

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNSANSIZ HAVA ARACI İLE MAYIN TARAMA

ONUR KARA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Tarık YERLİKAYA

EDİRNE-2017

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı



Prof.Dr. Murat YURTCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığımı onaylarım.



Doç.Dr.M.Tolga SAKALLI
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımca (tarafımızca) okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Yrd.Doç.Dr.Tarık YERLİKAYA
Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad):

Yrd.Doç.Dr.Tarık YERLİKAYA

Yrd.Doç.Dr.Ercan BULUŞ

Yrd.Doç.Dr.Deniz TAŞKIN

İmza



Tarih:13/09/2017

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

13/09/2017

Onur KARA



Yüksek Lisans Tezi
İnsansız Hava Aracı ile Mayın Tarama
T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Yapılan araştırmalara göre, ülkemizin jeopolitik yapısı, doğu ve güneydoğu sınırlarındaki mayınlı arazilerin fazlalığı ve terör eylemlerinde mayının kullanımı göz önünde bulundurulduğunda mayın tarama ve etkisiz duruma getirme konusu önem teşkil etmektedir. Mayın tarama işleminin hala insan kullanılarak yapılmasından dolayı askerlerimizin çoğu mayınlı terör eylemleri sonucunda ne yazık ki şehit veya gazi olmaktadır.

Amaç gelişen bilim ve teknoloji kullanılarak, yapılacak olan mayınlı terör eylemlerinde askerlerin yaralanma ve ölüm oranlarını en aza indirmek ve tamamen engelleyebilmektir. Ayrıca insanların veya karadan giden robotların zor arazi şartlarında ulaşamadığı yerlere girerek, o bölgeyi araştırarak dört motorlu bir Multikopter tasarlamaktır. Tasarladığımız sistemde mayın tarama işlemi insan kullanarak değil, insanların kontrol ettiği robotlar ile yapılmaktadır. Kişiler tarafından bizzat yönetilerek ya da belirlenen bir rotada GPS yardımıyla otonom mayın tarama işlemi yapılabilmektedir.

Mayın tarama için hazırlanan robot, insansız hava aracına monte edilen metal dedektörü ile yapılmaktadır. Metal dedektörü istenildiği zaman kolayca takıp çıkarılabilir. Ayrıca mayın tarama ve insansız hava aracının hareketi bütünleştirilerek çok kullanışlı otonom mayın tarama robotu oluşturulmuştur.

Yıl : 2017
Sayfa Sayısı : 64
Anahtar Kelimeler : İnsansız hava aracı, Multikopter, Mayın, Mayın Tarama

Master's Thesis
Mine Scanning with Unmanned Aerial Vehicle
Trakya University Institute of Natural Sciences
Department of Computer Engineering

ABSTRACT

According to studies: regarding the geopolitical structure of our country, the excessive numbers of minefields on the eastern and southeastern borders and usage of mines for terrorist acts, scanning and deactivating mines are quite important. As mine scanning is still carried out by people, most of our soldiers are martyrs or veterans due to mine explosions.

The aim here is to reduce the number of deaths and injuries caused by terrorist attacks- or even to prevent it completely- by using science and technology. Also, we aim to design a four-motor Multicopter that can enter the places which people or land-borne robots cannot reach under difficult terrain conditions. With the help of this project, it will be possible to reach those areas for robots controlled by human beings, rather than by human beings themselves. Autonomous mine scanning can be done by the management of the person himself or by a GPS on a specified route.

The robot designed for mine screening is made of a metal detector mounted on an unmanned aerial vehicle. The metal detector can be easily inserted and removed at any time. In addition, a very useful autonomous mine scanning robot has been created by integrating the mine scanning and the unmanned aerial vehicle.

Year : 2017
Number of Pages : 64
Keywords : Unmanned Aerial Vehicle, Multicopter, Mine, Mine Scanning

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezim boyunca gösterdiği desteklerden ötürü danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Tarık YERLİKAYA'ya çok teşekkür ederim. Ayrıca hayatım boyunca desteklerini hiçbir zamana esirgemeyen ve her zaman yanımda olan nişanlıma ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-----|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT | v |
| ÖNSÖZ | vi |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| KISALTMALAR | ix |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | x |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI..... | 3 |
| 3. MAYINLAR..... | 4 |
| 3.1. Mayın nedir? | 4 |
| 3.2. Mayın kullanımı | 4 |
| 3.3. Mayın Çeşitleri..... | 7 |
| 3.3.1. Anti Personel(AP) Mayınlar | 7 |
| 3.3.2. Anti Tank(AT) Mayınlar | 8 |
| 3.4. Metal detektör | 10 |
| 3.4.1. Darbe indüksiyon yöntemi | 10 |
| 3.4.2. Çok düşük frekans yöntemi | 11 |
| 3.4.3. Darbe frekans osilatörü yöntemi | 12 |
| 4. İNSANSIZ HAVA ARACI | 13 |
| 4.1. İnsansız hava araçlarının tarihçesi | 13 |
| 4.2. Multikopterlerin sınıflandırılması | 14 |
| 4.2.1. Uçuş amacına göre sınıflandırma..... | 15 |
| 4.2.2. Motor sayısına göre sınıflandırma | 16 |
| 4.2.3. Gövde büyüklüğüne göre sınıflandırma | 17 |
| 4.3. Multikopterlerin çalışma prensibi | 17 |
| 4.4. Multikopter için sistem donanımları | 19 |
| 4.4.1. Gövde | 19 |
| 4.4.2. Uçuş Kontrol Kartı..... | 20 |
| 4.4.3. Fırçasız Motor | 22 |
| 4.4.4. Elektronik hız kontrol devresi | 24 |
| 4.4.5. Batarya | 25 |

