep olur. ArduFlyer kartın ACRO_YAW_P parametresi helikopterin pilotun Yaw komutlarına ne kadar hızlı tepki vereceğini belirler. Bu parametre için ön tanımlı değer olan 4.5 değeri Yaw çubuğu tam sola ya da tam sağa çekildiğinde 200 derece/sn dönüş hızı anlamına gelir. Parametre detaylarına EK – C *PID* parametreleri ek'inde detaylı olarak değinilmiştir.

Altitude (Yükseklik) kalibrasyonu: Altitude Hold ile ilgili parametreler Şekil 4.45'teki ekran görüntüsünde yeşil renk ile çerçevelenmiştir. "Altitude Hold P" değeri yükseklik hatasını istenen tırmanma ya da alçalma oranına dönüştürmektedir. "Rate" için verilen yüksek değerler helikopterin tırmanırken daha saldırgan olmasına sebep olurken haddinden fazla yüksek verilen değer helikopterin bir anda sıçraması gibi beklenmeyen tepkilere yol açar.

Gaz oranı (Throttle Rate); istenen tırmanma oranını istenen ivmelenme değerine dönüştürerek motora girdi olarak gönderir. Ekstra bir kalibrasyon gerektirmez.

Throttle_Accel_PID değeri, ivmelenme hatalarını motordan alınan gerçek değerlerin formatına çevirerek hataları tölere eder. "Accel P" ve "I" değerlerinin birbirine oranı ½ dir (P değeri I değerinin yarısıdır). Bu değerlerin değiştirilmemesi tavsiye edilir.

Loiter kalibrasyonu: Roll/Pitch kalibrasyonu doğru yapılmış, *GPS* ve Kompas ayarlanmış ve titreme oranı kabul edilebilir bir seviyedeyse Loiter için ayrıca bir kalibrasyona genelde ihtiyaç duyulmaz.

Uçuş sırasında canlı PID kalibrasyonu: Kumanda üzerinden atanan hassas ayar anahtarı ile "Rate Roll/Pitch" *PID* ayarları uçuş sırasında ayarlanabilir. Hassas ayar anahtarı atanıp "Config/Tuning" sekmesi altında "Extended Tuning" bölümü içinde "Ch6 Opt" aşağı açılır kutudan hangi kalibrasyonun yapılacağı seçilir ve seçilen *PID* ayarının alabileceği alt ve üst sınır değerleri de girilir. Bu ayarın nereden yapıldığı Şekil 4.46'da kırmızı çerçeve ile gösterilmiştir. Yapılan değişiklikler ArduFlyer karta kaydedildikten sonra uçuş sırasında, ihtiyaca göre *PID* değerleri artırılır ya da azaltılır. Değerlerin anahtarı çevirme oranında artıp azaldığı Şekli 4.46'da sarı ile çerçevelenmiş kutucuklardan kontrol edilebilir.



Şekil 4.46. Uçuş sırasında PID değerlerini ayarlama arayüzü

Otomatik PID kalibrasyonu: Otomatik *PID* kalibrasyonu yapabilmek için öncelikle Altitude Hold modu çalışıyor olmalıdır. Bunun için kumandadan atanan bir anahtarın Altitude Hold modu için ayrılması gerekmektedir. İşlem adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: "Extended Tuning" sekmesi altında bulunan "Ch7 Opt" veya "Ch8 Opt" kanallarından herhangi biri "AutoTune" olarak seçilir (Şekil 4.47'de kırmızı çerçeve ile gösterilmiştir),

Adım 2: Atanan kanal kapalı pozisyona getirilir,

Adım 3: Teste başlamadan önce kumanda üzerinden herhangi bir Trim ayarının yapılmadığından emin olunur,

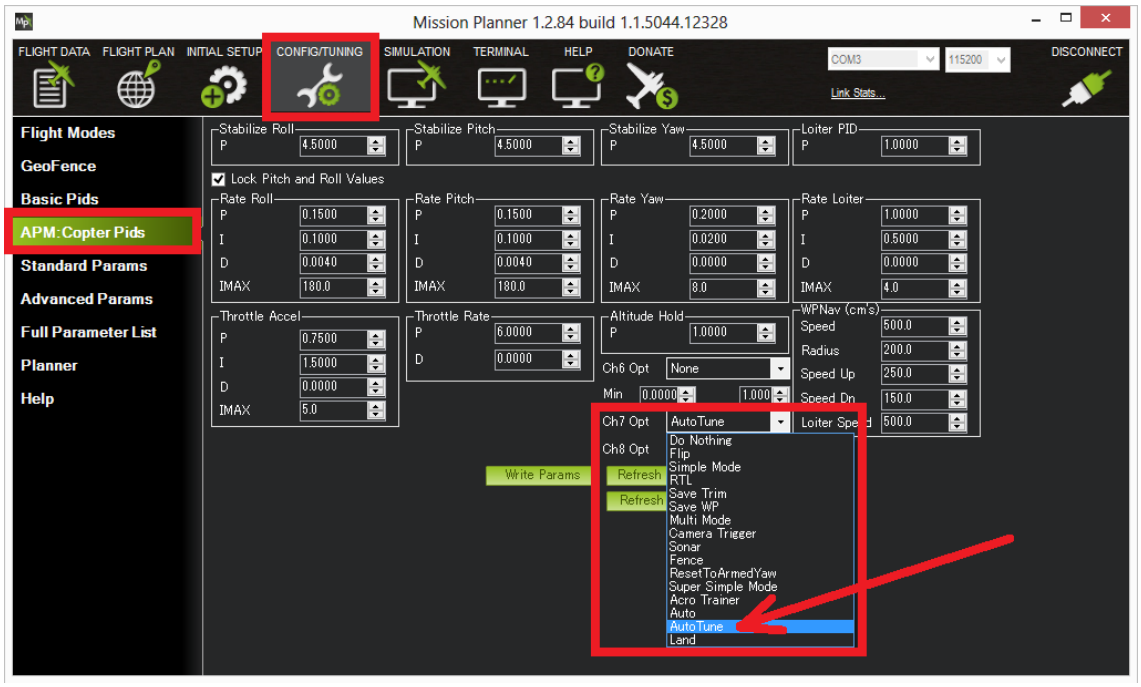
Adım 4: Çok geniş bir açık alanda, rüzgârsız ve bulutsuz bir hava beklenir,

Adım 5: Kalkış yapılır ve yeterli bir yükseklikte Altitude Hold moduna geçilir,

Adım 6: Ch7 veya Ch8 kanallarından hangisi atandı ise anahtarı aktif hale getirerek AutoTune moduna geçilir,

- AutoTune modunda helikopterin 20° açılarla birkaç dakika boyunca sağ ve sol yaptığı görülür ve hemen sonrasında ön ve arkaya 20° açılarla gidip gelmeye başlar.
- Eğer helikopter kayarsa, uzaklaşırsa ya da kontrolden çıkacak gibi olursa uzaktan kumanda ile doğru konuma getirilmelidir. Düzeltme işlemi bitince helikopter otomatik olarak AutoTune işlemine devam edecektir.
- AutoTune için atanan anahtar istenildiği zaman kapalı konuma getirilerek kalibrasyondan çıkılabilmektedir. Böylece eski ayarlar kalmaya devam etmektedir.

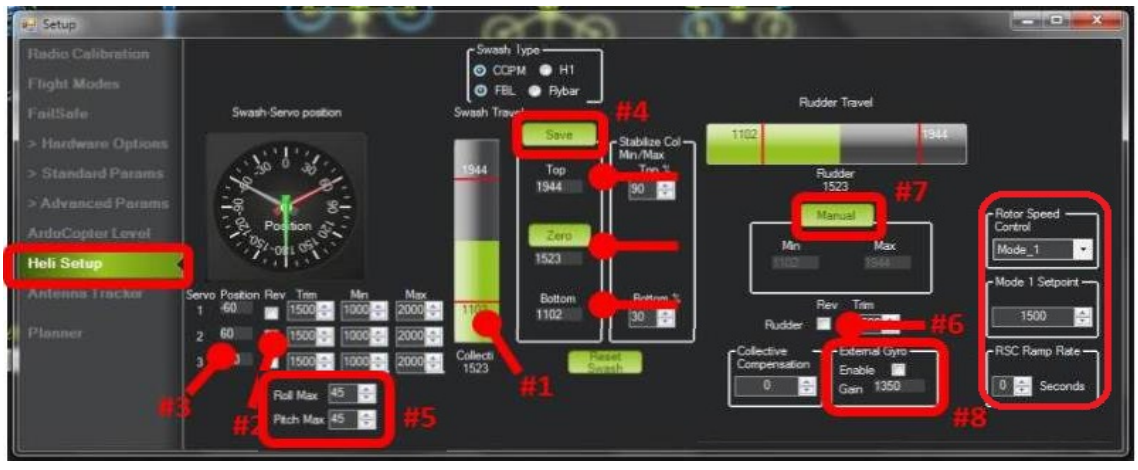
Adım 7: Kalibrasyon tamamlandığında eski *PID* değerleri üzerine yeni değerler yazılır. Atanan AutoTune anahtarını kapalı pozisyona alıp tekrar açık pozisyona getirerek kalibre edilmiş *PID* değerleri test edilebilir. AutoTune anahtarı kapalı konuma getirilerek orijinal *PID* değerleri ile de uçulabilir. Eğer yeni kalibre edilmiş değerlerden memnun kalınmış ise AutoTune için ayrılan anahtar açık pozisyonda iken iniş yapılıp Disarm yapılır. Böylece yeni ayarlar eski ayarlar üzerine kalıcı şekilde yazılmış olur. Eğer yeni değerler başarılı değil ise iniş sonrası AutoTune kanalı kapalı konuma getirilerek Disarm komutu verilir. Böylece yeni yapılan kalibrasyon değerleri etkili olmayacak, orijinal değerler korunacaktır.



Şekil 4.47. AutoTune modu seçimi arayüzü

4.6.7. Geleneksel helikoptere özel ayarlar

MP programı birçok hava aracı için kullanılabilen bir karttır. Dolayısıyla helikoptere özel bazı ayarlar yapılması gerekmektedir. Entegrasyon bölümünde helikopter ve ArduFlyer kart arasındaki *MP* accelerometer kalibrasyonu, radyo kalibrasyonu gibi temel ayarlar anlatıldığı için orada kapsanmayan diğer ayarlar bu konu başlığı altında anlatılmıştır. Bunlar; Servo Konfigürasyonu, SwashPlate Dönüş Limitlerinin Ayarları, Rudder Kalibrasyonu, Rotor Hız Kalibrasyonu (RSC – Rotor Speed Calibration) dur.



Şekil 4.48. Geleneksel helikoptere özel ayarlar arayüzü

Servo konfigürasyonu:

Servo multikopterlerde kullanılmaz fakat helikopterler için yön vermede kullanılır. Bu ayarlamalar Şekil 4.48'deki numaralandırma sırasıyla aşağıda açıklandığı şekilde yapılmaktadır.

Adım 1: Uzaktan kumandanın gaz çubuğu hareket ettirildiğinde Şekil 4.48'de 1 numara ile gösterildiği gibi Collective Pitch bar'ının hareket etmesi gerekir. Etmiyor ise radyo kalibrasyonunun tekrar yapılması gerekir. Gaz çubuğu hareketi sonucu Collective Pitch bar'ı ters yönde hareket ediyorsa kumandadan ya da *MP* programından herhangi birisi ters yöne ayarlanmalıdır (reverse).

Adım 2: Collective Pitch hareketi sırasında tüm Servoların doğru yönde hareket edip etmediği gözlenmelidir. Zıt yönde bir hareket var ise ilgili Servo tersine komut vermesi için ayarlanır.

Adım 3: Tüm Servoların, Swashplate'i yere tam paralel olarak durduracak şekilde ayarlandığından emin olunmalıdır. Bunun için SwashPlate Leveler aparatı kullanılabilir (Bakınız Şekil 4.2.c.). Hassas ayarlar ise Şekil 4.48'de 5 numara ile gösterilen bölümden yapılmaktadır.

SwashPlate dönüş limitlerinin ayarları:

Adım 4: Şekil 4.48'de 7 numara ile gösterilen "manual" düğmesine basılır, böylece Servolar kısa süreli boşta kalır ve uzaktan kumandadan gelen yön verileri direk Servolara ulaşır.

Uzaktan kumanda ile Collective Pitch komutu verilerek Swashplate'in alt ve üst sınırları belirlenir. Eğer kaza ile swash'ın alt ve üst limitleri çok geniş belirlendiyse el yordamı ile ayarlar istenilen oranda tekrar ayarlanabilir.

Ana Pallerin Pitch açısının sıfır (Pitch ölçüm aleti kullanılmalıdır) olduğunu gördükten sonra "zero" düğmesine basılmalıdır. Helikopterin daha rahat bir uçuş karakteristiğine kavuşması için Pitch açısı 3° veya 4° olarak da ayarlanabilir (Böylece mod değiştirirken helikopter ek bir tırmanma yapmaz). "Save" düğmesine tıklanarak ayarlar kaydedilir.

Adım 5: Azami Roll ve Pitch değerleri 45° olarak tanımlanır. Şekil 4.48'de 5 numara ile gösterilen bu değer birçok helikopter için yeterlidir.

Rudder kalibrasyonu:

Adım 6: Eğer kuyruk ters yönde hareket ediyorsa Şekil 4.48'de 6 numara ile gösterilen "Rev" onay kutusunu seçili olarak ayarlamak gerekir. Kuyruğun dönüş yönü kontrolü

için Yaw çubuğu sağa çekildiğinde kuyruk saat yönünde, sola çekildiğinde ise kuyruk saat yönünün tersine dönmesi gerekir.

