



**KTO KARATAY
ÜNİVERSİTESİ**

**T.C.
KTO Karatay Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

ELEKTRİK-BİLGİSAYAR TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**BELLİ BİR ROTA ÜZERİNDE HELİKOPTERİN OTONOM
UÇUŞU İÇİN YAKLAŞIM GELİŞTİRİLMESİ**

Alper AYHAN

KONYA

Ekim 2019

BELLİ BİR ROTA ÜZERİNDE HELİKOPTERİN
OTONOM UÇUŞU İÇİN YAKLAŞIM GELİŞTİRİLMESİ

Alper AYHAN

KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik ve Bilgisayar Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

KONYA
Ekim, 2019

Fen Bilimleri Enstitü Onayı



Prof. Dr. Hüseyin Bekir YILDIZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezli yüksek lisans tezinin yapılması gereken bütün gerekliliklerinin yerine getirdiğini onaylıyorum.



Dr. Öğr. Üyesi H. Oktay ALTUN
Anabilim Dalı Başkanı

Alper AYHAN tarafından hazırlanan BELLİ BİR ROTA ÜZERİNDE HELİKOPTERİN OTONOM UÇUŞU İÇİN YAKLAŞIM GELİŞTİRİLMESİ başlıklı bu çalışma 10.10.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jüri tarafından tezli yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ
Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

Başkan: Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi H. Oktay ALTUN.....

Üye: Doç. Dr. H. Deniz BAŞDEMİR.....



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak ve kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



Alper AYHAN

ÖZET

BELLİ BİR ROTA ÜZERİNDE HELİKOPTERİN OTONOM UÇUŞU İÇİN YAKLAŞIM GELİŞTİRİLMESİ

AYHAN, Alper

Yüksek Lisans- Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ

Ekim, 2019

Bu tez çalışmasında dünyada hızla gelişen insansız hava aracı teknolojisine değinilmiştir. Diğer insansız hava araçlarına göre birçok avantajı olan insansız helikopterin bu alanda kullanımının yaygın olmaması ve yapılan araştırmaların az olması konuya olan ilgimi daha da artırdı. Çalışma kapsamında belli bir rota üzerinde otonom ve insansız helikopter uçuş yöntemi önerilmiş, gerekli olan tüm donanım ve yazılım bileşenlerinin uyum ve bütünleşme süreçleri detaylı bir biçimde anlatılmıştır. Helikopter çok karmaşık ve kontrolü zor olan bir dinamik yapıya ve kararsız uçuşa sahip olduğundan insansız hava aracı olarak tercih edilmemektedir. Bu çalışmada helikopter yönteminin seçilmesinin sebebi; helikopterin diğer hava araçlarına göre daha atik ve manevra kabiliyetinin daha yüksek olmasıdır. Sabit kanatlı hava araçlarında bulunmayan havada asılı kalma ve dikey iniş-kalkış yapma, çok rotorlu araçlarda olmayan hız ve atiklik avantajlarını helikopter mümkün kılmaktadır. Buna karşın diğer hava araçlarına göre daha karmaşık bir uçuş dinamiğine sahip olan helikopterin otonom uçuşu için gerekli yöntemin uygulanması da bir o kadar özen ve dikkat gerektirmektedir. Bu tez çalışması ile insansız ve otonom helikopter teknolojisine farklı bir bakış açısı getirilmesi düşünülmüştür.

Bu bağlamda çalışmada; öncelikle İnsansız Hava Araçları ve helikopter dinamiği hakkında temel düzeyde bilgi verilmiş, belli bir rota üzerinde otonom hareket kabiliyeti için gerekli olan tüm bileşenler ile bu bileşenlerin bağlantı ve programlanması, nihayetinde helikopterin otonom uçuşu için istenilen tüm gereklilikler ayrıntılı bir biçimde anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İHA, Otonom, Helikopter,

ABSTRACT

DEVELOPING AN APPROACH TO THE HELICOPTER'S AUTONOMIC FLIGHT ON A SPECIFIC ROUTE

AYHAN, Alper

M. Sc. Electrical and Computer Engineering

Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDI

October, 2019

In this thesis, emphasizing Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology the rapidly developing in the world. The fact that the unmanned helicopter, which has many advantages over other unmanned aerial vehicles, is not widespread in this field and the researches are less, has increased my interest in the subject. Within the scope of the study, autonomous and unmanned helicopter flight methods are proposed on a given route and the adaptation and integration processes of all necessary hardware and software components are explained in detail.

The helicopter is very complex and difficult to control with a dynamic and unstable air vehicle, so it's not preferred as unmanned aerial vehicles. The reason for choosing the helicopter method in this study; According to other aircraft helicopter it is more agile and greater maneuverability. Fixed wing aircraft are not suspended in the air and vertical landing and take-off feature. Fixed wing aircraft can not Hover in the air and vertical landing and take-off feature. The helicopter makes possible the advantages of speed and agility then the multi-rotor vehicles. However, the autonomous flight of the helicopter, which has a more complex flight dynamics than other aircraft, requires the same care and attention. With this thesis, it is thought to bring a different perspective to unmanned and autonomous helicopter technology.

In this context; Firstly, basic information about unmanned aerial vehicles and helicopter dynamics has been given, all components required for autonomous mobility on a given route and connection and programming of these components, Finally, all the requirements for the autonomous flight of the helicopter are explained in detail.

Keywords: UAV, Autonomous, Helicopter,

TEŐEKKÖR

İnsansız ve otonom helikopterin gelişim sürecine katkı sağlamak amacıyla başlattığım çalışmamda bana ilham veren değerli hocam ve danışmanım Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ'ye, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendirmemi sağlayan fahri hocam Dr. Emre AYVAZ'a teşekkürü bir borç bilirim. Bu süreçte beni hep destekleyen annem Şerife AYHAN ve biricik eşim Latife ERCAN AYHAN'a da sabır ve emeklerinden ötürü minnettarım. Bana her zaman "Ülkene Hizmet Ettiğin ve Ürettiğin Kadar Vatanperversin" sözüyle ışık olan rahmetli babam Prof. Dr. Ahmet AYHAN'a ithafen.



İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR ve TANIMLAR	x
1.GİRİŞ ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı.....	2
1.2 Helikopter Tarihi.....	3
1.3 İnsansız Helikopter Tarihi.....	5
1.4 İnsansız Hava Araçlarının Tarihi	6
1.4.1 El İle (manuel) uçuş Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	8
1.4.2 Otonom İHA Çalışmalarına Genel Bakış.....	9
1.4.3 Kullanım Alanlarına Göre Otonom İHA Sistemleri	11
2.YÖNTEM ve HELİKOPTER-İHA SİSTEMİNİN YAPISI	12
2.1 Temel Model Helikopter	12
2.2 Pixhawk Kart	15
2.2.1 Kartın Programlanması	16
2.2.2 Opsiyonel Harici Algılayıcılar	19
2.2.3 Pixhawk Değişkenleri	20
2.3 Görev Planlayıcı – Mission Planner.....	22
2.3.1 Temel/İleri Düzey Ayarlar	22
2.3.2 Anlık Veri Ekranı.....	25
2.3.3 CLI Arayüz	27
2.3.4 Modlar.....	29
2.3.5 Otopilot Düzenleme ve Hazırlık	35
2.3.6 Loglama ve Algılayıcı Veri İzlemi	37
2.3.7 Sorun Tespiti ve Analizi	38
2.4 Phoenix Simülatör.....	40
3.UYGULAMA	42

3.1 Model Helikopterin Temini ve kurulumu	42
3.2 Diğer Bileşenlerin Temini.....	46
3.3 Yer İstasyonunun Kurulması ve Programlama	48
3.4 Bileşenlerin Entegrasyonu (bütünleşmesi).....	48
3.4.1 Pixhawk İle Helikopter	49
3.4.2 Pixhawk İle Yer İstasyonu (Yer bilgisayarı).....	58
3.4.3 Helikopter İle Verici (Transmitter)	59
3.4.4 Pixhawk İle Phoenix Simülatörü.....	59
3.5 Ölçümleme (Kalibrasyon) ve Sınama	61
3.5.1 Pusula Ayarı ve Ölçümlemesi.....	62
3.5.2 Trim (Hassas ayar) Ölçümlemesi.....	64
3.5.3 Manyetik Alanın Pusula Etki Analizi	66
3.5.4 Titreşim Testi	67
3.5.5 Gaz Çubuğu	69
3.5.6 PID Ölçümleme (PID Tuning).....	70
3.5.7 Helikopter Özelinde Ayarlamalar	72
3.5.8 Sanal ve Gerçek Uçuş Denemeleri.....	74
4. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	77
4.1 Belli Bir Rota Üzerinde Helikopterin Otonom Uçuşu	78
4.1.1 MATLAB ile Kırırna Etki Eden Diğer Nedenlerin Analizi	79
4.2 Sonuçlar	80
KAYNAKLAR	84
EKLER.....	87
ÖZGEÇMİŞ	92

KISALTMALAR ve TANIMLAR

Kısaltmalar

AC	:Alternatif Akım (Alternative Current)
AltHold	:Yükseklik Sabitleyici (Altitude Hold)
APM	:Ardu Pilot Mega
BEC	:Batarya Ayırıcı Devre (Battery Eleminator Circuit)
BVR	: Beyond Visual Range
CLI	:Komut Satırı Arayüzü (Command Line Interface)
EEPROM	:Silinebilir Programlanabilir Sadece Okunabilir Hafıza (Eresable Proramable Read Only Memory)
ESC	:Elektronik Hız Denetleyicisi (Elektronik Speed Controller)
DC	:Doğrusal Akım (Direct Current)
GPRS	:Genel Paket Radyo Servisi (General Packet Radio Service)
GPS	:Küresel Pozisyonlama Sistemi (Global Positioning System)
İHA	:İnsansız Hava Aracı
IMU	:İçsel Ölçü Birimi (Inertial Measurement Unit)
LIPO	:Lityum Polimer (Lithium Polymer)
MAG	:Manyetik Alan Ölçer (Magnetometre)
MEMS	:Mikro Elektro Manyetik Sistem (Micro Electro Magnetic System)
MHz	:Megahertz
MP	:Görev Planlayıcısı (Mission Planner)
OSD	:Ekran Üstündeki görüntü (On Screen Display)
PID	:Oransal, Toplamsal, Türevsel (Proportional, Integral, Derivative)
PWM	:Vuruma Göre Modülasyon (Pulse with Modulation)
PPM	:Vurum Pozisyon Modülasyonu (Pulse Position Modilation)
RC	:Radyo Kumanda (Radio Control)
RTF	:Uçuşa hazır (Ready to Fly)
R/T	:Alıcı/Verici (Receiver/Transmitter)
RTL	:Kalkış Konumuna Geri Dönüş (Return to Land)
RUAV	:Rotorcraft-based Unmanned Air Vehicles
TLOG	:Telemetry Log
UAV	:Unmanned Air Vehicle
UDP	:Kullanıcı Veri Tablosu Protokolü(User Datagram Protocol)
UHF	:Çok Yüksek Frekans (Ultra High Frequency)
VCC	:Voltaj Toplayıcısı (Voltage Common Collector)
WP	:Yol Güzergâhı (Way Point)

Tanımlar

Aileron mekanizması	:Hava aracının roll hareketi yapmasını sağlayan servo
Alyan	:Altıgen vidaları açmaya yarayan araç

Arm	: Hava aracının uçuşa hazır vaziyette olması
Ball Link	:Başı çember bağlayıcı
Bind	:Bağlanma
Collective Pitch	:Gaz çubuğula eş, swashplate'in paralel inip kalkması
Cyclic Pitch	:Pallerin aldığı açı
Disarm	: Hava aracının uçuşa hazır vaziyette olmaması
Firmware	:Donanım ve yazılım arasında bağlantı kurmak için kullanılan yazılım.
Flybar	:Daha tutarlı uçuş için kullanılan denge çubuğu
Grid	:Bir haritada kesişen yatay ve dikey hatlar
Gyro	:Helikopterin ana rotorunun dönmesi esnasında kuyruğunun karşı momentumla dönmesini engelleyen anti-tork üreten mekanizma
Home Location	:Başlangıç Konumu
Hover	:Hava aracının havada asılı gibi kalması durumu
Jumper	:Devre tamamlama görevi yapan aparat
Kanopi	:Helikopterin motor ve kablo aksamındaki kötü görüntüyü kapatmak için kullanılan kaplama
Kırım	:Hava aracının maddi hasar görmesi durumu
Kompas	:Dijital pusula
Latitute	:Enlem
Log	:Analiz ve hata takibi amacıyla sistemde gerçekleşen tüm eylemlerin sayısal olarak kayıt altına alınması
Longtitute	:Boylam
Pal	:Helikopterin uçmasında asıl itme gücünü sağlayan ana pervane
Pitch	:Hava aracının yere dik olan eksenle yaptığı açı
Pixhawk	:Mikroişlemcili kontrol kartı mekanizması
Prefect	:Belleğe alma
Roll	:Hava aracının yere paralel şekilde kendi ekseninde dönerken yaptığı açı
Rotor	:Motorun dönen kısmı
Rudder	:Yaw yönü için kullanılan dümen
Servo	:Kumanda ile kontrol edilen, belirli bir güç uygulayan ve hava aracında yöne verme gibi ihtiyaç duyulan şeyleri yapmaya yarayan motor.
Stabilize	:Dengeleme
Swashplate	:Helikoptere yöne vermek amacıyla kullanılan hareketli levha – Yalpa Tablası
Throttle	:Gaz
Trim	:Helikopterin küçük ölçümlene hatalarını tolere etmek için kumanda veya kontrol kartı üzerinde yapılan ince ayar
Yaw	:Hava aracının yere paralel iken sağ ve sola yaptığı açı

1.GİRİŞ ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Potansiyel faydaları geç görülen İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemleri, 1990'lı yılların başından itibaren büyük hızla yayılmış ve bu sistemlerin sayısı ile çeşitleri artmış, aynı zamanda yetenekleri de oldukça gelişmiş ve askeri güvenlik alanına çok yeni bir anlayış getirmiştir [URL-1]. Geride kalan on yıl içinde İHA'larla ilgili yapılan araştırmalar, teknolojinin ve ihtiyacın artmasıyla hız kazanmıştır. Kararsız uçuş dinamiğine sahip olan helikopterler ise bu araştırmalarda önemli bir yere sahiptir.

İHA'ların fayda sağlamasının yanında karmaşık araçlar olduğu da bir gerçektir. Yazılım ve elektroniğin yanında makine, uçak ve kontrol mühendisliği benzeri birçok farklı disiplinin birlikte çalışması neticesinde çalışan İHA'ları yaygın kullanılması ancak karmaşıklığı azaltarak mümkün olabilmektedir. Aksi takdirde ciddi yaralanma riskleri ve maliyet kaybının yanında projenin başarısızlığı kaçınılmazdır. Hem sivil hem askeri alanda otonom havacılık sistemleri kullanılmasına rağmen ekseriyetle askeri havacılıkta çok fazla değişken olmasından dolayı pilotun yerini tam anlamıyla dolduracak bir otonom sistem hâlihazırda geliştirilememiştir (Bayraktar, 2012).

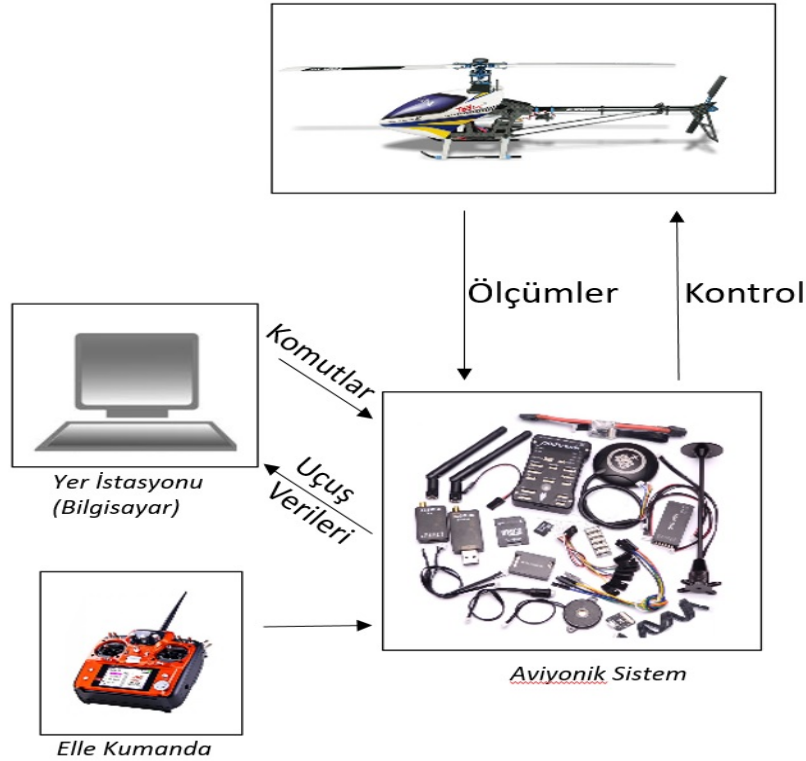
Yakın geçmişin ve günümüzün operasyonel ihtiyaçlarına göre oldukça kısa sürelerde tasarlanan İHA'ların beka kabiliyetleri kısıtlıdır. Geleceğin muhtemel konvansiyonel savaşları için şimdilik yetersiz olan mevcut İHA'lar, belirli bir savunma gücüne sahip olan ülkeler tarafından kolayca etkisiz hale getirilebilmektedir. Örneğin en gelişmiş sistemlerden olan ABD Kara Kuvvetlerinin RQ-170 Sentinel İHA 2011 yılında GPS aldatmasıyla İran tarafından ele geçirilmiştir. ABD'nin hâlihazırda tek stratejik İHA sistemi olan RQ-4 ise Çin hava sahasında keşif uçuşu yaparken düşürülmüştür (STM, 2016). Tüm bu hava araçları modelleri sabit kanat uçuş prensibine dayalıydı.

Hâlihazırda yüksek maliyetli boyutları büyük hava araçları olduğu gibi, 20-30 liralık adeta gramlarla ifade edilebilen hava araçları da mevcuttur (Richardson, 2007). Mini İHA olarak adlandırılan bu model helikopter ve model uçakların yanında çoklu rotor

(multikopter) şeklinde adlandırılan çok palli (Quad, Hexa ve Octo) helikopter benzeri hava araçları da bulunmaktadır.

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

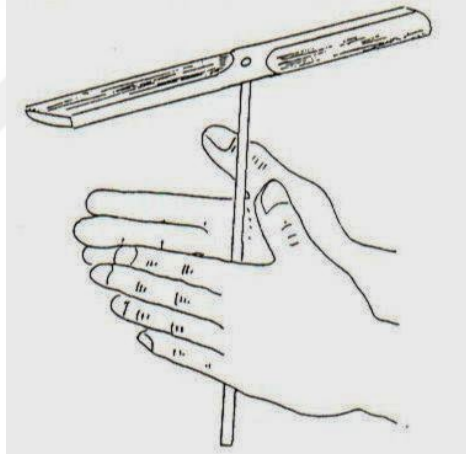
Geride bıraktığımız on beş yıl zarfında insansız hava araçlarıyla ilgili çalışmalar önemli ivme kazanmıştır. Bunda teknolojinin ve ihtiyacın artmasının da payı büyüktür. Bu çalışmalar içerisinde kararsız uçuş yapısında olan helikopter önemli bir yere sahiptir. Bu tez kapsamında öncelikle helikopterin dinamik yapısı ele alınmış ve modellenmesi detaylı olarak açıklanmıştır. Ardından da otonom uçuş için gerekli mikro denetleyici ve bu denetleyiciyle bütünleşmiş yardımcı modüller incelenmiştir. Tüm bu bileşenlerin uygun yazılımlar vasıtasıyla programlanarak ve uçuş senaryoları oluşturularak uyumlu bir şekilde çalışması anlatılmıştır. Sonuç olarak geleneksel bir helikopterin belli bir rota üzerinde otonom hareket edebilmesi için gerekli tüm materyaller tez çalışmasında ortaya konmuştur. Çalışmada kullanılan sistemler *Şekil 1.1*'de görülmektedir.



Şekil 1.1: Çalışmada kullanılan sistemler

1.2 Helikopter Tarihi

Dikey kalkış ve iniş yapabilen uçaklar helikopter olarak isimlendirilir. Adını Heliks ve Ptreon kelimelerinden alan helikopter Yunancada “döner kanat” anlamına gelir. Helikopter tarihi diğer hareketli platformlara kıyasla göreceli olarak daha yenidir. Sabit kanatlı sistemlerle karşılaştırıldığında, daha çok güce ihtiyaç duyar, daha yüksek gerilime maruz kalır, daha maliyetlidir. Yapısı daha karmaşıktır, hareketli parçası daha fazladır ve kontrol edilmesi çok daha zordur (Watkinson, 2004). Fakat iniş/kalkış için her tür zeminin uygun olması, istendiğinde yavaş hareket kabiliyeti, askıda kalabilme, atiklik ve tüm eksenlerde ilerleyebilme gibi önemli avantajları vardır.



Şekil 1.2: Bamboocopter

Helikopterin uçuş prensibiyle ilgili ilk çalışmalara M.Ö. 400'lü yıllarda rastlanmaktadır. Çinli çocuklar bir çubuğun ucuna bamboo bitkisinden parçalar takarak yaptıkları oyuncığa Bamboocopter adını vermişlerdir (Şekil 1.2). Yüzyıllar sonra 1483 yılında Leonardo DaVinci uçan vida şeklinde tanımladığı bir araç tasarlamış ve günümüzde helikopterin uçuş prensibi aynı mantığa dayanmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3: Uçan Vida

20.yüzyıla kadar geçen süreçte döner kanatlı uçuş teknolojisine yönelik çalışmalar yapan Lomonosov, Launoy, Bienvenu, Cayley, Philips, d'Amecourt, Edison gibi pek çok bilim adamının her bir buluşu, helikopterin günümüzdeki şeklini almasına katkıda bulunmuşlardır. Dönemin güç kaynağı olan buhar makineleri uçmak için yeterince ağır olması nedeniyle helikopter teknolojisinin gelişimi Endüstri devrimiyle birlikte olağan üstü hız kazanmıştır (Castillo ve diğ., 2005).

İlk defa yerden havalanmayı başaran insanlı helikopter 1907 yılında Paul Cornu tarafından üretilmiştir. İki rotorlu ve benzinle çalışan bu helikopter ancak iki karış kadar yerden yükselmiş ve yaklaşık 20 saniye çalışmıştır.'nin 1939 yılında ürettiği ve ilk klasik helikopter olan VS-300 modeli, helikopter teknolojisine büyük katkı sağlamıştır. Bu helikopter askıda kalabiliyor, geri ve yan da hareket edebiliyordu. Ukraynalı Sikorsky 1950'lerde S-55 Chicksaw adı verilen ilk ticari helikopteri üretmiştir (Valavanis ve Kontitsis, 2007) (Şekil 1.4).



Şekil 1.4: Ivan Sikorsky

1.3 İnsansız Helikopter Tarihi

İHA'lar yalnızca sabit kanatlı araçları değil, Döner Kanatlı İnsansız Hava Araçlarını (RUAV) da kapsamaktadır. Sabit kanatlı İHA'ların döner kanatlılara göre daha çok tercih edilmesinin başlıca sebepleri kolay bakım yapılması, basit yapıda ve verimli olmalarıdır. Kararlı uçuş yapısında olmaları ise hem menzillerinin daha uzun olmasına hem de daha hızlı yol almalarını sağlamaktadır. Basit ve simetrik yapısı ile dinamik yapının (coupling) bulunmaması, kontrolcü tasarımının çok daha kolay yapılmasına imkân tanımaktadır (Shim, 2000). Fakat kalkış yapacak ortamın uygun olmadığı, dikey kalkış gerektiği, askıda kalma ve kendi etrafında dönüş, düşük hızlarda ilerleme ve yan gitme gibi helikoptere özel davranışların gerektiği durumlarda sabit kanatlı İHA'lar yetersiz kalmaktadır (Franko, 2010).

Üretilen ilk insansız helikopter (RUAV) 1958 yılında tanıtılmış ve Şekil 1.5'de görülen ve eş eksenli iki rotoru bulunan Gyrodyne QH50 modelidir. İlk modeli 1 adet Mark 43 torpidosu taşıyabilirken, geliştirilmiş versiyonları ise denizaltılara atılmak üzere 2 adet Mark 44 torpidosunu yaklaşık 130 km menzil ile taşıyabiliyordu (Taylor, 1969).



Şekil 1.5: QH-50

RUAV'lar için askeri ihtiyaçlara yönelik geliştirmelerin yanı sıra üniversitelerde de son 20 yıl içinde çeşitli projeler yapılmıştır. Bu projeler ile geliştirilen hava araçları AUVSI (Association for Unmanned Vehicle System) tarafından düzenlenen IARC (International Aerial Robotic Competition) yarışmasında görücüye çıkmıştır. 1991 yılından itibaren başlayan ve her sene içeriğine yeni zorluklar eklenen görevler gerçekleştirilmiştir.

1991-1998 yılları arasında insansız helikopter projesi üzerine çalışmış olan Carnegie Mellon Üniversitesi Robotik Enstitüsü araştırmacıları 1997 yılında AUVSI hava aracı yarışmasını kazanmışlardır. Güney Kaliforniya Üniversitesi Robotik Sistemler Laboratuvarı da AVATAR projesi ile insansız helikopter geliştirmiş ve AUVSI yarışmasını 1994'de kazanmıştır. Berkeler Üniversitesi BEAR projesi, Georgia Teknoloji Enstitüsü, Berlin Teknik Üniversitesi MERVIN ve Linköping Üniversitesi WITAS projesi ile takip eden yıllarda insansız helikopter teknolojisine katkı sunmuşlardır (Ollero ve Merino, 2004).

1.4 İnsansız Hava Araçlarının Tarihi

İnsansız Hava Aracı (Unmanned Air Vehicles, UAV); içinde insan olmayan, sadece amaca uygun donanım (video kamera, fotoğraf makinesi, tarama cihazı, GNSS vb.) taşıyan, uzaktan kumandalı ve/veya otonom olarak görevini icra edebilen bir çeşit uçaktır. İHA'ların askeri, sivil (hobi ve ticari) ve bilimsel amaçlı profesyonel

kullanımları ülkemizde ve tüm dünyada hızla artmakta, bu nedenle önümüzdeki yıllarda bu konunun daha fazla gündem oluşturacağı değerlendirilmektedir. Gün geçtikçe artan bu yoğun kullanımın temel nedenleri olarak; özellikle sivil amaçlı İHA'ların çok geniş kullanım alanlarının olması, birçok mesleki (örneğin harita yapım amaçlı) kullanımlarda yüksek doğruluk, zaman ve maliyet tasarrufu sağlaması sayılabilir (Kahveci ve Can, 2017). Bununla birlikte casusluk, terörle mücadele, sınır hatlarının güvenliği ve kaçakçılık gibi birçok askeri konuda insansız hava araçlarının önemi her geçen gün artmaktadır.

İnsanlı hava araçlarına göre en önemli avantajı, can kaybı ihtimalini ortadan kaldırması ve maliyeti asgari düzeye indirgemesidir. Bununla birlikte taşınabilir oluşu ve daha uzun süreli kullanılmaları da pek çok sivil görevde bulunmalarını sağlıyor (Sarris, 2001). Bu sivil görevlerden bazıları;

- Trafik yoğunluğu, yangın, boru hattı ile güç hattı takibi ve vahşi hayatın incelenmesi,
- Ayrıntılı haritalama, video film sinema çekimi,
- Çevresel şartlarla, hava durumuyla, deniz bilimi ile alakalı bilgi toplama, ışınbilimsel (radiologic), mıknatıssal (magnetic) ve yerçekimsel (gravimetric) haritalama yapmak,
- Radyasyon veya zehirli hava gibi insanların bulunmasının sakıncalı olabileceği kaza bölgelerine ulaşım veri toplamak.

Boyutlarına, uçuş sistemine ve manevra kabiliyetine bağlı olarak gerçekleştirebileceği askeri uygulamalardan bazıları da;

- Hedef tespiti, havada savaş, taciz, silah nakli,
- Keşif, elektronik harp, casusluk,
- Araziden kaçma, sıcak takip, denizaltı tespiti, hücum ve gerektiğinde kamikaze atlayış ve suikast.

İlk İHA,1916 yılında M.Low tarafından geliştirildi. Ardından ise Hewitt-Sperry adlı sınırlı sayıda üretilen otomatik uçak 1.Dünya Savaşı sırasında kullanılmıştır. Model uçak tasarımcısı olan Reginald Denny ise 1935 yılında ilk ölçekli uzaktan kumanda edilebilen araç modelini geliştirmiştir. 2. Dünya Savaşı sırasında ise trenleri korumak ve saldırı görevlerinde kullanılmak amacıyla çok miktarda uçak üretilmiştir. Jet motoru ile çalışan ilk model 1951 yılında Teledyne Ryan tarafından geliştirilen Firebee I modelidir. Beechcraft firması ise 1955 yılında ABD Deniz Kuvvetleri için Model 1001 modelini üretmiştir (Taylor, 1977). Fakat bu modeller Vietnam Savaşı süresince birer kumandalı araç olmaktan öteye gidememişlerdir.