| | |
|---|----|
| 4.4.6. Pervane | 27 |
| 4.4.7. Kumanda | 27 |
| 4.4.8. Lipo Şarj Aleti..... | 28 |
| 4.4.9. Ekstra Donanımlar | 29 |
| 5. QUADKOPTERİN OLUŞUM AŞAMALARI | 31 |
| 5.1. Quadkopter için gerekli olan parçaların birleştirilmesi..... | 31 |
| 5.2. Otopilot Sistemi..... | 34 |
| 5.3. Uçuş kontrol kartının kurulumu | 35 |
| 5.4. Kalibrasyon Ayarları..... | 36 |
| 5.4.1. İvme kalibrasyonu..... | 36 |
| 5.4.2. Pusula kalibrasyonu | 37 |
| 5.4.3. Kumanda kalibrasyonu..... | 38 |
| 5.5. Uçuş modları | 39 |
| 6. METAL DEDEKTÖR YAPIMI | 45 |
| 7. QUADKOPTER İLE MAYIN TARAMA..... | 47 |
| 8. SONUÇ | 50 |
| 9. KAYNAKLAR..... | 51 |
| 10. ÖZGEÇMİŞ..... | 54 |

KISALTMALAR

AP: Anti Personel

AT: Anti Tank

Pi: Pulse Induction

VLF: Very Low Frequency

BFO: Beat Frequency Oscillator

İHA: İnsansız Hava Aracı

VTOL: Vertical Take-Off and Landing

FPV: First Person View

APM: Ardupilot Mega

IMU: Inertial Measurement Unit

AUW: All Up Weight

ESC: Elektronik Speed Control

PWM: Pulse Width Modulation

BEC: Battery Eliminator Circuit

LiPo: Lityum Polimer

Otopilot: Otomatik pilot

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 3.1. Mayın..... | 4 |
| Şekil 3.2. Dünya üzerindeki kara mayınları haritası | 6 |
| Şekil 3.3. PMN AP Mayını | 8 |
| Şekil 3.4. M16 Mayını | 8 |
| Şekil 3.5. AT mayını | 9 |
| Şekil 3.6. Metal Dedektör Teknolojileri | 10 |
| Şekil 3.7. Pi dedektörü çalışma mantığı..... | 11 |
| Şekil 3.8. VLF dedektörü çalışma mantığı | 11 |
| Şekil 3.9. BFO dedektörü çalışma mantığı | 12 |
| Şekil 4.1. İnsansız Hava Aracı | 13 |
| Şekil 4.2. Quadkopter | 13 |
| Şekil 4.3. Motor sayısına göre Multikopterler | 17 |
| Şekil 4.4. Kaldırma kuvvetlerine göre Quadkopter'in hareketleri | 18 |
| Şekil 4.5. s500 gövde | 19 |
| Şekil 4.6. Ardupilot Mega'nın desteklediği araçlar..... | 20 |
| Şekil 4.7. APM Uçuş kontrol kartı..... | 21 |
| Şekil 4.8. Dji e300 motor | 22 |
| Şekil 4.9. Fırçasız motorun yapısı | 23 |
| Şekil 4.10. Dji e300 ESC | 24 |
| Şekil 4.11. LiPo pil..... | 26 |
| Şekil 4.12. 9450 pervane | 27 |
| Şekil 4.13. Flysky FS-T6 mod 2 tipinde kumanda | 28 |
| Şekil 4.14. İmax B6AC balanslı şarj aleti | 29 |
| Şekil 5.1. APM ile Alıcı bağlantısı..... | 31 |
| Şekil 5.2. APM de motor dizilimi ve bağlantısı..... | 33 |
| Şekil 5.3. Güç modülü..... | 34 |
| Şekil 5.4. Mission Planner programından bir görüntü | 34 |
| Şekil 5.5. APM kurulum ekranı..... | 36 |
| Şekil 5.6. İvme kalibrasyonu | 37 |
| Şekil 5.7. Pusula Kalibrasyonu..... | 38 |
| Şekil 5.8. Kumanda kalibrasyon ayarları..... | 39 |
| Şekil 5.9. Uçuş modları | 40 |
| Şekil 5.10. Auto modu | 41 |
| Şekil 5.11. Guided modu | 42 |
| Şekil 5.12. RTL modu | 44 |
| Şekil 6.1 Metal dedektör devresi | 45 |
| Şekil 6.2 Metal dedektör | 46 |
| Şekil 7.1. Askerler tarafından yapılan mayın tarama işlemi | 47 |
| Şekil 7.2. Quadkopter | 48 |
| Şekil 7.3. Quadkopter ile Mayın tarama cihazı | 49 |

1. GİRİŞ

Dünya genelinde düşmanı caydırmak ve hareket kabiliyetini azaltmak amacıyla kullanılan kara mayınları hem canlılar hem de araçlar için ciddi bir tehlike oluşturmaktadır. Mayın patlaması nedeniyle ölenlerin büyük çoğunluğu sivil ve çocuklardır. Hatta birçok hayvan mayın tehdidiyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum, mayınlar imha edilmediği sürece devam edecektir [1].

Her ülke için önemli bir sorun olan mayınların temizlenmesi konusunda birçok ülkede ciddi yatırımlar yapılmıştır. ABD, Kanada, İsveç ve Almanya bu ülkelerin başında sayılabilir [2].

Ülkemiz sınırlarında da yerleşik durumda olan çok sayıda patlamamış mayın bulunmaktadır. Mayın imha edilme işlemi profesyonel güvenlik güçleri tarafından yapılmaktadır. Eskiden kalan mayınların yanı sıra terör örgütlerinin hala yerleştirmeye devam ettiği mayınlar güvenlik kuvvetlerimizin çalışmalarını yavaşlatmaktadır.