*Adım 7: "*Manual" düğmesi tıklanarak uzaktan kumanda ile azami ve asgari Rudder (Yaw ekseninde hareketi sağlayan uzaktan kumanda çubuğu) sınırları belirlenir.

*Adım 8: "*Save" düğmesine tıklanarak ayarlar kaydedilir.

Rotor hız kalibrasyonu (RSC– Rotor Speed Calibration):

ArduFlyer kartının Rotor hızını kontrol etmesi için gaz sinyalini kanal 8 girişine aktarmak gerekir. Çalışmada ArduFlyer karta gelen gaz sinyali 3. giriş bacağına girmektedir. Bu kanala gelen sinyal kablosu çoğaltılarak diğer sinyal kablosu da 8. giriş kanalına aktarılmıştır. Bu ayarlamayı yapmak önemlidir. Çünkü Arm ve Disarm işleminin başarılabilmesi için 8. giriş kanalına gaz sinyalinin gitmesi gerekir. Arm işlemi yapmadan ise uçuş yapılamamaktadır.

4.5.8. Sanal uçuş testi

ArduFlyer kart üzerinde yapılan her parametre değişikliğinde, donanım ekleme veya değiştirme işlemi sonrası kalibrasyon ve test yapılmasına, sonrasında ise ayarların uçuşa uygun olup olmadığının görülmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Uygunluğun görülmesi için canlı uçuş testi yapılması gerekmektedir. Fakat helikopterin uçması gereken testler genelde başarısızlıkla sonuçlanmakta, büyük maliyetler ortaya çıkmakta ve yaralanmalara sebep olabilmektedir. Bunun yanı sıra her parametre değişikliğinde gerçek uçuş ile test yapılabilmesi için güvenli ve yeterli genişlikte açık bir alan gerekmektedir (Tez kapsamında kullanılan helikopter için asgari alan: 50m X 50m X 50m).

Gerçek uçuş testleri büyük maliyet, yaralanma/ölüm riski, geniş bir zaman, açık ve rüzgârsız/yağışsız bir alan gibi karşılaması zor özelliklere aynı anda ihtiyaç duyar.

Gerçek uçuş testlerini yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı mümkün olduğu kadar azaltmak ve bunun yerine ArduFlyer 2.5 kartı üzerinde yapılan parametre veya yazılım değişikliklerinin sanal ortamda test edilmesi tercih edilmelidir.

Tez kapsamında, sanal ortamda uçuş testi yapılabilmesi için araştırmalar yapılmış, hali hazırda kullanılan yazılımlar araştırılmış ve incelenmiştir. Bunlar; MATLAB, Simulink, Real–Time Workshop, x–PC Target, *MP* ve X–Plane'dir. Entegrasyon bölümünde bu programlar ve birbirleri ile etkileşimleri detaylı olarak incelenmiştir.

Öncelikle MATLAB ve MATLAB'ın kütüphanelerini (Simulink, Real Time Workshop, x–PC Target) kullanarak ArduFlyer kartın modellenmesi ve bu modellemenin Real Time Workshop isimli simulasyon programında kullanılması yöntemi denenmiştir. Bu yöntem için Simulink, X–PC target ve RealTime Workshop gibi MATLAB kütüphanelerinin birbiriyle uyum içinde kullanılması gerekir. Fakat ArduFlyer kartın Simulink vasıtasıyla bilgisayar ortamında bire bir modellenmesinin sanıldığı kadar kısa zamanda bitirilemeyeceği, hatta ayrı bir çalışma olacak kadar karışık olduğu sonucuna varılmıştır. Böylece Simulink, X–PC target ve RealTime Workshop programlarının kullanımından vazgeçilmiştir.

MATLAB ve kütüphanelerini kullanmak yerine 3. Bölümde bahsedilen X–Plane programının *HIL* yöntemi ile ArduFlyer kartın entegre kullanımına karar verilmiştir. Bu programların nasıl kurulduğu ve kullanıldığı detaylı olarak entegrasyon bölümünde açıklanmıştır.

X–Plane simülasyonunda yapılan testler, ArduFlyer kart üzerinde yapılan parametrik değişiklikler ve bellenim değişikliklerini kapsamaktadır. Yani ArduFlyer kartın dâhili algılayıcılarının ve diğer harici donanımlarının (*GPS*, Sonar, magnetometer, Kompas) ne kadar doğru çalıştığı ancak gerçek uçuşta test edilebilmektedir. Çünkü X–Plane programı, bu donanımları taklit eden sanal veriler göndererek uçuşu gerçekleştirmektedir. Aslında X–Plane'in özellikle dünya üzerinde uçulan noktaya göre gerçek *GPS* verisi sağlaması çalışmada en çok faydalanılan özelliklerden olmuştur.

X–Plane programı kullanılarak kurulan *HIL* yöntemi, programın helikopter simulasyonunu tam desteklemediği için sınırlı test yapılabilmiştir. X–Plane'de uçuş istenildiği gibi gerçekleştirilememiştir. Uzaktan kumandadan verilen komutlar X–Plane programında geç işlenmiş ve sanal uçuş sırasındaki tepkilerin gerçek helikopter uçuş dinamiklerine benzemediği gözlenmiştir. Uçuş dinamiklerinin gerçekçi olmaması, ArduFlyer kart üzerinde yapılan paremetrik değişikliklerinde etkisini tam anlamıyla tespit etmeyi engellemiştir. *HIL* yöntemi ile ArduFlyer parametreleri testi başarılı sonuçlanmadığından gerçek uçuş testlerinde parametrelerin etkisi test edilebilmiştir.

4.6.9. Gerçek uçuş testleri

Bilindiği gibi gerçek uçuş testlerinden önce X–Plane programı vasıtasıyla ArduFlyer kartın tepkileri kısmen test edilmiş fakat ArduFlyer kart üzerindeki algılayıcılar test edilmemiştir. Bunun için *MP* programı aracılığıyla Kompas,

accelerometer, barometer gibi algılayıcılar kalibre ve test edilmiştir. Fakat bu donanımlar birbirleri ile etkileşim içinde çalışmakta ve belli oranlarda uçuşa etki edebilmektedir. Bu donanımların gerçek uçuş harici başarısını test etme olanağı yoktur. Diğer taraftan gerçek uçuştaki çevresel faktörler ve simulasyonun hata payı ve göz ardı edilen başka etkenler de gerçek uçuşu zorunlu kılmaktadır.

Kalibrasyon, testler ve sanal uçuş testleri ne kadar başarılı olmuş olsa da gerçek uçuşta test, göz ardı edilen çok farklı sorunları göstermesi açısından önemlidir. Bu sebeplerden ötürü yüzden fazla gerçek uçuş testi gerçekleştirilmiş, birçok Kırım yaşanmış fakat otonom uçuş için gerekli çok değerli bilgiler edinilmiştir. Özellikle *PID* değerlerinin nasıl çalıştığı incelenmiş ve uçuş dinamikleri üzerine etkisi gözlenmiştir. Bunun yanı sıra helikopter üzerindeki birçok donanımın uçuş şartlarına göre nasıl etkileşim içine girdiği ve ne gibi problemler yarattığı ile ilgili geniş bilgi edinilmiştir. Edinilen bu bilgiler tez dökümanına detaylı olarak yansıtılmıştır.

Yapılan uçuş testlerinde *AltHold* modunda uçuşta başarı sağlanmıştır. Helikopter belirli bir yüksekliğe uzaktan kumanda ile çıkarılmış ve *GPS* kilitlemesi yapıldığı görüldükten sonra kumandaya önceden atanan *AltHold* anahtarı ile bu moda geçilmiş ve helikopterin başarılı bir şekilde otomatik olarak yüksekliği sabitlediği görülmüştür. Otomatik uçuşun temelini oluşturan bu özelliğin başarılması sonucu elde edilen istatistikî veriler EK – 5'de sunulmuştur.

Testler sırasında iki kez büyük çaplı Kırım yaşanmıştır. Kırımların sayısını azaltmak ya da Kırımın büyük olmasını engellemek için Uçuş Öncesi Uyarılar bölümünde detaylı olarak anlatılan önlemler alınmıştır.

Uçuş öncesi uyarılar: Öncelikle gerçek uçuşta büyük risk olduğu bilinmelidir. Testler sırasında 450–*boyutu* şeklinde tabir edilen her biri 45 cm Pallere sahip bir helikopter kullanılmıştır. Nispeten model helikopterler içerisinde küçük bir helikopter olan bu hava aracı dakikada 2000 rpm dönen Pallerin bir yere çarpması halinde ciddi yaralanma ya da maddi hasara sebep olabilir. Bu sebeple uçuş yapılan yer, insanlardan en az 20 metre uzakta, geniş ve düz bir alanda olmalıdır. İzleyiciler varsa gerekli uyarılar yapılmalıdır.

Helikopterin vereceği zararın yanı sıra helikopterin göreceği zararı da azaltmak mümkündür. Bunun için eğitim ayaklığı kullanılabilir. Şekil 4.49'da eğitim ayaklığı kullanan bir helikopter görülmektedir. Eğitim ayaklığı beklenmedik çarpışmalar için tasarlanmış, helikopterin vuruş şiddetinin azalması ve yan yatması gibi Kırım maliyetini artırıcı sorunları engelleyen bir araçtır.



Şekil 4.49. Eğitim ayaklığı kullanan helikopter

Pasif güvenlik önlemlerinin yanı sıra ArduFlyer kartın kalkış öncesi güvenlik kontrolü (PreArmSafetyCheck) özelliğinin kullanımı Kırım ya da yaralanmaları azaltmak için çok kullanışlıdır. Bu özellik helikopterin sağlıklı uçabilmesi için yapılmış olması beklenen ayarları ve *GPS*, accelerometer, Kompas gibi kritik donanımların çalışıp çalışmadığını kontrol eder. Bu kontroller Tablo 4.1'de listelenmiştir:

Tablo 4.2. Kalkış Öncesi Güvenlik Kontrolü sırasında otomatik kontrol edilen adımlar

1	Radyo kalibrasyonu yapılmış mı?
2	Accelerometer kalibrasyonu yapılmış mı?
3	Kompas sağlıklı mı ve doğru ölçüm yapıyor mu?
4	Kompas sapmaları beklenen değerler içinde mi?
5	Kompas kalibrasyonu yapılmış mı veya "Compass_Learn" özelliği açık mı?
6	Kompas'ın yeterli manyetik alan direnci var mı?
7	Barometre sağlıklı çalışıyor mu?
8	Eğer dairesel çit özelliği açıksa ve Loiter modda Arm işlemi yapılmışsa: • GPS yeterli sayıda uyduya kilitlenmiş mi? (*HDOP* < 2.0, bu değer GPS_HDOP_GOOD parametresinden değiştirilebilir) • Yer hızı 50cm/s'nin altında mı?
11	*APM* 1 ve *APM* 2 için kartın voltajı 4.5 ile 5.5 arasında mı?
12	Kanal 7 ve 8 aynı işlev için mi ayarlanmış?
13	Eğer Radyo failsafe etkinleştirilmiş ise gaz kanalının en düşük değeri FS_THR_VALUE değerinin altında mı?
14	ANGLE_MAX değerinin sorgulanması (Ör: Helikopterin en fazla kaç derece yatacağının belirlendiği bölüm: 10°'den büyük 80°'den küçük 10 < x < 80 olmalıdır)
15	Radyonun Roll, Pitch, Yaw, Throttle asgari değerleri 1300'den küçük azami değerleri 1700'den büyük mü?

Eğer tüm yukarıdaki değerler kabul edilebilir durumda ise helikopter Arm olabilir. Eğer olmuyor ise adımlardan herhangi birinde ya da birkaçında güvenlik için sorun yaratan bir ayar mevcuttur ve gözden geçirilmesi gerekmektedir. Helikopterin bu özellik etkinleştirilmiş şekilde uçması önemlidir. Aksi takdirde yaralanmalar veya maddi hasarlar ile karşılaşılabilinir. Eğer arm işlemi gerçekleşmez ise ArduFlyer kart üzerindeki kırmızı ışık yanıp sönecektir.

PreArm Safety Check sırasında bir hata meydana gelir ve Arm işlemi gerçekleşmez ise bu hatanın neden kaynaklandığını anlamak için kart *MP* programına telemetri ya da *USB* kablo aracılığıyla bağlanır. Arm işlemi tekrar denenir. Arm işlemi gerçekleşmez ise neden Arm olmadığı *MP* programının *HUD* ekranında yazacaktır.

5. TARTIŞMA

Otonom insansız küçük boyutlu helikopter geliştirme aşamalarında öngörülerin bazıları beklendiği gibi sonuçlanmamıştır. Planların bazıları uzun zaman ya da farklı uzmanlık alanı gerektirdiğinden, bazıları da ek ekonomik destek gerektirmesinden dolayı uygulanmamıştır ya da uygulanamamıştır. Bunlar; belirlenen güzergâh üzerinden otonom uçuş sistemi ve simülasyon olarak MATLAB altyapısı kullanılmasıdır.

5.1. Belirlenen Güzergâh Üzerinden Otonom Uçuş

Tez çalışmasının başlangıç aşamasındaki hedefi, belirlenen güzergâh üzerinde otonom uçuşun gerçekleştirilmesi olarak belirlenmiştir. Fakat testler sırasında otonom uçuş öncesi sağlanması gereken Loiter Modda uçuşun gerçekleşmemesi otonom uçuşun denenmesine engel olmuştur. Test uçuşları sırasında tutulan loglar analiz edilmiştir. Analizler sonucu titreşim ve motor değerlerinin beklenen değerlerden uzak olduğu görülmüştür. Bu aksaklıkların giderilebilmesi için gereken ek bütçe ve testler için gereken zaman dolayısıyla çalışma bu noktada sonlandırılmış ve elde edilen veriler çalışmaya aktarılmıştır.