Askeri alandaki ihtiyaçların gelişmesini sağladığı İHA teknolojisi, zaman içinde hem ticari hem de hobi amaçlı gelişimine devam etti. Milenyumla birlikte tüm dünyada yaygınlaşmaya başlayan kişiselleşmiş İHA'lar hem hobi hem de iş amaçlı kullanılabilir. Son yıllarda ise ticari amaçlı İHA'ların büyük kısmı açık kaynak kodlu yazılımlar sayesinde herkesin kendi amaçları doğrultusunda fonksiyon eklemesine olanak vermektedir.

İHA kullanımı hakkında yol gösteren çok sayıda makale mevcuttur. Bu makaleleri çalışma konusuna göre üç başlık altında toplamak mümkündür. I) El ile ve otomatik uçuş üzerine yapılan çalışmalar, II) Otonom İHA çalışmalarına genel bakış ve III) Kullanım alanlarına göre otonom İHA sistemleridir.

1.4.1 El İle (manuel) uçuş Üzerine Yapılan Çalışmalar

Helikopteri el yordamı ve kumanda ile uçurmak kolay bir iş değildir. Zira İHA pilottan uzaklaştıkça pilotun helikopterin yüksekliğini çıplak göz ile kestirmesi zorlaşmaktadır. Diğer yandan helikopterin oldukça hızlı bir şekilde yer değiştirmesi de helikopterin kontrolden çıkmasına neden olmaktadır. Bu ve benzeri zorluklar, helikopterin o anki irtifası ve konum bilgileri gibi pilota ek bilgi sağlayan bilgiler bir veritabanı eşliğinde pilota takılan özel bir gözlük ekranına yansıtılarak asgariye çekebilmektedir. Gözlük yer

istasyonuna, yani bilgisayarla iletişim halindedir. Bilgisayar İHA üzerinde bulunan kameradan aldığı canlı görüntüyü işleyerek, araç üzerinde bulunan barometre ile irtifayı ölçerek ve GPS (Global Positioning System) verisi ile konumunu hesaplayıp tüm bu bilgileri bir veritabanında toplar ve pilotun gözlüğüne gönderilir. Böylece pilot, uçuş ile ilgili ihtiyacı olan anlık verilerin tümüne sahip olur.

Helikopterin ana rotorundan kaynaklı bir seri titreşim yaratan bir model helikopter simülasyonu yapan Plesenci ve ark.(2005), tasarladıkları bir kontrol yöntemi ile bu titreşimleri azaltmışlardır. Bu simülasyon VehicleSim yazılımı ile paket program haline getirilmiş ve modellenmiştir. Simmechanics programı ile helikopter üzerindeki titreşimlerin kameraya olan etkisi analiz edilmiştir. Akabinde Adaptive Neuro Fuzzy Interface System (ANFIS) tabanlı kontrol modeli ile titreşimin canlı kamera üzerindeki etkisinin azaltılması önerilmiştir. Motorun ilk çalışması sırasındaki kamera titreşimi, ANFIS kontrol sistemi ile oldukça azaldığı görülmüştür.

Küçük ölçekli bir insansız helikopter tasarımı, hava akış dinamiği (Aerodynamic) ile motor mekaniği alanlarında düşük bilgiye sahip araştırmacılar için oldukça zor bir iştir. Uygun donanımın seçimi ve bu donanımla uyumlu çalışacak yazılımın tasarımı ile titreşim önleme geliştirmeleri ve benzeri birçok dikkat edilmesi gereken önemli husus vardır. Bu tez çalışmasına küçük ölçekli bir model helikopterin otonom uçuşu için gerekli olan tüm bileşenlerin yapılandırılması için kapsamlı bir tasarım yöntemi önerildi. Çalışma, helikopter için uygun sistemin tasarımı, parçaların seçimi ve bütünleşmesi aşamalarının yanı sıra yapılan uçuş testleri ile donanımların deneysel olarak irdelenme sürecini de kapsamaktadır.

1.4.2 Otonom İHA Çalışmalarına Genel Bakış

Linköping Üniversitesi araştırmacılarından Conte ve Doherty (2008) yaptıkları proje ile hava aracına entegre ettikleri barometre ve dahili(atalet) seyir sistemi (Inertial Navigation System, INS) ile GPS modülüne bağımlı olmaksızın rotasında uçabilen bir sistem geliştirmişlerdir. Sinyal kesicilere (Jammer) karşı iyi bir çözüm olan bu yöntem

yüksek hız gerektiren güçlü işlemciye ihtiyaç duyduğundan ve neticelerinin yüzde yüz doğru olmaması sebebiyle geliştirilmeye ve daha doğru sonuçlara gereksinim duymaktadır. Araç üzerindeki kamera ile GPS bağlantısı alınmadığı zaman görüntü işleme (Image Process) işlemi ve INS yaparak GPS sinyali tekrar gelene kadar hedefine asgari hata ile ulaşmaya devam etmektedir.

Savaş uçaklarında sıklıkla kullanılan GPS ve INS sistemlerinin bileşik çalıştığı bir tasarımı model hava aracında kullanmayı araştıran Kortunov ve ark. (2009) otonom uçuş teknolojisinin gelişmesi için önemli bir adımdı. Mini model uçakta denenen bu sistemin amacı, GPS'in INS'yi destekleyerek seyr-ü sefer sırasında GPS'in ürettiği hataların MEMS (Mikro Elektro Manyetik Sistem) tarafından üretilen hatalarla kıyas edilmesi ve mümkün olan en hatasız uçuş bilgisi seçilerek, otonom uçuşu en istikrarlı hale getirebilmektir(Ayvaz, 2014).

Ülkemizde ise TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından ilki 2016 yılında düzenlenen International UAV-TURKEY yarışmasına yerli ve yabancı 40 üniversiteden toplam 87 takım kendi tasarladıkları insansız hava araçlarıyla katılmışlar ve istenilen görevleri yerine getirmeleri beklenmişti. Takip eden yıllarda bu yarışmaya zorluk derecesi artırılarak yeni görevler eklenmiştir. 2018 yılında yapılan yarışmada hava araçlarından insan müdahalesi olmaksızın belirlenen rotada 3 tam tur atıp, üzerindeki farklı renklerdeki yükleri, yerde aynı renkli alanlara bırakma gibi görevler gerçekleştirildi. Tüm bu görevler aracın yerden kalkışından inişine kadar tamamen otonom gerçekleştirilmesi beklenmiştir. KTO Karatay Üniversitesi öğrencilerinin geliştirdiği insansız helikopter "GÖKTAY"(2016) TÜBİTAK yarışlarında tüm bu görevleri yerine getirmiş fakat GPS sinyalinin iniş esnasında kaybolması nedeniyle kırıma uğramıştı. Ülkemizde bu ve benzeri organizasyonlar hâli hazırda gelişimini hızla devam ettiren otonom İHA teknolojisine önemli katkılar sunmaktadır [URL-2].

1.4.3 Kullanım Alanlarına Göre Otonom İHA Sistemleri

Orman, tarım ve bitki koruma alanlarında insansız hava araçlarının kullanımı birçok avantaj getirmektedir. Bunlardan bazıları, düşük yüksekliklerde daha az riskle çalışması, hemen her türlü alana iniş yapabilmesi, motor veya kanat hava akımı ile fazladan dağıtma püskürtme sistemine, ihtiyaç duymaması, taşınabilir ve düşük maliyetli olması, bakımının kolay ve işgücü maliyetinin olmaması gibi (Goth, 2009). Ayrıca arkeolojik eserler ve sakıncalı bölgeleri incelemek için de sıklıkla kullanılırlar (Thamm ve Scheele, 2011)

Merz ve Chapman ile Yi Lin ve ark (2011), tarım ürünlerinin denetimi ve zirai ilaçlama faaliyetleri için tasarlanan İHA'da yapar sinir ağları sistemini uygulamışlardır. Böylece beklenmeyen engelleri sonar cihazı kullanıp aşarak rotasında sorunsuz uçuş iniş yapabilmektedir. Bu sistem kablosuz alıcı- verici kullanarak yer istasyonu ile iletişim kurmaktadır. İletişim kesildiğinde araç üzerindeki algılayıcılardan alınan bilgiler doğrultusunda iki farklı iniş yöntemi devreye girmektedir. Kusursuz sonuç vermese de asgari kırım ile iniş amaçlanmaktadır. Uçuş öncesi veya esnasında tanımlanan uçuş rotası, uçuş kartına yüklenerek görülemeyen bölgelerde (Beyond Visual Range, BVR) güvenli uçuşu yerine getirmektedir. Bununla birlikte ön görülmeyen engellerden otonom kaçınmayı da yapabilmektedir.

İHA'lar terör ve yüksek güvenlik bölgelerindeki gereksinimleri karşılamak, ihtiyaç duyulan bölgelerde terör saldırılarını önlemek, toplumsal olayları izlemek ve arazi, göl ve ormanlarda denetim yapmak, izleme ve gerekirse müdahale etmek için de kullanılabilirler (Byers ve ark, 2010). Bununla birlikte arama ve kurtarma, keşif, gözleme ve hava fotoğrafçılığı, meteoroloji, yangın tespiti, film, klip ve belgesel çekimleri gibi alanlarda sıklıkla kullanılırlar (Ayvaz, 2014).

İHA'lar ile trafik kontrolü ülkemizde 2018 yılından itibaren uygulanmaya başlanmış, böylelikle trafikte kural ihlallerinin ve kaza oranlarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

2.YÖNTEM ve HELİKOPTER-İHA SİSTEMİNİN YAPISI

Helikopterin insansız kontrolü, son yıllara kadar başarılı sonuçlar alınmaması nedeniyle yeni sayılabilecek bir araştırma alanı olmuştur. Bu konuda yayınlanan makaleler incelendiğinde helikopterin kontrolü için birçok kontrol yöntemi denendiği anlaşılmaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde uygulanan yöntemlerin geri besleme ile doğrusallaştırma (feedback with linearization) kontrolü yani doğrusal olmayan kontrolcülere gerek duymadan helikopterin kontrolünü sağladığı görüldü (Bisgaard, 2007).

Bu bölümde, tez çalışmasında kullanılan bütün donanımlar, yazılımlar ve arayüzler ayrıntılı olarak incelenmiş ve detaylandırılmıştır.

2.1 Temel Model Helikopter

Klasik bir helikopter ana rotor ve kuyruk rotoru olmak üzere Şekil 2.1’de görüldüğü üzere iki rotordan oluşmaktadır. Ana rotor, dikey kalkış, yatay ve uzunlamasına hareket için, kuyruk rotoru ise ana roturun yarattığı ters tork etkisini yok ederek dengelemek ve istenildiği takdirde saptırarak yatay ekseninde yön değiştirme hareketi sağlar. Ana rotora bağlı paller aynı uçakların kanatları gibi çalışır ve kaldırma kuvveti uygular.



Şekil 2.1: Genel helikopter görünümü

Helikopterlerin diğer hava araçlarına göre en önemli farkı daha karmaşık bir çalışma prensibine sahip olmalarıdır. Bu da kararsız (doğrusal olması) bir uçuş dinamiğinde ve

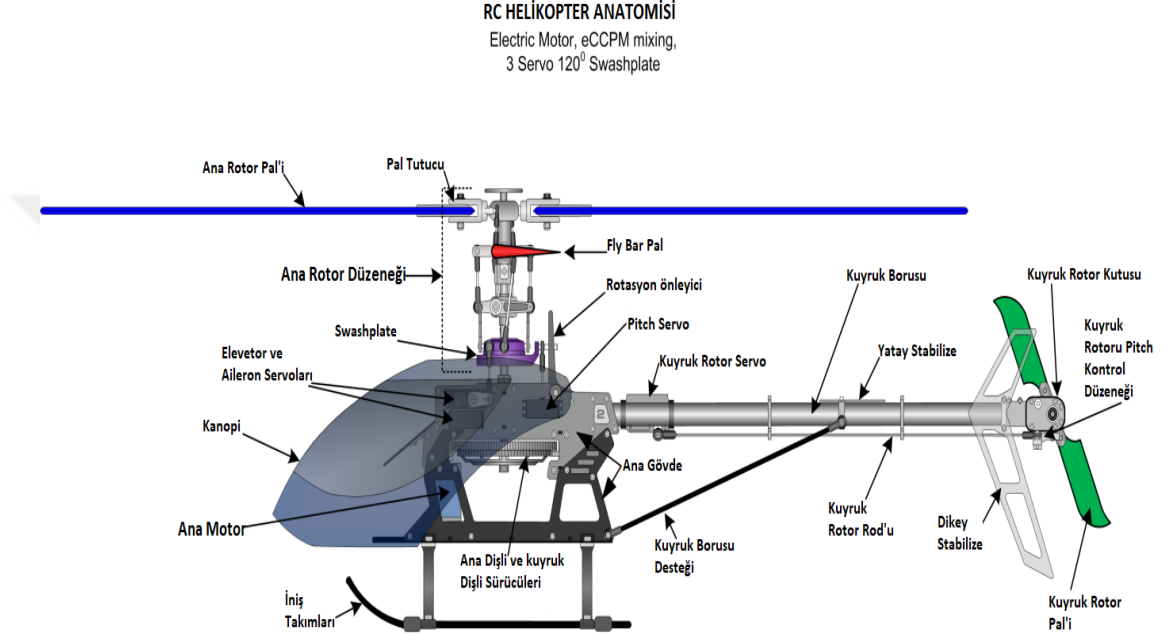
dengecinin kolay bozulabilmesi anlamına gelmektedir. Helikopterlerin bu karışık sistemi ve kararsız uçuşu beraberinde, ilk kurulumundan uçuşuna kadar pek çok aşamada çeşitli zorlukların karşısına çıkmasına sebep olmuştur (Shim ve ark, 2003, Wills ve ark, 2001, Abbeel, 2007, Kanade, 1999).

Farklı boyutlarda üretilebilen klasik bir model helikoptere temin edilen motor dişlileri, servo ve diğer dinamik parçaların birbiri ile uyumlu çalışması, azami önem gösterilen yakıt tasarrufu ve fiyat ile performansının oranı gibi birçok parametrenin araştırılması uzun zaman alabilir. Farklı kalite, benzerlik ve fiyatta alternatifleri bulunan bu parçaların birçoğu son yıllarda ülkemizde de üretilse de, bu parçaların büyük kısmı yurtdışından geldiği için basit bir yanlış hesaplama zaman ve para kaybı anlamına gelecektir.

Çok kolay ve bir anda kırılma uğrayabilen helikopter için doğru malzeme seçimi çok önemlidir. Kırılma ihtimali için sürekli yedek parça bulundurmaya denemelerin sekteye uğramasını asgariye çeker. Uygun yedek parçaların tespiti, kalitelerinin yeterliliği, uyumlu çalışması ve yeterli miktarda olması gibi konular için araştırmacının teknik detaylara yeterince hâkim olmasını gerektirir. Aksi halde, parçaların yurtdışından geldiğini düşünürsek gereksiz parçalarla karşılaşma ihtimali ortaya çıkar. Bütçe ve zaman açısından azami tasarruf sağlayacak ayrıntılar; Rotor alınıyorsa dişlilerinin sayısı, servonun birim kuvvet ile kullandığı volt-akım, şaftların konumu ve boyutu, pallerin kalitesi ve boyutu gibidir. Örnek olarak motordan aldığı gücü ana dişlilere ileten “pinion” adındaki küçük dişlilerin sayısı bile uçuşun kaderine etki edebilmektedir (Ayvaz, 2014). Basit bir hesap hatasıyla olması gerekenin dışında bir pinion sayısı ile bu çalışmada uçuş testine çıkılmış ve helikopter ufak bir kırılma uğramıştır.

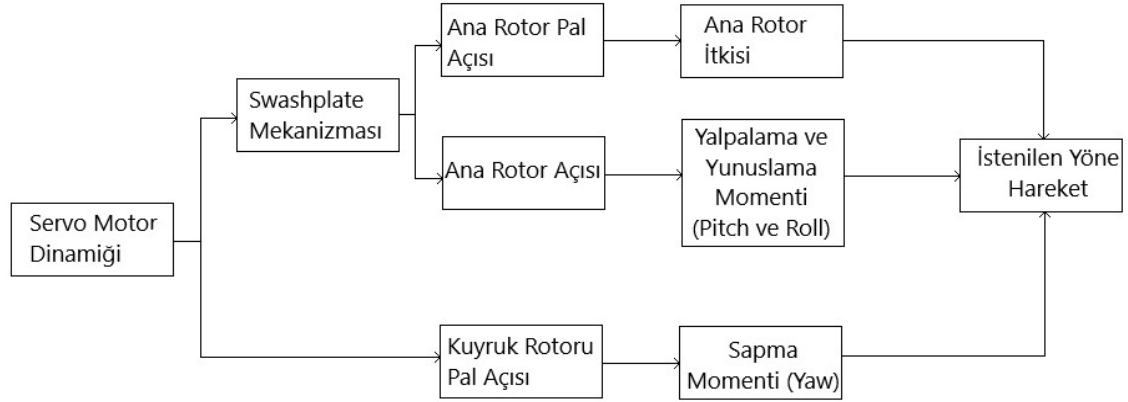
Yüzlerce parçadan oluşan helikopterde en ufak vida kalitesi bile seçilirken büyük dikkat gerekmekte ve onunla bir arada çalışacak diğer parçaların da uyumlu seçilmesi gerekmektedir. Şu da bir gerçek ki helikopterde kullanılacak parçaların birçoğunun kalitesi de kullanılmadan öngörülememektedir (Cai ve ark, 2007). Bu bağlamda ucuz olan kalitesiz parçalar kırılmaya ya da ciddi yaralanmalara yol açabilmektedir. Bu

sebeple fiyat ve performans oranına dikkat ederek daha önce benzer parçaları kullananlardan bilgi almak ve ayrıntılı araştırma yapmak gerekmektedir. Uzaktan kumandalı klasik helikopterin ana bileşenleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Kumandalı Helikopterin Anatomisi

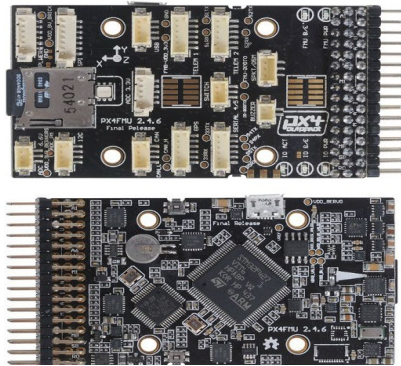
Helikopter dinamiğinin temel yapısı Şekil 2.3’de görüldüğü üzere öncelikle servo motorlar helikopterin dört girişine (kolektif, uzunlamasına-pitch, yanlamasına-roll, pedal-throttle) komut gönderir. Kolektif girişi, yalpa tablası (swashplate) mekanizması sayesinde ana rotor pallerinin açısını değiştirerek itkinin değişimini sağlar. Uzunlamasına levye ve yanlamasına levye girişleri, yalpa tablası üzerinden ana pallerin açısını anlık olarak değiştirerek ileri ve yana hareketi sağlar. Pedal girişiyle kuyruk rotorunun pal açısı ayarlanarak ana rotorun oluşturduğu dönme etkisi ters tork ile dengelenir. Aynı zamanda sapma açısı da kontrol edilir.



Şekil 2.3: Helikopter Dinamiği

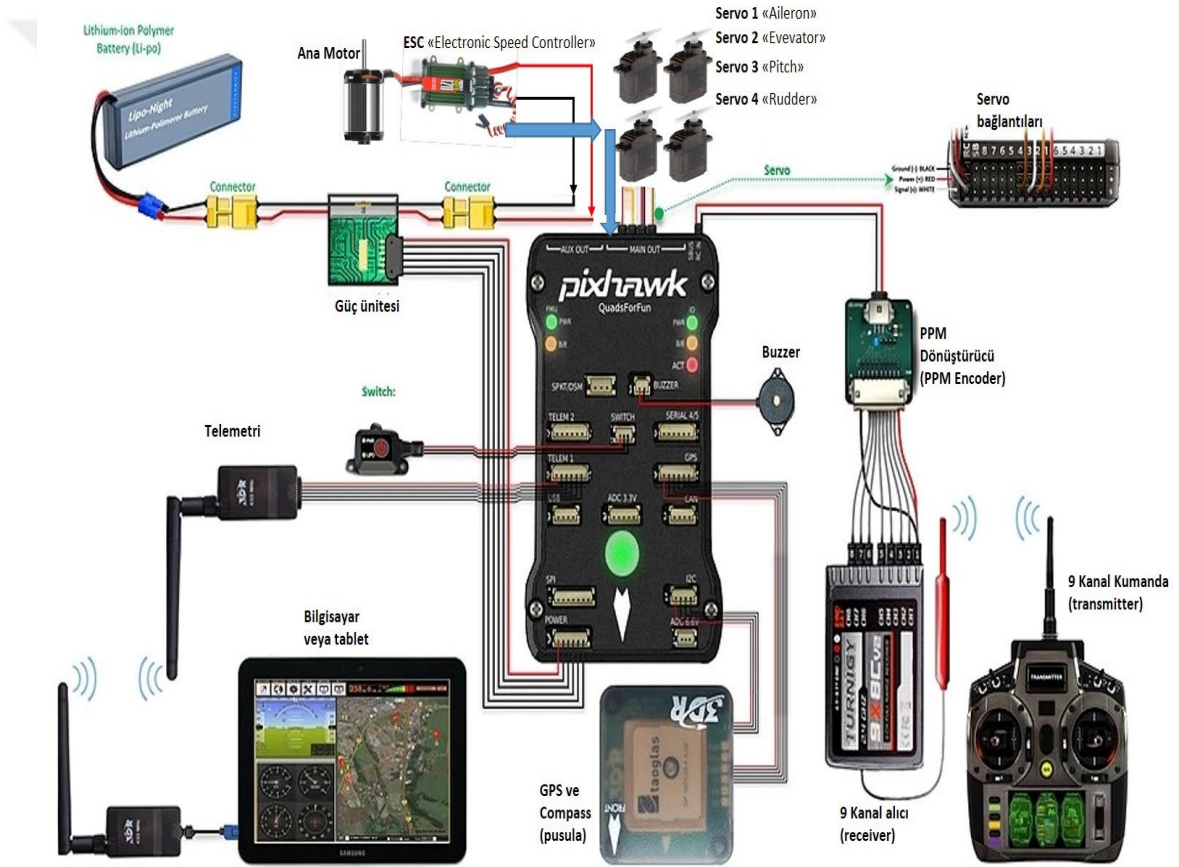
2.2 Pixhawk Kart

Pixhawk kart her türlü model araç tipini (multikopter, helikopter, uçak) destekleyen ve otomatik seyir yapması için tasarlanmış bir kontrol kartıdır. Çalışmada kullanılan kontrol kartı maliyet ve performans dengesi gözetilerek Pixhawk Px4 modeli olarak seçilmiştir. Pixhawk açık kaynak kodlu Stm32 tabanlı ve yazılım tabanlı olarak da Ardupilot'a dayanan bir otomatik seyir kartıdır. Model hava araçlarının çoğunu el ile (manuel) ya da otomatik uçurabilen kart için her araca özgü bir yazılım (bellek-firmware) yüklenmesi gerekmektedir. Bunun yanında her araca özel ölçümleme ve parametre değişken değerlerinin girilerek testlerinin yapılması önemlidir. Çalışma konumuz helikopter olduğundan Pixhawk kontrol kartımızın ayarlarının detayları, Görev Planlayıcı (Mission Planner) başlığı altında anlatıldığı üzere helikoptere yönelik anlatılmıştır.



Şekil 2.4: Pixhawk uçuş kontrol kartının giriş ve çıkışları

Ana işlemcisi 32 bit Arm Cortex, M4 tabanlı ST Microelectronic'in bir ürünü (STM32F427) olan kartın motor ve servolar için 14 adet PWM çıkışı ile 14 adet harici sensör ve/veya algılayıcı çıkışı bulunuyor (Şekil 2.4). Harici algılayıcılar otonom uçuş için olmazsa olmaz parçalardır. Bu yüzden kart üzerindeki çıkışlar ve çıkış bacaklarının fonksiyonlarının iyi bilinmesi azami önem taşımaktadır. Şekil 2.5'de genel bağlantı şeması gösterilmektedir.

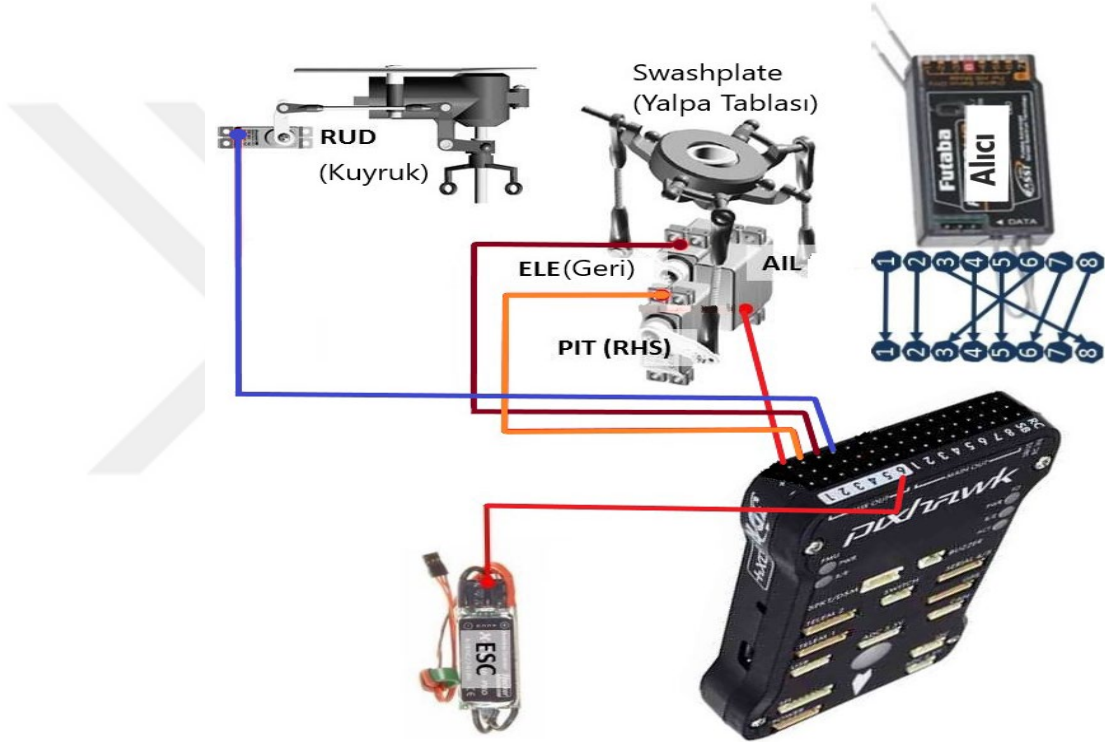


Şekil 2.5: Pixhawk harici algılayıcıların ve donanımların genel bağlantı şeması

2.2.1 Kartın Programlanması

Pixhawk kontrol ünitesinin kalibre edilmesi gereken dâhili donanımları; manyetik alan ölçer, hız-ivme ölçer ve pusuladır. Donanımsal anlamda kartın çalışabilmesi için ise

Lithium-Polymer pil (Li-Po), Servolar ve ESC'nin bağlanması gerekir. Gereken kalibrasyon ve ayarlamalar Görev Planlayıcı (Mission Planner) programı ile yapılacaktır. Helikopterin planlanan bir rotada uçuşunun kumanda vasıtasıyla gerçekleşmesi için giriş ve çıkış portları Şekil 2.6 'da gösterilmiştir. Çıkış portlarına bağlanan servolar helikopterin yön tayinini, ESC ana motora ne kadar güç verilmesi gerektiğini ve giriş portuna ise kumandanın alıcısı bağlanmaktadır.



Şekil 2.6: Pixhawk giriş ve çıkış port bağlantı şeması

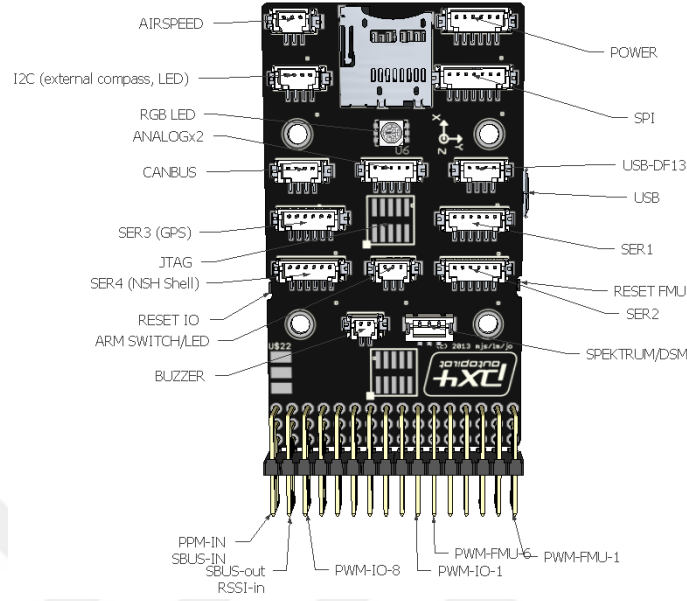
Uçuş kontrol kartına birçok harici donanım bağlanabilir. Fakat otonom uçuş için barometre, pusula(kompas) ve GPS zaruri bağlanması gereken algılayıcılardır. GPS dışında bu algılayıcılar çoğunlukla uçuş kartlarında dâhili olarak bulunmasına rağmen istenildiği takdirde harici olarak da bağlanabilmektedir.