Mayın tespitinin yapılması en az imhası kadar önemlidir. Çünkü mayın imha edilirken çevresinde bulunan diğer mayınlar personele zarar verebilir. Ayrıca personelin çevresinde mayın olup olmadığının bilinmemesi personelin hata yapmasına neden olabilir. Bunun yanı sıra mayın tespitinin manuel olarak personel aracılığıyla yapılması personelin can güvenliğini tehlikeye atmaktadır. Mayın tespitinin karadan insansız robot aracılığıyla yapılmasında ise engebeli araziler zor koşullar oluşturduğundan bu araçlarla yapılan taramalarda yeterli verim alınamamaktadır.

Gelişen teknoloji ile birlikte mayın taramada kullanılan robot tasarımına her gün bir yenisi eklenmektedir. Bahsi geçen tasarımlar amaca, işlevselliğe ve maliyete değişik oranda katkı sağlamaktadır. Bu yenilikler insan hayatını mümkün olduğunca kolaylaştırmaktadır.

İnsansız hava araçlarının kullanım alanları, uçuş süresinin artması ve parçaların ucuzlaması ile gün geçtikçe artmaktadır [3]. Günümüzde fotoğraf ve video çekiminde,

zirai ilaçlama, trafik takibi, spor faaliyetlerinin izlenmesi, hedef tespit ve takibi, gözetleme ve haritalama gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [4-5].

İnsansız hava araçları uzaktan kumanda ile kontrol edilebilmesinin yanı sıra otonom uçuşlar da yapabilmektedir. Otonom olarak kalkış, iniş ve belirlenen rotada ilerleyebilmesine olanak sağlayan otomatik pilot sistemleri, insansız bir şekilde kullanıma yardımcı olmaktadır. Bu yüzden insansız hava araçlarının otonom kullanımında otomatik pilot sistemleri vazgeçilmez hale gelmiştir [6-7].

Bu çalışmada amaç, mayın imhasındaki önemli adımlardan biri olan mayınların tespitinin, personelin can güvenliği tehlikeye atılmadan, arazi koşullarından etkilenmeyerek yüksek verim elde edilmesi için insansız hava aracı ile uzaktan mayın taraması yapmaktır. Tasarlanan insansız hava aracı sayesinde belirlenen bir rota da tarama yapılabilir. Ayrıca tarama işlemi havadan gerçekleşeceğinden mayınla etkileşime geçilmeyeceği için patlamasına sebep olunmayacaktır. İstenildiği takdirde mayının bulunduğu yerin koordinat bilgileri alınıp daha sonrasında mayın imha edileceği zaman kullanılabilir. İnsansız hava araçlarının kullanımı giderek artması nedeniyle bu çalışma geliştirilmeye son derece açık gelecek vadeden bir projedir.

Bu tez kapsamında Mayınlar ve İnsansız hava araçları hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonrasında insansız hava aracı ve metal dedektörün oluşum aşamalarından bahsedilip insansız hava aracı ile mayın tarama işlemi anlatılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Mayın tarama konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde genel olarak tarama işlemini yerden robot ile ya da zırlı araçlar ile yapıldığı görülmüŐtür. Havandan tarama ile ilgili araştırma yapılmamıŐtır. Genellikle robotların önüne yerleştirilen dedektör ile tarama işlemi yapılmaktadır [8]. Bazı çalışmalarda robota konulan sensörler ile cisimlere çarpmadan otonom ilerlemesi sağlanmıştır [9].

Ülkemizin doğu ve güneydoğu sınırlarında mayınlı arazi olmakla birlikte terör eylemlerinde de mayın daha etkili ve hain bir silah olarak kullanılmaktadır. Askeri alanda yapılan çalışmaları incelendiğinde ise savunma mekanizmasını güçlendirmek adına bir çalışma yapılmıştır.

Bilgisayardan alınan veriyi robota göndermek, robota gönderilen veriyi almak, robotun hareket ve hız kontrolünü yapmak ve mayını algılama özelliği olan bir çalışma yapılmıştır [1].

İnsansız hava araçları üzerine yapılmış çalışmalar incelendiğinde ise farklı modellere sahip İnsansız hava araçlarının kullanıldığı görülmektedir [10,11]. Uçak, Helikopter ve Multikopteri sayabiliriz. Manevra kabiliyetinin daha iyi olmasından dolayı Multikopterler, araŐtırmacılar tarafından daha çok ele alınmaktadır [12].

Multikopterlerin uçuşu ile ilgili olan çalışmalarda ise Multikopterin çok etmenli kontrolü gerçekleştirilmiştir [13]. Bir başka çalışmada dört motorlu Multikopter tasarımı yapılmıştır [14]. ‘‘Dönerkanat’’ projesinde ise İnsansız hava araçlarında farklı uçuş stilleri, otonom uçuş ve görsel tabanlı kontrol çalışmaları yapılmıştır [15].

3. MAYINLAR

3.1. Mayın nedir?

Mayın, İnsanlara, kara taşıtlarına veya gemilere tahrip ya da hasar vermek amacıyla karada genellikle toprak altında, denizde ise serbest ya da bağlı olarak bulunan, personeli yaralamak ya da öldürmek, araçları ise kullanılmaz hale getirmek için tasarlanan, doğrudan doğruya ya da basınç etkisiyle patlayarak ciddi zararlara yol açan patlayıcı maddedir. Genellikle patlayıcıyı harekete geçirmek için bir düzenek hazırlanır ve bunlar koruyucu bir kaplama malzeme içinde bulunur [8,15]. Mayın patladığında büyük tahribat yarattığı için genellikle savaş sırasında düşmanın ilerlemesine engel olmak için çeşitli yerlere yerleştirilir. Şekil 3.1’de toprağa gizlenmiş mayın gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Mayın

3.2. Mayın kullanımı

Mayınların başlıca kullanım alanlarının başında: düşmanın güzergâh değiştirmesini sağlamak, düşmanın bölgeye yaklaşmasını önlemek, düşmanın ilerlemesini yavaşlatmak, düşmanı durdurmak ve düşmana zarar vermektir [16].