5.2. MATLAB ve Yardımcı Bileşenleri

Uçuş sistemi simülasyonu olarak öncelikle MATLAB ve alt bileşenlerinin kullanımı planlanmış fakat kullanılamamıştır. MATLAB'ın sanal uçuş testlerinde kullanılamamasının sebebi ArduFlyer kartın tüm devre tasarımının modellenmesi gibi uzmanlık gerektiren bir işleme ihtiyaç duyulmasıdır. Bu modelleme başlı başına bir çalışma konusu olacak kadar karışık bir süreçtir. Bu sorunu çözmek için araştırılan alternatif çözüm yollarından en uygunu, Materyal ve Metod bölümünde de incelenen X–Plane programı olmuştur.

MATLAB, x–PC Target, Simulink ve Real Time Workshop gibi alt bileşenlerin amacı; *İHA* için yapılan yazılımsal ya da donanımsal geliştirme ve değişikliklerin sanal ortamda test edilmesidir. Böylece uçuş sırasında oluşabilecek Kırım sonucu maddi kayıp ve yaralanma gibi istenmeyen durumlar en aza indirilebilecektir.

6. SONUÇLAR

Literatür incelendiğinde geliştirilen birçok sabit kanatlı veya Pal'li (geleneksel model helikopter, çok Palli kopter) *İHA* kullanılarak, değişik görevlerin icrası başarılı sonuçlara ulaşmıştır. Literatürde, yoğunlukla çok Palli veya sabit kanatlı *İHA*'lar üzerinde çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Fakat geleneksel helikopterin kendine has diğer çok Palli *İHA*'larda olmayan hız, manevra kabiliyeti ve daha uzun havada kalma süresi gibi avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlarından dolayı model helikoptere otonomi kazandırma çalışması tercih edilmiştir.

Çalışmanın başlarında, literatür araştırmasına ek olarak internetteki ilgili forumlardan otonom *İHA* hakkında mevcut durum tespiti yapılmıştır. *İHA*'lara uçuş kartı ve algılayıcıların entegrasyonu yapılarak otonom uçuş sağlanmasının kısa zaman alacağı öngörülmüştür. Fakat entegrasyon aşamasında diğer *İHA* türlerine nazaran helikopterlerin otonomisinin sağlanmasının çok zorlayıcı olduğu ve bu bakımdan geleneksel model helikopterler üzerine çok çalışma yapılmadığı sonucuna varılmıştır. Bu zorluğun başlıca sebebi öncelikle helikopterlerin uçuş karakteristiğinin çok kararsız olmasıdır. Bu kararsız yapıyı uçurmak için ise kuyruk sabitleme, Swashplate ayarları, Servo *PID* ayarları, Pal tutucular gibi kritik parçaların kalitesi vb. birçok farklı değişkenin doğru seçilmesi ve ayarlanması gerekmektedir. Araştırma Bulguları bölümünde ayarlamalar ve test aşamasında detaylı bahsedilen bu işlemler, ciddi bir ek zaman ile maliyet yükü getirmiş ve otonom uçuşun çok karmaşık ve uzun testler gerektiren bir süreç olduğu bizzat uygulanarak görülmüştür. Karmaşık bir entegrasyon ve test sürecinin sonunda, helikopter gerek insan faktörlü gerekse otomatik modda uçurulmuştur.

Bu tez çalışmasında, helikopter ile otomatik uçuş adına "altitude hold" modunda uçuş yapılmıştır. Böylece helikopter, insan faktörlü uçuş esnasında *AltHold* moduna geçilerek, *GPS*'ten aldığı veriler ile yüksekliğini otomatik olarak sabitlemiştir. Yapılan uçuşun kaydedilen loglardan bir alıntı EK – 6'da sunulmuştur. Loglar, *MP* programı ile analiz edildiğinde titreşimin sınırlarda olduğu ve motor değerlerinin başarısız olduğu görülmektedir. Titreşim biraz daha fazla olursa *AltHold* modunda helikopteri belirli bir yükseklikte sabitlemek mümkün olmamaktadır. Motor değerleri olması gerekenden çok kötü olmasına rağmen uçuş sırasında herhangi bir aksaklık yaşanmamıştır. Bu değerlerin kötü olmasının başlıca nedenleri ise kullanılan motor – *ESC* kalitesinin yeterli olmaması ve kalibrasyonun doğru yapılamamasıdır. Kalibrasyon

yapılamamasının nedeni ise ArduFlyer kartın sektörde hala geliştirme aşamasında olması ve tüm *ESC*'leri desteklememesidir.

Otonom uçuşun ilk adımı olan *AltHold* modunda uçuş yapılabilmesi, görev planına göre otonom uçuşun ön gereğidir. *MP* programına girilen belirli bir rotada otomatik uçuşun sağlanabilmesi sürecinde, testler için oldukça fazla zamanın yanı sıra titreşimi azaltmak için yüksek maliyetli kaliteli parça kullanımı gerekliliği vardır.

Kurulmak istenen sistemin, elektrik, elektronik, yazılım ve uçuş dinamikleri üzerine farklı uzmanlık dallarına duyduğu gereksinim, geleneksel helikopterler üzerine çok az çalışmanın olması, ihtiyaç duyulan donanımların yurtdışı kaynaklı olması ve yüksek maliyetler ise çalışmada karşılaşılan temel problemler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çalışmanın ileriki aşamalarında otonominin daha kararlı ve akıcı olmasının sağlanması planlanmaktadır. Bunun için öncelikle NURBS (Non Uniform B-Spline) algoritması kullanılarak otonom uçuş için planlanan güzergâhın daha akıcı ve ekonomik uçmasını sağlamak planlanmaktadır (Ülker, 2007; Ülker, 2012). Sonraki aşamada ise otonom uçuş sırasında model helikopterin rotasından çıkması durumunda, kalan rotanın tekrar hesaplanması ve en maliyet etkin ve hızlı rotanın seçilerek tamamlanması planlanmaktadır. Bunun için MOGA (Multi Objective Genetic Algorithm) algoritması kullanılması ve bellenime entegre edilmesi planlanmaktadır (Lee ve ark., 2012; Weber ve Wu, 2004). Bahsi geçen algoritmalar halihazırda kodlanmış olup gerekli entegrasyon ve test aşaması üzerinde çalışılmaktadır.

Çalışma, içerdiği bilgiler ile model helikopter kurulumu ve uçurulmasında bir rehber olmanın yanı sıra otonom uçuşu sağlayacak tüm kritik noktaları detaylı bir şekilde açıklamaktadır. Bu tez çalışması, model bir helikopterin uçuş dinamikleri, çalışma prensibi ve helikopteri uçuracak otonom kartın tanıtımı, entegrasyonu ve tüm detaylı program ayarları hakkında geniş bilgiler barındırmaktadır ve bir başucu klavuzu olarak kullanılabilir.

Tez kapsamında, otonom bir model helikopterin kullanılacağı birçok sektör olduğu ve çalışmanın devamlı gelişime açık olduğu değerlendirilmektedir. Dünyada da yeni gelişen otonom uçuş sistemleri yakın zamanda birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmak istenecek ve otonominin başarısı ön plana çıkacaktır. Otonominin başarısı için irdelenmesi gereken etkenler ise güvenli/emniyetli, düşük maliyetli, kolay kullanılabilir, kolay geliştirilebilir/modifiye edilebilir, çok amaçlı/fonksiyonel olması gibi etkenlerdir.

Bu çalışmanın peşisıra yapılacak çalışmalarda, öncelikle otonom uçuşun Kırımsız veya en az Kırım yaşanacak bir şekilde tamamlanması yapılabilir, birçok beklenmeyen duruma karşı otonom hava aracının hazırlıklı olması sağlanabilir ve havada yaşanacak aksaklıklara karşı çoklu alternatif rota hesabı yapabilen bir çalışma gerçekleştirilebilir. Bunun için karar destek sistemi gerekmekte ve doğru karar verilebilmesi için incelenen birçok algılayıcı parametresinin hızlı bir şekilde işlenmesi gerekmektedir. Bu gibi ihtiyaçlar işlemci ve uzun ömürlü güç kaynağı gibi gereksinimleri artırmakta ve baş etmesi zor teknolojik kısıtlar yaratmaktadır. Hava aracı üzerinde taşınması gereken yüksek işlemci kapasiteli mini bilgisayarların entegrasyonu ve olabildiğince az enerjiye ihtiyaç duyan bir model helikopterin geliştirilmesi bu alana ilgi duyan ve geliştirmek isteyen kişiler için iyi bir hedef olabilir. Hedeflerin gerçekleştirilebilmesi durumunda, milisaniyeler içerisinde doğru kararı verebilen ve hiçbir insan müdahalesi olmadan öncelikle can kaybı ve yaralanmaları yok eden, sonrasında en az Kırımı hesaplayan bir karar destek sistemi geliştirilebilecektir. Aşılması gereken zorlu bir hedef olan bu isterlerin, gelecekte yapılacak çalışmalarda detaylı şekilde üzerinde durulmalıdır.

Sonuç olarak görülmektedir ki; günümüzde üçüncü boyut olarak nitelendirilen gökyüzünün her geçen gün artan kullanımı artan bir ivmelenme ile devam edecektir. Gökyüzünün etkin ve ucuz kullanımının getireceği kolaylıklar ise insanoğlunu her zaman cezbetmiş ve edecektir. Bu gerçekten hareketle, tüm tehlikelerin bertaraf edildiği, kendi kendini yönetebilen insansız bir otonom helikopter yazılımı ve entegrasyonu yapmak, görsel tabanlı hemen her sektörde kullanılabilecek ve birçok iş alanında büyük kolaylıklar sağlayacaktır. Bu doğrultuda, *İHA* otomasyonu yazılımında ve donanımında yapılan her yenilik daha geniş kullanıcı kitlelerine ulaşılmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Abbeel, P., et al., 2007, An Application of Reinforcement Learning to Aerobatic Helicopter Flight, *Neural Information Processing Systems (NIPS*), Vancouver, B.C., Canada.

Altuğ, E., 2003, Vision Based Control of Unmanned Aerial Vehicles with Applications to an Autonomous Four Rotor Helicopter, Quadrotor,Doktora Tezi, *in Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics*, University of Pennsylvania.

Banzi, M., 2011, Getting Started with Arduino (2nd ed.)., Brian Jepson, O'Reilly Media/Make, ABD., 128.

Bayha, A., Grüneis, F., Schätz, B., 2012, Model-based software in-the-loop-test of autonomous systems, *Proceedings of the 2012 Symposium on Theory of Modeling and Simulation - DEVS Integrative M&S Symposium*, Germany.

Bayraktar, O., Özdemir, F., Çetin, Ö., Yılmaz, G., 2012, İnsansız Hava Araçları İçin Otonom İniş Sistemi Simülatörü Tasarımı, *International Journal Of Informatics*, 5 (2), 1 – 8.

Cai, G., Dong, M., Chen, M.B., Peng, M., 2007, Development of a Real-time Onboard and Ground Station Software System for a UAV Helicopter, *Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication,* 4(8), 933-955.

Cai, G., Chen, B.M., Peng, K., Dong, M., Lee, T.H., 2008, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(9).

Caffarelli, L., Crespi, V., Cybenko, G., Gamba, I., Rus D., 2003, Stochastic Distributed Algorithms for Target Surveillance, *Intelligent Systems Design and Applications*, 137.

Casbeer, D.W., et al., 2006, Cooperative Forest Fire Surveillance using a Team of Small Unmanned Air Vehicles, *International Journal of Systems Science*, 37(6) 351-360.

Coifman, B., et al., 2004, Surface Transportation Surveillance from Unmanned Aerial Vehicles, *Procs. of the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 11-20.

Coifman, B., et al., 2006, Roadway Traffic Monitoring from an Unmanned Aerial Vehicle, *IEE Proc. Intell. Transp. Syst,* Vol 153(1), 11.

Çakır, Z., 2011, Development of a UAV testbed, Yüksek Lisans Tezi*, Department of Aerospace Engineering,* ODTÜ - ANKARA, 6 - 8.

Dovis, F., et al., 2000, HeliNet: A Traffic Monitoring Cost-effective Solution Integrated with the UMTS System, *Vehicular Technology Conference Proceedings, 2000. VTC 2000, 2000 IEEE 51st,* Tokyo – Japan, 2360 – 2364.

Fay, J., 1981, The Helicopters, David Charles, Copnal Books, *CHES*, United Kingdom.

Freed, M., Harris, R. ve Shafto, M.G., 2004, Human-interaction Challenges in UAV-based Autonomous Surveillance, *Proceedings of the 2004 Spring Symposium on Interactions Between Humans and Autonomous Systems Over Extended Operations*.

Freed, M., Harris, R. ve Shafto, M.G., 2004, Human vs. Autonomous Control of UAV Surveillance, *AIAA 1 st Intelligent Systems Technical Conference*, 1-7.

Garcia, R.D., 2006, A Modular Onboard Processing System for Small Unmanned Vehicles, *Department of Computer Science and Engineering*, University of South Florida –USA, 53.

Garcia, R. D., 2008, Designing an Autonomous Helicopter, Testbed: From Conception Through Implementation, Doktora Tezi, *University of South Florida*, USA.

Goth, G., June 2009, Autonomus Helicopters, *Communications of the ACM*, 52 (6), 18 - 20.