GPS (Global Positioning System) düzenli olarak kodlanmış olan sistemlerin aralarında yaptıkları sinyal alışverişlerinde yörünge içerisinde yer alan uydular vasıtasıyla cihazın, dünya üzerinde kesin konumunu bulmasını sağlar. Otonom uçuş için mecburi olan bu

donanım, hava aracının belirlenen rota üzerinde uçuşunu GPS'den gelen koordinata göre yapar. Diğer bir zorunlu donanım olan barometre ise uçuş esnasında aracın yüksekliğini tespit eder. Dâhili olan bu aygıt verileri çok sağlıklı olmadığından özellikle model araçlar için hassas ölçümler gerektiğinden çoğunlukla harici bir barometre ile desteklenir. Pixhawk kart üzerinde dâhili olarak bulunan pusula (kompas), GPS'e destek vererek hava aracının yön bulmasını sağlamaktadır. Pusulanın harici olarak takılması sağlıklı sonuç için önem arz etmektedir. Pixhawk kart, tüm donanımlara yakın mesafede olması gerektiğinden hava aracının orta kısımlarında konumlanıyor. Fakat bu bölgede motor, servolar ve GPS gibi donanımların yarattığı elektromanyetik kirlilik Pusulanın doğru sonuç vermesini engelleyebilmektedir. Bu sebeple harici olarak bağlanan Pusulanın, hava aracının kuyruk kısımlarına doğru bir noktada konumlandırılırsa daha sağlıklı çalışması sağlanabilmektedir.

Uydunun yetersizliği, hava olayları veya bölgedeki manyetik kirlilik gibi birçok değişkene bağlı olan GPS koordinat verileri bazen tutarsız veya hassas olmayabiliyor. Bu sebeple Görev Planlayıcı (Mission Planner) programıyla GPS ve Pusula verilerinin belirli katsayılarla göre harmanlanarak, hava aracının hangi donanımı hangi oranda dikkate alacağı 1 ve 5 değerleri arasında ayarlanır ve bu orana göre de uçuş istikameti belirlenir.

Diğer yandan elektrik gücü bakımından yetersizlik olması halinde kartın giriş-çıkış portları farklı güç kaynakları ile takviye edilebilir. Böyle bir durumda kart üzerindeki Jumper pasif hale getirilmelidir. Nominal çalışma değeri 5 volt dolaylarında olan kartın harici aygıtlarla bağlantılarının karışmaması için *Şekil 2.7*'de gösterilen devre şeması incelenmelidir.



Şekil 2.7: Pixhawk Kart yapısı

2.2.2 Opsiyonel Harici Algılayıcılar

Hava aracı ile yapılacak uçuşun daha hassas ve asgari tehlike içerisinde geçmesi için Pixhawk karta opsiyonel olarak harici algılayıcıların takılması önemlidir. Bu algılayıcılar icra edilecek görev ve uçuş tipine göre çeşitlilik gösterebilir. Opsiyonel algılayıcılar; Batarya ölçer, Sonar, OSD, Telemetri ve Titreşim algılayıcı.

Sonar algılayıcısı: İnsansız hava araçlarında yerden yüksekliği daha hassas ve kesin ölçmek için kullanılır. Pixhawk GPS ve barometre üzerinden gelen veriler değişiklik gösterebileceği gibi yere yakın mesafelerde (6 metre ve altı) güvenilir ölçüm yapamamaktadır. Bu yüzden otomatik iniş ve kalkışlarda alçak irtifada sonar algılayıcısının kullanılması tavsiye edilir.

Telemetri: Telemetri sisteminin amacı, hava aracının verilerini yer istasyonuna aktarmak ve bu şekilde verilerin anlık olarak izlenmesini sağlamaktır. Böylece hava aracı üzerinde oluşabilecek herhangi bir arıza durumunda pilot sensör değerlerini anlık olarak görüp aracın kontrol biçimini değiştirerek kırıma uğrama ihtimalini azaltacaktır (Acarbay, 2015).

Titreşim Algılayıcı: Diğer hava araçlarına kıyasla helikopterde ilk hareket ve uçuş esnasında meydana gelen titreşim çok daha fazladır. Uçuş sabitinin bozulmaması için titreşimin hızlıca algılanıp gereken müdahalenin yapılması, otonom uçuş için önemlidir.

Batarya ölçer: Akım ve voltajı ölçerek bataryanın düşük seviyelere düştüğünü algıladığında otonom seyir esnasında kontrollü acil iniş veya başlangıç noktasına dönüş gibi komutlar sağlamaktadır. Bu donanım ile ilgili gerekli ayarlar Görev Planlayıcısı yazılımı ile yapılacaktır.

OSD: (On Screen Display, Ekranda) Bu donanım hava aracına takılan mini kameranın aldığı canlı görüntüyü başka hiçbir ek donanım gerektirmeden yer istasyonuna gönderir.

2.2.3 Pixhawk Değişkenleri

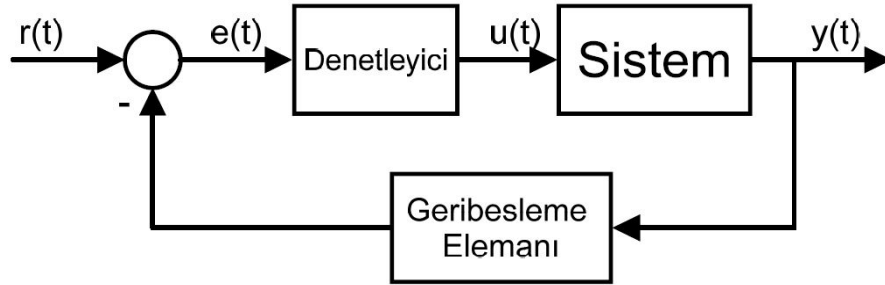
Hava aracının ve uçuşun yönetildiği ve araca bağlı bütün donanımların kalibre edildiği kısım parametre ayarlarıdır. Görev Planlayıcısı programı vasıtasıyla ilgili parametre değişkenleri ayarlanır ve bu ayarlar karta USB arabirimi üzerinden taşınır. Uçuş kartının otonom uçuş için bilinmesi zorunlu olan 50 değişken ayarı vardır. Fakat bu ayarlar her hava aracına göre farklılık göstereceğinden toplamda 330 olan değişken ayarlarının tümü hakkında az da olsa bilgi sahibi olmak önemlidir. Otomatik uçuşu mükemmel hale getirmek ve komutlara azami uyumu sağlamak bu değişken ayarlarının dikkatle yapılmasıyla mümkün olabilmektedir. Değişkenlerde yapılan her değişiklik ancak gerçek uçuş yapılarak test edilebilir. Sonuca göre parametre değerleri yeniden ayarlanmalı ve istenilen sorunsuz uçuş gerçekleşinceye kadar bu işlem devam etmelidir(Ayvaz, 2014).

Pixhawk kartın el ile(manuel) ya da otonom uçuşu için gerekli olan tüm değişken ayarlarının listesi EK-1’de sunulmuştur. Değişken ayarları aracın çeşidine ve bağlı olan elektronik aygıtlara, paller, servolar ve onların bağlantıları gibi birçok donanıma bağlıdır. Tabi bu donanımlardan bir ya da birkaçı değiştiğinde, değişken ayarlarının yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir. Sonraki aşamada ise PID (Proportional, Integral, Derivative - Oransal, İntegral, Türev) kalibre işlemi gelmektedir.

Uçuşun kararlı yapıda olması için (en önemli değişkenler Pitch, Yaw, Roll PID değerleri gibi) hangi değişkenlerin neleri kontrol ettiğini bilmek ve en doğru ayarı sabitlemek uzun süren çalışma ve testler gerektirmektedir. Uygulama başlığı altında ayrıntılı anlatıldığı üzere uçuş simülasyon sistemi (SITL) bu çalışmada verimli kullanılmamıştır. Bu yüzden testlerin ve kalibre işlemlerinin hem maddi hem de yaralama riskleri sebebiyle azami dikkat gerektirdiği için bu süreç uzun olmaktadır. Çok sayıda olan değişkenlerin daha iyi anlaşılması için 3 bölüme ayrılması uygun olacaktır; El ile veya otomatik uçuşa doğrudan etki eden değişkenler, uçuşa etki eden değişkenler, PID değerleri ile uçuşa etki eden değişkenler.

PID kontrol metodu sıklıkla endüstriyel alanda kullanılan bir geri bildirim döngü mekanizmasıdır. Yapısının basit olması, ayarlanacak değişkenlerin sayısının az olması ve fiziksel doğrulamanın kolay yapılması nedenleriyle yaygın olarak tercih edilmektedir.

Bir PID denetleyicisi çıkıştan geri besleme (feedback) ile gelen sinyali referans olarak aldığı giriş sinyali ile kıyaslar ve aradaki farktan bir hata miktarı çıkartır. Bu hataya göre denetleyici hata oranını asgariye indirecek bir etki yaparak çıkışa gönderir. Bu döngü hata en aza indirilene kadar devam eder. Sistemin tek geri besleme döngüsünden oluşması işlemi daha hızlı ve kolay olmasını sağlıyor. PID denetleyicisinin yapısı Şekil 2.8 ile gösterilmiştir. Helikopterde PID ayarlarının nasıl yapıldığı Ölçümleme ve Sınama bölümünde anlatılmıştır.



Şekil 2.8: PID döngü mekanizması

2.3 Görev Planlayıcı – Mission Planner

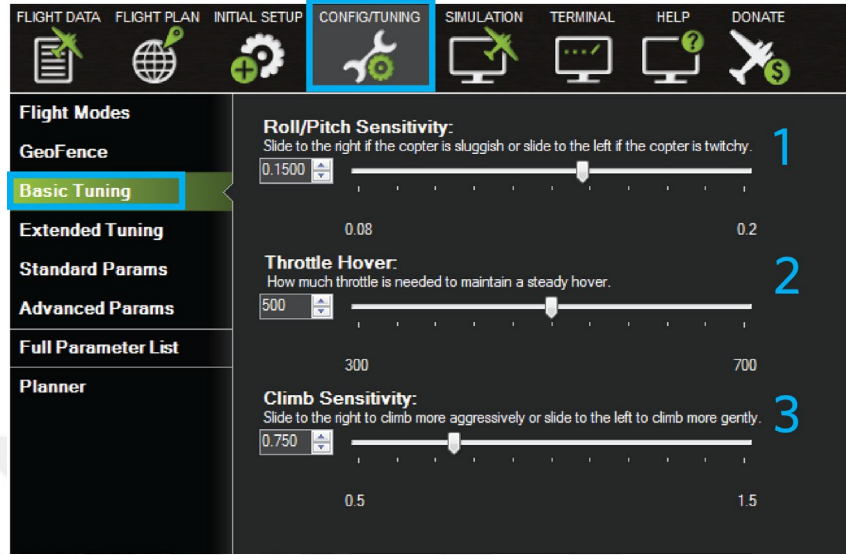
Pixhawk kartın her anlamıyla yönetildiği, tüm ayarlamalarının ve ölçümlerinin (kalibrasyon) yapıldığı ve görevlerin yüklendiği yer Görev Planlayıcı (Mission Planner) programı olduğu için çalışmada çokça yer alacaktır. Program ile yapılan ayarlar Pixhawk karta yüklenmekte ve hava aracının verdiği tepkilere göre ayarlar kalibre edilip karta tekrar yüklenmektedir. Bu kalibre işlemleri ‘Ölçümleme ve Sınama’ başlığı altında ayrıntılı açıklanmıştır.

Pixhawk kartın ve dolayısıyla helikopterin tüm elektronik ve donanımsal ayarları, test ve kalibre işlemleri birçok karmaşık işlem bu program altında yapıldığından, programın işlevlerini aşağıdaki gibi başlıklara ayırarak irdelemek daha anlaşılır olacaktır.

- Temel / İleri Düzey Ayarlar
- Anlık Veri
- CLI Arayüz
- Modlar
- Otopilot Düzenleme ve Hazırlık
- Loglama ve Algılayıcı Veri İzlemi
- Sorun Tespiti ve Analizi

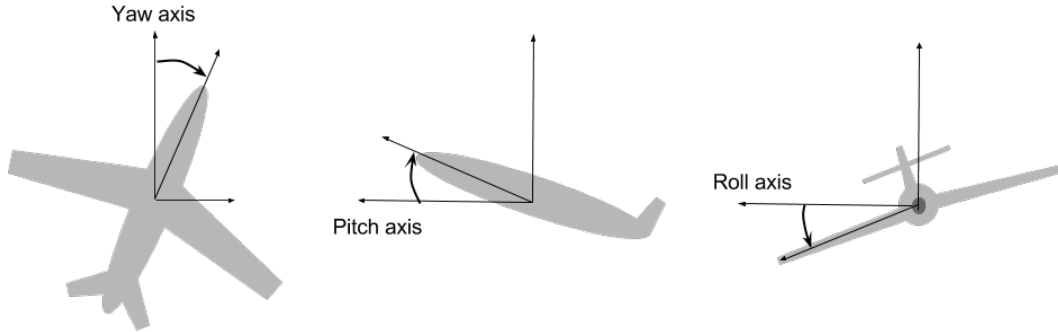
2.3.1 Temel/İleri Düzey Ayarlar

Görev Planlayıcı programında “Config Tuning” kısmının “Basic Tuning” sekmesi altında Roll/Pitch hassasiyeti, Gaz konumu hassasiyeti ve Tırmanma hassasiyeti gibi küçük kalibre işlemleri gerçekleştirilir. Bu bölümün ekran görüntüsü Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Görev Planlayıcı Basit ayarlar

Pitch hava aracının uzunlamasına (yunuslama), roll ise yanlamasına eğilim sağlar. Eğer bu ayar, araç havada iken yapılıyorsa denge durumu iyi gözlenmelidir. Aracın eğilimi burun (ileri) kısmına doğru ise Pitch/Roll ayar çubuğu sola getirilip son durumu izlenmelidir. Tersi durum söz konusu ise sağa getirilerek denge oluşturulur. Hava aracının 3 açılı hareket kabiliyeti Şekil 2.9 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Hava aracı eksenleri

Throttle gaz çubuğu helikopterin ana rotorunu kontrol eder. Hava aracı havada asılı (sabit) kalıyor iken kumandanın gaz çubuğu orta noktada olması gerekir. Oto uçuş

sisteminin düzgün çalışması için bu durum çok önemlidir. Lâkin helikopterin pil, motor performansı ve ağırlığı gibi parametreler gazın etkisini değiştireceğinden, aracın havada sabit kalması esnasında gaz çubuğunun orta konumda olması için ince ayar ‘Throttle Hover’ altında yapılmalıdır. Aynı şekilde hava aracı gaz çubuğunun direktiflerine tepkisiz ya da aşırı tepki vererek alçalıp yükseliyorsa ‘Tırmanma Hassasiyeti’ (Climb Sensitivity) altında hassas ayarın yapılması gerekir.

Uzmanlık gerektiren alan olan ileri düzey ayarların başında pusula (kompas) ayarları gelir. Pusula konusu Uygulama başlığı altında ayrıntılı irdelenmiştir.

Güvenlik sebebi ile acil iniş (Failsafe) ayarı, yer bilgisayarı ile pixhawk kartın irtibatı kesilmesi durumunda, kartın neye karar vereceğinin belirlendiği ayardır. Bunun dışında pilin hızlı tükenmesi, GPS sinyalinin alınamaması ve RF sinyalinin kaybı gibi öngörülemeyen durumlar bu ayar altında yapılır. Beklenmeyen durumların her uçuşta yaşanabilmesi muhtemel olduğundan Failsefe önemli bir ayardır.

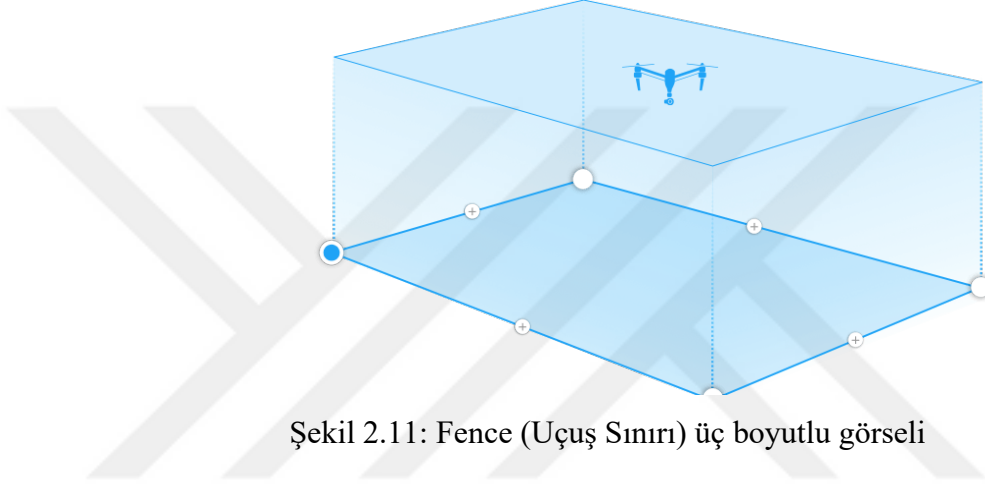
Bir diğer güvenlik tedbiri ise, hava aracının kontrolümüz dışında uzaklaşmasını engelleyen uçuş sınırı (Fence) ayarıdır. Mission Planner ile uçuş sınırı ayarının açılması Şekil 2.10 ‘da gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Fence (Uçuş Sınırı) aktif edilmesi

Uçuş sınırı ayarında helikoptere hem yükseklik hem de dairesel sanal bir sınır tanımlanır. Bu tanımlanan sınıra aykırı olarak helikopter menzili aştığı anda Geri Dön

(Return to Land - RTL) komutunu devreye alarak kalkış noktasına geri döner. Menzili aşması sonucu hava aracının ne yapacağına karar vereceği ayarlar yine Mission Planner programı ile belirlenir. Helikopter hem sınırın dışına çıkmış hem de kumanda irtibatı kopmuş ve bu şekilde sınırın 300 metre daha uzağına ilerlemişse otomatik olarak zorunlu iniş (Land) komutu devreye alınır ve bulunduğu konuma zorunlu inişe geçer. Uçuş sınırı (Fence) özelliğinin grafiksel görüntüsü Şekil 2.11 'de görülmektedir.



Şekil 2.11: Fence (Uçuş Sınırı) üç boyutlu görseli

Kumandadan bir anahtar atanarak da uçuş sınırı (Fence) modunun devreye alınabilmesi mümkün olabilmektedir. Bu anahtarın ataması da kumandanın bir kanalını bu moda ayırarak ve Mission Planner programında Config Tuning başlığı altında yapılabilmektedir.

2.3.2 Anlık Veri Ekranı

Anlık veri ekrana Mission Planner programının uçuş verisi (Flight Data) alanından erişilebilir. Bu sekmede helikopterin anlık GPS verileri ve tüm seyir bilgileri bulunmaktadır. Hava aracı programa bağlı iken haritada helikopterin pozisyon bilgileri gösterilir. Mission Planner'da pixhawk/copter güncellemesi yüklüken bazı özellikler şunlardır;

-Waypoint Distance: Sonraki rotaya ne kadar mesafede olduğunu gösterir.

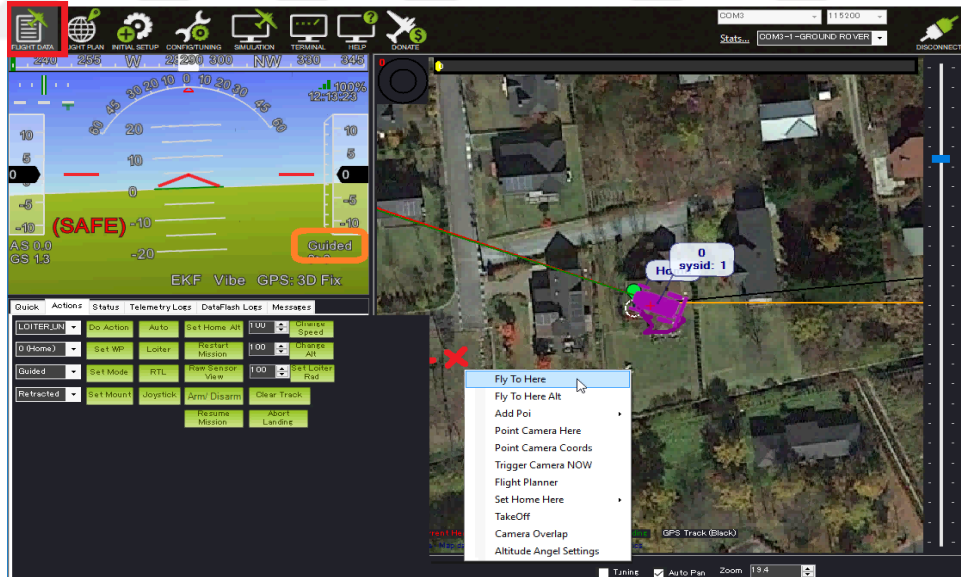
-Bearing Error: Sonraki rotaya giden en uygun yola ne kadar uzaklıkta olduğunu gösterir.

-Altitude Error: Helikopterin bulunması gereken irtifa ile mevcutta bulunduğu irtifa arasındaki farkı gösterir.

-Waypoint Time: Sonraki uçuş rotasına ulaşmak için kalan tahmini süreyi gösterir.

-Hava aracı havadayken Mission Planner programı ile farklı moda geçme ve diğer pek çok komut verilebilir, ancak değiştirilen bu komutların etkin olabilmesi için o sırada hava aracının otopilot ile uçuyor olması gerekir.

Yer bilgisayarında yine uçuş verisi (Flight Data) sekmesinde “Guided Mode” adında görüntüleme özelliği bulunmaktadır. Burada hava aracı, sefer esnasında anlık olarak emir verilerek harita üzerinde seçilen bir noktaya yönelmesi sağlanır. Bunun avantajı bir rota planlanmadan o anda istenilen noktaya uçması sağlanmaktadır. Guided Mode ekranı şekil 2.12’de görülmektedir.



Şekil 2.12: Guided Mode, anlık yeni hedef seçimi

Bu modda harita üzerinde ilgili noktaya tıklanarak flytohere seçilir ve o konuma helikopterin yönelmesi gerçekleşir. Seçilen konuma uçuş gerçekleştiğinde araç havada sabit kalma (loiter) moduna geçer. Akabinde yeni görev için beklemede kalır.

2.3.3 CLI Arayüz

CLI arayüzü, grafiksel olmayan ve komut satırlarına dayanan bir düzenleme ekranıdır. CLI arayüzünün, grafiksel arayüzden farkı bazı hassas ölçümleri komut satırı ile daha kesin sonuçlar çıkarabilmesidir. Bu arayüz için gerekli en çok kullanılan anahtar komutları ve bu komutların özellikleri ile işlevleri şunlardır: Tüm işletim sistemleri ile USB kablo aracılığıyla 'Terminal' ekranına bağlanılır burada 3 kez 'Enter' tuşu ile CLI arayüzüne giriş yapılır. 'Help' anahtarı ile üç başlık altında(logs, setup, test) bütün komutlar ekranda sıralanmaktadır (Bkz. Şekil 2.13).

```
Entering interactive setup mode...

Type 'help' to list commands, 'exit' to leave a submenu.
Visit the 'setup' menu for first-time configuration.

ACM] help

Commands:
  logs
  setup
  test

Move the slide switch and reset to FLY.

ACM]
```

Şekil 2.13: CLI arayüzü

Bu arayüz için gerekli en çok kullanılan anahtar komutları ve bu komutların özellikleri ile işlevleri şunlardır:

Reset: Pixhawk kartı fabrika ayarlarına döndürür. EEPROM parametresini temizlemek için kullanılan komuttur.

Erase: Pixhawk kart fabrika çıkışında içerisinde istenmeyen veriler varsa silmek için kullanılır.

Motor: Tamamlayıcı bir ayardır. Motor ve ESC'nin limitlerinin tanımlanırken, kumandadan yön ve gaz çubukları tüm yönlere sonuna kadar çekilerek uç değerler ayarlanır.

Modes: Kumandada düğmelerin/butonların yerlerine göre uçuş modu atamaları yapılır. Kumanda kanal sayısına göre beş ya da daha fazla mod tanımlanabilir. Kumanda çubuklarının Roll ve Aileron yönlerine itilmesi ile eş zamanlı olarak 'Enter' tuşu ile mod kaydedilir.

Radio: Uçuş kalitesine etki eden önemli bir ölçüleme dir. Kumandada bulunan tüm kanalların frekans limitlerini sabitler.

Level: İvmeölçerin (accelerometer) başlangıç değeri alması sağlanır.

Frame: Hangi tip hava aracı kullanıldığı belirlenir(sabit kanat, helikopter, quadcopter vb.)

Sonar: Harici ve analog takılan sonar modülünü aktive eder.

Declination: Manyetik kirliliğe bağlı olarak, sapma oranı asgariye indirgenir. Böylece pusula en doğru değerle çalışır.

PWM(Pulse-Width Modulation): Kumanda vericisinde bulunan bütün radyo kanallarının PWM değerlerini verir.

GPS: Konum bilgilerini verir. Manyetik kirliliğin az olduğu açık alanda, en az 1 dakika GPS'e bağlı kalması halinde en doğru çıktı elde edilir.

IMU: Euler boylam bilgisini verir.

Current: Motora bağlı olan akım algılayıcısının okuduğu bilgileri gösterir. Bu komuttan sonra motor bir tam tur döneceği için bu işlem öncesi ana motorun bağlı olduğu pallerin/bataryanın çıkartılması, güvenlik için önemlidir.

Waypoints: Önceden belirlenmiş bütün rotaların komutlarını verir.

Data_Logging: Uçuş kartında dâhili 32 Mb boyutunda alan, Pixhawk'ın uçuşuna dair tüm verileri kayıt altına almak üzere ayrılmıştır. Uçuş sonrası veriler bu komut altında incelenebilir. Log kaydının ilk seferinde 'Erase' komutu kullanılarak bozuk log verilerinin temizlenmesi gerekir.

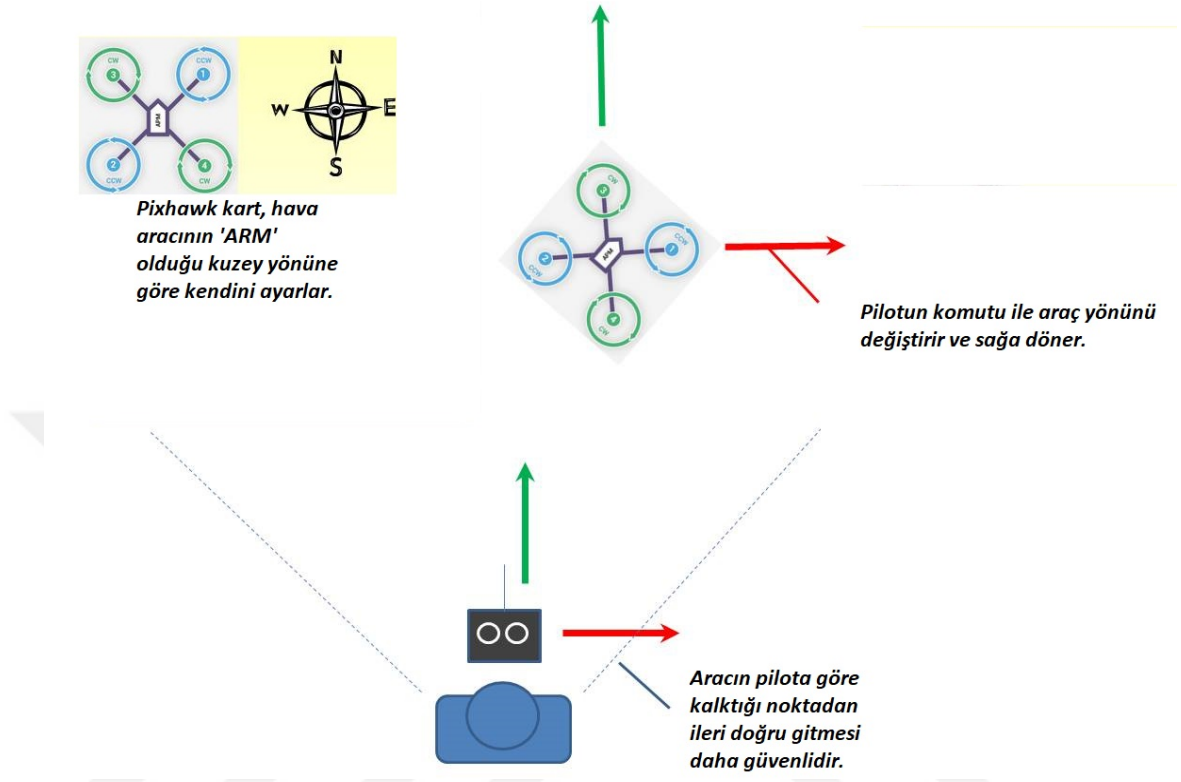
2.3.4 Modlar

Modlar, helikopterin kararlı uçuşunun sağlanması için azami derecede önemlidir. İşlevlerine göre modların bazıları GPS sinyallerine gereksinim duyar, bazıları ise ihtiyaç duymaz. Fakat otonom helikopter uçuşu için tüm modlar GPS verileri ile çalışır. Bunun için GPS sinyallerinin sağlıklı alınması ve yeterli GPS sabitinin olması gerekir.