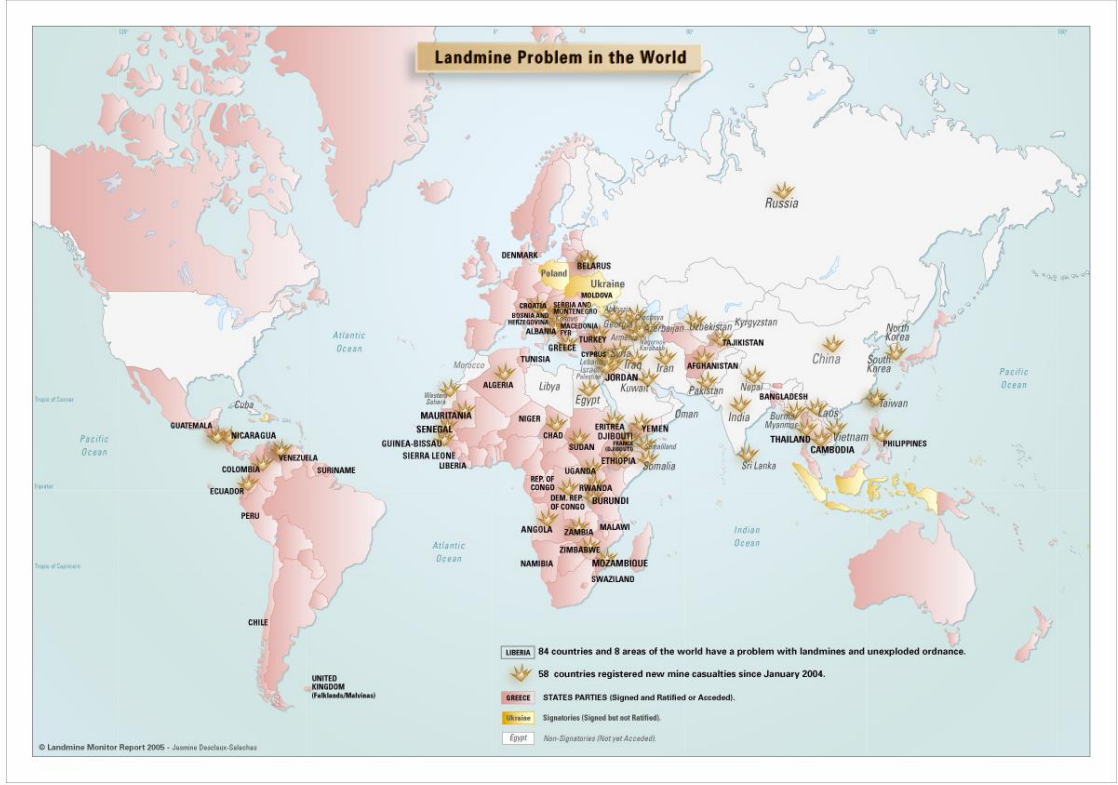
Mayınların zarar verici etkisinin güçlü olması, tespitlerinin zor ve maliyetlerinin ucuz olması sebebiyle özellikle sınır bölgelerini korumada günümüze kadar sıkça kullanılıyordu. Ayrıca yukarıda anlatılan sebeplerden dolayı günümüzde hala terör

grupları da yoğun olarak mayın ve el yapımı patlayıcıları kullanmaya devam etmektedir [17].

İkinci Dünya Savaşı ile birlikte kara mayınların kullanımı artmıştır. Kara mayınları üzerinden geçildiği takdirde patladığı için savaş sırasında kullanımı tercih edilmiştir. Özellikle tanklar, savaş alanına girdiklerinde onları durdurmayı amaçlamak için konulan mayınlar tankın ağırlığı ile birlikte patlamaktadır.

Tellermine 35, metal mahfazalı bir tanksavar mayınıdır. İçindeki patlayıcı bir tankı hareket edemez duruma getirecek kadar vardır. Ateşleyicisi ise 150 kg'lık basınçla çalışıyor. Bu yüzden yürüyerek üzerinden geçen bir kişi patlayıcıyı tetikleyemiyor. Anti-personel mayını olarak ise 100 g ile 10 kg arasındaki patlayıcılarda kullanılabilen standart telli çeşitli ateşleyicilere sahip mayınlar kullanılmıştır. S- 35 sıçrar tipteki anti-personel mayınında ise ek olarak bir patlayıcı bulunmaktadır. Bu patlayıcı sayesinde mayın telle önceden belirlenen bir yüksekliğe fırlatılıyor. Bu yüksekliğe ulaşıncı 100m'den daha uzağa gidecek şekilde her yöne şarapnel parçaları fırlatarak patlıyor [18].

Libya ve Mısır'da çöllerde engel bulunmadığı için savaş zamanında karşı tarafı engellemek için çok fazla mayın kullanılmıştır. Mayının en çok kullanıldığı yerler arasında İtalya, Tunus ve Rusya bulunmaktadır. Almanlar ise geliştirmiş oldukları beşli gruplar halinde mayın yerleştirme yöntemi ile mayınların sıklığını istenen amaca göre uygulamayı her daim başardılar. Şekil 3.2'de dünya üzerinde kullanılan kara mayınlarının haritası verilmiştir. Maliyetinin ucuz olması, kullanım rahatlığı ve etkinliğinden dolayı mayın tüm savaşlarda kullanılmıştır. Mayının tehlikesinin belirsizliği ve patlamadığı sürece toprakta bulunması, savaşların gidişatını etkilemiştir [15].