Girard, A.R., Howell, A.S. ve Hedrick, J.K., 2004, Border Patrol and Surveillance Missions using Multiple Unmanned Air Vehicles, *Decision and Control, CDC. 43rd IEEE Conference*, Nassau, 620 – 625.

Hausamann, D., et al., 2005, Monitoring of Gas Pipelines–A Civil UAV Application, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal*, 77(5), 352-360.

Hrabar, S., et al., 2005, Combined Optic-flow and Stereo-based Navigation of Urban Canyons for a UAV, *Submitted to IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System*s, 3309 – 3316.

Kanade, T., B. Mettler, M.B. Tischler, 1999, System Identification of Small-size Unmanned Helicopter Dynamics, *American Helicopter Society 55th Forum*, Montreal, Canada.

Karim, S., Heinze, C., 2005, Experiences with the design and implementation of an agent-based autonomous UAV controller, *AAMAS '05: Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, Australia, 19-26.

Kingston, D., R. Beard, ve D. Casbeer, 2006, Decentralized Perimeter Surveillance Using a Team of UAVs, *Proceedings of the AIAA Conference on Guidance, Navigation, and Control,* 1306 – 1324.

Kortunov, V.I., Dybska, I.Yu., Proskura, G.A., Kravchuk, A.S., 2009, Integrated mini INS based on MEMS sensors for UAVcontrol, *Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE* , 24(1), 41-43.

Lee,D., Gonzalez, L.F., Periaux, J., Bugeda, G., 2012, Multi-Objective Design Optimization of Morphing UAV Aerofoil/Wing Using Hybridised MOGA, *WCCI 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence*, Brisbane, Australia, 1 – 8.

Loyall, J., et al., 2004, Model-Based Design of End-to-End Quality of Service in a Multi-UAV Surveillance and Target Tracking Application, *2nd RTAS Workshop on Model-Driven Embedded Systems (MoDES)*, Toronto, Canada.

Margolis, M., 2011, Arduino Cookbook, S. Laurent ve B. Jepson, *O'Reilly Media*, Sebastopol-USA, 1-4.

Martinez-de Dios, J.R., Merino, L. ve Ollero, A., 2005, Fire Detection Using Autonomous Aerial Vehicles with Infrared and Visual Cameras, *Proceedings of the 16th IFAC World Congress,* 1884 – 1889.

McRoberts, M., 2013, Beginning Arduino, Michelle Lowman, Springer Science, *Business Media*, New York- USA, 27-29.

Merino, J., et al., 2011, "Neuro Copter" Linear Quadratic Gaussian Design LQG and Implementation of the Control System of an Unmanned Aerial Vehicle UAV with State Space Modelling and Kalman Filtering and Autonoumous Guidance with Computer Vision and Data Link Communications, *INNS International Educational Symposium on Neural Networks,* Lima-Peru.

Morris, J., 2004, DHS Border Patrol Flights with Hunter UAV Under Way, *Business Aviation*, 33,38.

Nigam, N. ve Kroo, I., 2008, Persistent Surveillance Using Multiple Unmanned Air Vehicles, *IEEE Aerospace Conference*, 1–14.

Nygaards, J., et al., 2004, Navigation Aided Image Processing in UAV Surveillance: Preliminary Results and Design of an Airborne Experimental System, *Journal of Robotic Systems,* 21(2), 63-72.

Ollero, A., et al., 2004, Motion Compensation and Object Detection for Autonomous Helicopter Visual Navigation in the COMETS System, Robotics and Automation, *Proceedings, ICRA '04. 2004 IEEE International Conference*, 19-24.

Ostendorp, M., 2000, Innovative Airborne Inventory and Inspection Technology for Electric Power Line Condition Assessments and Defect Reporting, *Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance Proceedings. 2000 IEEE ESMO-2000 IEEE 9th International Conference*, 123-128.

Quigley, M., Goodrich, M.A., ve Beard, R.W., 2004, Semi-autonomous Human-UAV Interfaces for Fixed-wing Mini-UAVs. Intelligent Robots and Systems,. *Proceedings of the 2004 IEEE/RSJ International Conference,* 145.

Quigley, M., et al., 2005, Target Acquisition, Localization, and Surveillance Using a Fixed Wing Mini-UAV and Gimbaled Camera, *Robotics and Automation, Proceedings of the 2005 IEEE International Conference*, 2600-2605.

Raicu, I., 2004, MicroElectroMechanical Systems: MEMS Technology Overview and Limitations, *Wayne State University* - Detroit.

Richardson, T., 2007, Micro UAVs., *University of Bristol*, Birmingham, UK.

Rojas, I., et al., 2003, On-line Adaptive Fuzzy Controller: Application of Helicopter Stabilization of the Altitude of a Helicopter, Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications, Proceedings. *CIMSA '03. IEEE International Symposium*, 119-123.

Rufino, G. ve Moccia, A., 2005, Integrated VIS-NIR Hyperspectral/Thermal-IR ElectroOptical Payload System for a Mini-UAV, *Infotech@ Aerospace*, 1-9

Ryan, A., et al., 2004, An Overview of Emerging Results in Cooperative UAV Control. Decision and Control, *European Control Conference. CDC-ECC'04. 43th IEEE Conference,* Nassau, 602 – 607.

Ryan, A. ve Hedrick, J.K., 2005, A Mode-switching Path Planner for UAV-assisted Search and Rescue. *Decision and Control, 2005 European Control Conference. CDC-ECC'05. 44th IEEE Conference,* 1471-1476.

Schmidt, M., 2011, Arduino: A Quick Start Guide, Pragmatic Bookshelf, 201.

Schrage, D.P., et al., 1999, Instrumentation of the Yamaha R-50/RMAX Helicopter Testbeds for Airloads Identification and Follow-on Research. 25th *European Rotorcraft Forum,* Atlanta, ABD.

Shim, D.H., H.J. Kim, ve S. Sastry, 2003, A Flight Control System for Aerial Robots: Algorithms and Experiments, *IFAC Control Engineering Practice*, 1389 – 1400.

Shixianjun, Jiakun, S., Hongxing, L., 2006, Hardware-in-the-loop Simulation Framework Design For a UAV Embedded Control System, *Proceedings of the 25th Chinese Control Conference*, Harbin, Heilongjiang, 1890 – 1894.

Srinivasan, S., et al., 2004, Airborne Traffic Surveillance Systems: Video Surveillance of Highway Traffic, *Proceedings of the ACM 2nd international workshop on Video surveillance & sensor networks*, 131-135.

Taylor, J.W.R., 1977, A. J. P. Jane's Book of Remotely Piloted Vehicles, *Collier Books, ABD – New York*, 239.

Thamm, H,P., ve Scheele, K., 2011, Mapping archeological sites with an OCTOCOPTER, *30th EARSeL Symposium: Remote Sensing for Science*, Freie University - Berlin, Germany.

Tunç, S., 2005, Gerçek Zamanlı Veri İletişiminde Yeni Bir Yöntem:Gprs, *2. Ulusal Deprem Sempozyumu*, Kocaeli.

Ülker, E., 2007, Yapay zeka teknikleri kullanılarak yüzey modelleme, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Ülker, E., 2012, NURBS Curve Fitting using Artificial Immune System, *InternationalJournal of Innovative Computing, Information and Control*, 8(4), 2875-2888.

Veldhuizen, D.A., Lamont, G.B., 2000, Multiobjective Evolutionary Algorithms: Ana yzing the State-of-the-Art, *Evolutionary Computation,* 8(2) 125-147.

Weber, R., Wu, D., 2004, Knowledge Management for Computational Intelligence Systems, *Eighth IEEE International Symposium on High Assurance Systems Engineering (HASE'04),* 116-125.

Wills, L., et al., 2001, An Open Platform for Reconfigurable Control, *Control Systems Magazine, IEEE*, 21(3), 49-64.

Yi Lin, Hyyppa, J. ve Jaakkola, A., 2011, Mini-UAV-Borne LIDAR for Fine – Scale Mapping, *Geoscience and Remote Sensing Letters IEEE*, 8(3), 426 – 430.

INTERNET KAYNAKLARI

[URL 1] Uyar, T., 2010, ANKA Başarısı ve İnsansız Hava Araçları, www.savunmasanayi.net/anka-basarisi-ve-insansiz-hava-araclari/anka-basarisi-ve-insansiz-hava-araclari/ [Ziyaret Tarihi: 17 Temmuz 2013].

[URL 2] http://2bfly.com/knowledgebase/radio-systems/computer-radios/heli programming/

[URL 3] http://www.rcgroups.com/

[URL 4] http://copter.ardupilot.com/wiki/traditional-helicopter-connecting-apm/

[URL 5] http://en.wikipedia.org/wiki/Six_degrees_of_freedom

[URL 6] http://copter.ardupilot.com/

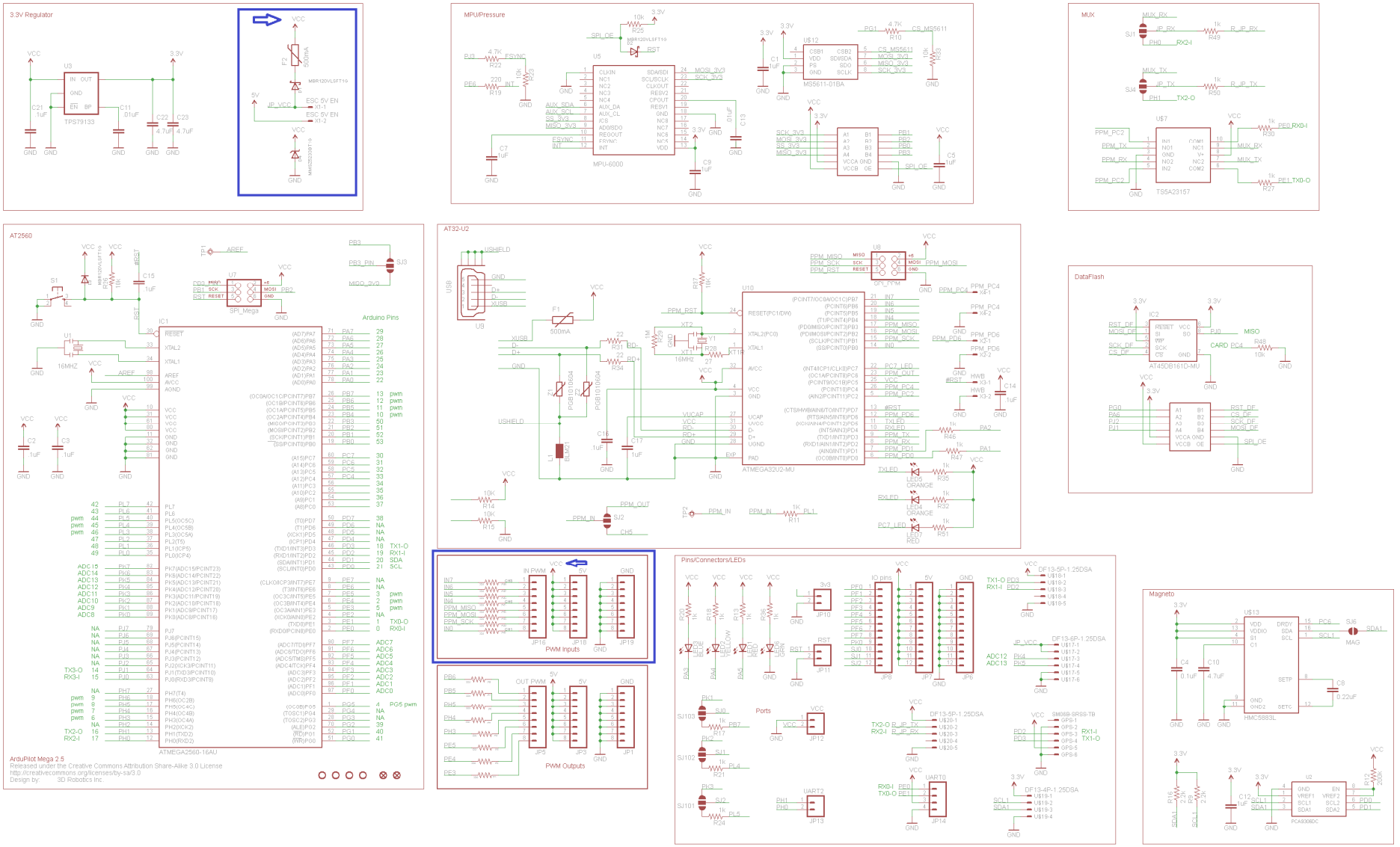
[URL 7] https://code.google.com/p/ardupilot-mega/wiki/Xplane