Acro modu: Tamamen el ile kontrol için tasarlanmış bir moddur. Anlık akrobatik hareketler bu mod ile yapılır. Pixhawk kart yalnızca Collective pitch mixing yaptığı için değişkenleri istenilen uçuş kararlılığına göre düzenlemek gerekir.

Stabilize modu: Bu mod hem otomatik uçuş, hem de el ile uçuş için kullanılabilir. Kullanıcı helikoptere yön verdiğinde, helikopter o yöne ilerler. Yön vermeyi kestiğinde geldiği noktada kendini dengeler ve havada sabit kalır.

Simple-supersimple: Simple modu, helikopter ARM olup kenetlenir ve kullanıcı herhangi bir manevra yaptığında aracın baş sabit kalmaktadır. Bunun amacı da uçuşu kolaylaştırmaktır. Fakat Supersimple mod, GPS verisi olmadan çalışamaz. Merkez koordinatları Mission Planner programında ne tanımlanmış ise Pixhawk bu koordinata odaklanır. Kumanda çubuklarını hareket ettirerek merkez koordinatlarından uzaklaşılır, çubuklar bırakıldığında araç merkez koordinatına doğru geri döner. Simplemod'dan farklı olarak araç ARM (uçuşa hazır olma durumu) edildiğindeki baş açısını dikkate almaz. Bu iki modun çalışma mantığı Şekil 2.14.'de anlatılmıştır.

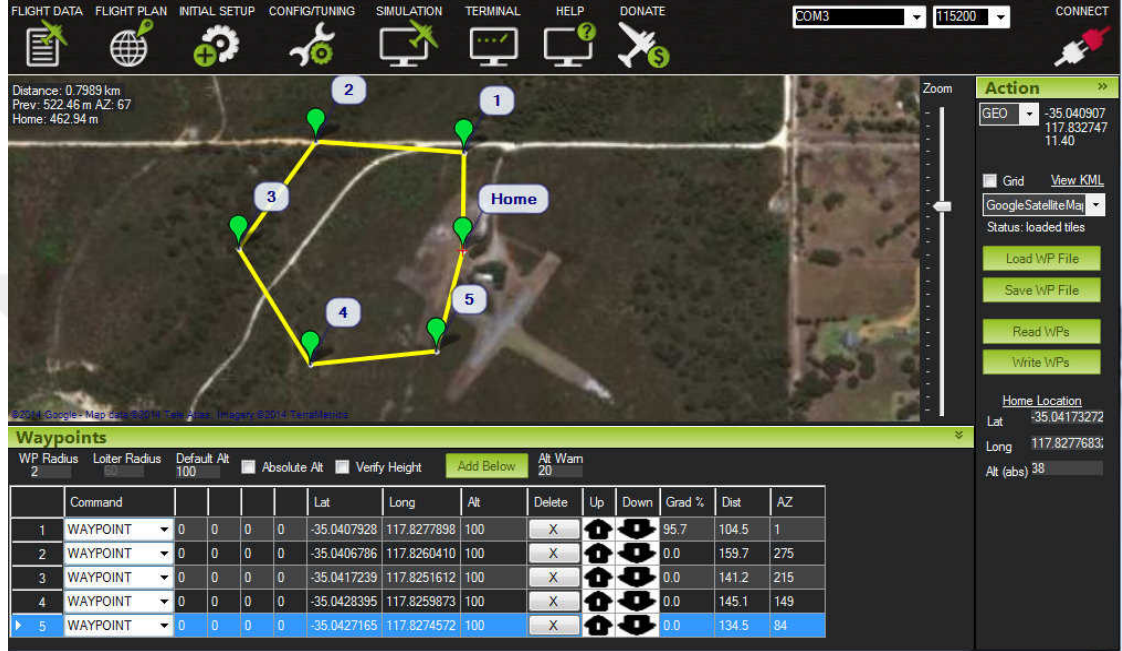


Şekil 2.14: Simple ve Supersimple çalışma modları

Althold Mod: Bu modun kullanılması esnasında helikopter GPS' den aldığı irtifa verisini sabit tutmaya çalışır. Yani yüksekliğini korumaya çalışır. GPS'den alınan sinyallerin tutarsızlığı veya kesintiye uğraması neticesinde bu mod tehlike yaratabilir ve kırıma sebebiyet verebilir. Bu yüzden bu mod kullanılmadan önce GPS verilerinin sağlıklı alındığından emin olunması gerekmektedir. Altitude hold modunda araç yalnızca yüksekliği korur. Rüzgâr, fırtına ve benzeri etkilere karşı korumasızdır ve konum sabitleme yapmaz. Bu durumda kullanıcı diğer ayarları el ile kontrol etmelidir. Bu mod devrede iken gaz çubuğu %35 - %65 aralığında ise yükseklik korunur. Bu değerler üzerinde veya altında ise 3 m/sn hızla yükselir veya alçalır. Bu değerler PILOT_VELZ_MAX değişkeninden düzenlenir.

Auto Mod: Helikopterin belli bir rota üzerinde otonom uçuşunun sağlanması bu mod ile gerçekleştirilir. Harita üzerinde oluşturulan rota planlaması Mission Planner programı ile Pixhawk karta yüklenir. Bu modda rota, hız ve yükseklik gibi bilgiler detaylı şekilde

önceden belirlenir. Otonom uçuş planlanırken iniş/kalkış biçimleri de dâhil edilir. Bu modun çalışma yöntemi, Şekil 2.15 'deki görselle desteklenmiştir.



Şekil 2.15: Oto uçuş planlama ekranı

Guided Mod: Bu mod telemetri modülü ile kullanılır. Telemetri, yer bilgisayarına takılan verici ile hava aracına takılan alıcı olarak iki parçadan oluşur. Bu parçalar o anki görevlerine göre hem alıcı hem verici olarak çalışabilir. 433 MHz UHF bandında haberleşen bu modüller sayesinde helikoptere gitmesi gereken konum iletilir. Yer bilgisayarındaki Mission Planner programının haritasından seçilen konumun koordinatları telemetri ile helikoptere iletilir helikopter o konuma gider. İlgili koordinata ulaşan helikopter havada asılı kalma (hover) modunda bekler.

Loiter Mod: Belirli bir yükseklikte, konumda ve Yaw açısını koruyarak helikopterin havada otomatik olarak sabit kalması için kullanılan moddur. Belirtilen noktada helikopterin sabit kalması için pusula (kompas) ölçümlemesinin iyi olması, GPS verilerinin sağlıklı gelmesi ve aracın mekanik titreşime az maruz kalması gerekmektedir. Bunların yanında uçuş alanında manyetik kirliliğin asgari düzeyde olması da çok önemlidir. Kullanıcı Loiter modunda kumanda ile helikopter kontrolünü sürdürebilir.

Kumandadan komut gelmez ise araç son bulunduğu konumu ve irtifayı yeni sabit olarak alır.

Return to Land (RTL) Mod: Helikopter bu moda geçtiğinde Mission Planner vasıtasıyla daha önce belirlenen konumu merkez olarak kabul eder ve o konuma gider. Merkeze hangi yol ve irtifada gideceği yine programda belirlenir. RTL modu GPS verilerine ihtiyaç duymaktadır. Pixhawk kartının üzerinde bulunan barometre modülü ile yüksekliğini korur. Fakat uçuş rotasında basınç farklılıkları olduğunda barometre başka değerler gösterecektir. Bu durumda araca harici olarak sonar modülünün takılması faydalı olacaktır. Sonar modülünün, Mission Planner programında etkinleştirilmesi ile 6 metrenin altındaki yüksekliklerde daha sağlıklı irtifa verilerinin alınması sağlanır. Şekil 2.16'da RTL modu gösterilmiştir. Bazı RTL değişkenleri şunlardır;

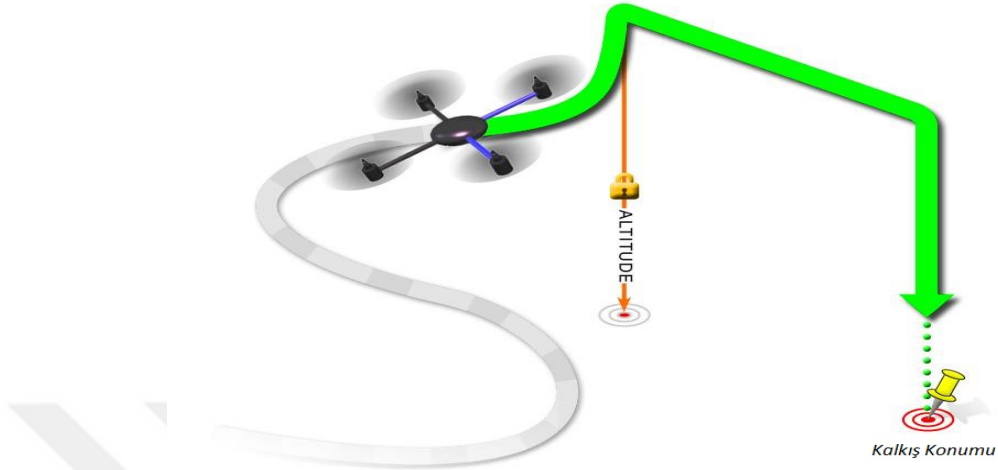
RTL_ALT değişkeni, hava aracının bu moda geçtiğinde izlemesi gereken en alt irtifa değeridir.

RTL_ALT_FINAL değişkeni, helikopterin hedefe ulaştığında bulunması gereken irtifadır.

RTL_LOİT_TIME değişkeni, alçalmaya geçmeden önce loiter modunda ne kadar süreyle kalacağını belirleyen değişkendir.

WP_YAW_BEHAVIOR değişkeni, RTL esnasında kuyruk hareketinin davranışını belirler.

LAND SPEED değişkeni hedefe ulaşıldığındaki otonom alçalma/iniş hızının belirlendiği parametredir. Bu değişken cm/sn türünden girilir.



Şekil 2.16: RTL modu

Sport Mod: Stabilize mod gibi dengeleyici özelliklerin devre dışı olduğu bu mod, çoğunlukla aksiyon içeren uçuşlarda ve hava aracı yarışlarında tercih edilir. En ufak çubuk hareketi ile araç o yöne hareketlenir ve düzeltme gelene kadar o yönde devam eder. Kendisi herhangi bir dengeleme yapmaz. Bu modda uçuş zor olduğu ve tecrübe gerektirdiği için daha çok profesyonel pilotlar tarafından tercih edilir.

Land Mod: Hava aracının otonom ve sabit hızla iniş yapmasını sağlayan bu modu kullanabilmek için, 12 metrenin altında hangi hızla ineceğini LANDSPEED değişkenine hız değeri girilmesi gerekir. İniş tamamlandıktan sonra gaz çubuğu sıfır noktasına alındığında pervaneler duracak ve pixhawk Disarm olacaktır. Bu yapılmaz ise kart iniş halinin devam ettiğini varsayarak iniş halindeymiş gibi motorlar dönmeye devam eder. Motorun otomatik durması, barometre ve GPS ile yapılacak ayarlar ile sağlanır.

Circle Mod: Helikopterin ön/uç kısmı varsayılan sanal bir çemberin merkezine odaklanacak biçimde dönecektir. 'CircleRadius' değişkeni ile sanal çemberin çapı, 'CircleRate' değişkeni ile bu dönüşün hızı dönüşün kıstasları belirlenir. Bu modun çalışma mantığı Şekil 2.17'de gösterilmiştir.



Şekil 2.17: Circle Mod

Auto Tune (Otonom Hassas Ayar) Mod: Otomatik ölçümleme (kalibrasyon) yapmak için kullanılan bu modda, PID ayarları otomatik olarak yapılır. Her hava aracına göre farklı değerler alan PID değerleri için, defalarca deneme yapılması, en doğru sonucu elde etmek için elzemdir. Otonom hassas ayar modunun çalışabilmesi için aracın öncelikle AltitudeHold modunu sağlayıp uçabiliyor olması gerekiyor. Bu modun kullanımı 4 basamakta gerçekleşir;

- Kumandanın 7., 8. veya 9. (9 kanallı kumanda için örneklenmiştir) kanalı MissionPlanner programında tanımlanır ve kumandanın bir anahtarı bu moda ayrılır. Bu atama ve tanımlama işlemleri sırasında anahtar kapalı (0) konumunda olması gerekir.
- Hava aracı yeterli irtifaya ulaştığında anahtar açık (1) konumuna alınır.
- Anahtar açıldıktan sonra araç PID değerlerini otomatik hesaplamak için yunuslama (Pitch), yalpalama (Roll) ve sapma (Yaw) manevraları yapacaktır. Bu ölçümleme testleri sonlanana kadar beklenmesi gerekmektedir.
- Hava aracı ani iniş kalkış veya uzaklaşma gibi olağan dışı bir tepki gösterirse, manuel olarak kumanda vasıtasıyla düzeltme yapılır. Düzeltme sonrası Auto Tune ölçümlemeye devam eder.

Auto Tune ayarlarının kaydedilmesi için hava aracının yere inişi sonrasında motor durdurulur ve Pixhawk kart Disarm haline getirilir.

2.3.5 Otopilot Düzenleme ve Hazırlık

Helikopterin belli bir rotada otonom uçuşu için hazırlık 3 aşamada gerçekleşmektedir.

Prefetch (Hafızaya Alma): Harita verileri ve rota bilgileri hafızaya alınarak uçulacak güzergâhtan çevrimdışı(internet olmadan) faydalanılması sağlanabilir. 'Prefetch' + 'Alt' tuşu ile güzergâh, internet olmadan kullanılması için belleğe alınır. Bu fonksiyona MissionPlanner ekranındaki harita üzerinde sağ tuş ile tıklanarak ulaşılır.

Home Location(Başlangıç Konumu): GPS kenetlenmesi sağlanması şartıyla, MissionPlanner programı üzerinden 'Home Location' tuşu ile aracın o anda bulunduğu koordinat başlangıç noktası olarak tanımlanır.

Measure Distance(Mesafe Ölçümü): Rotalar arası mesafenin ölçümü için kullanılır. Noktalardan birine tıklanır ve o nokta başlangıç olarak varsayılır. Rota sonundaki diğer noktaya sağ tık yapılarak 'measure distance' ile rota uzunluğu baloncuk ekranında verilir.

WP	Radius	Loiter Radius	Default Alt	Verify Height	Command	Lat	Long	Alt	Delete	Up	Down	Grad
1	30	0	0	0	TAKEOFF	37.8726430	-122.3210049	100	X	⬆	⬇	48.7809709...
2	30	5	0	0	LOITER...	37.8737270	-122.3227644	100	X	⬆	⬇	0
3	30	0	0	0	WAYPOI...	37.8747687	-122.3212624	100	X	⬆	⬇	0
4	30	0	0	0	LAND	37.8745570	-122.3186016	100	X	⬆	⬇	0

Şekil 2.18: Otonom uçuş planı hazırlama

MissionPlanner programında 'Flight Plan' sekmesi altında hazırlanan uçuş planı Şekil 2.18 ile gösterilmektedir. Bu plana göre 'TakeOff' komutu ile helikopter otonom kalkış ile 100 metre irtifaya kadar çıkacaktır. İlk komutun tamamlanmasıyla beraber ikinci komut devreye girer ve araç 'Loiter' durumuna (konumunu ve pozisyonunu sabitlemesi, havada asılı kalması) gelir. 'Waypoint' ile sıradan tüm noktalara ilerler. Burada AltHold değeri her bir komut için 100 girildiği için görev esnasında irtifayı sabit tutacaktır. Son olarak 'Land' komutu ile başlangıç noktasında görevi tamamlayacaktır.

- 1 numara ile gösterilen çerçevede noktaları tutup sürükleyerek veya sağ tık ile yeni noktalar ekleyerek güzergâhın istediğimiz şekilde değiştirilmesi anlatılmıştır.
- 2 numaralı çerçevede her yol noktası için irtifa, çap ve komutlar düzenlenmektedir.
- 3 numaralı çerçevede bulunan 'Write WPs' ile hazırlamış olduğunuz uçuş planı Pixhawk kart içerisinde bulunan EEPROM'a kaydedilir. 'Read WPs' ile de plan, istenildiğinde kullanılmak veya değişiklik yapmak üzere geri çağırılır.

Helikopter için hazırlanan bu uçuş planının işleyebilmesi için öncelikle kumanda üzerindeki Auto mod anahtarının açık (1 konumunda) olması gerekmektedir. Diğer yandan otonom uçuşun başarılı bir şekilde gerçekleşmesi için AltHold ve Loiter modlarının da sorunsuz şekilde çalıştığından emin olunmalıdır. Otonom uçuş öncesinde bu modlarla defalarca test uçuşu yapılmalı ve sorunsuz uçuşlar elde edilmeden otonom uçuş denenmemelidir. Bununla birlikte deneme uçuşları esnasında kaydedilen loglar da incelenmeli ve belirlenen hatalar ile uçuş başarısı ayrıntılı gözden geçirilmelidir. Otonom uçuş sırasında yaşanabilecek herhangi bir aksaklıkta, kumandanın otonom anahtarı kapatılıp stabilize modu anahtarı aktif hale getirilerek kontrol ele alınabilir.

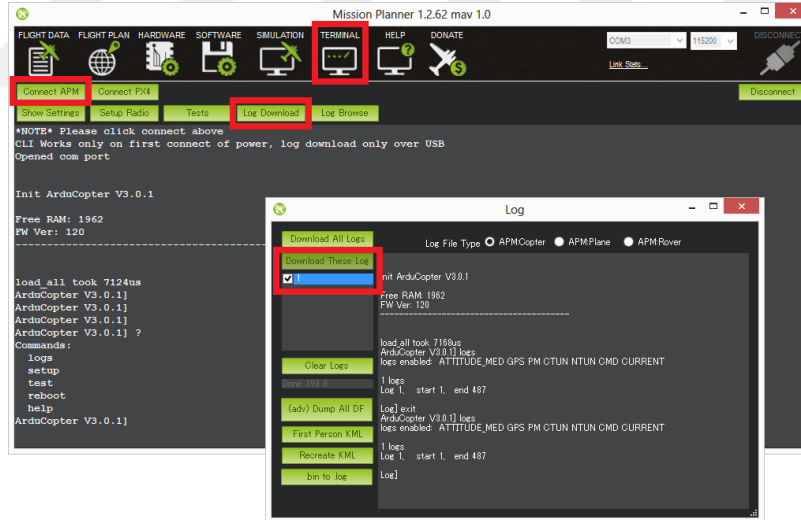
Kararsız uçuş dinamiğine sahip olan helikopterin otonom uçuşu esnasında aniden kontrolden çıkması gibi her türlü olumsuz senaryo akıllardan çıkarılmamalıdır. Rüzgâr, irtifa, basınç, manyetik kirlilik, GPS sapması, yazılım ve donanımsal onlarca parametreye bağlı olan otonom uçuşun hasarsız başarılması, uçuş öncesi tüm kontrollerin itina ile yapılması ile gerçekleşir. Özellikle ivmeölçer (accelerometer) ve

pusula (kompas) gibi otonom uçuşun bel kemiği donanımların doğru değerlerde çalıştığından emin olunmalıdır. Diğer yandan araç üzerindeki tüm modüllerin sorunsuz çalışması için titreşimi asgari düzeye çekmek, donanımsal tedbirlerin başında gelir.

2.3.6 Loglama ve Algılayıcı Veri İzlemi

Uçuşa dair tüm analizlerin tutulduğu log işlemi iki yolla yapılır. Pixhawk kart üzerinde bulunan dâhili 32 Mb kapasitesindeki bellekle ya da yer bilgisayarındaki sabit depolama ile.

Pixhawk kart üzerinde logların indirilmesi, bilgisayar ile USB ara yolu üzerinden karta bağlanılıp MissionPlanner ekranında Terminal'e ulaşılarak yapılır. Burada 'Key Hole Markup Language' seçilerek harita üzerinde izleme dâhil tüm kayıtlara ulaşılır. Şekil 2.19 'da söz konusu işlemler gösterilmektedir.



Şekil 2.19: MissionPlanner üzerinden dâhili log kayıtlarının incelenmesi

Yer bilgisayarında log kaydı tutulması işlemi, bilgisayar ile helikoptere bağlı telemetri aygıtı üzerinden sağlanmaktadır. Bu işlem, telemetri bağlantısının kurulduğu anda otomatik olarak başlar ve programı altında bulunan 'Logs' dosyasına canlı olarak kaydedilir. Burada iki kayıt biçimi vardır. Bunlar;

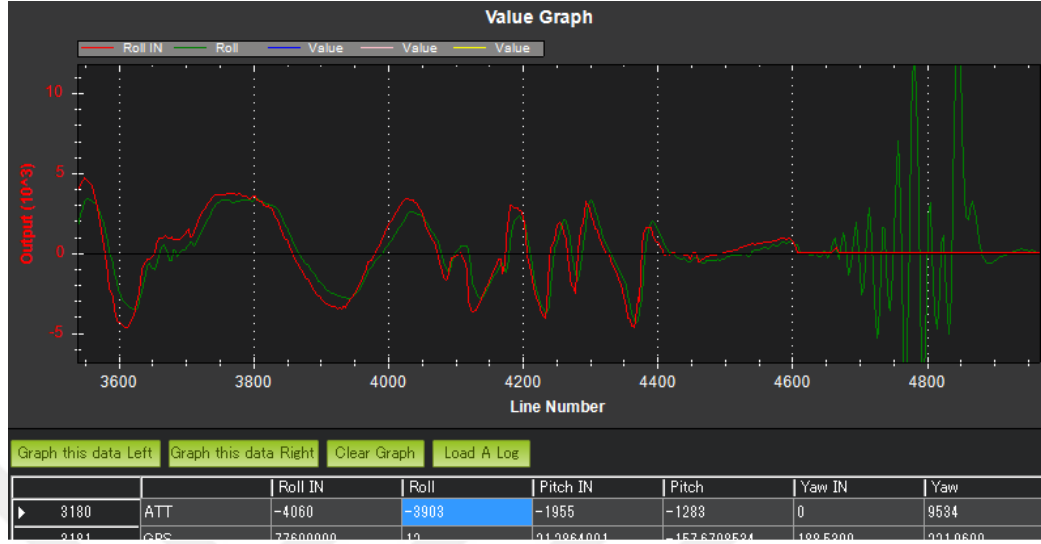
Telemetri Logu (tlog): Anlaşılır ve basit düzey analiz için kullanılır. Bu log tekrar tekrar açılıp incelenebilir.

Raw Logu (rlog): Çoğunlukla ileri düzey yazılımcılar tarafından yazılım onarımı amacıyla kullanılmaktadır. Pixhawk kartın seri çıkışlarından gelen verileri, debugging (hata ayıklama, onarma) amacıyla kullanılır.

2.3.7 Sorun Tespiti ve Analizi

Tamamlanan uçuşa dair tüm analizler log kayıtları ile ayrıntılı incelenebilmektedir. Daha hasarsız ve başarılı uçuşlar gerçekleştirebilmek için her uçuştan sonra sorunların iyi tespit edilmesi ve tutulan logların iyi analiz edilmesi ile gerekmektedir. Pusula (Uygulama başlığı altında incelenmiştir), titreşim (Uygulama başlığı altında incelenmiştir), mekanik, GPS ve enerji kaybı verilerinin loglarının uçuş sonrası analizleri, sorun tespiti için azami önem arz etmektedir.

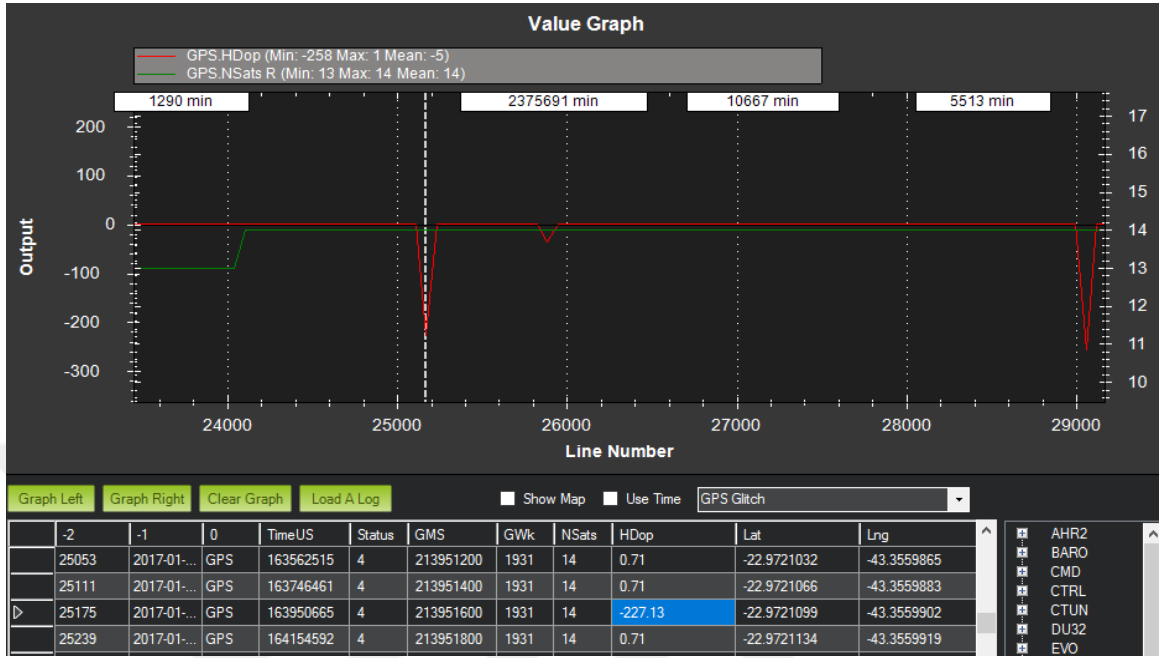
Mekanik sorun tespiti: Servolar, ESC ve motor dâhil olmak üzere birçok parçanın hatası log analizleriyle tespit edilebilmektedir. Bu sorun tespiti, amaçlanan yunuslama/yalpalama (pitch/roll) açısı değerleri ile sonuçlanan yunuslama/yalpalama açısı değerlerinin kıyaslanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Eğer iki açısı değeri arasında büyük tutarsızlıklar var ise Şekil 2.20 'de görüldüğü üzere ortada mekanik bir sorun olduğu anlamına gelir.



Şekil 2.20: Yunuslama/Yalpalama loglarının analizi

GPS hata analizi: Otonom uçuş GPS'e bağımlı bir moddur. Bu yüzden GPS sabitlenmesindeki herhangi bir sapma veya veri kaybı, Pixhawk kartın kendisini bulunduğu farklı bir konumda sanmasına sebebiyet verecektir. Bu veri kayıpları 'tlog' ile incelenebilmektedir. Sabitlenen/kenetlenilen uydu sayısı azaldıkça sağlıklı veri almak zorlaşır ve veri kayıpları artar. Kenetlenilen uydu sayısı arttıkça HDOP (Horizontal Dilution Precision) değeri azalır, bu da en doğru GPS konum bilgisinin oluştuğuna işaret eder. HDOP nominal değeri 150 olmalıdır. Eğer HDOP değeri 210'u aşıyorsa yeterli GPS sabitlenmesi sağlanamıyor demektir. HDOP değeri 150 ve altında ise kenetlenmenin başarılı olduğu ve doğru konum için son derece iyi koordinat verilerinin geldiği sonucu çıkarılmalıdır.

GPS hata analizi için 'HDOP' değer grafiğine (Şekil 2.21) ulaşmak için 'Graph tlog' penceresinden 'EPH' kutucuğu işaretlenerek ulaşılabilir.