Şekil 3.2. Dünya üzerindeki kara mayınları haritası

Türkiye’de mayınlı bölgenin genişliği 300-750 metre arasında değişmekle birlikte uzunluğu da 600 kilometreyi bulmaktadır. Mayınlı arazinin genişliği toplamda 5 ile 10 km arasında değişen bir şerit oluşturmaktadır. Türkiye de çıkartılması gereken bir milyon adet mayın bulmaktadır. Dünyada ise temizlenmesi gereken 110 milyon adet mayın bulunmaktadır. Bu durum karşısında hem can güvenliğini sağlayıp hem de maddi kayıp olmadan havadan mayın tespitini gerçekleştiren bir sistemin tasarımı çok büyük bir önem kazanmaktadır [16].

Ottawa sözleşmesi, Anti-personel mayınların kullanımının, depolanmasının, üretiminin ve devredilmesinin yasaklanması ve bunların imhası ile ilgili sözleşmedir. Türkiye, Ottawa sözleşmesini 2003 yılında kabul etmiştir. Bu yıllarda 131 ülkede yaklaşık 260 milyondan fazla kara mayınının olduğu tahmin edilmektedir [16].

Ülkemizin de sorumluluğunda olan bu görevi yerine getirecek bir mayın tarama ve temizleme makinasına gereksinim vardır. Bu gereksinimi karşılamak üzere otonom hareket edebilen robotun tasarım çalışması yapılmıştır.

3.3. Mayın Çeşitleri

Kara mayınları ve deniz mayınları olmak üzere 2 çeşit mayın türü vardır. Deniz mayını, gemilere hasar verme veya batırma niyeti ile veya bir giriş bölgesine gemilerin yaklaşmasını önlemek için denize dökülen patlayıcı malzemedir. Deniz mayını, gemilerin veya liman tesislerinin altlarına, dalgıçlar tarafından yerleştirilen aygıtları ve yerleştirilmesinden belirli bir süre sonra patlayacağı tahmin edilen aygıtları içermez.

Kara mayını, hava araçlarını, kara araçlarını ve gemileri tahrip etmek için kullanılır. Ayrıca personeli yaralamak, öldürmek veya başka şekillerde etkisiz bırakmak için kullanılır. Genelde koruyucu kaplama malzeme içinde olan, patlayıcı veya diğer çeşit malzemedir. Kara mayını üzerinden geçen insanların veya araçların ağırlığıyla, belirli bir süre geçince veya uzaktan kontrollü olarak infilak eder [15].

Savaş ve terörizmden dolayı dünya üzerinde çok sayıda bulunduğu için bu çalışmada kara mayınları incelenecektir. Kara mayınları kendi içinde iki gruba ayrılır. Anti Personel (AP) ve Anti Tank (AT) mayınlarıdır. Daha hafif ağırlıkla patlamaya ayarlı olan ve genellikle insanlar için Anti-Personel mayınları, daha ağır ağırlıklar için patlamaya ayarlı olan ve genellikle taşıtlar için Anti-Tank tipi mayınlar kullanılır [15].

3.3.1. Anti Personel(AP) Mayınlar

AP mayın çeşitleri insana yönelik düşük tahribatlı mayınlardır. İnsanların sıklıkla bulunduğu alanlarda kullanılır. AP mayınlarının amacı karşı tarafa hasar vermek ve ateş üstünlüğünü ele geçirmektir. Bu yüzden kritik arazileri ya da köprüler gibi önemli noktaları savunurken, sınır hatları boyunca askerî ve sivil geçişlere engel olmak için mayın kullanılır.

AP mayınları silindir ya da disk biçiminde olmak üzere iki tiptedir. Yükseklikleri 50 ile 100 mm arasında çapları ise 20 ile 125 mm arasındadır. AP mayınlarının ağırlıkları 30 g civarındadır. Mayının içerisinde Tetryl, TNT ve Comp B gibi çeşitli patlayıcı malzemeler kullanılabilir [19]. Bazı Ap mayın çeşitlerine aşağıda bahsedilmiştir.

PMN AP Mayını: İçerisinde 100g TNT ve RDX karışımı vardır. Ağırlığı 550g, yüksekliği 53 mm ve çapı 120 mm'dir. Şekil 3.3'te örnek olarak PMN Ap mayını gösterilmiştir.



Şekil 3.3. PMN AP Mayını

BLU 43 Mayını: Bu mayını belirlenen bölgede kullanmak için uçaklardan akrgo tipi mühimmatlar kullanılarak atılır. Havadayken patlatılan bombaların içinde bulunan mayınlar istenilen bölgeye gelişi güzel saçılmış olur. Bu yüzden mayınlar toprağın üzerinde kalır. Zaman geçtikçe doğanın etkisi ile mayının üzeri toprak veya bitki örtüsü ile kaplanabilir. Mayın 9-16 kg'lık bir basınçla patlayabilir. İmla hakkı 9 g. Nitromethane/Nitroethane karışımıdır. Mayının boyutlarına bakılacak olursa uzunluğunu 75 mm, genişliği ve yüksekliği 45 mm ve ağırlığı 20 g'dır. Kendi kendini imha etme özelliği bulunmaktadır.