[URL 8] http://tr.wikipedia.org/wiki/PID

[URL 9] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Tweaks

EKLER

EK – 1 ArduFlyer Karta ait Devre Şemaları



Ek Şekil 1: ArduFlyer kart devre şemaları

EK – 2 Tüm ArduFlyer Kart Parametreleri

Ek Tablo 1: Tüm ArduFlyer parametreleri

ACRO_BAL_PITCH	HS3_REV	RC6_MAX
ACRO_BAL_ROLL	HS3_TRIM	RC6_MIN
ACRO_RP_P	HS4_DZ	RC6_REV
ACRO_TRAINER	HS4_MAX	RC6_TRIM
ACRO_YAW_P	HS4_MIN	RC7_DZ
AHRS_COMP_BETA	HS4_REV	RC7_FUNCTION
AHRS_GPS_DELAY	HS4_TRIM	RC7_MAX
AHRS_GPS_GAIN	INAV_TC_XY	RC7_MIN
AHRS_GPS_MINSATS	INAV_TC_Z	RC7_REV
AHRS_GPS_USE	INS_ACCOFFS_X	RC7_TRIM
AHRS_ORIENTATION	INS_ACCOFFS_Y	RC8_DZ
AHRS_RP_P	INS_ACCOFFS_Z	RC8_FUNCTION
AHRS_TRIM_X	INS_ACCSCAL_X	RC8_MAX
AHRS_TRIM_Y	INS_ACCSCAL_Y	RC8_MIN
AHRS_TRIM_Z	INS_ACCSCAL_Z	RC8_REV
AHRS_WIND_MAX	INS_GYROFFS_X	RC8_TRIM
AHRS_YAW_P	INS_GYROFFS_Y	RCMAP_PITCH
ANGLE_MAX	INS_GYROFFS_Z	RCMAP_ROLL
ANGLE_RATE_MAX	INS_MPU6K_FILTER	RCMAP_THROTTLE
ARMING_CHECK	INS_PRODUCT_ID	RCMAP_YAW
BATT_AMP_OFFSET	LAND_SPEED	RELAY_PIN
BATT_AMP_PERVOLT	LED_MODE	RSSI_PIN
BATT_CAPACITY	LOG_BITMASK	RTL_ALT
BATT_CURR_PIN	LOITER_LAT_D	RTL_ALT_FINAL
BATT_MONITOR	LOITER_LAT_I	RTL_LOIT_TIME
BATT_VOLT_MULT	LOITER_LAT_IMAX	SCHED_DEBUG
BATT_VOLT_PIN	LOITER_LAT_P	SERIAL1_BAUD
CAM_DURATION	LOITER_LON_D	SIMPLE
CAM_SERVO_OFF	LOITER_LON_I	SONAR_ENABLE
CAM_SERVO_ON	LOITER_LON_IMAX	SONAR_GAIN
CAM_TRIGG_DIST	LOITER_LON_P	SONAR_TYPE
CAM_TRIGG_TYPE	MAG_ENABLE	SR0_EXT_STAT
CH7_OPT	MNT_ANGMAX_PAN	SR0_EXTRA1
CH8_OPT	MNT_ANGMAX_ROL	SR0_EXTRA2
CIRCLE_RADIUS	MNT_ANGMAX_TIL	SR0_EXTRA3
CIRCLE_RATE	MNT_ANGMIN_PAN	SR0_PARAMS
COMPASS_AUTODEC	MNT_ANGMIN_ROL	SR0_POSITION
COMPASS_DEC	MNT_ANGMIN_TIL	SR0_RAW_CTRL
COMPASS_EXTERNAL	MNT_CONTROL_X	SR0_RAW_SENS

COMPASS_LEARN	MNT_CONTROL_Y	SR0_RC_CHAN
COMPASS_MOT_X	MNT_CONTROL_Z	SR1_EXT_STAT
COMPASS_MOT_Y	MNT_JSTICK_SPD	SR1_EXTRA1
COMPASS_MOT_Z	MNT_MODE	SR1_EXTRA2
COMPASS_MOTCT	MNT_NEUTRAL_X	SR1_EXTRA3
COMPASS_OFS_X	MNT_NEUTRAL_Y	SR1_PARAMS
COMPASS_OFS_Y	MNT_NEUTRAL_Z	SR1_POSITION
COMPASS_OFS_Z	MNT_RC_IN_PAN	SR1_RAW_CTRL
COMPASS_ORIENT	MNT_RC_IN_ROLL	SR1_RAW_SENS
COMPASS_USE	MNT_RC_IN_TILT	SR1_RC_CHAN
ESC	MNT_RETRACT_X	STB_PIT_I
FENCE_ACTION	MNT_RETRACT_Y	STB_PIT_IMAX
FENCE_ALT_MAX	MNT_RETRACT_Z	STB_PIT_P
FENCE_ENABLE	MNT_STAB_PAN	STB_RLL_I
FENCE_MARGIN	MNT_STAB_ROLL	STB_RLL_IMAX
FENCE_RADIUS	MNT_STAB_TILT	STB_RLL_P
FENCE_TYPE	OF_PIT_D	STB_YAW_I
FLOW_ENABLE	OF_PIT_I	STB_YAW_IMAX
FLTMODE1	OF_PIT_IMAX	STB_YAW_P
FLTMODE2	OF_PIT_P	SUPER_SIMPLE
FLTMODE3	OF_RLL_D	SYSID_MYGCS
FLTMODE4	OF_RLL_I	SYSID_SW_MREV
FLTMODE5	OF_RLL_IMAX	SYSID_SW_TYPE
FLTMODE6	OF_RLL_P	SYSID_THISMAV
FRAME	PILOT_VELZ_MAX	TELEM_DELAY
FS_BATT_ENABLE	RATE_PIT_D	THR_ACCEL_D
FS_BATT_MAH	RATE_PIT_FF	THR_ACCEL_I
FS_BATT_VOLTAGE	RATE_PIT_I	THR_ACCEL_IMAX
FS_GCS_ENABLE	RATE_PIT_IMAX	THR_ACCEL_P
FS_GPS_ENABLE	RATE_PIT_P	THR_ALT_I
FS_THR_ENABLE	RATE_RLL_D	THR_ALT_IMAX
FS_THR_VALUE	RATE_RLL_FF	THR_ALT_P
GND_ABS_PRESS	RATE_RLL_I	THR_MAX
GND_ALT_OFFSET	RATE_RLL_IMAX	THR_MID
GND_TEMP	RATE_RLL_P	THR_MIN
GPS_HDOP_GOOD	RATE_YAW_D	THR_RATE_D
GPSGLITCH_ACCEL	RATE_YAW_FF	THR_RATE_I
GPSGLITCH_ENABLE	RATE_YAW_I	THR_RATE_IMAX
GPSGLITCH_RADIUS	RATE_YAW_IMAX	THR_RATE_P
H_COL_MAX	RATE_YAW_P	TRIM_THROTTLE
H_COL_MID	RC_SPEED	TUNE
H_COL_MIN	RC1_DZ	TUNE_HIGH
H_COLYAW	RC1_MAX	TUNE_LOW

H_FLYBAR_MODE	RC1_MIN	WP_INDEX
H_GYR_GAIN	RC1_REV	WP_TOTAL
H_LAND_COL_MIN	RC1_TRIM	WP_YAW_BEHAVIOR
H_PHANG	RC10_DZ	WPNAV_ACCEL
H_PIT_MAX	RC10_FUNCTION	WPNAV_LOIT_SPEED
H_ROL_MAX	RC10_MAX	WPNAV_RADIUS
H_RSC_MODE	RC10_MIN	WPNAV_SPEED
H_RSC_RAMP_TIME	RC10_REV	WPNAV_SPEED_DN
H_RSC_RUNUP_TIME	RC10_TRIM	WPNAV_SPEED_UP
H_RSC_SETPOINT	RC11_DZ	
H_STAB_COL_MAX	RC11_FUNCTION	
H_STAB_COL_MIN	RC11_MAX	
H_SV_MAN	RC11_MIN	
H_SV1_POS	RC11_REV	
H_SV2_POS	RC11_TRIM	
H_SV3_POS	RC2_DZ	
H_SWASH_TYPE	RC2_MAX	
H_TAIL_SPEED	RC2_MIN	
H_TAIL_TYPE	RC2_REV	
HLD_LAT_I	RC2_TRIM	
HLD_LAT_IMAX	RC3_DZ	
HLD_LAT_P	RC3_MAX	
HLD_LON_I	RC3_MIN	
HLD_LON_IMAX	RC3_REV	
HLD_LON_P	RC3_TRIM	
HS1_DZ	RC4_DZ	
HS1_MAX	RC4_MAX	
HS1_MIN	RC4_MIN	
HS1_REV	RC4_REV	
HS1_TRIM	RC4_TRIM	
HS2_DZ	RC5_DZ	
HS2_MAX	RC5_FUNCTION	
HS2_MIN	RC5_MAX	
HS2_REV	RC5_MIN	
HS2_TRIM	RC5_REV	
HS3_DZ	RC5_TRIM	
HS3_MAX	RC6_DZ	
HS3_MIN	RC6_FUNCTION	

EK – 3 Uçuşa Etki Eden PID Parametreleri

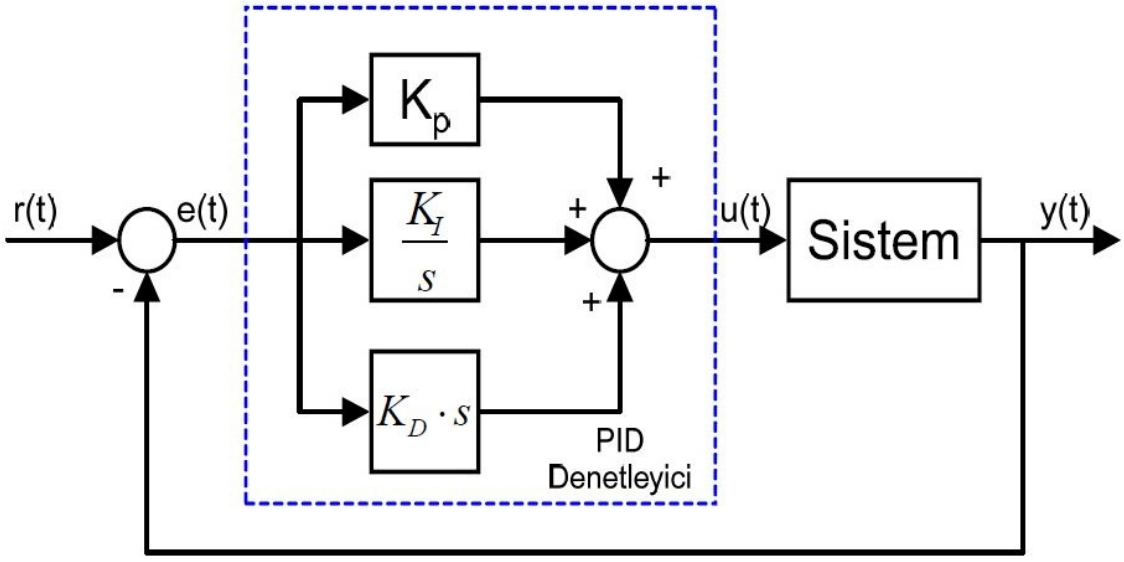
1. PID algoritması ile çalışan parametreler

PID (Proportional, Integral, Derivative) oransal-integral-türevsel denetleyici *PID* kontrol döngüsü yöntemi, yaygın endüstriyel kontrol sistemlerinde kullanılan genel bir kontrol döngüsü geri bildirim mekanizmasıdır. Bir *PID* denetleyici ölçülü bir süreç içinde değişen ve istenilen ayar noktası ile arasındaki farkı alarak bir hata değeri hesaplar. Kontrolör, işlem kontrol girişini ayarlayarak ve hatayı en aza indirerek istenilen ayar değerine ulaşmak için çalışır.

PID algoritması üç ayrı sabit parametreyi içerir ve buna üç aşamalı kontrol denir. P değeri Oransal, I değeri Integral ve D değeri Türev anlamına gelmektedir.

Sezgisel olarak, bu değerler mevcut değişim göz önüne alınarak zaman açısından şu şekilde yorumlanabilir; P mevcut hataya bağlıdır, I geçmiş hataların toplamı ve D gelecekteki hataların bir tahminidir.

Bu üç eylemin ağırlıklı toplamı yoluyla kontrol edilen süreç istenilen seviyeye ulaşılmasını sağlar. Böylece dönüş komutunu alan Servo'lar verilen komutla istenilen açıya ne kadar yaklaşıldığını ve hata payını hesaplayarak geri besleme yapar.



Ek Şekil 1: PID denetleyici (URL:7)

Helikopterin uçabilmesi için RATE_PIT_P ve RATE_ROLL_P değerlerinin doğru olarak ayarlanması gerekir. "Rate PID" değerleri aşağıda sıralanan etkenlerin

etkisi altındadır ve bu etkenlerde bir değişiklik olursa *PID* değerlerinin tekrar kalibre edilmesi gerekir.

- Swashplate Servo hızı (milisaniye bazında 0.17, 0.07 gibi tepki değerleridir. Servo'nun kalitesi arttıkça değeri düşmektedir yani hızlı tepki vermektedir.)
- Swashplate Servo hareket oranı (Servo kol uzunluğu, Swashplate boyutu, Pal tutucu uzunluğu vs.)
- H_PIT_MAX and H_ROL_MAX değerleri.

Özetlenecek olursa, *PID* denetleyici çıkıştan geri besleme yoluyla giriş sinyaline (referans) gelen sinyali, giriş sinyali ile karşılaştırır ve oluşan fark hatayı oluşturur. Bu hata, *PID* denetleyicisine gönderilir ve denetleyici bu sinyali bir katsayı ile çarpıp, türevini ve integralini alır. Bu işlem sonrasında ise hesaplanan değer tekrar çıkışa gönderilir. Bu şekilde bir döngü içinde hata en aza inene kadar işlem devam eder.