Şekil 2.21: GPS hata analizi

Enerji kaybı analizi: RC araçlar için piyasada onlarca farklı model ve kapasitede enerji kaynağı markası bulunmaktadır. Günümüz teknolojiyle üretilen bu enerji kaynakları asgari hata ile çalışmaktadır. Fakat nadiren de olsa aşırı güç tüketiminde sorun çıkartabiliyor. Bu sorunlar log kayıtları ile analiz edilebilir. Hava aracı uçuş esnasında log kaydı aniden duruyorsa, burada bir enerji kaybı olabileceği anlamına gelebilir. Buna örnek olarak; yükseklikölçer (barometre) grafiğinde hava aracı 30. saniyede 100 metre irtifada iken, 31.saniyede 0 metre ve 32.saniyede tekrar 100 metre irtifa şeklinde loglanması, mantığa aykırı olduğundan 31.saniyede Pixhawk kartın enerji/güç kaybı yaşadığı sonucu çıkartılabilir. Kart gerilimindeki (voltaj) artış ya da azalış çok çeşitli sonlara yol açabilir ve sebebinin ayrıntılı incelenmesi gerekir. Pixhawk kart enerji tüketimi log kayıtları; tlog - HwStatus - altından VCC işaretlenerek grafik haline analiz edilebilir.

2.4 Phoenix Simülatör

Phoenix simülatörü, kumanda ile gerçeğe en yakın uçuş deneyimi sağlayan bir programdır. Phoenix simülatöründe çeşitli hava aracı modelleriyle sanal uçuşlar yapılarak, uçuş karakteristiği ve grafikleri farklı hava koşullarında denenerek gerçeğe yakın testler yapılabilir. Bu simülasyon programı aslında bir oyun olsa da SITL (Software In the Loop) adı verilen sisteme uyumludur. Çalışmaya hazır bir sistemi test etmek için bir SITL simülasyon gerçekleştirilmesi işlemine SITL testi diyoruz. Başka bir deyişle, helikopter uçuşa geçmeden önce olası hataların saptanabilmesi ve Pixhawk kartın kusursuz programlandığından emin olunması için HIL testi önerilir.

Pixhawk kartın SITL testi ile otonom uçuş yapabilmesi için kartın öncelikle bilgisayara USB veri yolu üzerinden bağlanması ve Phoenix Simülatörüne tanıtılması gerekir. Phoenix ile koordineli çalışan Pixhawk karta simülasyon, sahte veriler iletecek ve kart gerçek uçuş yaptığını zannedecektir. Bu simülasyon işlemi yine karta bağlı olan kumanda ile yapılmaktadır. Ayrıca sanal ortamda gerçeğe yakın uçuş gerçekleştirilerek, uçuş değişkenlerinin saptanması ve hassasiyetlerinin uçuşa ne kadar etki ettiği gibi sonuçlar anlaşılır, olası kaza ve maddi kayıpların önüne geçilmiş olunur. 'Ölçümleme ve Sınama' başlığı altında SITL detaylı olarak incelenmiştir.

3.UYGULAMA

3.1 Model Helikopterin Temini ve kurulumu

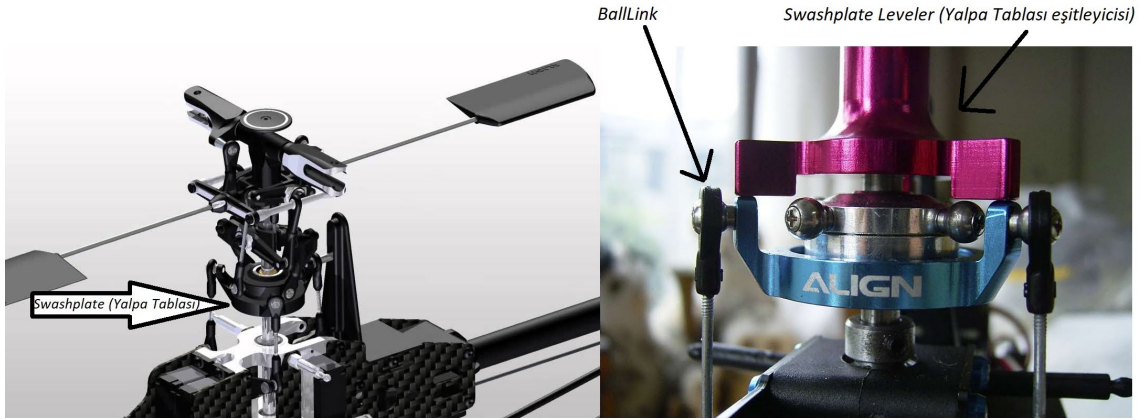
Tez çalışması kapsamında model helikopterin seçilmesinin sebebi; diğer hava araçlarına göre (çok rotorlu-multikopter) daha atik ve manevra kabiliyetinin daha yüksek olmasıdır. Sabit kanatlı hava araçlarında bulunmayan havada asılı kalma ve dikey iniş kalkış yapma, çok rotorlu araçlarda olmayan hız ve atiklik avantajlarını helikopter mümkün kılmaktadır. Buna karşın diğer hava araçlarına göre daha karmaşık bir uçuş dinamiğine sahip olan helikopterin otonom uçuşu için gerekli yöntemin uygulanması da bir o kadar özen ve dikkat gerektirmektedir. Bununla birlikte model helikopterin çalışma mantığı gerçek helikopter ile bire bir örtüştüğü için, tez çalışması kapsamında yapılan bütün işlemlerin gerçek helikoptere uygulanabilmesi mümkündür. Çalışmada uygulama amacıyla kullanılan model T-Rex 600 helikopter Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1: T-Rex 600 helikopter

Helikopter, en küçük parçasına kadar demonte olarak ulaştığı için kurulumu birkaç hafta almaktadır. Kurulumda hem elektronik hem de mekanik montaj yapılacağı için önceden teknik bilgi sahibi olmak önemlidir. Zira monte aşamasında fark edilmeyen/atlanılan ufak bir ayrıntı, daha sonra elektronik ve yazılımın birçok parametresi işin içine gireceği için sorunun kaynağının bulunması zorlaşır. Bu sebeple acele etmeden ve adım adım birleştirme işlemi yapılmalıdır.

Uçuşun omurgasını temsil eden Swahsplate (yalpa tablası) ve bağlantıları, kurulumun en çok dikkat edilmesi gereken bölümdür. Bu bölümde; servoların verdiği itkiyi pal ve denge çubuğuna ileten BallLink'lerin ayarları hatasız olmalı ve mili metre cinsinden yapılmaktadır. Bu işlemden sonra BallLink'ler üzerinde bulunan yalpa tablası (Swahsplate), yalpa tablası eşitleyici (Swahsplate leveler) ile BallLink'lerin uçünün de uç kısımlarına temas ediyor hale gelmesi gerekmektedir. Şekil 3.2 'de Swashplate (yalpa tablası) mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Swashplate (Yalpa Tablası) mekanizması

Swashplate cyclic pitch (daireseel kontrol) ve collective pitch (Ortak yön) kumandasını birleştirir veya ayırır. Cyclic pitch, pallerin aldığı açıdır ve her pale ayrı ayrı açılar verebilir. Böylece yunuslama ve yalpalama hareketlerini gerçekleştirir. Collective pitch ise pallerin açısını birbirlerine uyum içinde ve eşit şekilde değiştirir. Bu da; helikopterin yükselmesini veya alçalmasını sağlar. Cyclic pitch, swashplate'e yere göre farklı açılar verirken, collective pitch ise yere paralel yükselir ya da alçalır.

Swashplate birbiri üzerinde bilyalarla yataklanmış biri sabit, diğeri dönen iki diskten ibarettir. Her iki disk cyclic ve collective kumandalarından gelen hareketler doğrultusunda *BallLink*'ler vasıtasıyla yükseltirler, alçaltılır veya ilgili istikamete doğru açılırlar. *Swashplate*'in sabit diskine *BallLink*'ler vasıtasıyla servolar bağlıdır. Dönen disk ise yine *BallLink*'ler vasıtasıyla pallere bağlıdır (*URL-3*). Pallerin 3000 rpm (Revolutions per Minute) devirlere ulaşacağını düşünürsek, *BallLink*'lerin dikkatle bağlanmasının, uçuş başarısına doğrudan etki edeceği unutulmamalıdır.

Helikopterin satın alma ve kurulum aşamalarında motor ve servo seçimi ile yan elektronik parçalar (telemetri, uçuş kartı vb.) alınırken birbirleri ile uyumlu çalışabilmelerine dikkat edilmelidir. Bu uyumun yanı sıra, elektronik sistemi besleyebilecek batarya ve bu bataryayı dengeli şarj edebilecek güç kaynağı seçimi için de teknik bilgi altyapısı gerekmektedir. Bu tip bir sistemi bir araya getirme maliyeti helikopterin büyüklüğü, ağırlığı ve ihtiyaç duyulan ek parçaları gibi birçok parametreye bağlı olduğu için değişken fiyatlamaya sahiptir.

Birleştirme aşamasında, helikopterin uçuş öncesi tüm kontrollerinin yapılabilmesi için sadece helikopter ile gelen malzemeler yetmez; Batarya ile güç tüketen diğer birimlerin bağlantıları için lehim ve havya seti, bataryanın uzun ömürlü kullanımı ve dengeli şarjı için ayarlanabilir şarj ünitesi (Şekil 3.3), kartın, bataryanın ve diğer algılayıcıların akım ve gerilim kontrolleri için çoklu ölçüm cihazı multimetre (Şekil 3.3), altıgen başlı kaliteli alyan takımı gerekmektedir.



Lityum tabanlı piller için şarj ünitesi



Multimetre



Ayarlanabilir
Havya seti

Şekil 3.3: Yardımcı kontrol ekipmanları

Uçuş güvenliğine doğrudan etki eden titreşim kontrolleri ise; pal açısı, pal denge ve pal eşitleme aparatlarıyla yapılır.

- (Dijital açı ölçüm): Kumandanın gaz çubuğunun konumuna göre pallerin belli açılarda olması gerekir. Bu açılar helikopterin uçuş yapısına göre farklılık gösterebilir. Paller arasındaki küçük açı farkları bile uçuş esnasında helikopterin titremesine sebebiyet vereceğinden bu ayar kesinlikle atlanmamalıdır. Öncelikle paller olabildiğince sıkılaştırılır. Denge çubuğu yere paralel iken açıölçer palin uç kısmına yerleştirilir. Pal açısı servolar ile sürekli değiştirilir. Açıölçerin üst kısmından denge çubuğunu paralel gördüğümüz andaki değer, bizim pal açısı değerimizdir. Pal için dijital açıölçer Şekil 3.4 'de gösterilmiştir.



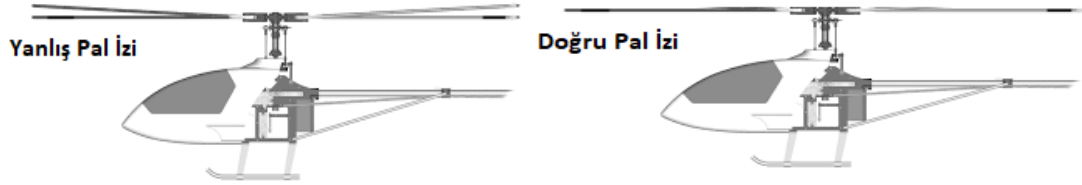
Şekil 3.4: Dijital pal açıölçer

- (Pal dengeleyici): Helikopter için üretilen paller her ne kadar takım halinde alınsa da, miligramlık hatta mikrogramlık ağırlık farkları bile titreşime etki eden önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Pallerin eşit ve aynı ağırlıkta olması için pal dengeleyici (pal leveler) ile denge eşitliği kontrolü yapılmalı ve hafif olan palin denge noktası gözetilerek eşit hale gelene kadar dış yüzeyi parlak bir bant ile sarılmalıdır. Şekil 3.5 'de pal dengeleyici ve bat uygulaması verilmiştir.



Şekil 3.5: Pal dengeleyici ve bant uygulaması

- Blade tracking (Pal izi takibi): Titreşimi asgariye indirme ve daha kontrollü bir uçuş için pal uçlarının aynı noktadan ve aynı yükseklikte geçmesi gerekir. Başka bir deyişle pal uçlarının dönüş esnasında izlediği yolun eşitliğinin yapıldığı ayardır. Şekil 3.6’da olması gereken pal izi ile hatalı ayarlanmış pal örneği verilmiştir. Eğer testler esnasında şekildeki gibi yanlış pal izi gözlemlenirse pal ayar ve denge süreçlerinde başa dönülmesi ve tüm ayarların baştan gözden geçirilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.6: Pal izi takibi

3.2 Diğer Bileşenlerin Temini

Bu başlık altında otonom uçuş için hayati öneme sahip uçuş kartı ve birlikte çalışacağı diğer elektronik parçaların seçimine değinilmiştir.

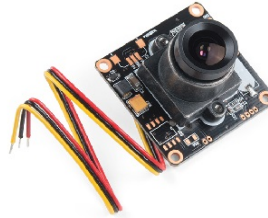
Piyasada kolaylıkla temin edilebileceğimiz farklı marka ve özelliklerde birçok uçuş kontrol kartı mevcuttur. Bunlardan en bilineni ilk olarak bir İtalyan firması olan Smart Project tarafından üretilen ve daha sonra Amerikan Spark Fun tarafından üretimi devam eden Arduino'dur. Arduino kontrol kartlarının farklı markalar altında birçok farklı

modeli bulunmaktadır. Otonom uçuş için son yıllara kadar sıklıkla kullanılan uçuş kartı ise Arduflyer'dır (Scmidt, 2011). Bu tip uçuş kontrol kartları ve onların desteklediği algılayıcılar piyasadan rahatlıkla temin edilebilmektedir (Margolis, 2011).

Çalışmada kullanılan uçuş kontrol kartı ise benzerlerine göre daha istikrarlı çalışma algoritmasına sahip Pixhawk Px4 modelidir. Pixhawk açık kaynak kodlu Stm32 tabanlı ve yazılım tabanı olarak da Ardupilot'a dayanan bir otomatik seyir kartıdır. Pixhawk kart, ArduFlyer ile benzer işletim sistemine sahip olsa da işlem gücü daha yüksek olduğu için helikopter gibi kararsız yapıda uçan hava araçları için daha çok tercih edilir. Ana işlemcisi 32 bit Arm Cortex, M4 tabanlı ST Microelectronic'in bir ürünü (STM32F427) olan Pixhawk kartın, motor ve servolar için 14 adet PWM çıkışı ile 14 adet harici sensör ve/veya algılayıcı çıkışı bulunuyor. Diğer taraftan son firmware (bellenim) güncellemesi ile daha hızlı LoopTime (döngü hızı) ve farklı donanımlarla daha uyumlu çalışma kabiliyeti geldiği için çalışmada bu kontrol kartı tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında uçuş kontrol kartı ile uyumlu çalışan diğer elektronik parçalar; Şekil 3.7.a GPS, Şekil 3.7.b canlı görüntü için CMOS kamera, Şekil 3.7.c ekran üzeri veri görüntüleme ve aktarma verici OSD, Şekil 3.7.d harici pusula (kompas) ve Şekil 3.7.e ile gösterilen yer bilgisayarı ile kart arasında karşılıklı veri akışı sağlayan telemetridir.



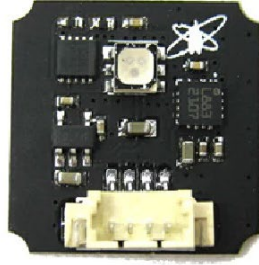
Şekil 3.7.a GPS



Şekil 3.7.b CMOS Kamera



Şekil 3.7.c OSD verici



Şekil 3.7.d Harici pusula



Şekil 3.7.e Telemetri Alıcı/Verici

3.3 Yer İstasyonunun Kurulması ve Programlama

Çalışmanın ihtiyaçlarına göre yer istasyonu kapsamı değişebilir. Çalışmada ihtiyaç duyulan donanımlar; uçuş verilerinin eş zamanlı veya loglarla incelenebilmesi için dizüstü bilgisayar, uçuşun canlı izlenebilmesi için mini ekran (LCD), telemetri alıcı/vericisi ve tüm bu ekipmanların çalışması için enerji ünitesidir.

Çalışma kapsamında, Pixhawk kartın otonom uçuşu sağlaması için programlanması hedeflenmiştir. Kartın yapısı incelendiğinde; Ana işlemcisinin 32 bit Arm Cortex, M4 tabanlı olduğu görülmektedir. Yazılım temelinde C++ kullanılmış ve Arduino ile geliştirilmiştir. Arduino programları, C++ ile Arduino IDE kullanılarak derlenmektedir. Arduino IDE ise çok daha kolay kodlama yapılmasını sağlayan bir JAVA platformudur (MCRoberts, 2013). Programlama dili ile önceden yazılmış hazır projelerin olduğu bir kütüphane ile kolay bir geliştirme ortamı sunmaktadır (Banzi, 2011). Arduino IDE ile yazılan temel program ise Mission Planner programıdır (Emre, 2014). Pixhawk kartın ihtiyaç duyulan ayarları Mission Planner programı ile rahatlıkla yapılmaktadır.

3.4 Bileşenlerin Entegrasyonu (bütünleşmesi)

Çalışmada en fazla gayret bu bölüme ayrıldığından, daha anlaşılır olması için entegrasyon aşaması aşağıdaki gibi bölümler halinde açıklanmıştır.

- * Pixhawk İle Helikopter
- * Pixhawk İle Yer İstasyonu

- * Helikopter İle Verici (Transmitter)
- * Pixhawk İle Phoenix Simülâtörü

3.4.1 Pixhawk İle Helikopter

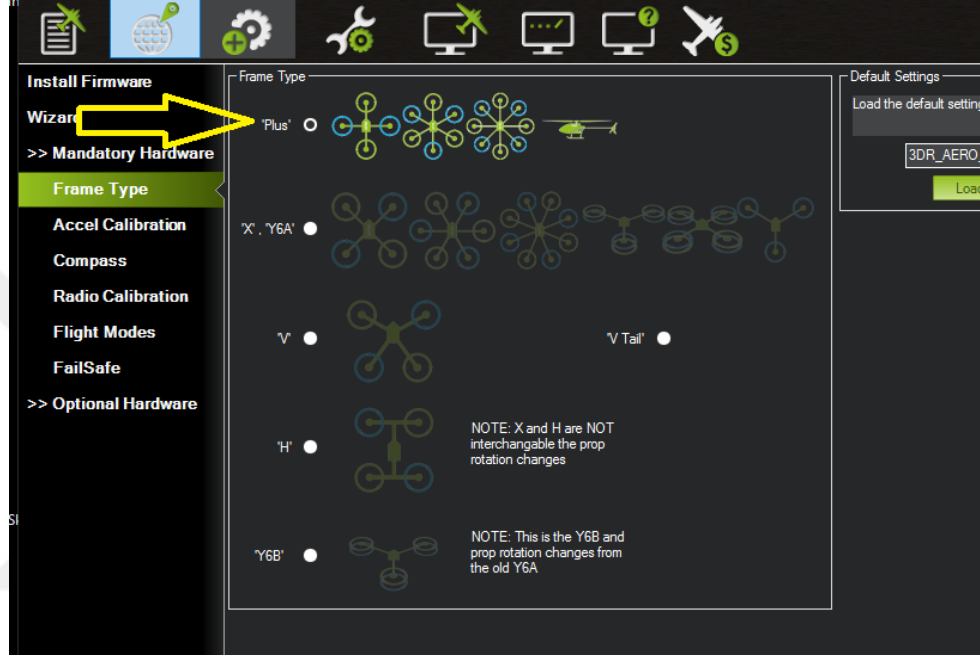
Pixhawk İle Helikopter entegrasyonu, öncelikle kartın helikopter üzerinde alacağı konuma karar verilmesi işlemidir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, mümkün olduğunca titreşimin en az olduğu yeri tespit edebilmektir. Helikopter için en uygun yer ana pal dişlisinin altıdır. Kartın altına şok emici malzeme yerleştirilmesi titreşimin emilmesi için fayda sağlayacaktır. Bununla birlikte araçta GPS, motor ve telemetri gibi harici algılayıcı ve donanımların yarattığı manyetik kirlilikten asgari düzeyde etkilenebilecek konumda olması da önemlidir. Kart içerisinde dâhili kumpas bulunduğundan kartın yönü, helikopterin uç ve arka kısmıyla aynı olmalıdır. Kartın yönünü gösteren ok şeklinde simge, kart üzerinde bulunmaktadır.

Pixhawk ile bilgisayar arasında USB kablo üzerinden kurulan fiziksel bağlantı sonrasında kartın ve helikopterin Mission Planner programına tanıtılması gerekir (Bkz. Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Pixhawk'ı hava aracı olarak programa tanıtılması

Firmware (bellenim) türü işaretlendikten sonra bağlantı kurulur ve FrameType (hava aracı türü) olarak hangi tipte bir kopter olacağı seçilmelidir. Çalışmamız model helikopter üzerine olduğu için Şekil 3.9 'da görüldüğü üzere seçimimiz helikopter olmuştur.



Şekil 3.9: Hava aracı türünün seçilmesi

Firmware ve firmType adımları tamamlandıktan sonra Pusula (compass), uzaktan kumanda, barometre, ivmeölçer (accelometer), motor ve ESC'nin ilk ölçüm ve sınamalarının yapılması gerekmektedir.

Pusula (compass) kalibrasyonu, Ölçümleme ve Sınama başlığı altında detaylı olarak incelenmiştir. Fakat pusula kalibrasyonu çok kolay bozulması ve her seferinde yapılması gereken bir ayar olduğundan, bu başlık altında sadece bu çalışmayla ilgili olan kısımlarına değinilmiştir.

Yapılan denemelerde kart üzerinde bulunan dahili pusulanın kalibrasyonu çok sık bozulduğu gözlemlenmiştir. Bunun başlıca sebebi, pusulanın manyetik alan duyarlılığının çok yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sebeple projede harici pusula kullanılması uygun görülmüştür.

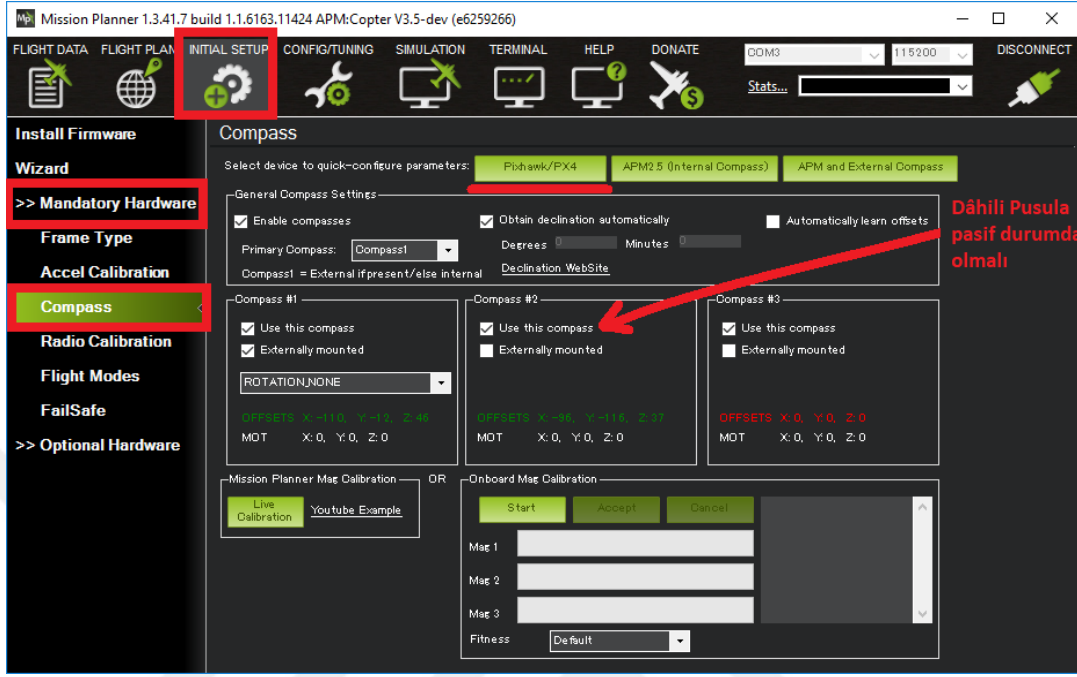
Harici pusulanın da manyetik alan kirliliğinden olabildiğince uzak bir noktada konumlandırılması gerekmektedir. Bu sebeple helikopterin kuyruk bölgesi yerleşim için uygun olacaktır.

Pixhawk kartın, harici pusula kullanımından haberdar olması gerekmektedir. Bunun için Şekil 3.10'da görüldüğü gibi, MissionPlanner'da 'Compass' başlığı altında bulunan 'External Compass' kutucuğu işaretlenmelidir.



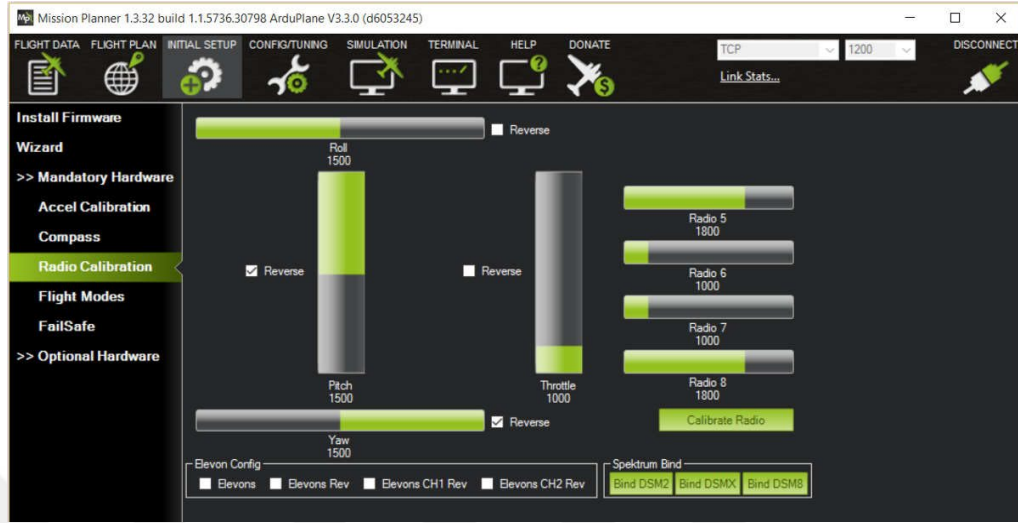
Şekil 3.10: Harici pusulanın işaretlenmesi

Pixhawk kartında bulunan dâhili pusula ile sonradan bağlanan harici pusula uyum içinde çalışmayacağı için hatalı sonuçlar doğuracaktır. Bu yüzden Pixhawk kart üzerindeki dâhili pusulanın kart ile iletişiminin kullanım dışına atılması gerekir. Bunun için Şekil 3.11'deki gibi kart üzerindeki dâhili pusulanın 'Use this compass' seçimi kaldırılması gerekir. Bir diğer ve daha garanti bir yol ise, karta devre üzerinde yapılacak fiziksel bir müdahaledir. Keskin bir bıçakla kart devresi üzerinde dâhili pusulanın bağlantısının son derece dikkatli bir şekilde kesilmesi ile yapılmaktadır.



Şekil 3.11: Dâhili pusulanın pasifize edilmesi

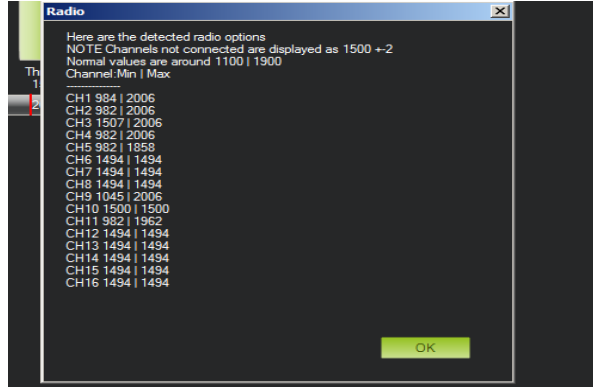
Uzaktan Kumanda (Transmitter): Kumanda üzerindeki gaz ve yön çubukları ile potansiyometre (ince ayar anahtarı) ve aç/kapa anahtarlarının test edilmesi ve doğruluk ölçümlerinin yapılması gerekir. Buradaki ayarlar komut çubuklarının çalışma yönlerinin doğruluğu ve çalışma aralıklarının belirlenmesinden ibarettir. MissionPlanner programında bu ayarlara; 'InitialSetup' altında 'Radio Calibration' sekmesi ile ulaşılır (Bkz. Şekil 3.12). Program ayarlarına geçilmeden önce kumanda içindeki seçeneklerden, bu kumandanın hava aracı için kullanılacağı belirtilmesi gerekir. Yani kumandanın 'Airflight' modunda olması gerekir. Kumanda tek yönlü (verici olarak) çalıştığı için Pixhawk aracın türü hakkında bilgileri kumandaya iletmez, kumandanın gelen komutlar Pixhawk'da işlenir.



Şekil 3.12: Kumanda test ve doğruluk ölçümlenmesi

Helikopter sadece uçuş için yalpa, yunuslama, sapma ve gazdan oluşan 4 kanala ihtiyaç duyar. Bu yüzden uzaktan kumandada ilk 4 kanal bu komutlar için ayrılmalıdır. Kumandanın beşinci kanalı ise Mod değişimi için ayrılmalı ve 1-0-2 türünde ve 3 seçenekli olan bir anahtara tanımlanmalıdır. Kumanda alıcısının bir portu da Pixhawk kartın beşinci portuna takılarak tanımlama işlemi tamamlanır. Kanal atama işleminin teyit edilmesi ise; kumandadan atanan kanala ait anahtarın 1-0-2 konumları değiştirilirken Şekil 3.12’de görülen beşinci kanala ait gösterge değerlerinin değişmesiyle anlaşılır.