M16 Mayını: Parça tesirli bir mayındır. Gövdesi metalden oluşmaktadır. Aktif hale gelebilmesi için 3.6 – 20 kg ağırlıkla yada 1.4 - 4.5 kg çekme olması gerekmektedir. İçinde 575 g TNT vardır. Boyutlarına bakacak olursak çapı 103 mm, yüksekliği 203 mm ve ağırlığı 3.75 kg'dır. Şekil 3.4'te örnek olarak M16 mayını gösterilmiştir.



Şekil 3.4. M16 Mayını

3.3.2. Anti Tank(AT) Mayınlar

Bu mayınlar yüksek tahribat gücüne sahiptir. Genellikle devriye araçlarının geçişi sırasında kullanılır. Personelleri taşıyan araçlara en yüksek derecede hasar

vererek araçları etkisiz bırakmak amaçlanmaktadır. Bu mayınların fünüyesiz çalışabilme özellikleri bulunmaktadır. Ayrıca iki bağımsız ateşleyici tetik tertibatıyla da çalışabilirler.

AT mayınları genelde yuvarlak köseli dörtgenler şeklinde ya da yassı silindirik şekilde üretilir. Boyutları incelendiğinde 150 ile 300 mm arasında çapları, 50 ile 90 mm arasında kalınlıkları değişmektedir. İçerisindeki patlayıcılara ise TNT, Comp B ya da RDX gibi maddeler bulunmaktadır. Savaş ekipmanı listesinde yer alan AT mayınları, savaş alanlarında belirli yerlere koyulur. AT mayınları toprağın altına farklı derinliklerde koyulabilir. Bazen yüzeye çok yakın bazen ise yüzeyin 150mm altına koyulabilir. Şekil 3.5'te AT mayınına örnek gösterilmiştir. Mayının patlaması için üzerine uygulanan kuvvetin büyüklüğü önemlidir. İnsanların üzerine basmasıyla patlamazlar. Tank gibi daha ağır araçların mayının üzerinden geçmesiyle patlar. Bu yüzden AT mayınlarını tespit etmek, AP mayınlarına göre daha kolay ve masrafsızdır.

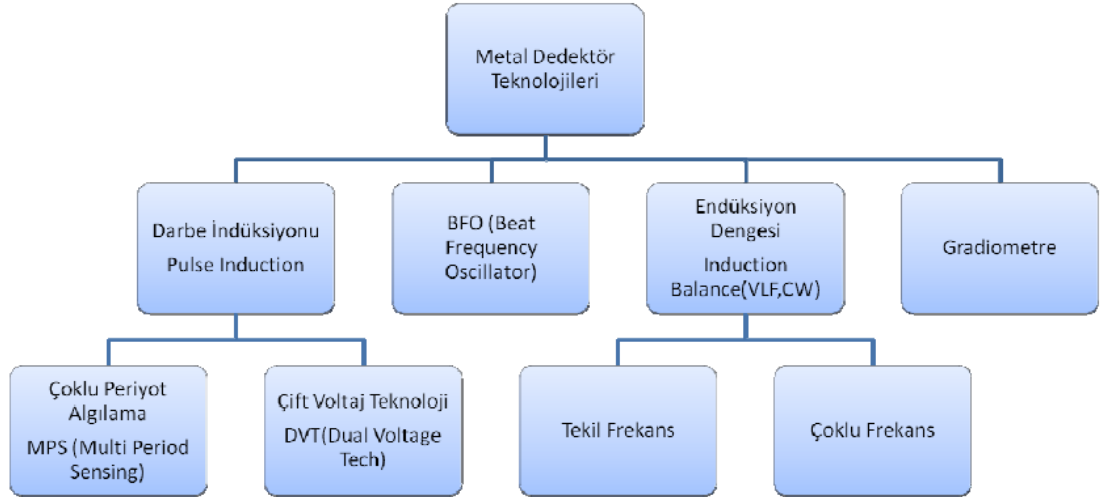


Şekil 3.5. AT mayını

Bu çalışmada, AT mayınlarından çok AP mayınlarının tespitine önem verilmiştir. Çünkü AP mayınlarının tespiti daha tehlikeli ve zordur [8]. Mayın tarama işlemi yapılırken insansız hava aracı ile önceden belirlenen rota çerçevesinde istenilen bölgede mayın tarama yapılabilir. Ayrıca askerlerin yol kenarında yaptıkları mayın tarama işlemi sırasında en önde insansız hava aracı olacak şekilde uzaktan güvenli bir şekilde tarama yaparak yolun güvenliği sağlanabilir.

3.4. Metal dedektör

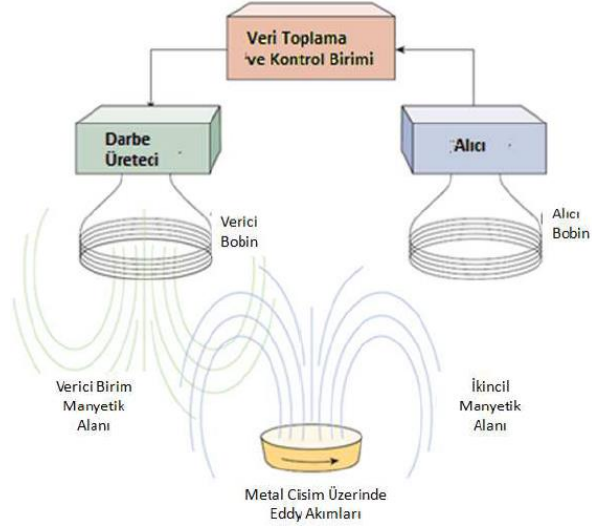
Metal dedektörünün çeşitli türleri vardır. Bunların çalışma prensibi birbirinden farklıdır. Metal dedektörler elektromanyetik dalgalar gönderme ve alma genel prensibine göre çalışırlar. Gönderilen elektromanyetik dalga rastladığı metal cisim üzerinde eddy currents veya faraday akımları denen bir akım endükler. Bu endüklenen akım dedektördeki bobine tesir ederek küçük bir sinyal değişimlerine sebep olur. Bu küçük sinyal değişimleri sayesinde elektronik devrelerde kuvvetlendirilerek ses sinyali oluşması sağlanır. Bu ses sinyalleri bir hoparlör yardımıyla dışarıya verilerek metal olup olmadığı anlaşılabilir. Burada bobinin sarım sayısı ve çapı metal değeri için önemli değerlerdir. Şekil 3.6’da metal dedektör teknolojileri gösterilmiştir. Metal dedektör yapımında kullanılan bazı türler aşağıda açıklanmıştır [17].