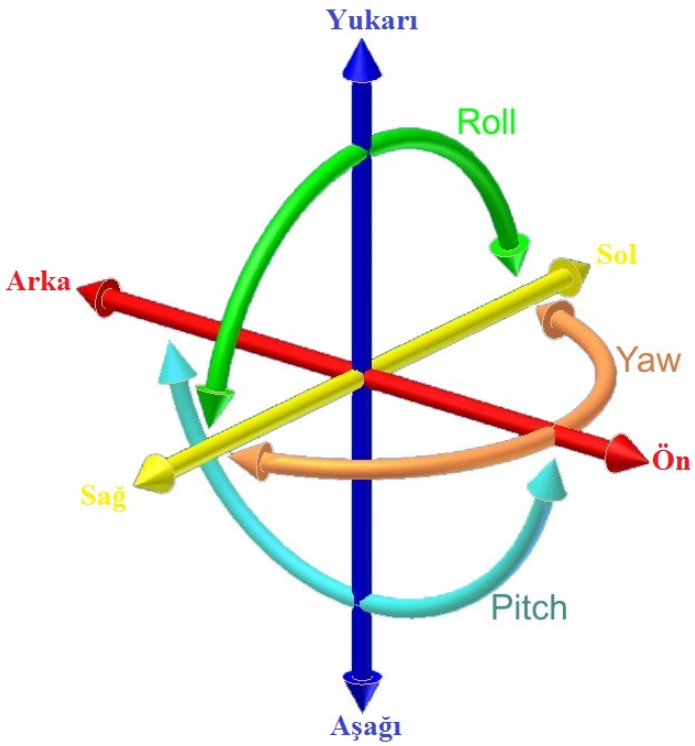
Burada önemli olan Kp, Ki ve Kd kazançlarının belirlenmesidir. Bu katsayıların uygun şartlarda sistemi kontrol etmesi için belirlenmesi gerekir. Bunu belirlemek kolay değildir ve net bir cevabı yoktur. En uygun ayar için en az veya sıfır hata, sistemde minimum aşım, kısa sürede hatayı giderme ve sistemde kararlılığı sağlama gibi kriterleri yerine getirecek Kp, Ki ve Kd kazançları seçilmelidir. Yani sistemin çıkışında en küçük hatayı en az zamanda ve en az salınım ile yapması gerekir. Kp, Ki ve Kd kazançlarının belirlenmesi için analog ve deneysel yöntemler kullanılır.

ArduFlyer karta yüklenen ArduCopter belleniminin ikinci ve daha üst versiyonlarındaki yeni kontrolörü Ek Şekil 1'deki fikrin bir çeşididir. Açısal hata saptanarak bu hataya göre istenen dönüş açısı geliştirilmektedir. Bu dönüş oranı(derece bazında) hali hazırdaki oranla karşılaştırılarak "Rate_P" değeri kadar çarpılır. Elde edilen değer *PWM* formatına çevrilerek motor'a gönderilir. Bu işlevsellik ise istenen dönüş oranı ve istenen yükseklik değişikliğini elde etmek gibi imkânlar sağlamaktadır. Buradaki "I" değeri ise istenen dönüş oranına ulaşmak için meydana gelen hataların telafi oranını belirlemektedir.

PID mantığıyla çalışan parametrelerde, her bir yörünge için *PID* değeri vardır ve her yörünge için olan bu *PID* değerleri aynı mantıkla çalışmaktadır. Çalışmanın ilerleyen bölümünde *PID* mantığıyla çalışan parametrelerin tam olarak nasıl değer aldığı açıklanmıştır.

"Stabilize" parametresi *PID* mantığıyla çalışan değerlerden biridir. Stabilize özelliği Acro modu dışında tüm modlarda kullanılır. Acro modu da simetrik olma

eğilimindedir fakat Pitch ve Roll için simetri hesabı yoktur. Bu durum helikoptere herhangi bir eksende yük bağlanabilmesini sağlar. Ek bir batarya takıldığında helikopterin bu ağırlığı hesaba katması için bir eksen diğer eksene göre asimetrik olarak ayarlanmalıdır.



Ek Şekil 2: Pitch – Roll – Yaw eksenleri (URL:4)

Stabilize_Roll/Pitch/Yaw: Stabilize, bu başlık altında üç farklı değer alır. Bunlar Roll, Pitch ve Yaw yörüngelerinin ayarlanması için girilen değerlerdir. Bahsedilen yörüngeler Ek Şekil 2'de gösterilmiştir. Her yörünge için ayarlanan "Stabilize" değeri *PID* algoritmasından sadece P değerini kullanır ve aşağıda açıklandığı gibi çalışmaktadır.

Stabilize_P: Hava aracına verilen komut sonrası, aracın döndüğü eksende eski pozisyonuna geri dönme hızı oranı denilebilir. Değer ne kadar yüksekse eski pozisyonuna dönme hızı o kadar hızlı olacaktır. Fakat değer çok yüksek verilirse tepki çok hızlı olacağından hava aracı aksi yönde fazla dönme gösterecektir ve hava aracı sallanmaya başlayacaktır. Değer bu sallanmayı başlatmayacak kadar düşük olmalıdır.

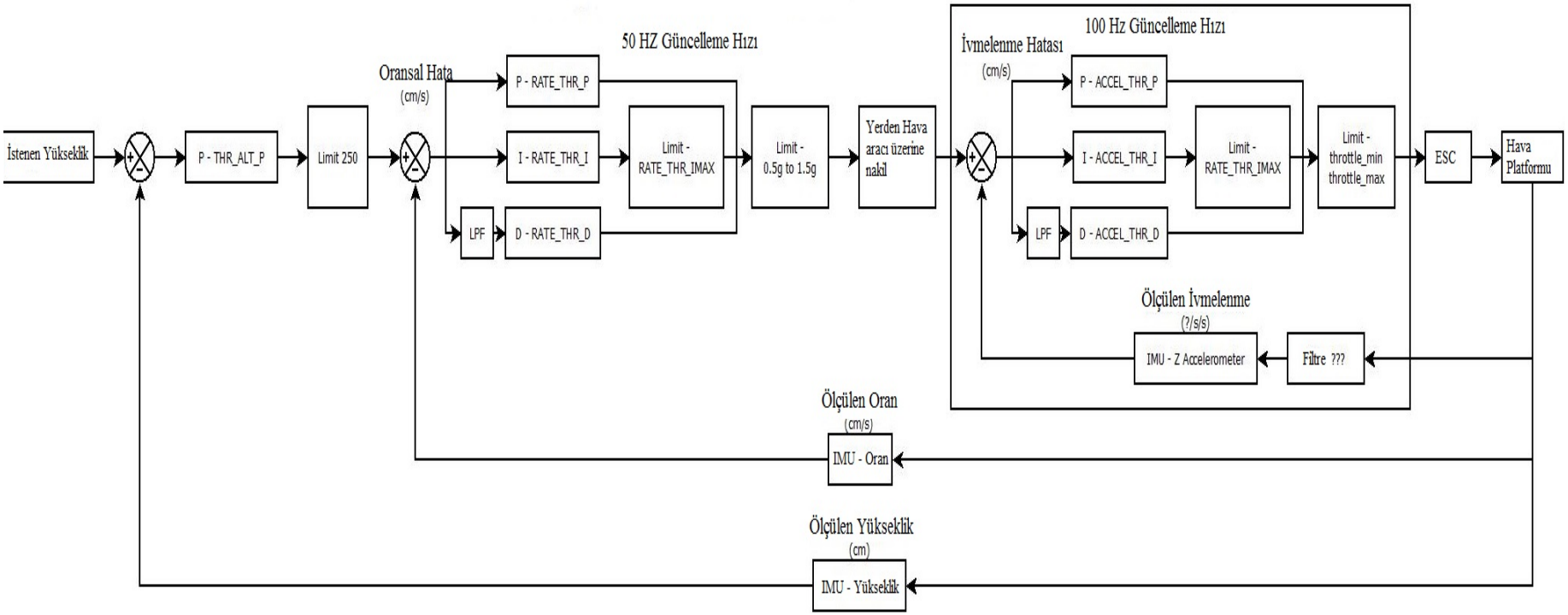
Rate_Roll/Pitch/Yaw: Rate, üç farklı değer alır. Bu değerler Roll, Pitch ve Yaw yörüngelerinin ayarlanması için girilen değerlerdir ve her bir yörünge değeri ayrı *PID* değerleri alır. Bu değerlerin işlevi aşağıda açıklanmıştır.

Rate_P: En önemli ve etkili uçuş değeridir. İstenilen dönme oranına ulaşmak için ne kadar güç uygulanacağını belirler. Büyük güç üreten ağır helikopterler daha küçük rate değerlerine ihtiyaç duyarken hafif ve daha az güç üreten helikopterler daha büyük rate değerlerine ihtiyaç duyar. Yüksek rate değeri çalkalanmaya sebep olurken küçük değerler ise helikopterin verilen komutlara az tepki vermesi ve rüzgâr gibi etkenlere direnememesi gibi etkiler yaratır. Değer titreme olmayacak kadar verilebildiğince yüksek verilmelidir. Böylece helikopterin hareket kabiliyeti ve tepkileri daha etkili olacaktır. "P" değeri helikopterin dengesizliğini gidermekte tek başına yeterli ve başarılı olamaz ve hafif de olsa sürekli kaymalar ya da dönüşler meydana gelir. Bu sorunu çözmek için ise toplam hatayı temsil eden Rate_I kullanılır.

Rate_I: Helikopterin istenen dönüş oranına ulaşmasında yardımcı değerdir. İstenen değere ulaşma sırasında karşılaşılan uzun süreli etkileri bertaraf etmek için kullanılır. Ön tanımlı olarak bir değer almaz. Genelde sıfır olarak kullanmak ve otomatik ayar ile bu değerin saptanması daha başarılı sonuçlar doğurur. El yordamı ile deneyerek belirlemek karışık ve zor bir süreç olabilmektedir. Değerin çalışma prensibi, hataları toplayarak dönüş müdahalesinin daha hızlı ve keskin olmasını sağlamaktır. Fakat hata sıfır olduğunda bile toplam hata büyük bir değere ulaşacağından helikopterin zıt yönde hareketine ve helikopterin salınımına sebep olabilir. Bu hatayı önlemek için ise RATE_D parametresi kullanılmaktadır.

Rate_D: Helikopterin istenen dönüş oranına ulaşması sırasında etki eden kısa süreli değişiklikleri saptayıp telafi etmek için kullanılmaktadır. Diğer bir deyişle RATE_I ile saptanan değerin ortalama değer üzerinde ne kadar etkili olduğuna karar verecektir. Anlık hata değişimini türev yordamıyla bularak hata değişikliği oranında RATE_I'ın ortalama hataya etkisini azaltır ya da artırır. Böylece hata azaldıkça RATE_I'ın kümülatif etkisini azaltarak titreşimi engeller.

Rate_IMAX: "Rate_I" değeri ile elde edilebilecek en yüksek değeri temsil eder. Bu değerin sıfır olarak girilmesi "Rate_I" değerinin tamamen etkisiz olmasını sağlar.



Ek Şekil 3: ArduFlyer kart içinde PID'nin çalışma şekli

Yaw paremetreleri istenilen bir Yaw açısında sabitlemeyi amaçlar. Helikopter doğal olarak ana Pallerin yarattığı momentumdan dolayı dönmek ister ve kullanıcı pilot helikopterin gittiği yönü istediği gibi sabitleyemez. Bunun için Yaw için yeterince büyük bir "P" değeri verilmesi helikopterin istemsiz dönmesini durdurur.

Stabilize_Yaw_P: Helikopterin istenen yöne ne kadar hızla döneceğini belirtir. Verilen değerin çok yüksek olması sallanmaya sebep olabilir.

Stabilize_Yaw_I: Helikopter üzerindeki küçük dengesizlikleri telafi etmede bir Trim gibi görev yapar. Bu değer ile ayarlanan en yüksek değere ulaşmak için bir zaman belirlenmiş olur. Verilen bu değer ne kadar yüksek ise helikopter o kadar hızlı tepki verir.

Rate_Yaw_P: AC2 (arducopter2)'nin sıfır kuyruk değerine(sabit durmasına) ulaşması için kullanılan kontrol yetkisi miktarıdır. Değer çok düşükse dönüşü durdurmak mümkün olmayacaktır, çok yüksek ise kuyruk titremesi meydana gelecektir.

LOITER ayarları, helikopterin durması gereken noktaya ulaşması için ne kadar Pitch(tırmanma) kullanacağının kontrol edilmesi amacıyla kullanılır.

Loiter_P: Gitmesi gereken hedef noktaya hangi oranda gidileceğini belirten değerdir. Eğer değer yeterince yüksek değilse helikopter güçlü rüzgarlarla baş edemeyip gideceği noktaya ilerleyemez ve kayma yapar. Değer çok yüksek ise helikopter hedef nokta etrafında titreme yapacaktır.

Loiter_I: Bu değer sıfır hata sağlandığı durumlarda rüzgârlara karşı direnmeyi sağlar. Fakat değer çok yüksek verilirse helikopterde titremeye sebep olur.

Loiter_IMAX: LOITER_I için verilen değerin en yüksek uygulanacağı sınırı belirler. WP_NAV helikopterin hedefe giderkenki hız oranını kontrol etmek için kullanılır.

WP_NAV_Speed: Hava aracının yatay düzlemde yapabileceği en fazla hızı belirtir. Öntanımlı değeri 500 yani 5m/sn. dir. Sıradan bir helikopter en fazla 10–13m/sn hız

yapabilir. Değer ne kadar yüksek ise istenilen hıza ulaşmak için o kadar Pitch (tırmanma açısı) kullanılır.

WPNAV_Radius: Otomatik uçuş sırasında belirlenen rotada uçulması gereken noktalar mevcuttur. Bu noktalara belirlenen yarıçap içine giren hava aracı bu noktaya uğramış sayılır. Yarıçap ne kadar büyük ise uçuş o kadar yüzeysel olur. Yarıçap ne kadar küçükse uçuş o kadar detaylı ve hassas olur.

WP_NAV_Speedup: Otomatik uçuş sırasında tırmanma/yükselme ihtiyacı olması durumunda hızın ne kadar olması gerektiği bu parametre yoluyla belirlenir. Cm/sn cinsinde değer girilmelidir.