Ölçümleme işlemi yunuslama, yalpalama, sapma ve beşinci kanal en düşük ve en yüksek konumlara getirilerek gerçekleştirilir. Eğer kumanda çubukları ile programdaki ilgili kanalın göstergesi ters yönlü hareket ediyorsa ‘reverse’ kutucuğu ile durum tersine çevrilir. İşlem bittiğinde ise ‘Click When Done’ butonuna basılarak ölçümleme tamamlanır. Bu ölçümleme bittiğinde bir pencere açılır ve kanallara ait ölçümleme verileri gösterilir (Bkz. Şekil 3.13).



Şekil 3.13: Kumandanın ölçümleme özeti

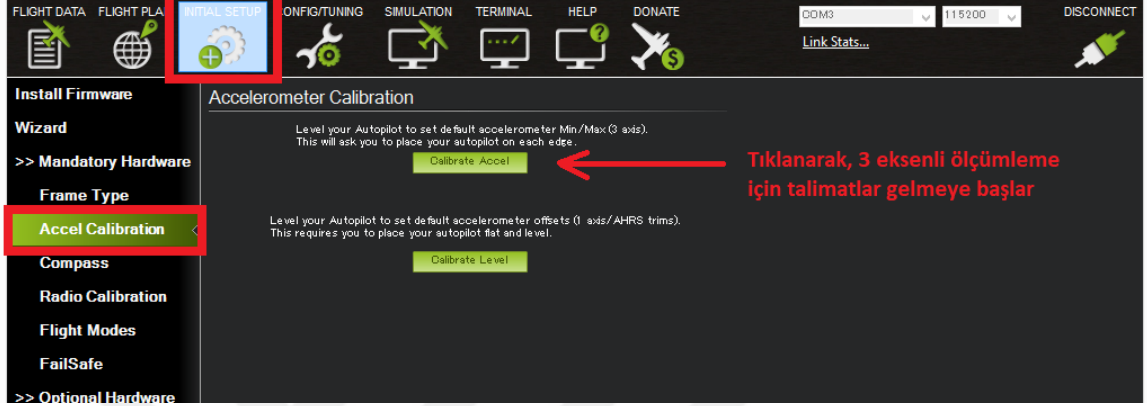
Basınçölçer - Barometre: Pixhawk kartı üzerinde dâhili olarak bulunan basınçölçer hava aracının yükseklik bilgilerini verir ve 'AltHold' değerine etki eder. Ek bir ölçümleme gerektirmeyen basınçölçerinin ışık hassasiyetinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple barometrenin üzeri yumuşak bir malzeme ile ışık almayacak biçimde sarılmalıdır. İşlemin başarısını gözlemlemek için; barometreye bir ışık kaynağı tutulduğunda MissionPlanner'daki 'Altitude' değerinin sapıp sapmamasına bakılır (Bkz. Şekil 3.14).



Şekil 3.14: Altitude değerinin okunması

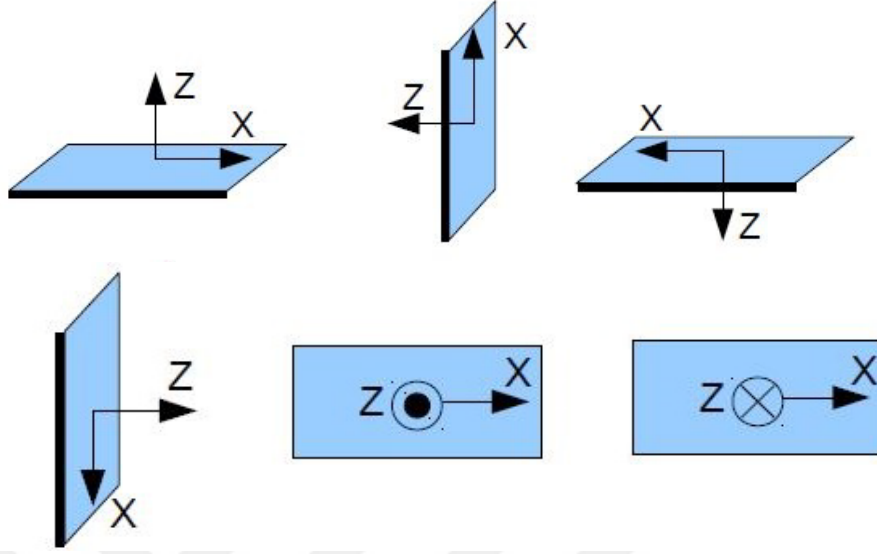
İvmeölçer (Accelometer): Bu ölçümleme, ilk birleşim yapılırken ya da Pixhawk kartın helikopter üzerindeki yeri değiştirildiğinde yapılır. Pixhawk karta bu ölçümleme ile

helikopterin nominal pozisyonu öğretilir. Pixhawk belletilen bu pozisyonlara göre otonom uçuşu gerçekleştirecek ve yönlerini bu ölçümlere göre yapacağından ‘Accelerometer’ kalibrasyonu çok önemlidir.



Şekil 3.15: Accelerometer kalibre ekranı

‘Accelerometer’ ölçümleme işlemi; MissionPlanner programında, ‘InitialSetup’ altında ‘CalibrateAccelerometer’ tuşu ile başlar (Bkz Şekil 3.15). Program, başlangıçta düz bir zeminde bekleyen helikopterin çeşitli açılarla el ile döndürülmesi talimatları verir (Başlangıçta helikopterin ve üzerindeki kartın yer ile tam paralel olması önemlidir). Bu ölçümleme talimatları Şekil 3.16’da gösterilen aşamalardan oluşur ve adım adım uygulanır. Talimatlar doğru bir şekilde uygulandığında ekrana ‘Calibration Successfully’ uyarısı gelir ve işlem tamamlanır. Uygulama aşamaları sırasıyla; zemine paralel, 90° burun yukarı, 180° sol, 90° burun aşağı, 90° sağa yatış, 90° sola yatış şeklindedir.



Şekil 3.16: Accelometer Calibration ölçümlenmesi sırasında helikopterin izlemesi gereken talimatlar

Motor: Motor seçimi, helikopterin boyutu ve ağırlığı göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Üzerinde bulunan ek elektronik modülleri de düşünerek T-rex 600 tipi bir helikopter için bu çalışmada 1220 KV ve 1600 watt gücünde motor kullanılması gerekmektedir (Bkz. Şekil 3.17). Motorun ESC ve batarya ile düzgün çalışması için, gerilim ve akım çalışma aralıklarının uyumlu olmasına dikkat edilmesi gerekir. Motor üç fazlıdır ve bunlar mavi, siyah ve kırmızı renktedir. Bunlar ESC bağlantısıdır ve ESC'nin de aynı renklerdeki kabloları motorun kablolarıyla eşleştirilerek bağlanır. Motorun dönüş yönünün değiştirilmesi ise; bu üç kablodan mavi ve siyah olanlarının yer değiştirilmesiyle, yani fiziksel olarak sağlanır.

Motor dönüş yönünü tersine çevirmek için; mavi ve siyah kablo yer değiştirilir



Şekil 3.17: Ana pervane motoru

ESC (ElectronicSpeedController): ESC, motorun gönderilen komuta göre hızda dönmesini sağlayan hız denetçisidir. Bu dönüş hızı PWM değerlerine göre belirlenir. ESC'nin Pixhawk karttan aldığı PWM değerlerine göre çalışması için ölçümlemeye ayarı gerekmektedir. Pixhawk'dan gelen asgari ve azami PWM değerlerinin belirlenerek ölçümleme işlemi gerçekleştirilir. Çalışma kapsamında, motor ve batarya ile uyumu düşünülerek Şekil 3.18 ile gösterilen Phoenix 80 Amper üst akımlı (burst current) ESC kullanılmıştır.



Şekil 3.18: Çalışmada kullanılan ESC, Elektronik hız denetleyicisi

Bu ayar öncesinde radyo kumanda ölçümlerinin tamamlanmış olması gerekmektedir. Ayrıca işleme geçmeden önce güvenlik tedbiri olarak mutlaka ana pervane pallerinin çıkartılması gerekir. Zira çalışma esnasında motor, beklenmeyen ani dönüş tepkileri verebilir ve bu da önemli yaralanmalara sebep olabilir.

Her ESC modelinin farklı ayar kodları vardır. Bu ayar kodları ESC ile birlikte gelen talimatlarda yazar. ESC 'nin ayarı 'bip' sesleriyle kodlanmıştır. Bu sesler analiz edilerek, hangi hataların olduğu veya ayarın onaylandığı gibi mesajlar çıkartılır.

Pixhawk ile ESC bağlantısı USB üzerinden yapılmalı. Bu sırada ESC'ye batarya bağlı olmamalıdır. Sonraki adımda, kumanda gaz(throttle) çubuğu en üst seviyeye çıkartılmalı ve orada bırakılarak ESC ayar işlemine başlanır; ESC'ye bataryanın

bağlanması ile Pixhawk kart üzerindeki tüm lambalar aynı anda yanıp sönerek kart, ayar işlemine hazır olduğu mesajını verecektir. ESC'nin ölçümleme/ayar moduna geçebilmesi için bu noktada bataryanın sökülüp tekrar takılması gerekir. Takıldığı anda ESC'den gelen bip sesleri sırasıyla; bataryanın kaç hücreli olduğu ve en üst seviye gaz değeri tanımlandı anlamları taşır. Bağlantıları hiç bozmadan gaz(throttle) çubuğu en alt seviyeye çekildiğinde ise, hem alt değer tanımlandı hem de ölçümleme/ayar işlemi başarıyla tamamlandı anlamına gelen uzun bir bip sesi gelecektir. Pil bağlantısı kesilerek ESC ölçümleme ayarı bitirilir.

3.4.2 Pixhawk İle Yer İstasyonu (Yer bilgisayarı)

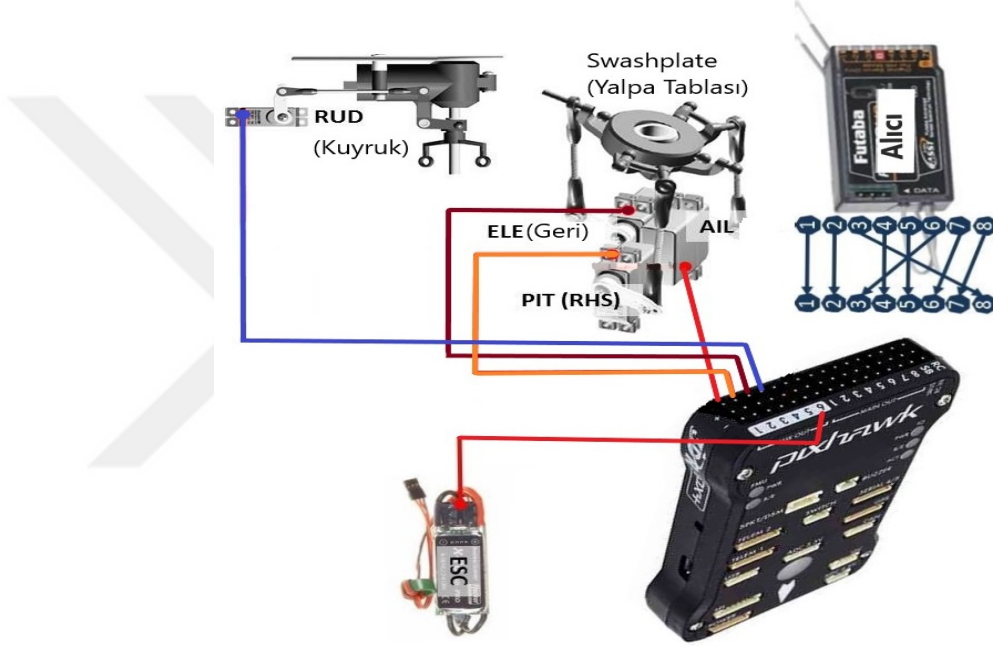
Pixhawk kart ile yer istasyonu bütünleşmesi, MissionPlanner kurulu olan bir dizüstü bilgisayar ile Pixhawk'ın programlanması şeklinde tanımlanabilir. Dizüstü bilgisayar seçilmesinin nedeni, denemeler sırasında taşınabilir olmasıdır. Bu programlama işlemi karta ve bilgisayara bağlı olan telemetri alıcı/vericileri ile kumanda üzerinden veya kart ile bilgisayar arasında kurulan USB veri yolu üzerinden yapılabilir. Bağlanma biçimi USB veri yolu üzerinden olacaksa; MissionPlanner programı karşılama ekranında bulunan bağlantı türü ve portu işaretlenip bağlantı gerçekleştirilir. Eğer bağlantı telemetri ile kablosuz kurulacaksa; program tarafından telemetriye otomatik olarak bir port tanımlanır ve bu port seçilir. Şekil 3.19 'da, karta USB veri yolu ile ve telemetri ile bağlanma yöntemleri verilmiştir.



Şekil 3.19: Telemetrinin yer ve hava modüllerinin bağlanması ile port seçim ekranı

3.4.3 Helikopter İle Verici (Transmitter)

Bu aşama, helikopterin ESC ve servo motorları ile kumanda alıcısının fiziksel olarak bağlanmasından ibarettir. Bağlantıların sıralaması kumanda modeline göre değişebilir. Şema, Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20: Pixhawk kart kumanda alıcısı ve diğer kanalların bağlantı şeması

3.4.4 Pixhawk İle Phoenix Simülatörü

Bu aşama tüm bağlantıları ve ayarları doğru yapılmış, uçuşa hazır haldeki helikopteri sanal ortamda uçurma işlemidir. Bunun için STIL sistemi kurulması gerekmektedir. Pixhawk kart, tüm donanımları bağlı ve çalışır vaziyette iken uzaktan kumanda ile kontrol edilerek, SITL ile gerçek uçuş yaptığını sanar. Sanal uçuş esnasında gerekli olan rota ve GPS gibi birçok değerli veri ise, uçuşu simüle eden Phoenix üzerinden elde edilir. Böylece helikopterin tam olarak uçuşa hazır olup olmadığı, herhangi bir kırım veya kaza yaşanmadan test edilebilir.

SITL sistemini uygulamak için öncelikle bilgisayara Phoenix simülâtörünün kurulması gerekir. Diğer yandan MissionPlanner programında ‘simülasyon’ özelliğinin olup olmadığına bakılır, yok ise yüklenerek Şekil 3.21 ile gösterilen arayüzde ‘Simulation’ sekmesinden helikopter aracı seçilir.



Şekil 3.21: SITL sistemi için MissionPlanner’da simülasyon arayüzü

Phoenix simülasyon programı, MissionPlanner ile ağ üzerinden veri alışverişi yaptığı için simülasyon programının ağ ayarlarının yapılması gerekir. Bu durum iki program farklı bilgisayarlarda ya da birinin sanal bilgisayar (Virtual Machine) üzerinde kurulu olduğu durumlarda geçerlidir. Bu durumda programın IP (Internet Protocol) adresi olarak MissionPlanner’in kurulu olduğu makinenin IP adresi yazılır. Fakat bu çalışmada tek bilgisayarda MissionPlanner ve Phoenix kullanılacağından IP olarak ‘localhost’ kullanılmıştır.

Programlar arasında bağlantı kurulduktan sonra ilk deneme uçuşu Şekil 3.22 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.22: SITL sistemi ile sanal uçuş denemesi

Çalışmada, tüm adımlar doğru olarak atılmış olmasına rağmen Phoenix simülatörünün, Pixhawk ile helikopteri tam doğrulukla simüle etmediği saptanmıştır. Bu durumda MissionPlanner ile yapılan parametre değerlerinin doğruluğu teyit edilememiştir. Dolayısıyla yapılan ayarların uçuşa etkileri, sanal uçuş ile anlaşamadığı için gerçek uçuş denemeleri yapılmış, bu da zaman kaybı ve kırım gibi maliyetli neticeler alınmasına sebebiyet vermiştir. Henüz yeni bir teknoloji sayılan Pixhawk kartın yazılım geliştiricilerinin bu sorun üzerinde çalıştıkları düşünülmektedir.

3.5 Ölçümleme (Kalibrasyon) ve Sınama

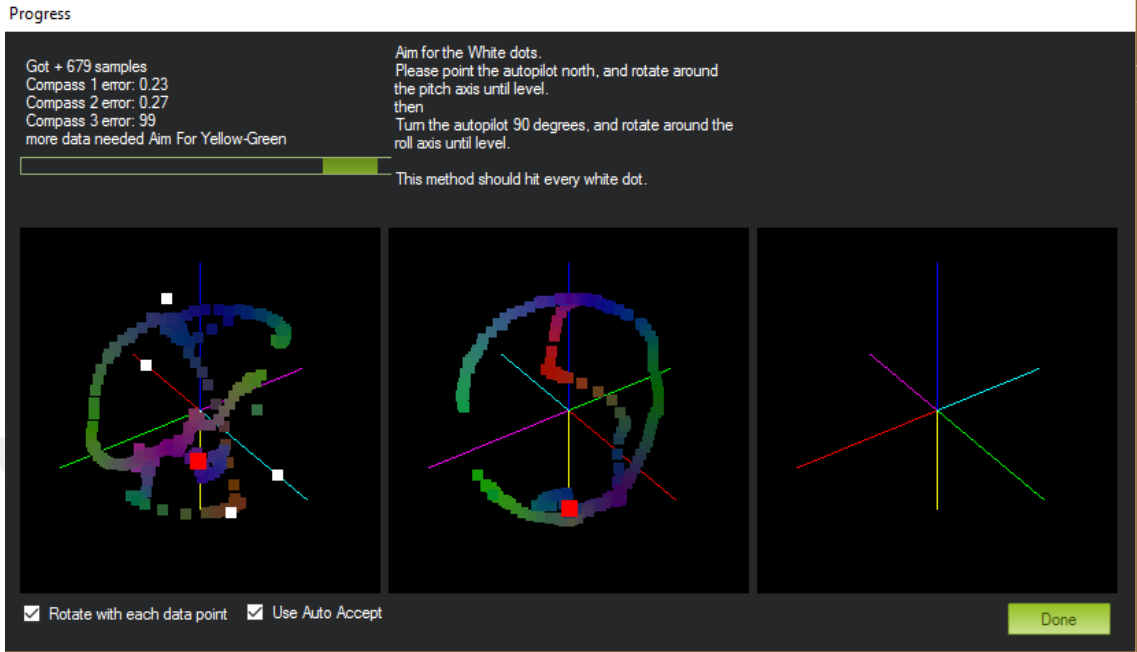
Helikopterin belli bir rota üzerinde otonom uçuşunun sağlanmasında en kritik nokta; farklı özelliklerdeki birçok donanımın birbirleriyle uyum içerisinde çalışabilmeleridir. Bu donanımların her biri için ayrı ayrı ölçümleme ve denemelerin yapılması şarttır. Ölçümleme ve uçuş denemeleri(testleri) birbiri içerisinde yapıldığı için tek başlıkta derlenmiştir.

3.5.1 Pusula Ayarı ve Ölçümlemesi

Pusula (compass) ölçümlemesinin (kalibrasyon) amacı; GPS'in doğru yönü göstermesini sağlamaktır. Yani pusula ve GPS, Pixhawk kart ile aynı yönü göstermeli (Dâhili pusula kullanılıyor ise). Çalışmada kullanılan harici pusula ise helikopterin kuyruk borusu üzerinde helikopterle aynı yönü gösterecek şekilde konumlandırılmıştır. Dolayısıyla helikopterin burun kısmı kuzeyi gösteriyor ise helikopterin de yönü, MissionPlanner programındaki harita üzerinde aynı yönde görünmesi gerekecektir. Bu ölçümleme otonom uçuş modları için çok önemlidir. En sağlıklı pusula ayarlar yöntemi yerde yapılan ayardır. Bunun dışında uçuş esnasında havada otomatik yapılan ölçüm ve uçuş sonrası log analizleriyle yapılan pusula ölçümleme yöntemleri de mevcuttur.

Yerde (uçuş olmadan) yapılacak pusula ölçümlemesine, MissionPlanner'da 'Compass' arayüzünde 'Live compass' butonuna tıklanarak başlanır. Buradaki önemli nokta; kartın helikoptere paralel ve helikopterle aynı yönde konumlanmış olduğundan emin olunmalıdır. Pusula değerlerinin herhangi bir çevresel sebepten etkilenmemesi, değerlerin sağlıklı alınması önemlidir. Ölçümleme esnasında yakınlardaki metal materyallerin ve RF vericisi görevi gören kablosuz donanımların uzaklaştırılması gerekmektedir.

Yaklaşık 1 dakika süren bu ölçümle sırasında helikopter dairesel hareketle tüm eksenlere hareket ettirilerek, pusulanın olabildiğince fazla numune (sample) toplaması sağlanmalıdır. Şekil 3.23 ile gösterilen örnekte toplanan numune sayısı 679'dur. Fakat daha sağlıklı yön ölçümü için bu sayının 2000'in üzerine çıkması gerekmektedir. En iyi sonuç alınıncaya kadar bu ölçüm devam ettirilmelidir. Pusula ölçümlemesinin uygulaması, çalışma ekinde sunulan CD'de video olarak bulunmaktadır.



Şekil 3.23: Pusula ölçümleme ekranı

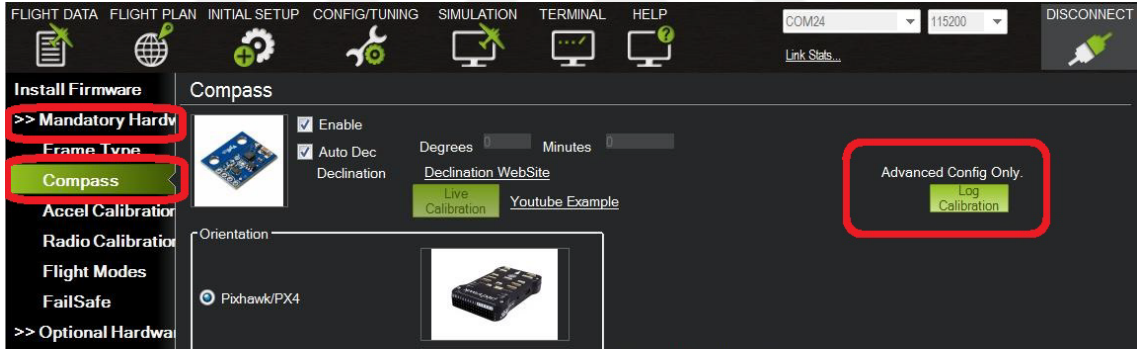
Pusulunun X, Y ve Z eksenlerinde aldığı değerler 'Advanced Param' ekranından ekranında Compass_OfsX, Compass_OfsY ve Compass_OfsZ başlıkları altından görülebilir (Ayvaz, 2014).

Pusulunun uçuş esnasında da ölçülenmesi mümkündür. Fakat yapılan testlerde görülmüştür ki; havada yapılan pusula ölçümlemesinin doğruluk oranı, yerde yapılanaya göre daha zayıf olmuştur. Bu sebeple uçuş sırasında pusula ölçümleme yöntemine bu çalışmada ayrıntılı yer verilmemiştir.

Helikopter uçar durumda iken servo motorlar, ana motor, telemetri, batarya ve diğer elektronik donanımların yarattığı manyetik kirlilik, pusula üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta ve sağlıklı sonuç almasını zorlaştırmaktadır. Yanlış veriler, otonom uçuşa doğrudan etki eden Loiter ve RTL modlarında, helikopteri yanlış yönlere sevk etmektedir. Uçuş esnasında otomatik ölçümleme işlemi 'AdvancedParams' başlığından 'CompassLearn' seçeneği aktif edilerek sağlanır.

Uçuş sonrası log analizi de uçuş esnasında öğrenme (compass learn) yöntemi ile hemen hemen aynıdır. Bu yöntemin tek farkı, uçuş esnasında ölçümlenecek yerine, daha önce kayıt altına alınmış uçuş loglarından ölçümlenecektir. Fakat her uçuşta oluşan manyetik kirlilik ve titreşim gibi etkenlerin şiddeti farklı olacağından bu yöntem de yeterince sağlıklı olmayacaktır.

Log analizi ile pusula ölçümlemesine; Mandatory Hardware - Compass başlığından ulaşılır ve gelen ekranda 'Log Calibration' butonuna tıklanır (Şekil 3.24). Bu noktada eğer 'Yeterli uçuş verisi yok' uyarısı geldi ise, yeterli verinin olduğu log dosyası tercih edilmelidir. Zira bu yöntemin çalışabilmesi için helikopterin daha önce en az 3 dakika havada kalmış olması ve yeterince manevra (yalpalama, yunuslama ve sapma hareketleri) yapmış olması gerekmektedir.



Şekil 3.24: Log analizi ile pusula ölçümleme arayüzü

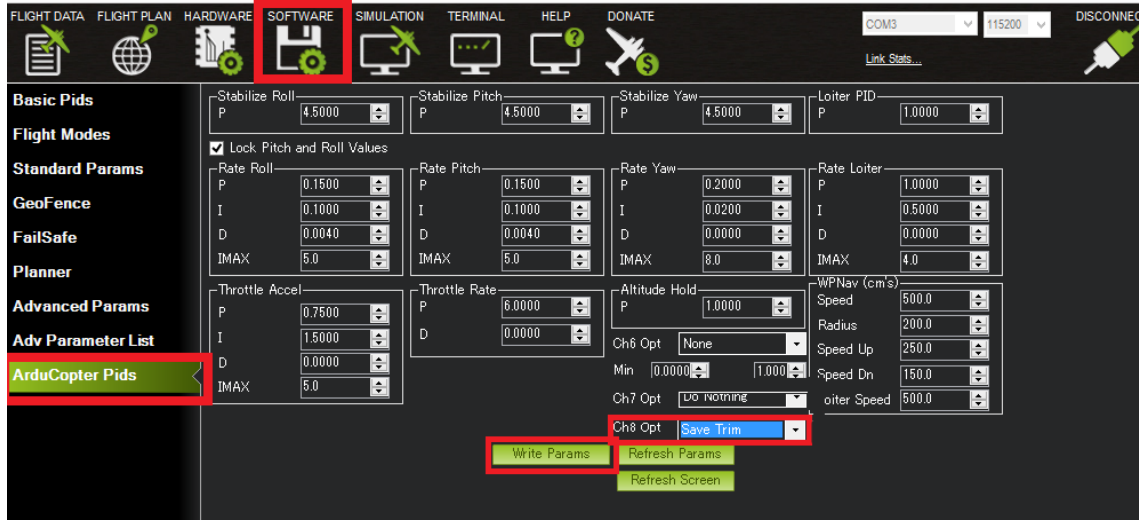
3.5.2 Trim (Hassas ayar) Ölçümlemesi

Trim ayarı, hassas ve ince ölçümlemeye verilen isimdir. Helikopterin havada asılı kalmasına mani olan basit hataları gidermek için gereklidir. Helikopterin uçuşu sırasında dış etkenlerin etkisi altında olmaksızın ve herhangi bir manevra komutu verilmediğinde, havada az bir süre bile olsa sabit (asılı) durabilmesi beklenir. Ancak helikopterin uçuşu çok sayıda değişkene bağlı olduğu için bunu sağlamak zordur. Trim ölçümlemesi;

helikopterin havada sabit kalabilmesi için gerekli hassas ayarı olarak yapılabileceği gibi, uçuş sırasında fırtınaya direnç gösterme amacıyla da kullanılabilir.

Diğer hava araçlarından farklı olarak helikopterde uçuş birçok dinamik yapıya bağlı olduğundan Yalpa Tablası (Swashplate) gibi hareketli parçalardaki milimetrelık hatalar uçuşa doğrudan etki etmektedir. Bu etkiler helikopterin istenmeyen davranışlar sergilemesine sebep olacaktır. Tüm ayarlarımız mükemmel olsa bile trim ayarı yapılması kaçınılmazdır.

Trim ayarı için kumandanın müsait olan sekizinci kanalı trim için tanımlanır. Diğer yandan MissionPlanner programı ile Şekil 3.25’de görüldüğü gibi ‘Ardu Copter PIDs’ ekranında ‘Ch8 Opt’ seçeneği ile sekizinci kanala ‘SaveTrim’ fonksiyonu tanımlanır.



Şekil 3.25: Trim ayarı için kanal ataması.

Tanımlanan sekizinci kanal kapalı (0) konumunda iken, helikopter ‘Stabilize’ mod ile uçurularak havada asılı kalması sağlanana kadar kumandadan hassas ayar yapılır. Araç yere indiğinde disarm (uçuşa hazır olmama) durumuna getirilir ve kanal sekiz birkaç saniyelığıne açılır. Amaç bilgilerin EEPROM’a yazılmasıdır. Kumanda üzerinden yapılan trim ayarları tekrar orta noktaya çekilir ve yeniden uçuş denir. Eğer helikopter düzenli uçuş sergilemiyorsa, bu adımlar tekrar edilerek trim ölçümlemesi devam eder.