Şekil 3.6. Metal Dedektör Teknolojileri

3.4.1. Darbe indüksiyon yöntemi

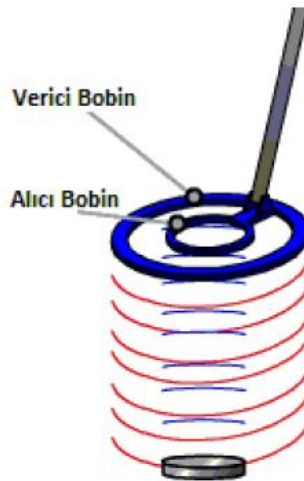
Pulse Induction (Pi) dedektörler genel olarak pulse veya pals olarak bilinir. Pulse ve pals kelimeleri darbe anlamındadır. Pi dedektörler sinyallerini darbeli olarak gönderirler. Çok düşük frekanslarda sinyal gönderen bu cihazların frekansları 50 KHz ile 900 KHz arasındadır. Pi dedektörler bu özellikleri ile VLF dedektörlere oranla yaklaşık olarak 3 kat daha derine sinyal gönderebilirler. Bu yüzden Pi dedektörler derin yerlerdeki define ve kalıntıları bulmak amacı ile kullanılmaktadır. Şekil 3.7’de Pi dedektörünün çalışma mantığı gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Pi dedektörü çalışma mantığı

3.4.2. Çok düşük frekans yöntemi

Very low frequency (VLF) dedektörler, valf ya da tektekçi dedektörü olarak da bilinir. Ayrım konusunda çok başarılı olmasına rağmen derinlik konusunda aynı şeyi söyleyemeyiz. VLF dedektörler, Pi dedektörlere göre çok yüksek frekanslar 3 Khz – 25 Khz arasında çalışır. Bu yüzden toprağı veya karşısındaki engeli aşamazlar. Ayrıca yüksek frekanslarda çalışmaları için hızlı kullanılmalıdır. Özellikle metal tespit edildiğinde metalin üstünde hızlı sallandığında ayırım netleşir. Şekil 3.8’de VLF dedektörünün çalışma mantığı gösterilmiştir.

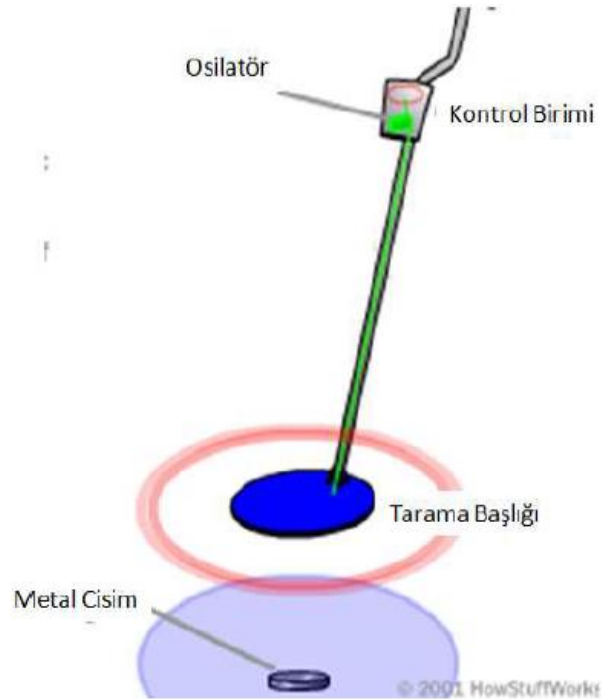


Şekil 3.8. VLF dedektörü çalışma mantığı

3.4.3. Darbe frekans osilatörü yöntemi

1950'li yıllarda Charles Garrett, Beat Frequency Oscillator (BFO) teknolojisi ile çalışan metal dedektörleri icat etti. BFO metal dedektöründe arama osilatörü ve referans osilatörü olmak üzere iki adet osilatör bulunur. Metal dedektörün çalışması için iki osilatöründe frekansı aynı olmalıdır. Referans osilatörü manuel olarak ayarlanarak frekansları neredeyse eşit olacak şekilde ayarlanır. Frekansları 50k Hz, 100k Hz veya 500k Hz olabilir. En ideal çalışma frekansı 100k Hz'dir.

Metal dedektörünün yakınında metal yokken her iki osilatörün de frekansı eşittir. Bu yüzden metal dedektörü tepki vermemektedir. Arama osilatörü bir metale yaklaştırıldığında arama osilatörünün endüktansı azalır ve frekansı artar. Bu iki osilatörden gelen sinyaller daha sonra genellikle bir analog devresine gönderilir ve bu da iki frekanstaki farka oransal olarak bir çıkış oluşturur. Bu çıkış bir ses veya sayısal bir değer olarak sunulabilir. Şekil 3.9'da BFO dedektörünün çalışma mantığı gösterilmiştir.