WP_NAV_Speeddown: Otomatik uçuş sırasında iniş/alçalma ihtiyacı olması durumunda hızın ne kadar olması gerektiği bu parametre yoluyla belirlenir. Cm/sn cinsinde değer girilmelidir. "Alt Hold" barometre algılayıcısı vasıtasıyla yüksekliği sabitlemek için kullanılır.

Altitude hold P: Yükseklikte santimetre bazında meydana gelen hataların istenen tırmanma oranına çevrilmesi için kullanılır. Değer ne kadar yüksek verilirse o kadar yüksek tırmanma oranı elde edilir.

Altitude hold I: Helikopterin yükseklik sabitlemede karşılaşacağı sorunları tespit etmede kullanılır. Genelde düşük voltajlı bataryadan dolayı meydana gelen yükseklik sabitleme problemlerinde kullanılır.

Altitude hold IMAX: Ayarlanabilecek gaz miktarı 1000 = 100% anlamına gelir. Bu değer dikkate alınarak uçuş karakterine göre ihtiyaç duyulan değer girilmelidir.

Throttle Rate: "Throttle Rate" helikopterin daha sakin hareket etmesi ve tırmanma hızını kontrol altına almak için kullanılır. "P" ve "I" değerlerinin işlevleri aşağıdaki gibidir.

Throttle Rate P: Tırmanma oranını değiştirmek için gaz oranını belirleyen değerdir.

Throttle_I: İstenilen tırmanma oranına erişme sırasında meydana gelen hataları telefi etmek için kullanılır(ön tanımlı değeri sıfırdır çünkü bu değer yerine aynı işi "Alt Hold I" değeri yerine getirmektedir)(URL:9).

2. Uçuşa etki eden önemli parametreler

AHRS(Attitude and Heading Reference System): ArduFlyer kart içerisinde bulunan *AHRS* Gyro, magnetometre ve accelerometer'in birleşiminden oluşan algılayıcıları ifade etmektedir. Sabit yapıda(Solid State) ya da mikro elektro manyetik sistem (*MEMS*) diye isimlendirilen iki türü bulunmaktadır. *AHRS*, Kart içerisinde katı hal (Solid State) tipinde gömülü olarak bulunmaktadır. Kartın pozisyonu, helikopterin pozisyonunu temsil ettiği için doğru konumlandırmalı ve kalibrasyon düzgün yapılmalıdır. *AHRS* ile ilgili AHRS_GPS_DELAY, AHRS_GPS_GAIN, AHRS_GPS_MINSATS, AHRS_GPS_USE, AHRS_ORIENTATION, AHRS_RP_P, AHRS_TRIM_X, AHRS_TRIM_Y, AHRS_TRIM_Z, AHRS_WIND_MAX, AHRS_YAW_P gibi ayarlar dikkatlice incelenmeli ve uçuş testlerine göre kalibre edilmelidir.

Trim_Throttle: Bu değer uçuş sırasında otomatik belirlenir. Helikopterin havada geçen sürede kullandığı ortalama Throttle (gaz) bu değeri oluşturur.

Throttle_Mid: Bu değer *AltHold*, Loiter gibi otomatik uçuş modları için hayati önem taşımaktadır. Çünkü otomatik uçuş modları Throttle %40 ile %60 arasında iken çalışır. "Örnek vermek gerekirse; normal bir uçuş sırasında %70 gaz ile havada asılı kalabilen bir helikopterin "Throttle mid" değeri 500 olarak ayarlı ise otomatik mod'a geçildiğinde helikopter yükselme komutu aldığını farz edip otomatik mod'dan çıkacaktır.

Tune High/Low: Kumandadan atanan Knob (çevirilen hassas düğme) düğmesinin en alt ve üst değerlerini belirlemeyi sağlamaktadır. Birçok uçuş sırasındaki kalibrasyonda kullanılan bu düğmenin alt ve üst değerlerini atamak pilotaj hatalarını azaltabilmektedir.

INS_Offsets_xyz: Bu değerler acceleration ve Gyro sapmaları olarak altı(6) farklı parametre olarak ayarlanmaktadır. Değerler *MP* programının "Calibration" bölümünde acceleration ve Kompas kalibrasyonu yapılırken otomatik olarak değer almaktadır.

FailSafe: Hata durumunda helikopterin ne yapması gerektiğinin belirtildiği FS ile başlayan bu parametreler; FS_BATT_ENABLE, FS_BATT_MAH, FS_BATT_VOLTAGE, FS_GCS_ENABLE, FS_GPS_ENABLE, FS_THR_ENABLE ve FS_THR_VALUE gibi değerlerden oluşur. Batarya azaldığında ya da kumanda sinyali kesildiğinde hava aracının geri dönmesi, olduğu noktada Hover'da beklemesi ya da hemen iniş yapması gibi ön ayarlı tercihler yapılabilmektedir.

Flight Mode: Hava aracının yönetildiği uzaktan kumanda üzerinde bulunan düğmelere(Switch) atama yapılmasını sağlar. Hangi kanalın hangi düğmeye atandığı belirlendikten sonra bu düğme üzerindeki seçeneklerin hangi uçuş moduna atanacağı bu parametre ile belirlenir. Uçuş modu (Flight Mod) seçenekleri ve nasıl çalıştıkları Mission Planner başlığı altında detaylı şekilde açıklanmıştır.

Acro: Bu modun düzgün çalışabilmesi için Stabilize modda otomatik yapılan level işlemi elle yapılmalıdır. Helikoptere dönüş komutu verildikten sonra Servonun komut verilmeden önceki açısına ne zaman döneceği belirlenir. ACRO_BAL_PITCH, ACRO_BAL_ROLL, ACRO_RP_P, ACRO_TRAINER, ACRO_YAW_P parametreleri gibi toplam beş parametreden oluşur.

Bunların yanı sıra standart parametre tab'ı altında bilinmesi ve ihtiyaca göre değiştirilmesi gereken ayarlar:

Arming Check: Bu değer hava aracı kalkış yapmadan önce çalışması gereken barometre, accelometre, *GPS*, *INS*, Kompas ve alıcı(receiver) gibi kritik donanımları kontrol eder ve eğer bu donanımların herhangi biri çalışmıyorsa Arm işlemine izin vermez ve hava aracı havalanamaz. Bu özellik birçok kaza Kırımı önlemektedir.

GPS Glitch Protection: Bu özellik *GPS* az uydu bulabildiğinde işe yarar. Eğer bu özellik etkin ise ve *GPS*'in bulduğu pozisyon değerlerinde büyük farklılıklar var ise ArduFlyer kart *GPS*'ten gelen değerlerin uçuşu etkilemesine izin vermez.

Compass_Enable: Kompas algılayıcısının uçuş verisi üretmemesini sağlar. Böylece *GPS*, Barometre ve accelerometer'den alınan bilgiler ile hava aracı uçuş yapmaya çalışır.

Compass_External: Bu değer harici bir Kompas kullanılıyor ise "Disabled" olarak ayarlanmalıdır.
Compass_Use: Bu parametre aktive edilirse hava aracı uçuş sırasındaki başını(heading) *GPS* yerine Kompas vasıtasıyla belirler.

Compass_Learn: Kompas sapmalarının uçuş sırasında öğrenilmesini sağlar. Uçuş bölgesindeki manyetik alandan etkilenebileceği için ve deneme testlerinde başarılı sonuç vermediği için bu özelliğini kapatılması tercih edilmiştir.

Log bitmask: Uçuş sırasında tutulacak log dosyalarının içeriğini belirlemekte kullanılır. "Default, Default+RCIN, Default+IMU, Default+Motors, NearlyAll 0: Disabled" gibi seçenekler mevcuttur.

EK – 4 CLI MODU

CLI MODU

ArduCopter'i ayarlamak için çalışmada anlatılan *MP* programı kullanmanın yanı sıra komut satırı arayüzü ile de istenen ayarlar yapılabilir. Hatta Mission Planner tarafından ayarlanamayan bazı ayarlar *CLI* kullanılarak yapılabilmektedir. Herhangi bir işletim sistemi(işletim sistemi bağımsız) üzerinden *USB* kablosu yoluyla bağlanarak *CLI* kullanılabilir. Fakat 3DR telemetri ve benzeri telemetriler ile *CLI* kullanılamaz. *CLI* arayüzünü açmak için "Terminal" ekranında üç kere "Enter" tuşuna basmak gerekmektedir.

CLI arayüzüne girince "help" yazarak tüm kullanılabilir komutlar görülebilmektedir. Üç ana menü komutu mevcuttur. Bunlar; Setup, Test ve Logs'tur. Her ana menü komutu altında "help" yazılması durumunda o menü ile ilgili tüm komutlar gözükmektedir.

Setup menü komutu altında:

Erase: ArduCopter mega ilk çalıştığında içinde bazı istenmeyen değerler var ise silmek için bu komut kullanılabilir.

Reset: Performs *EEPROM* değerlerinin sıfırlanması ve fabrika ayarlarına geri dönmek için kullanılan komuttur.

Radio: Tüm radyo kanallarının limitlerini kaydeder. Uçuş performansını etkileyen önemli bir kalibrasyon olduğu için mutlaka yapılmalıdır.

Motors: *ESC* ve Motorların interaktif ayarlarıdır. Bu moda girdikten sonra bataryayı bağlamak ve uzaktan kumanda ile kumandanın Pitch/Roll çubuklarını her yöne hareket ettirerek limitleri tanımasını sağlamak ayarlamanın tamamlanmasını sağlayacaktır.

Level: Accelerometrenin ilk değer(initializing) almasını sağlar.

Modes: Uçuş modlarının kumanda üzerindeki düğme pozisyonlarına gore ayarlanmasını sağlar. Beş farklı mod atanabilir. Uzaktan kumandanın Aileron / Roll

çubuğu yönünde hareket ettirilmesi ile ayarlama yapılır. Çubuğun en sağa ittirilmesi liste aşağısına doğru ilerleme yaptırırken en sola ittirilmesi halinde listenin başına doğru gider. “Enter” tuşuna basılarak seçilen mod kaydedilir ve çıkılır.

Frame: Kullanılan hava aracının tipi belirlenir(Helikopter, octo, hexa copter vs.)

Current: AttoPilot ya da başka bir akım algılayıcısının aktifleştirilmesini sağlar.

Sonar: Sonar algılayıcısını aktive eder. Algılayıcı “pitot” portu denen porta bağlanmalıdır. Bu port analog bir porttur.

Compass: Kompasın active/deactive edilmesini sağlar.

Declination: Bölgesel manyetik sapmanın girilerek pusulanın doğru çalışmasını sağlar.

Show: Tüm ayarların ne değer aldığının düzgün bir formatta görüntülenmesini sağlar.

Test komutu altında:
PWM: Tüm radyo kanallarının (8 adet) aldığı *PWM* değerlerinin çıktısını gösterir.

Radio: Tüm radyo kanallarının derece cinsinden kontrol değerlerinin 100 ile çarpımını çıktı olarak gösterir.

Failsafe: *CLI* modu altında henüz komut müdehalesi ile kullanılmamaktadır.

Stabilize: Stabilizasyon modunu debugging çıktısı ile terminalde göstermeye yaramaktadır.(Bu komut kullanımı sırasında Paller dönebilir.)

GPS: *GPS* verisinin çıktısını verir. Bunun için açık bir alanda olmalı ve en az iki dakika *GPS* kilitlemesi için beklemek gerekmektedir.

ADC: Ham ADC değerlerinin çıktısını verir.

IMU: Euler açısının çıktısını verir.

Tune: Henüz kullanılmamaktadır.

Current: Akım algılayıcısından aldığı verilerin çıktısını verir. Bu komut sonrası motor dönecektir. Motorun dönmemesi için motor için takılan batarya sökülmeli ya da Paller çıkarılmalıdır.

Relay: Elektrik akışını düzenler.

Waypoints: Kaydedilmiş yol güzergahları (waypoint) komutlarını gösterir.

Altitude: Dahili barometric basınç sensor bilgilerinin çıktısını verir.

Sonar: Sonar algılayıcısının çıktısını verir (Algılayıcı takılı ve aktif edilmiş ise).

Compass: Kompas açılarını derece formatında çıktısını verir(0 = kuzey).

Eedump: *EEPROM'*un ham byte çıktılarını verir.

Rawgps: Düzenlenmemiş, ham *GPS* verilerinin çıktısını verir.

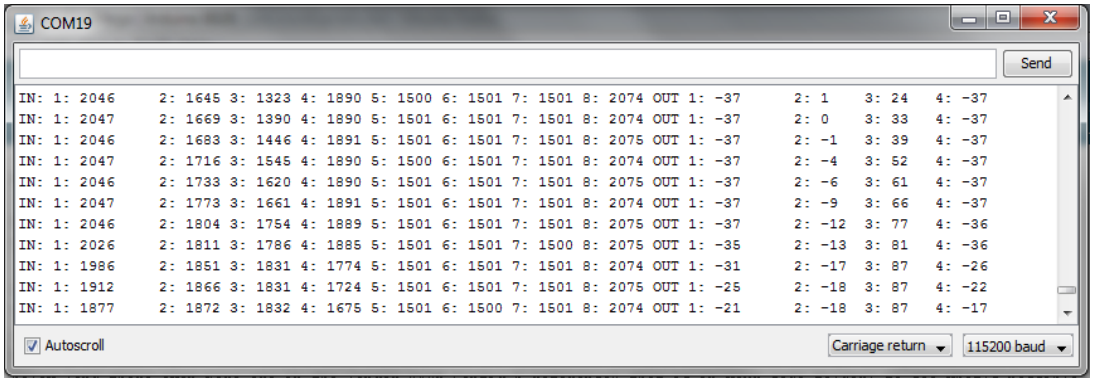
Mission: Ön tanımlı görev bilgisini *EEPROM*'a yazar (null, 'wp'). 'wp' seçeneğini seçmek, helikopteri 15 metre kuzeye götürüp geri getirecektir.