3.5.3 Manyetik Alanın Pusula Etki Analizi

Yüksek akımlara çıkabilen Li-Po (Lithium Polymer) bataryanın kullanıldığı hava araçlarında manyetik alan testinin yapılması önem arz etmektedir. Manyetik alanın helikopterde en çok etkilediği kısım dâhili pusula olduğu için burada oluşan sapma analizinin de mutlaka yapılması gerekmektedir. Bu analiz için batarya üzerinden akımı geçiren ve Pixhawk kartı 5 volt ile besleyen ‘Güç Modülü’ kullanılması gerekmektedir. Böylece bataryadan helikoptere gelen tüm gerilim/akım verileri izlenebilir ve pusula üzerinde bataryanın oluşturduğu manyetik alanın analizi MissionPlanner programı ile yapılabilir.

Bu test yerde yapılacağı için güvenlik tedbiri olarak pallerin çıkartılması gerekmektedir. Ardından telemetri ve Pixhawk kart bağlantısı yapıp, batarya takılır. Uzaktan kumanda aktif hale getirilip Pixhawk kart ile bilgisayar, USB veri yolu ile bağlanılır. Şekil 3.26’da gösterildiği gibi terminal ara yüzünde Setup-Compassmot komutları sırasıyla yazılır.

```
setup] compassmot
Using external compass[0]
Using external compass[1]
This records the impact on the compass of running the motors. Motors will spin!
Hold throttle low, then raise to mid for 5 sec, then quickly back to low.
Press any key to exit.
measuring compass vs CURRENT
```

Şekil 3.26: Terminal komutları ile bataryanın dâhili pusula üzerindeki etkisi

Komutlar girildikten sonra kumandanın gaz çubuğu orta noktaya getirilip 5 saniye beklenir. Bu sırada motorun döneceği unutulmamalıdır. Ardından aniden gaz çubuğu geri çekilerek sıfır noktasına getirilip herhangi bir tuşa basılarak analiz testi tamamlanır. Burada yapılan iş; bataryaya ani olarak yüklenilerek manyetik alan etkisini artırmak olarak düşünülebilir.

İşlem tamamlandığında Şekil 3.27 ile gösterilen analiz sonuçları ekrana gelecektir. Dikkat edilmesi gereken değer, kırmızı çerçeve ile gösterilen parazit (interference) yüzdelik değeridir. Parazit değeri %20'den az ise mükemmel sonuçtur. Otonom ve Loiter uçuş modları için asgari düzeyde sorun anlamına gelir. Eğer parazit değeri %50'den fazla ise Pixhawk karta manyetik etki eden batarya motor ve benzeri aygutlardan uzak tutulması veya harici pusula kullanılması gerekmektedir.

```
measuring compass vs CURRENT
cur:138 cur:1.98 mot x: 0.8 y:-1.2 z: 0.2 comp x:0.00 y:0.00 z:0.00
thr:193 cur:3.73 mot x:-1.2 y: 3.4 z: 3.2 comp x:-0.02 y:-0.10 z:-0.09
thr:247 cur:5.49 mot x:-1.2 y: 1.6 z: 0.2 comp x:-0.07 y:-0.29 z:-0.14
thr:305 cur:8.62 mot x: 6.9 y: 2.5 z: 4.2 comp x:-0.11 y:-0.41 z:-0.22
thr:386 cur:12.76 mot x: 0.8 y: 9.8 z: 6.2 comp x:-0.11 y:-0.47 z:-0.29
thr:544 cur:30.44 mot x: 2.9 y:18.1 z:17.1 comp x:-0.05 y:-0.50 z:-0.37
thr:544 cur:30.12 mot x: 3.9 y:15.3 z:16.1 comp x:-0.00 y:-0.54 z:-0.43
thr:544 cur:30.15 mot x:-3.2 y:16.2 z:17.1 comp x:0.01 y:-0.56 z:-0.46
thr:701 cur:59.04 mot x:-2.2 y:37.3 z:26.1 comp x:0.04 y:-0.58 z:-0.48
thr:811 cur:59.39 mot x:-15.3 y:52.8 z:39.0 comp x:0.08 y:-0.65 z:-0.57
thr:0 cur:1.57 mot x:-5.2 y:17.1 z: 6.2 comp x:0.09 y:-0.67 z:-0.60

Interference at full throttle is 12% of mag field

Compass
-----
enabled
Mag Dec: 0.0000
Mag off: -101.7447, -78.9975, 45.5623
Motor Comp: Current
Comp Vec: 0.09, -0.67, -0.60

setup] Closed
```

Şekil 3.27: Sapma değerleri

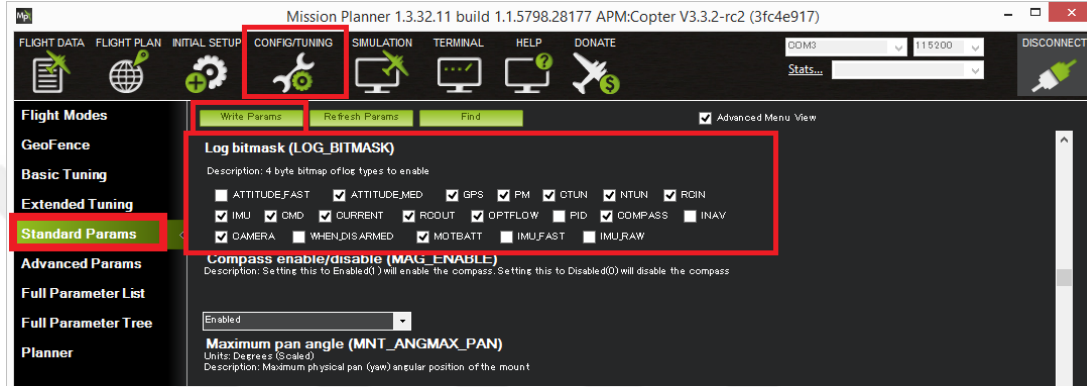
Tez çalışması kapsamında parazit değeri %12 çıkmıştır. Bunun gerçekçi bir değer olmadığını, uçuş esnasında yapılan sapma ölçümlerinde kayda değer bir sapmanın olmaması ile anlaşılmıştır. Dolayısıyla %12'lik parazit değerinin MissionPlanner'ın yazılımsal bir hatası olduğu düşünülmektedir.

3.5.4 Titreşim Testi

Uçuş başarısına doğrudan etki eden titreşim testinin yapılması önemlidir. Özellikle otonom uçuşun can damarı olan Althold ve Loiter modlarının düzgün çalışması için titreşimi ölçümlene ve belirli seviyede tutmak gerekir (Ayvaz, 2014). Pal ayarı,

donanımsal sabitleme, bağlantı noktaları veya yazılım gibi titreşime etki eden çok fazla değişken bulunmaktadır.

Bu test için Pixhawk kart ile MissionPlanner programı bağlanarak ‘StandartParams’ ekranında Şekil 3.28 ile gösterilen adımlar takip edilir. Bu işlem ile veri loglarına, ivmeölçer loglarının da eklenmesini sağlayacak.



Şekil 3.28: İvmeölçer loglarının veri loglarına eklenmesi

Sonraki aşama, helikopterin Stabilize modunda uçurulması ve mümkün olduğunca havada sabit/asılı kalmasının sağlanmasıdır. Böylece grafiği okumak daha rahat olacaktır. Araç iniş yaptıktan sonra karta bağlanılıp MissionPlanner terminal ekranı yardımıyla kaydedilen log dosyası bilgisayara indirilir. Grafik olarak açılan log dosyasında ivmeölçerin X, Y ve Z eksenlerindeki titreşim analizi görülecektir. Burada X ve Y’nin kabul edilebilir değerlerinin ‘-3’ ile ‘+3’ aralığında, Z değerinin ise ‘-15’ ile ‘+15’ aralığında olması beklenmektedir.

Bu testten sonra ‘StandardParams’ sekmesinde yapılan ayarların eski haline getirilmesi önerilir. Zira Pixhawk kartın fazladan log kaydetmesi, işlemciye fazladan yük getirecektir.

Yukardaki analizlerin sonucunda helikopterin titreşimi ideal çalışma aralıklarından fazla ise titreşimi azaltmak için şu yöntemler denenebilir;

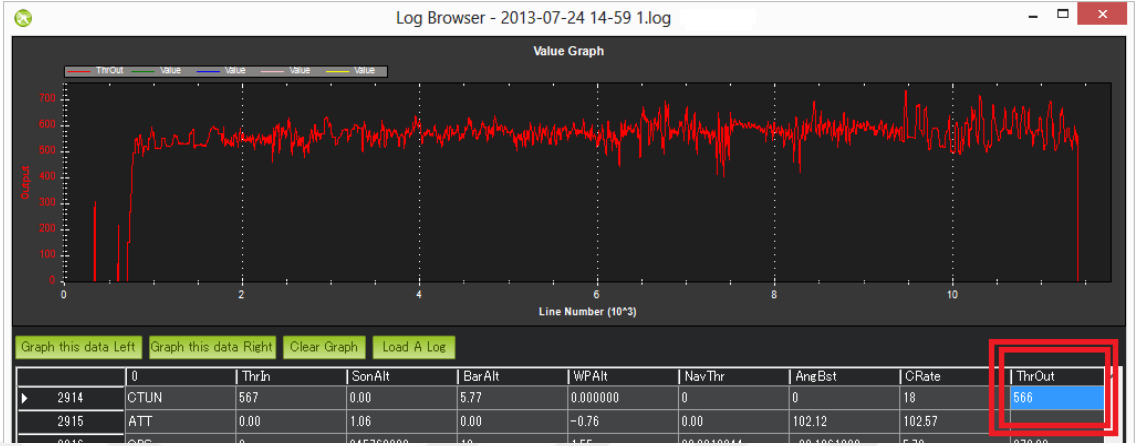
- Pixhawk kartın yalıtımının sağlanması. Çift taraflı süngerimsi bant ve benzeri malzemeler ile sağlanabilir.

- Ana şase ve iskelet aksamının birleşim noktalarının sıkı olduğundan emin olunmalıdır. Ayrıca iskelet yapısının Karbon-fiber gibi sağlam ve dirençli malzemeden üretilmiş olması titreşimi azaltacaktır.
- Motor şaseye, yatayla tam 90 derece olacak şekilde hatasız montelenmiş olması gerekmektedir. Monte esnasında diş atlayarak vidaların sıkılması titreşime sebep olacaktır.
- Pal tutucuların kalitesi titreşime doğrudan etki eden sebepler arasında sayılabilir. Esnek olmayan pal tutucular tercih edilmelidir.
- Pal açısı, pal denge ve pal eşitleme ölçümlerinin gözden geçirilmesi gerekir. Paller arasındaki en küçük hata titreşime doğrudan etki eder.

3.5.5 Gaz Çubuğu

Helikopterin havada asılı/sabit kalabilmesi ve Althold ile Loiter modları gibi otonom uçuşların düzgün çalışabilmesi için gaz çubuğu denge nokta ayarının iyi yapılmış olması gerekmektedir. Gaz çubuğu %50 iken helikopter Stabilize modda havada sabit uçabiliyor olması gerekmektedir. Zira bu yüzdenin altına ya da üzerine çıktığında araç yükselecek veya alçalacağı için Althold modundan çıkacaktır. Bunun önüne geçmek için gaz çubuğunun orta noktası %50 olarak ayarlanmalıdır.

Bu ayar için helikopter ile en az 1 dakika Stabilize modu ile havada asılı kalması sağlanır. Yere iniş sonrasında Pixhawk kart ile MissionPlanner bağlantısı kurulur ve Terminal üzerinden son tarihli log dosyası bilgisayara indirilerek Şekil 3.29 ile gösterilen grafiğe ulaşılır.



Şekil 3.29: Gaz çubuğu orta noktası belirlenmesi

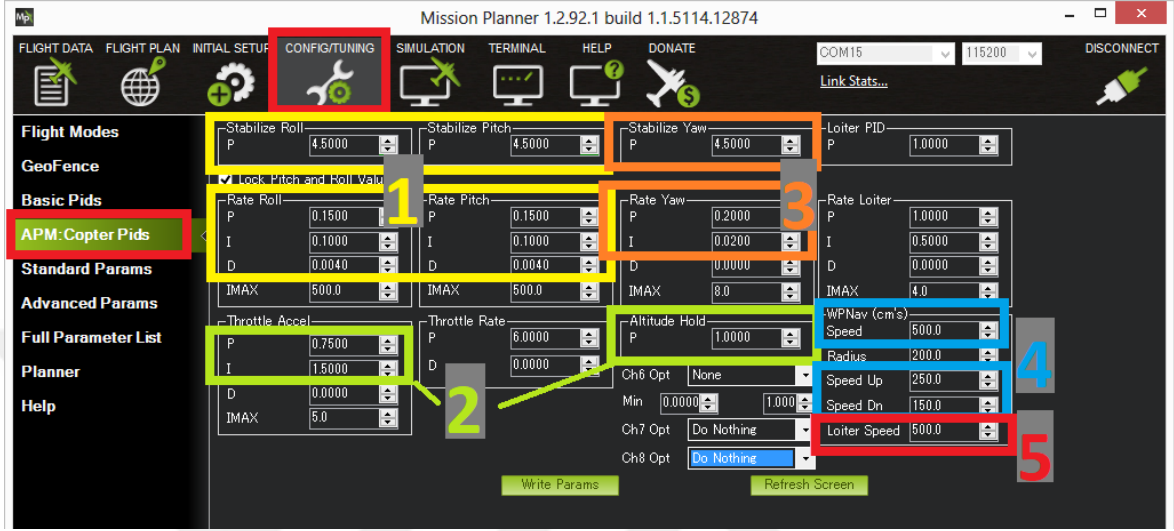
Grafik irdelendiğinde; helikopter havada asılı kaldığı esnada Throttle Out değerinin 566 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Eğer bu değer 400'ün (%40) altında olsaydı bu; helikopterin kalıbına, ağırlığına oranla güçlü bir batarya ve motora sahip olduğu anlamına gelecekti. Dengeye getirmek için ise motoru küçültmek ya da fazladan ağırlık eklemek gibi tedbirler gerekecekti. Tersi durumda (%65-%70 üzeri) olsaydı; zayıf bir helikopter olarak değerlendirilip motor-batarya iyileştirmesi veya ağırlığının azaltılması gibi çözümlere başvurulacaktı.

Analiz sonrası, Throttle Out değeri (566) 'StandardParams' arayüzünde 'ThrMID' kısmına yazılır ve Pixhawk karta kaydedilir. Böylece helikopterin gaz çubuğu %50 iken havada asılı kalabilmesi, bir sonraki uçuşta sağlanmış olur.

3.5.6 PID Ölçüleme (PID Tuning)

Daha önce 'Pixhawk Değişkenleri' başlığı ile PID çalışma sistemi ayrıntılı incelenmişti. Bu bölümde ise PID ayarlarının MissionPlanner yardımıyla düzenlenmesi anlatılmıştır. Motor ve servoların kumandadan gelen komuta ne hassasiyetle uyacağı ve istenilen dönüş oranı ile gerçek dönüş oranlarının uyumu bu başlık altın incelenmiştir. PID ayarları otomatik olarak yapılabileceği gibi el ile de yapılabilmektedir.

El ile PID değişkenlerinin ayarlanması Şekil 3.30 ile gösterilen ‘CopterPIDs’ sekmesi altında yapılmaktadır.



Şekil 3.30: PID değişkenlerinin ayarları

Sarı renkle gösterilen 1 numaralı bölümde Rate değişkeni; istenilen devir verisini, yunuslama(pitch) ve yalpalama(roll) servolarının dönüş oranına çeviren önemli bir değişkendir. ‘Stabilize Roll’ ve ‘Stabilize Pitch’ ise ‘Rate’ aracına veri gönderir ve hedeflenen döndürme açısını hedeflenen döndürme oranına çevirmektedir. Yalpalama/yunuslama hassasiyeti fazla olması isteniyorsa bu değer kademeli olarak yükseltilmelidir. Fakat bu değer çok artırılırsa titremeye sebebiyet verir. Çok azaltılması ise helikopterin komutlara duyarsız olmasına neden olur.

Yeşil renkle çerçeveselenen 2 numaralı kısımda yükseklik değişkeni ayarlanmaktadır. Altitude P değeri artırıldığında irtifa duyarlılığını artırarak helikopterin yükselirken daha agresif olmasına, hatta ani sıçramalar yapmasına neden olabilir. ‘ThrottleAccel’ değerleri ise ivmelenme hatalarını motordan alınan gerçek değerin formatına çevirerek hataları tolere eder (Ayvaz,2014).

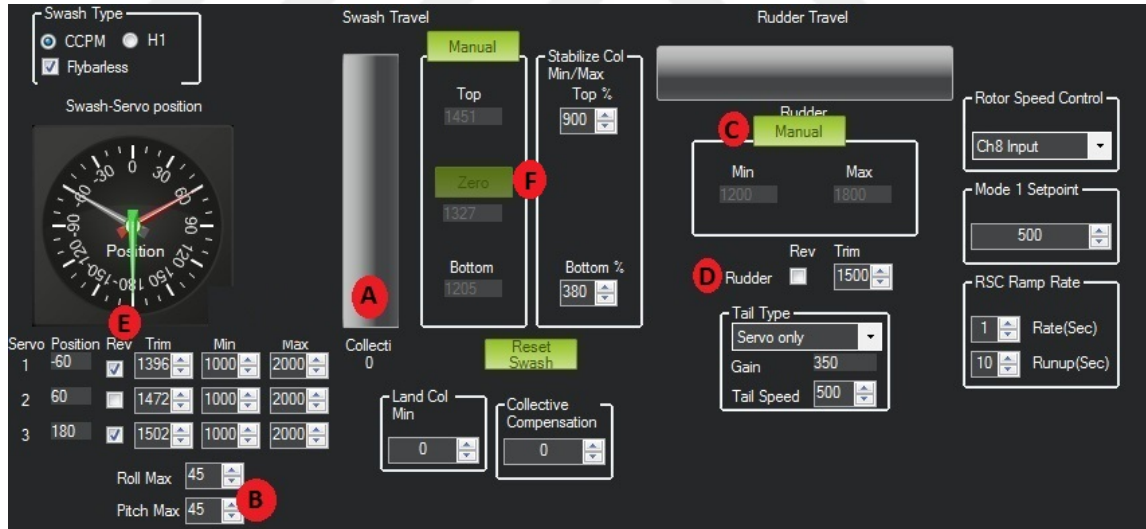
Turuncu renkle gösterilen 3 numaralı bölümde Yaw Stabilize ve Rate değişkenleri bulunmaktadır. Yaw, sapma manevrası değişkeni diğer değişkenlere nazaran daha kısa

sürede bulunur. Bu değerlerin yüksek olması da titreşime neden olurken, değerlerin düşük olması da helikopterin kuyruğunun sabit kalamaması ve sürekli yön değiştirmesine neden olur.

Kırmızı renkle çerçevesiz 5 numaralı kısımda bulunan Loiter ölçümlemesine; yunuslama/yalpalama ölçümlemesi iyi yapılmış, GPS ve pusula başarılı çalışıyor, titreşim miktarı makul bir oranda ise fazladan bir ölçümlemeye gerek duyulmaz.

3.5.7 Helikopter Özelinde Ayarlamalar

MissionPlanner programı ve Pixhawk kartı çok çeşitli hava araçları için kullanılan yazılım ve karttır. Uygulama bölümünde; Pixhawk kart ve helikopterin, MissionPlanner programı ile anlatılan ayarların dışında kalan ve sadece helikoptere özel olan ayarlar bu başlık altında detaylandırılmıştır.



Şekil 3.31: Helikopter özelindeki ayarlar ekranı

Çok rotorlu hava araçlarında kullanılmayan servolar; helikopterde pallere açı kazandırarak helikoptere yön vermek için kullanılır. Servo ayarlarının doğru yapıldığından emin olmak için aşağıdaki yöntemler gözden geçirilmelidir;

- Kumanda ölçümlemesinin (kalibrasyonunun) doğru yapıldığından emin olunmalı. Gaz kolu ileri-geri hareket ettirildiğinde Şekil 3.31 'de 'A' ile gösterilen Collective çubuğunun da eş zamanlı hareket etmesi gerekmektedir.
- Collective çubuğunun hareketi esnasında her bir servonun doğru yönde hareket ettiğine bakılmalıdır. Ters yönde hareket eden var ise Şekil 3.31 'E' ile zıt yönde hareket etmesi için ayarlanır.
- Servoların yalpa tablasını (Swashplate) yatayla paralel olacak şekilde tutması için ayarlanmış olmalı. Şekil 3.2'de gösterilen yalpa tablası dengeleyici aparatı bu ayar için kullanılır. Hassas ayar ise Şekil 3.31 'B' ile gösterilen kısımdan yapılabilir.

Şekil 3.31 'C' butonuna basarak yapılan servo ayarları ayarlanır ve kumanda komutları doğrudan servolara iletilir.

Yalpa tablasının dönüş sınır ve limitlerinin belirlenmesi de uçuş kararlılığı bakımından önemlidir. Eğer servo ile yalpa tablası bağlantısı fazla geniş ayarlandıysa, BallLink'ler el ile istenilen miktarda azaltılır ya da artırılır.

Şekil 3.4'de verilen dijital ölçüm aparatı yardımıyla; pallerin yere göre açısı sıfır olarak ayarlandığında 3.31 'F' butonuna basarak, pallerin sıfır noktasının belirlenmesi işlemi gerçekleşir. Fakat helikopter hava farklı bir moda geçtiğinde fazladan bir yükselişe ihtiyaç duymaması için ve uçuş kontrolü bakımından bu açının 2° veya 3° olarak sabitlenmesi önerilir.

Kuyruk hareketini kontrol eden servo ise 'Rudder' servosudur. Kumandanın yaw kolu sağa çekildiğinde kuyruk sola(yani burun sağa), sola çekildiğinde ise kuyruğun sağ yönde dönmesi beklenir. Eğer tersi bir dönüş söz konusu ise 3.31 'D' butonuna basarak zıt yönde hareket etmesi sağlanır.

Bu çalışmada, Pixhawk karta gelen gaz sinyali 3. girişe bağlanmıştır. Fakat uçuşa hazır olma/olmama (arm/disarm) durumu için gaz sinyalinin 8. giriş kanalında da bağlı olması gerekmektedir. Pixhawk kartın motor hızını kontrol edebilmesi için gaz sinyali çoğaltılmış ve 8. girişe de bağlanmıştır.

3.5.8 Sanal ve Gerçek Uçuş Denemeleri

Sanal Uçuş Denemesi: Bilindiği gibi Pixhawk kart üzerindeki her öge değiştirildiğinde, yeni donanım/aparat takıldığında veya çıkartıldığında ve yeni ölçümler yapıldığında bir sonraki uçuşa uygun olup olmadığı tekrar tekrar kontrol ve test edilmesi gerekmektedir. He ne kadar tüm ayarların tam yapıldığı düşünülse de canlı uçuş yapılmadan hatalar ortaya çıkamaz. Fakat test uçuşları genelde kırım veya beklenmedik başka sorunlara hatta yaralanma bile sebep olmaktadır. Bu da fazladan maliyet ve zaman anlamına gelmektedir.

Her bir ölçümleme/ayar değişikliği için ayrı ayrı gerçek uçuş denemesi yapılması gerektiğinden; bol zaman, yeterince geniş alan (min 100mt x 100mt) ve uygun hava koşulları gibi her zaman bir arada bulunmayan parametrelere ihtiyaç duyulur. Bu sebeplerden dolayı gerçek uçuş denemelerini asgariye çekmek için Pixhawk kart üzerinde yapılan değişikliklerin sanal ortamda denenmesi önerilmektedir.

Tez çalışmasında, MATLAB, XPlane, Xpc, RealTime ve Phoenix gibi sanal uçuş denemeleri yapılabilecek birçok yazılım incelenmiştir. Çalışmanın başlarında MATLAB kütüphaneleri (MATLAB Library) ile Pixhawk kartın Simulink ile bire bir modelinin çıkartılması düşünülmüştü. Fakat MATLAB kütüphanelerinin birbirleri ile uyumlu çalışmasının sağlanması ve Pixhawk kartın simülasyon ortamında modellenmesi tahmin edilenden daha fazla zaman alacağı öngörülememi. Bu yüzden MATLAB yerine Phoenix yazılımının STIL yöntemi ile Pixhawk kartın birlikte kullanımı uygun görülmüştür. Bu kullanım Uygulama bölümü içinde ayrıntılı incelenmiştir.

Phoenix simülatöründe gerçekleşen denemeler, Pixhawk kartta yapılan ayar değişiklikleri ve firmware(bellenim) değişikliklerinden ibarettir. Dolayısıyla Pixhawk kartın dâhili donanımların ve harici algılayıcıların (Sonar, Compass, GPS vb.) ne kadar başarıyla çalıştıkları ancak gerçek uçuş denemeleri ile anlaşılabilir. Phoenix'in, dünyanın herhangi bir noktasına uçulmuş gibi gerçek GPS bilgisi göndermesi, çalışmanın en çok faydalanılan kısmı olsa da, bağlı olan algılayıcıları taklit ederek sanal veriler gönderdiği unutulmamalıdır.

Phoenix yazılımı ile kurulan SITL metodu, helikopteri tam anlamıyla simule edemediği veya desteklemediği için detaylı deneme gerçekleştirilememiştir. Yapılan sanal uçuş denemelerinde programın, kumandadan gelen komutlara geç tepki göstermesi ve uçuş esnasında helikopterin verdiği tepkilerin gerçek uçuş dinamiklerine aykırı olduğu gözlemlenmiştir. Sanal uçuş dinamiklerinin ikna edici olmaması neticesinde, Pixhawk kartta yapılan ayar değişikliklerinin sonuçları net olarak anlaşılammıştır. Sonuç olarak SITL yöntemi ile Pixhawk kartta yapılan değişiklikler sanal uçuş ile anlaşılamadığından gerçek uçuş ile ayar değişikliklerinin sonuçları test edilmiştir.

Gerçek Uçuş Denemesi: Önceki bölümde anlatıldığı üzere sanal uçuş denemesi Phoenix programı vasıtasıyla yapılarak, Pixhawk kartın davranışları kısmen test edildi ancak karta bağlı donanımların/algılayıcıların testleri yapılamamıştı. İvmeölçer, pusula, barometre gibi donanımların MissionPlanner ile ölçümlenip testleri yapılmıştı. Fakat bu algılayıcıların bir arada ve uyumlu/uyumsuz çalışmaları neticesinde beklenmedik olası hatalar, ancak gerçek uçuş ile ortaya çıkabilecektir. Tabi gözden kaçan etkenler ve manyetik kirlilik gibi çevresel etkilerin sonuçlarının anlaşılması da yine gerçek uçuşu mecbur kılar.

Sanal uçuş verileri, ölçümleme ve denemeler ne kadar mükemmel olmuşsa da göz ardı edilen birçok ayrıntının fark edilmesi bakımından gerçek uçuş önemlidir. Bu sebeple onlarca gerçek uçuş denemesi yapılmış ve defalarca kırım olmuştur. Fakat helikopterin belli bir rota üzerinde otomatik uçuşu için birçok kıymetli veriler toplanmıştır.

Öncelikle, PID değerlerinin helikopterin uçuş dinamikleri üzerindeki etkisi olmak üzere, helikopter üzerindeki donanımların uçuş koşullarına göre ne şekilde sorunlar oluşturduğu gibi gözlemler yapılmıştır. Bu donanım ve algılayıcıların birbirleri ile uyum içinde çalışması için nelere dikkat edilmesi konusunda önemli bilgiler edinilmiş ve tez içeriğine ayrıntılı olarak aktarılmıştır.

Çalışma kapsamında yapılan son gerçek uçuş denemesinde; helikopter Stabilize modda kumanda ile yaklaşık 4 metre yüksekliğe çıkartılmış ve GPS sabitlenmesi görüldüğü anda kumanda üzerinde tanımlı olan 'AltitudeHold' anahtarı açılarak AltHold moduna geçmiştir. Bu mod ile sabit hızla yaklaşık 2 metre daha yükselerek beklendiği gibi irtifasını başarıyla sabitlemiştir.

Otonom uçuşun en önemli adımı olan Althold modu başarıyla tamamlandıktan sonra Loiter moduna geçiş esnasında ciddi bir kırım yaşanmıştır. Projenin devam edebilmesi büyük maliyetler gerektirmesi sebebiyle bu noktaya kadar yapılan tüm araştırmalar, edinilen tecrübe ve bilgiler geriye dönük dokümanlar haline hazırlanmıştır.

Daha önceki testler düşük irtifada gerçekleştiği için nispeten daha az hasarlı küçük kırımlar da yaşanmıştı. Büyük kırımların önüne geçmek ya da kırımları azaltmak için 'Gerçek Uçuş için Uyarılar' başlığındaki tedbirlerin incelenmesi önemlidir.

Gerçek Uçuş için Uyarılar: Her gerçek uçuş denemesinin riskler içerdiği unutulmamalıdır. Bu tez çalışması kapsamında kullanılan ve '600 modeli' olarak adlandırılan, her bir palinin uzunluğu 60 cm olan helikopterin yaratacağı yaralanma riski hafife alınmamalıdır. Zira bu paller 3000 rpm hızlara ulaşabilmekte ve yaralanmanın ötesinde can kayıplarına bile neden olabilmektedir. Bu nedenle uçuş denemesi yapılacak alanda izleyenlere gerekli uyarılar yapılmalı ve en az 30 metre uzağında olmaları gerekmektedir.

Diğer yandan helikopterin en az hasarla testleri tamamlayabilmesi de önemlidir. Bu sebeple uzun uçuşa hazır olmadan yapılan testlerde helikoptere eğitim ayakları takılmalıdır. Bu eğitim ayakları helikopterin düşük irtifadaki testleri yapılırken beklenmedik şekilde yan yatıp parçalanma ihtimalini en aza çekmektedir. Kırım maliyetini azaltmak için bu en çok tercih edilen yöntemdir.

Fiziksel tedbirlerin yanında Pixhawk için uçuş öncesi yapılmış olması beklenen güvenlik kontrolleri ise;

- Radyo Kumanda ölçümlemesi yapıldı,
- İvmeölçer (Accelerometer) ölçümlemesi yapıldı,
- Pusula doğru ve sağlıklı ölçüm veriyor,
- Pusula sapması kabul edilebilir değerlerde ve 'CompassLearn' aktif,
- Barometre çalışıyor,
- GPS kilitleme için yeterli uydu sayısına ulaştı (HDOP<150),
- Pixhawk kartın gerilimi 5 volt dolaylarında,
- 7. ve 8. Kanallar ayarlandı,
- Hava aracının en fazla kaç derece ile yunuslama ve yalpalama yapacağı AngleMax ayarlandı (20<Heli<70),
- Kumanda komut çubuklarının alt ve üst değerleri 1200 ile 1800 aralığında olmalı

Tüm bu kontroller yapılmış ise helikopter uçuşa hazır (Arm) haldedir. Bu işlemler esnasında bir hata oluşuyorsa Pixhawk kart üzerindeki kırmızı lamba yanıp sönmeye başlar. Sorunun tespiti için kart USB veri yolu ile bilgisayara bağlanır ve MissionPlanner programının HUD ekranı takip edilerek tekrar denenir. Arm olmasına engel olan sorun bu ekranda görüntülenecektir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Helikopterin belli bir rota üzerinde otonom uçuşu için farklı bir yaklaşım geliştirme adımlarının bir kısmı hedeflendiği gibi neticelenmemiştir. Bu hedeflerin bazıları ek maliyet, bazıları ise hem uzmanlık alanı hem de daha fazla zamana gereksinim duyduğundan gerçekleşmemiş veya gerçekleştirilememiştir. Ek maliyet ve daha fazla zamana ihtiyaç duyulan hedef; helikopterin otonom uçuşu. Uzmanlık alanı ve zamana ihtiyaç duyulan hedef ise; simulasyon sistemi olarak MATLAB'dan faydalanılmasıydı.

Sanal uçuş denemeleri için MATLAB'ın çalışma kapsamında kullanılmak istenmesinin sebebi Pixhawk kartın tüm devre tasarımının modelinin oluşturulmasıydı. Fakat bunun başlı başına bir araştırma konusu ve uzmanlık gerektirdiğinden MATLAB'da modelleme yöntemi kullanılamamıştır. MATLAB yerine kullanılabilir simülatörler araştırılmış ve alternatif olarak Yöntem bölümünde incelenen Phoenix simülatörü uygun bulunmuştur.

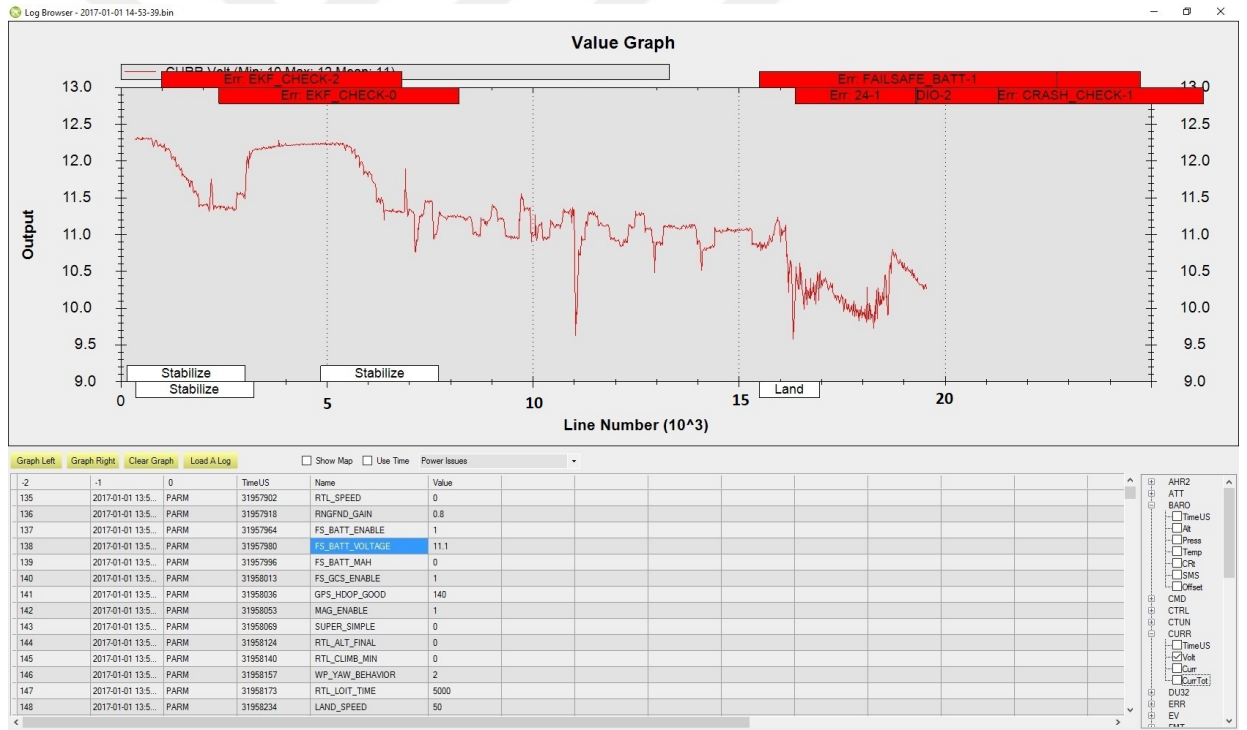
4.1 Belli Bir Rota Üzerinde Helikopterin Otonom Uçuşu

Çalışmanın başındaki amaç; belli bir rota üzerinde helikopterin otonom uçuşunun sağlanması şeklinde oluşturuldu. Ancak denemeler esnasında otonom uçuş için zorunlu olan Loiter moduna geçiş esnasında yüksek maliyetli bir kırım yaşanmış dolayısıyla otonom uçuş gerçekleşmemiştir. Büyük kırım kadar gerçekleştirilen tüm uçuşların log kayıtları analiz edildiğinde algılayıcıların kalibrasyonu ve ayarlarında kısmen başarı sağlanmıştır. Fakat son kırımın ardından yapılan enkaz incelemesinde, servolar ile yalpa tablası arasındaki bağlantı çubuğunun (BallLink) yerinden çıkmış oldu görülmüş, bu durum; kırımın yazılımdan ziyade mekanik bir aksaklıktan kaynaklandığı şüphesini doğurmuştur. Diğer yandan log analizleri neticesinde kırımın sebep olan diğer etkenler MATLAB ortamında incelenmiştir. Projenin en başa dönmesi ek maliyet ve daha fazla zaman gerektirdiğinden çalışma, elde edilen bilgilerin tez dokümanına eklenmesiyle bu noktada sonlandırılmıştır.

4.1.1 MATLAB ile Kırıma Etki Eden Diğer Nedenlerin Analizi

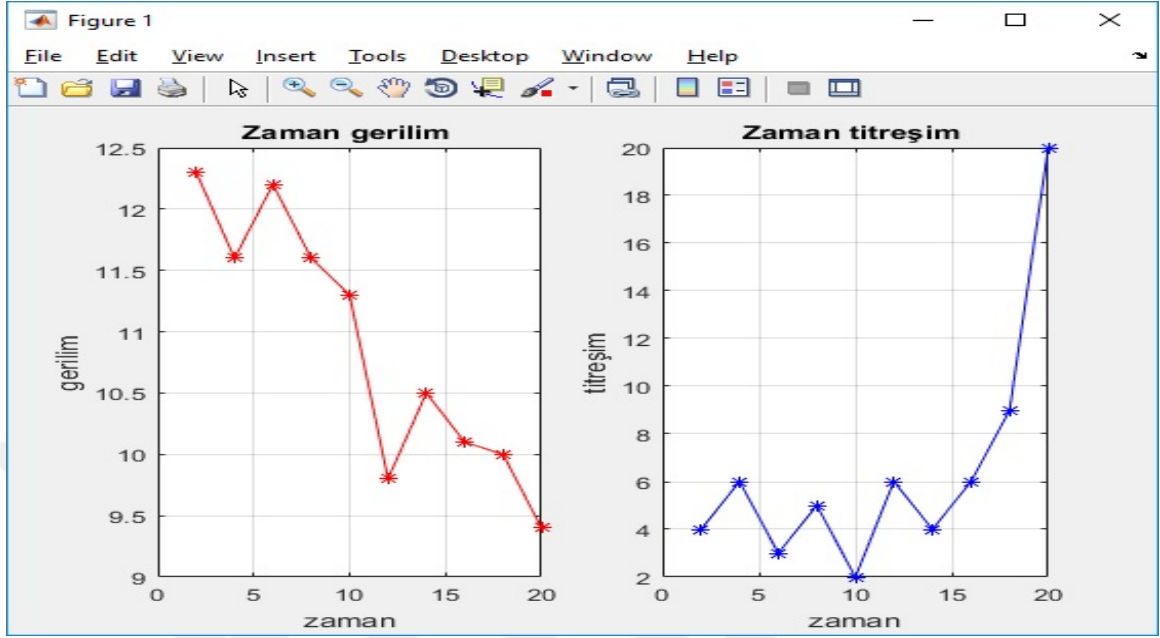
Mekanik etkenlere bağlı olarak tez çalışmasının uygulama aşaması yarım kalmış olsa da, motor titreşimine etki eden başka etkenler aranmış ve motorun kullandığı anlık gerilimin (Volt) irdelenmesi düşünülmüştür. Bunun için MATLAB ortamında ‘Curve Fitting’ (Eğri Uydurma) algoritması kullanılmıştır. Amaç; kırıma neden olan motordaki titreşim ile anlık gerilim değerleri arasındaki bağı ortaya çıkarmak olarak hedeflenmiştir.

Bunun için Mission Planner üzerinden ilk kalkıştan kırıma kadar kayıt altına alınan Şekil 4.1’deki gerilim değerlerinin bir kısmı, MATLAB’da Curve Fitting algoritması vasıtasıyla bir eğri olarak görsellendi.



Şekil 4.1: Kırım anına kadar kayıt altına alınan gerilim değerleri

Aynı algoritma Ek-2 ile verilen kırım öncesi titreşim log kaydı analizi üzerinden alınan titreşim verileri için de yapıldı. Böylece MATLAB ortamında Curve Fitting algoritması ile oluşturulan gerilim-zaman ve titreşim-zaman grafikleri Şekil 4.2’deki gibi oluşmuştur. Bu algoritmanın kodu Ek-3 ile verilmiştir.



Şekil 4.2: Curve Fitting algoritması ile gerilimin zamana göre titreşim üzerine etkisi.

Grafikler analiz edildiğinde gerilim değeri düşme eğilimine girdiğinde titreşim değerinin arttığı gözlenmektedir. Elektriksel güç formülünden ($P=I.V$) hareketle, gerilim azaldığı için, motorun ihtiyacı olan güç değerini sağlayabilmek adına daha fazla akım çektiği tahmin edilmektedir. Bunun da; kırılma neden olan motor titreşimini tetiklediği sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte Li-Po bataryanın yeterli kalitede olmamasının, uçuşa doğrudan etki eden bir parametre olduğu da net olarak ortaya konmuştur.

4.2 Sonuçlar

Literatür araştırıldığında sabit palli ve döner palli (multikopter, helikopter) İnsansız Hava Araçlarında başarılı görevlerin gerçekleştirilmiş olduğu görülmektedir. Bu çalışmalarda helikopter denemelerinin az olması ve çoğunlukla sabit kanatlı veya çok rotorlu araçlar üzerinde çalışıldığı sonucuna varılmıştır. Helikopterin diğer hava araçlarına göre daha atik ve manevra kabiliyetinin daha yüksek olması, sabit kanatlı hava araçlarında bulunmayan havada asılı kalma ve dikey iniş-kalkış yapma, çok rotorlu araçlarda olmayan hız ve atiklik avantajları helikopterde bulunmaktadır. Tüm bu

avantajlarından dolayı helikoptere otonom uçuş özelliği kazandırılması, çalışma konusunu oluşturmuştur.

Ön çalışmalarda, literatür araştırması ile birlikte internet ortamındaki RC forum sayfalarında İnsansız Hava Araçları ile ilgili mevcut çalışmalar incelenmiştir. Buna dayanarak hava araçlarına pratik bir şekilde uçuş kartı ve harici algılayıcılar takılarak kısa sürede otonomi kazandırılacağı düşünülmüştür. Ancak birleşim sürecinde helikoptere otonom özelliği katmanın diğer hava araçlarına göre daha zor olduğu ve bu alanda detaylı bir çalışmanın yapılmamış olduğu neticesine varılmıştır. Helikopterin diğer hava araçlarına göre daha kararsız bir uçuş dinamiğine sahip olması, çok sayıda parametrenin ve donanımın doğru seçilmesi ve ayarlarının hatasız olması gerekmektedir. Uygulama bölümünde, Ölçümleme ve Sınama başlığında ayrıntılı anlatılan bu işlemler; ek maliyet ve öngörülenden daha fazla zaman gerektirmiş, helikoptere otonomi kazandırmanın tahmin edilenden daha karışık ve çok sayıda deneme gerektiren bir süreç olduğu anlaşılmıştır. Bu süreçlerin sonunda helikopterin hem manuel hem de otomatik mod ile uçuşu gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında; helikopterin otonom uçuşu adına AltHold modunda uçuş gerçekleştirilmiştir. Helikopter el ile belli bir yüksekliğe çıkartılmış ve GPS kilitlenmesi sağlandığında, AltitudeHold moduna alınarak helikopter otomatik olarak yüksekliğini GPS'den aldığı bilgiler doğrultusunda sabitlemiştir. Loiter moduna geçiş esnasında ise kırım meydana gelmiştir. Yaklaşık 4 dakika süren bu uçuşun log analizi yapıldığında; AltHold modu süresince motor kaynaklı titreşimin üst sınırlarda seyrettiği tespit edilmiş, bu titreşim yalpa tablasını tutan Ballink'lere orantısız güç gösterdiği ve bu bağlantının yerinden çıkarak kırıma neden olduğu sonucuna varılmıştır. Bu log analizi EK-2 ile gösterilmiştir.

Sorunlar zinciri motor ölçümlemesinin iyi yapılmamasından başlamaktadır. Titreşim değerlerinin başarısızlığı uçuş sırasında gözle fark edilebilecek bir etki göstermemiştir. Helikopterde her uçuş sonrası ve her uçuştan önce kontrol edilmesi gereken çok sayıda

parametre bulunmaktadır ve bazen bu kafa karışıklığına yol açabilmektedir. Bunlardan biri olan 'BallLink' bağlantısının sağlamlığı son testte kontrol edilmediğinden motorun yarattığı etki ile yerinden çıktığı sonucuna varılmıştır.

Diğer yandan uçuşta aksaklığa neden olan motor değerlerinin beklenenden kötü olması, motorun, Li-Po bataryanın ve kullanılan ESC'nin yeterli kalitede olmamasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte Pixhawk kartın motor ölçümlemesini iyi yapamamış olması da; kartın halen gelişim aşamasında ve piyasadaki bütün ESC'leri destekleyememesinden kaynaklanmaktadır.

Görev akış çetelesine göre otonom uçuşun ilk gereği olan AltHold modunda otomatik uçuşun gerçekleşmiş olması bir kazanımdır. Belli bir rota üzerinde otonom uçuş için harcanan süreçte, yeterince fazla zamana ve yüksek bütçeli kaliteli malzemelere ihtiyaç vardır. Tez çalışmasının temel sorunları olarak karşımıza çıkan etkenler; elektrik, elektronik, yazılım ve helikopter dinamikleri gibi farklı uzmanlık alanlarında bilgi sahibi olma gerekliliği, helikopterin otonomisi üzerine yeterince kaynak ve çalışmanın yapılmamış olması, kullanılan donanımın yurtdışından getirilmesi ile oluşan zaman kaybı ve çalışma maliyetinin yüksek bütçelere ulaşmasıdır.

İlerleyen zaman diliminde NUBS (NonUniform Rational Bspline) algoritması kullanılarak helikopter otonomisinin başarıyla sağlanması, daha kararlı ve daha akıcı bir uçuşun sağlanabilmesi hedeflenmektedir. NURBS algoritması, geleneksel ve tek amaçlı optimizasyon yazılımlarıyla ele alınamayan devreleri modelleyen çok amaçlı bir optimizasyon yöntemidir (Ülker, 2010). Böylece planlanan rota üzerinde helikopterin otonomisi testlerinde daha az kırım yaşanabilecektir. Bir diğer hedef ise; helikopterin otonomisi sırasında beklenmeyen bir sebeple belirlenen rotanın dışına çıktığında, kalan yolun hesaplanarak en kısa ve en uygun maliyetle yeni rotanın seçilip görevi tamamlaması hedefidir. Bunun için DSPA (Dijkstra's Shortest Path Algorithm) algoritmasının kullanılması ve bellenime (firmware) eklenmesi düşünülmüştür. Bu algoritmaların sisteme entegre edilmesi üzerinde halen çalışmalar devam etmektedir.

Bu tez çalışması, helikopterin çalışma yöntemi, uçuş dinamikleri, ona otonomi kabiliyeti kazandıracak uçuş kartının incelemesi, birleşim aşamaları ve ayarlarının detaylı anlatımı gibi oldukça geniş bir içeriğe sahip olmuştur. Bir helikopterin ilk kurulumundan otonom uçuşuna kadar geçen tüm süreç, edinilen tecrübeyle beraber bir yol haritası şeklinde sunulmuştur.

İnsansız Hava Aracı teknolojisi günden güne gelişmekte ve gelecekte birçok alanda bu araçları görmemiz kaçınılmaz olacaktır. Otonom helikopter ise diğer hava araçlarına göre gelişime daha açık bir sektör olduğu su götürmez bir gerçek olarak kalacaktır. Otonom uçuşun kullanım alanları arttıkça, sürekli kendini yenileyen otonom uçuş sistemleri sektörüne olan talep daha da artacaktır. Bu talepler doğrultusunda daha az maliyetli, kullanımı kolay ve kullanıcı geliştirmesine daha açık olan sistemler geliştirilecektir.

Sonuç olarak şu unutulmamalıdır ki; uçmanın getirdiği nimetler insanoğlunu tarihin her döneminde cezbetmiştir. Günümüzde ise havacılığa olan bu ilgi ulaşımdan ticarete, silahlı kuvvetlerden kurye taşımacılığına kadar sayısız kullanım alanına erişmiştir. Her geçen gün beklentilerin daha da arttığı İHA sistemlerindeki her gelişim, daha fazla insana ulaşılmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Franko S., İnsansız Helikopterin Model Öngörülü Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği, İstanbul, 2010

Basaran B. Kocer B., Küçük Ölçekli Bir Helikopterin Modellenmesi ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği, İstanbul, 2014

Kahveci M., Can N., İnsansız Hava araçları Tarihçesi, Tanımı, Dünya ve Türkiye'deki Yasal Durumu, SELÇUK ÜNİVERSİTESİ, Konya, 2017

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

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

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

Castillo M., 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., 2005

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Cai G., Dong, M., Chen, M.B., Peng, M., , 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., 2007

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

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

Ayvaz E., Model Helikopter Üzerinde İnsansız Hava Aracı Otonom Uçuş Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği A.B.D., Konya, 2014

K. D., Hansen, F. Garcia-Ruiz, W. Kazmi, M. Bisgaard, A. la Cour-Harbo, J. Rasmussen, and H. J. Andersen., “An autonomous robotic system for mapping weeds in fields,” in 8th IFAC Symp. On Intelligent Autonomous Vehicles, New Zeland, 2013.

Qadir, W. Semke., and J. Neubert, “Implementation of an onboard visual tracking system with small unmanned aerial vehicle (UAV),” Int. J. of Innovative Technology and Creative Engineering, 1(10), pp. 17 - 25, 2012.

T. X., Dao, “Video-guided autonomous pollinator rotorcraft,” Master’s thesis, Dept. Aero. Eng., San Jose State Univ., California, 2013.

G. Blackwell, D. Lucock, H. Moller, R. Hill, J. Manhire, and M. Emanuelsson, “Abundance and diversity of herbaceous weeds in sheep/beef pastures, South Island, New Zealand,” NZ J. Of Agricultural Research, 54(1), pp. 53 – 69, 2011.

URL Kaynakları

URL-1: <http://mydroneland.com> (Son erişim tarihi: 02.02.2019)

URL-2: <https://www.youtube.com/watch?v=-T9GylOifm0> (Son erişim tarihi: 10.01.2019)

URL-3: <http://www.defenceturk.com> (Son erişim tarihi: 09.10.2018)

URL-4: <https://www.elektrikport.com/universite/pid-denetleyiciler/11787#ad-image-0> (Son erişim tarihi: 05.05.2019)

URL-5: <http://www.precisionag.com/specialty-crops/riseof-the-ag-drones> (Son erişim tarihi: 25.05.2019)

URL-6: <https://www.rckolik.com> (Son erişim tarihi: 26.09.2018)

URL-7: <http://ardupilot.org/copter/docs> (Son erişim tarihi: 18.04.2019)



EKLER

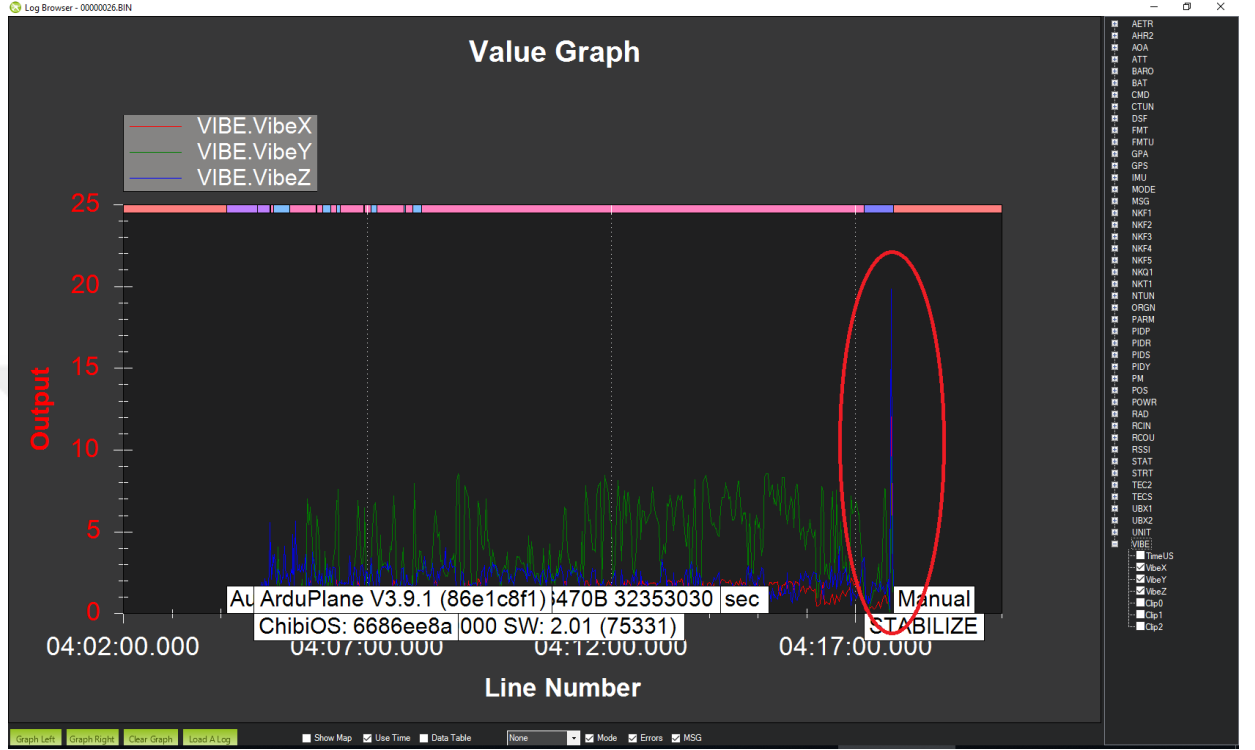
EK-1: Pixhawk Kart Tüm Değişkenleri

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_MINSA TS	INAV_TC_Z	RC7_REV	AHRS_GPS_USE
INS_ACCOFFS_X	RC7_TRIM	AHRS_ORIENTATI ON	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_MA X	INS_MPU6K_FILTE R
RCMAP_THROTTL E	ARMING_CHECK	INS_PRODUCT_ID	RCMAP_YAW
BATT_AMP_OFFSE T	LAND_SPEED	RELAY_PIN	BATT_AMP_PERVO LT
LED MODE	RSSI_PIN	BATT_CAPACITY	RTL_ALT
BATT_CURR_PIN	LOITER_LAT_D	RTL_ALT_FINAL	BATT_MONITOR
LOITER_LAT_I	RTL_LOIT_TIME	BATT_VOLT_MUL T	LOITER_LAT_IMA X
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_IMA X
SONAR_GAIN	CAM_TRIGG_DIST	LOITER_LON_P	SONAR_TYPE
CAM_TRIGG_TYPE	MAG_ENABLE	SR0_EXT_STAT	CH7_OPT
MNT_ANGMAX_P AN	SR0_EXTRA1	CH8_OPT	MNT_ANGMAX_R OL
SR0_EXTRA2	CIRCLE_RADIUS	MNT_ANGMAX_TI L	SR0_EXTRA3
CIRCLE_RATE	MNT_ANGMIN_PA N	SR0_PARAMS	COMPASS_AUTOD EC
MNT_ANGMIN_RO L	SR0_POSITION	COMPASS_DEC	MNT_ANGMIN_TIL
SR0_RAW_CTRL	COMPASS_EXTERN AL	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	FLTMODE3	OF_RLL_D	SYSID MYGCS
FLTMODE4	OF_RLL_I	SYSID_SW_MREV	FLTMODE5
OF_RLL_IMAX	SYSID_SW_TYPE	FLTMODE6	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_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	GPSGLITCH_ACCEL
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 SV3 POS
H SV1 POS	RC11 REV	H SV2 POS	RC11 TRIM
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	RC3 MAX
HLD LAT P	HLD LON I	RC3 MIN	HLD LON IMAX
RC3 REV	HLD LON P	RC3 TRIM	RC4 DZ
HS1 DZ	HS1 MAX	RC4 MAX	RC4 MIN
HS1 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-2: Motor Titreşiminin Kırım Öncesi Log Analizi



EK-2: Motor titreşiminin kırım öncesi log analizi

Ek-3: MATLAB ile oluşturulan Curve Fitting Algoritması

```
zaman=[2,4,6,8,10,12,14,16,18,20];  
gerilim=[12.3,11.6,12.2,11.6,11.3,9.8,10.5,10.1,10,9.4];  
titresim=[4,6,3,5,2,6,4,6,9,20];  
subplot(1,2,1)  
plot(zaman,gerilim,'r-*')  
xlabel('zaman')  
ylabel('gerilim')  
title('Zaman gerilim ')  
grid on  
subplot(1,2,2)  
plot(zaman, titresim,'b-*')  
xlabel('zaman')  
ylabel('titreşim')  
title('Zaman titreşim ')  
grid on
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Alper AYHAN
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya - 09.08.1986
Telefon : 555 419 4088
Faks : -
e-mail : alper.aayhan@gmail.com

EĞİTİM

Derece		Bitirme Yılı
Lise	: Atatürk Lisesi, Konya	2004
Üniversite	: KTO Karatay Üniversitesi, Konya	2016
Yüksek Lisans	: KTO Karatay Üniversitesi, Konya	2019
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
3	Çankaya Üniversitesi	Bilgisayar Mühendisi
3	Teknogirişim AŞ	Proje Danışmanı
1	Pusula Sis. Geliştirme Ar-Ge	Yazılım
4	Gürüş Holding, Ankara	Sistem Yöneticisi

UZMANLIK ALANI

İşletim sistemleri, Donanım, Ağ sistemleri, Windows server konfigürasyon, RC uçuş kartları, Elektrikli ve Alternatif enerjili araçlar ve alt bileşenleri.

YABANCI DİLLER

İngilizce (Intermediate)