Logs menüsü altında:

Data logging: ArduFlyer içinde gömülü 16 Mb uçuş verisi loglama için yer ayrılmıştır. ArduFlyer'in performansı ve uçuşu hakkında istenen loglar buraya kaydedilir.

Loglama ilk kez kullanılacak ise kullanılmadan önce *CLI* arayüzü ile "erase" komutu verilerek silinmelidir. Aksi takdirde bir çok bozuk log dosyası ile karşılaşılır.

CLI modunda uzaktan kumanda değerlerinin doğru gelip gelmediğini test etmek için "pwm" komutu yazılır. Çıktısı Ek Şekil 1'de görüldüğü gibidir. Çıktı, Servoların ürettiği hata bazında ve derece cinsinden gösterilmektedir.



Ek Şekil 1: CLI modunda PWM komutu kullanımı

EK – 5 İstatistiki Veriler

Yapılan uçuş testlerinde *AltHold* modunda uçuşta başarı sağlanmıştır. Helikopter belirli bir yüksekliğe uzaktan kumanda ile çıkarılmış ve *GPS* kilitlemesi yapıldığı görüldükten sonra kumandaya önceden atanan *AltHold* anahtarı ile bu moda geçilmiş ve helikopterin başarılı bir şekilde otomatik olarak yüksekliği sabitlediği görülmüştür. Otomatik uçuşun temelini oluşturan bu özelliğin başarılması sonucu elde edilen istatistikî verilerin grafiksel gösterimi Ek Şekil 1'de verilmiştir. Grafiğin oluşturulabilmesi için öncelikle sağ alt pencerede görülen mesaj tiplerinden *CTUN* mesajı seçilir ve açılan ağaç yapısından "BarAlt" seçeneği işaretlenir. Son olarak "Graph This Data Left" düğmesine basılarak uçuş sırasında tutulan log kayıtlarından süzülen yükseklik verilerinin grafiği Şekil 1'deki gibi gösterilir. Grafiğin yorumlanması şöyledir; Uçuş ilk 2.5(ikibuçuk) dakika el yordamı ile olarak yapılmış ve Alt_HOLD etiketi olan yerlerde yükseklik sabitleme(*AltHold*) moduna geçilmiştir. Yükseklik sabitleme modu devredeyken uçuşun 5–15 sn. arası istikrarlı bir şekilde yüksekliği sabit tutmaya çalıştığı görülecektir.



1	0001-01-01 00:0...	152					
2	0001-01-01 00:0...						
3	0001-01-01 00:0...	ArduCopter V3.1....					
4	0001-01-01 00:0...	Free RAM	827				
5	0001-01-01 00:0...	APM 2					
6	0001-01-01 00:0...	FMT	128	89	FMT	BBnNZ	Type	Length
7	0001-01-01 00:0...	FMT	129	23	PARM	Nf	Name	Value
8	0001-01-01 00:0...	FMT	130	45	GPS	BIHBcLLeeEefI	Status	TimeMS
9	0001-01-01 00:0...	FMT	131	31	IMU	Iffffff	TimeMS	GyrX
10	0001-01-01 00:0...	FMT	132	67	MSG	Z	Message	
11	0001-01-01 00:0...	FMT	9	19	CURR	hIhhhf	ThrOut	ThrInt

Ek Şekil 1: Log kayıtlarının grafiksel olarak gösterimi

EK – 6 Log Kayıt Örneği

152

ArduCopter V3.1.3 (aefeb38b)
Free RAM: 827
APM 2
FMT, 128, 89, FMT, BBnNZ, Type,Length,Name,Format
FMT, 129, 23, PARM, Nf, Name,Value
FMT, 130, 45, *GPS*, BIHBcLLeeEefI, Status,TimeMS,Week,NSats,HDop,Lat,Lng,RelAlt,Alt,Spd,GCrs,VZ,T
FMT, 131, 31, IMU, Ifffffff, TimeMS,GyrX,GyrY,GyrZ,AccX,AccY,AccZ
FMT, 132, 67, MSG, Z, Message
FMT, 9, 19, CURR, hIhhhf, ThrOut,ThrInt,Volt,Curr,Vcc,CurrTot
FMT, 11, 15, MOT, hhhhh, Mot1,Mot2,Mot3,Mot4,GGain
FMT, 12, 28, OF, hhBccffee, Dx,Dy,SQual,X,Y,Lat,Lng,Roll,Pitch
FMT, 5, 49, NTUN, Ecfffffffee, WPDst,WPBrg,PErX,PErY,DVelX,DVelY,VelX,VelY,DAcX,DAcY,DRol,DPit
FMT, 4, 25, CTUN, hcefchhhh, ThrIn,SonAlt,BarAlt,WPAlt,DesSonAlt,AngBst,CRate,ThrOut,DCRate
FMT, 15, 21, MAG, hhhhhhhhh, MagX,MagY,MagZ,OfsX,OfsY,OfsZ,MOfsX,MOfsY,MOfsZ
FMT, 6, 19, PM, BBHHIhBHB, RenCnt,RenBlw,NLon,NLoop,MaxT,PMT,I2CErr,INSErr,INAVErr
FMT, 8, 20, CMD, BBBBBeLL, CTot,CNum,CId,COpt,Prm1,Alt,Lat,Lng
FMT, 1, 17, ATT, cccccCC, RollIn,Roll,PitchIn,Pitch,YawIn,Yaw,NavYaw
FMT, 17, 37, INAV, cccfffiiff, BAlt,IAlt,IClb,ACorrX,ACorrY,ACorrZ,GLat,GLng,ILat,ILng
FMT, 3, 6, MODE, Mh, Mode,ThrCrs
FMT, 10, 3, STRT, ,
FMT, 13, 4, EV, B, Id
FMT, 20, 6, D16, Bh, Id,Value
FMT, 21, 6, DU16, BH, Id,Value
FMT, 22, 8, D32, Bi, Id,Value

FMT, 23, 8, DU32, BI, Id,Value

FMT, 24, 8, DFLT, Bf, Id,Value

FMT, 14, 28, PID, Biiiiif, Id,Error,P,I,D,Out,Gain

FMT, 18, 27, CAM, IHLLeccC, GPSTime,GPSWeek,Lat,Lng,Alt,Roll,Pitch,Yaw

FMT, 19, 5, ERR, BB, Subsys,ECode

PARM, SYSID_SW_MREV, 120.0000

PARM, SYSID_SW_TYPE, 10.00000

PARM, SYSID_THISMAV, 1.000000

PARM, SYSID_MYGCS, 255.0000

PARM, SERIAL1_BAUD, 57.00000

PARM, TELEM_DELAY, 0.000000

PARM, RTL_ALT, 1000.000

PARM, SONAR_ENABLE, 0.000000

PARM, SONAR_TYPE, 0.000000

PARM, SONAR_GAIN, 0.800000

PARM, FS_BATT_ENABLE, 1.000000

PARM, FS_BATT_VOLTAGE, 10.50000

PARM, FS_BATT_MAH, 0.000000

PARM, FS_GPS_ENABLE, 1.000000

PARM, FS_GCS_ENABLE, 0.000000

PARM, GPS_HDOP_GOOD, 200.0000

PARM, MAG_ENABLE, 1.000000

PARM, FLOW_ENABLE, 0.000000

PARM, SUPER_SIMPLE, 0.000000

PARM, RTL_ALT_FINAL, 2.000000

PARM, RSSI_PIN, -1.000000

PARM, WP_YAW_BEHAVIOR, 3.000000

PARM, WP_TOTAL, 5.000000

PARM mesajları tüm parametreler için anlık değerler tutmaktadır. Log dosyasındaki tüm PARM mesajları çok fazla oluşu nedeniyle verilmemiştir. Sadece örnek kısa bir bölüm verilmiştir. Bu mesajlardan sonra devam eden mesajlar aşağıdaki gibi olup yine örnek olması adına kısa bir bölüm verilmiştir.

MSG, ArduCopter V3.1.3 (aefeb38b)

MODE, STABILIZE, 585

D32, 9, 26689

CMD, 5, 0, 16, 0, 0, 0.00, 37.9703090, 32.5079485

EV, 10

CTUN, 404, 0.00, 0.04, 0.000000, 0.00, 0, -9, 0, 0

IMU, 38006, 0.000127, -0.000024, -0.000074, -0.079630, -0.099763, -9.727617

GPS, 3, 404631800, 1795, 7, 2.20, 37.9703091, 32.5079485, 0.55, 1034.08, 0.02, 178.64, -0.030000, 38021

IMU, 38029, 0.000949, 0.000875, -0.000638, -0.106004, -0.074369, -9.716095

EV, 28

IMU, 38049, -0.001710, -0.000188, -0.000638, -0.065518, -0.094728, -9.760702

GPS, 3, 404631800, 1795, 7, 2.20, 37.9703082, 32.5079477, 0.55, 1034.04, 0.01, 178.64, -0.010000, 38058

ATT, 0.00, -1.83, 5.92, 4.33, 0.00, 266.89, 266.89

IMU, 38069, 0.001481, -0.002849, -0.001702, -0.061946, -0.172572, -9.713746

IMU, 38089, 0.000417, 0.008324, -0.001702, -0.129820, -0.140237, -9.726660

CTUN, 403, 0.00, -0.14, 0.000000, 0.00, 0, -9, 403, 0

IMU, 38111, 0.006803, -0.000188, -0.001170, -0.009552, -0.049220, -9.702007

IMU, 38129, -0.011288, 0.000343, 0.002554, -0.160779, -0.195327, -9.763051

IMU, 38149, -0.012885, -0.003381, 0.007343, -0.033368, -0.004908, -9.660920

ATT, 0.00, -1.85, 4.71, 4.33, 0.00, 266.91, 266.91

IMU, 38169, 0.008399, 0.005664, -0.005427, -0.065518, -0.098321, -9.694963

IMU, 38188, 0.013188, -0.001253, -0.002234, -0.059564, -0.125866, -9.820572

CTUN, 404, 0.00, -0.02, 0.000000, 0.00, 0, -10, 403, 0

IMU, 38220, -0.008096, -0.005510, 0.000957, -0.098860, -0.056405, -9.682052

IMU, 38240, -0.003839, 0.001407, -0.004363, -0.091715, -0.073172, -9.705529

GPS, 3, 404639200, 1795, 7, 2.20, 37.9703081, 32.5079476, 0.47, 1034.01, 0.01, 178.64, 0.020000, 38258

ATT, 0.00, -1.83, 4.59, 4.34, 0.00, 266.92, 266.92

IMU, 38260, 0.003078, 0.007792, 0.000957, -0.106004, -0.142632, -9.716095

IMU, 38278, 0.000417, 0.001939, 0.005214, -0.059564, -0.087543, -9.802963

IMU, 38299, 0.004142, -0.007106, -0.001170, -0.054801, -0.064788, -9.710225

CTUN, 404, 0.00, 0.05, 0.000000, 0.00, 0, -11, 404, 0

IMU, 38318, 0.002546, -0.003381, -0.003831, -0.115530, -0.142632, -9.671486

IMU, 38340, -0.001178, 0.003535, 0.000957, -0.103623, -0.104309, -9.731355

ATT, 0.00, -1.83, 4.71, 4.34, 0.00, 266.92, 266.92

IMU, 38358, -0.004371, 0.005132, -0.000638, -0.055992, -0.076764, -9.709050

IMU, 38379, -0.000114, -0.002317, -0.001702, -0.072663, -0.123471, -9.767747

IMU, 38400, 0.002014, -0.003913, 0.002021, -0.090524, -0.128261, -9.733704

CTUN, 403, 0.00, 0.00, 0.000000, 0.00, 0, -11, 404, 0

IMU, 38421, 0.001481, 0.001407, 0.002021, -0.094097, -0.080357, -9.710225

IMU, 38440, 0.002014, 0.003535, -0.002767, -0.083380, -0.099519, -9.748964

GPS, 3, 404639400, 1795, 7, 2.20, 37.9703081, 32.5079475, 0.39, 1034.00, 0.01, 178.64, -0.010000, 38458

Uçuş kaydı boyunca yukarıdaki mesaj tipleri 5 dakikalık bir uçuş süresince yaklaşık 30.000 satır kadar bir uzunlukta text dosyasında tutulmaktadır.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emre AYVAZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Gaziantep, 18.05.1980
Telefon : 5549412601
Faks :
e-mail : emre.ayvaz@hvkk.tsk.tr

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	**Bayraktar, Şehitkamil, Gaziantep**	**1997**
Üniversite	:	**İstanbul Kültür Üniversitesi, Şirinevler, İstanbul**	**2003**
Yüksek Lisans	:	**Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya**	**2014**
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2003-2004	**KÖKSAN Pet PlastikA.Ş.**	**Bilgi İşlem Yetkilisi**
2004-2005	**M.E.B.**	**Bilgisayar Öğretmeni**
2005-2006	**AYBİL Bilgisayar**	**Firma Sahibi**
2006- Halen	**H.V.K.K.**	**Yazılım Mühendisi**

UZMANLIK ALANI

Model Helikopterler, İnsansız Hava Araçları, Havacılık, Bilgisayar Teknolojileri

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

Basketbol ve yüzme sporlarını düzenli olarak yapan, doğayı ve gezmeyi seven, bilgisayar ve havacılık üzerine teknolojik gelişmeleri yakından takip eden ve bu konularda araştırmayı seven bir hayat tarzına sahiptir.