Şekil 3.9. BFO dedektörü çalışma mantığı

4. İNSANSIZ HAVA ARACI

4.1. İnsansız hava araçlarının tarihçesi

İnsansız Hava Aracı (İHA) hava akımı ve tahrik kuvvetlerinden yararlanarak uçabilen yerden kumanda edilen ya da otonom yani belli bir uçuş planı üzerinden otomatik hareket eden, uçuş için içerisinde bir pilota ihtiyaç duymayan hava aracı tipidir [20]. Şekil 4.1’de İnsansız Hava Aracı gösterilmiştir.



Şekil 4.1. İnsansız Hava Aracı

NATO İHA’ları; Aerodinamik uçuş kuvvetlerini pilotsuz olarak destekleyen, füze rotası haricinde ölümcül veya ölümcül olmayan faydalı yükleri uzaktan kumanda veya otomatik otonom uçuşla taşıyabilen araçlar olarak tanımlamaktadır [21,22,23].

Başka bir ifadeyle ise Quadkopter; dört motoru ile uçuş ve hareket kabiliyeti bulunan bir helikopterdir. Çok motorlu helikopterler doğrusal olmayan yapıları nedeniyle akademik alanda giderek artan bir ilgiye ve araştırmacıların dikkatini çeken bir değere sahiptir [24,25]. Şekil 4.2’de örnek Quadkopter gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Quadkopter

İHA sistemleri son 20 yılda çok yaygınlaşmıştır. Son birkaç senede ise İHA sayısı ve çeşitleri artmıştır. Ayrıca bu sistemlerin kabiliyetleri eskiye göre oldukça gelişmiştir. İHA'lar askeri ve sivil başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Askeri alandaki kullanım amaçlarından bazıları; tehlikeli bölgelerin devamlı gözetilmesi, kamera yardımıyla hedeflerin belirlenmesi, üzerindeki faydalı yüklerle tehlikeli hedefleri bölgeden uzaklaştırılması ve hareketli hedeflerin takip edilmesidir [26]. Sivil alanda ise doğal afetlerden sonra hasar tespitlerinde, Arama kurtarma, Yangınla mücadele, Nükleer radyasyon gözleme, Deprem gözleme, Volkan gözleme, Geniş bant iletişim, Telekomünikasyon röle hizmetleri, Cep telefonu iletişimi, Küresel konumlandırma uydu sistemleri ve Zirai uygulamalar gibi senaryolarda İHA'ların kullanımını başlamıştır [27,28,29].

İHA'lar daha az enerji harcarlar, gürültü ve dışarıya bıraktığı atık yönünden daha çevre dostudurlar. Bu yüzden araştırma ve geliştirmelerde daha hızlı ve daha ucuz çözüm için İHA'lar kullanılabilir. Aynı görevlerde kullanılan uçaklara göre yakıt tasarrufu ve bakım masrafi bakımından daha avantajlıdır [26].

4.2. Multikopterlerin sınıflandırılması

İHA'lar çeşitli kullanım amacına göre boyutları değişmektedir. Günümüzde avuç içi büyüklüğünden başlayarak 20m kanat açıklığı ve 10m boyu olan çeşitli ebatlarda İHA'lar vardır. Kullanılan motor çeşidine göre farklı modelleri de bulunmaktadır. Örneğin jet motoru, piston motoru ya da elektrik motoru kullanan çeşitli İHA'lar vardır. Her modelin çıkabileceği yükseklik değeri farklıdır. Bu yüzden kullanılan motor tipine ve menzillerine göre sınıflandırmalar yapılabilir [30].

Günümüzde İHA kategorisi içerisinde olan Multikopter sistemleri, dikey iniş-kalkış özelliği olmasından, havada sabit durabilmesinden ve basit yapısından dolayı çok fazla tercih edilmektedir. Multikopter, ikiden fazla motora sahip, yaw, pitch, roll ve lift sadece hız (rpm) kullanılarak kontrol edilebilen, stabilizasyonu elektromekanik sensörlerden ve hesaplayıcı cihazlarla sağlanan havadan ağır cihazlardır [31]. Kararlı uçuşları ve ekstra özellikleri sayesinde savunma alanında, izleme ve arama kurtarma operasyonlarında İHA'lar arasında tercih edilmeye başlamıştır. Özellikle dört motorlu Multikopterler üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır [20].

Dört motorlu hava araçlarının önemli özelliklerinden biri dikey olarak iniş ve kalkış yapabiliyor olmasıdır. Bu durum Vertical Take-Off and Landing (VTOL) olarak da bilinir. Bu sayede geniş hava alanlarına gerek duymadan küçük alanlara iniş yapılabilir. İniş ve kalkış için geniş alanlara ihtiyaç duyulmaması, bir başka araç kullanarak hava alanına gitme gereksinimini de ortadan kaldıracığından vakit kazancı da sağlar [32].

Multikopterler 3 farklı sınıflandırma yöntemine göre sınıflandırılır. Uçuş amacına göre sınıflandırma, Motor sayısına göre sınıflandırma ve Gövde büyüklüğüne göre sınıflandırmadır.

4.2.1. Uçuş amacına göre sınıflandırma

Bu sınıflandırmada önemli olan Multikopterlerin nerede hangi amaç için kullanılacak olmasıdır. Bunları belirlerken genel kullanıcı tercihlerini yansıtan süre, ekipman ve boyutlar dikkate alınır.

Spor Uçuş, Aksiyon tarzı uçuş, İlk kişi gözünden uçuş ve Ticari havadan görüntüleme uçuşları olmak üzere 4 sınıfa ayrılır.

Spor Uçuş: Bu tip uçuşlarda, GPS, video verici ve benzeri ekipmanlar kullanılmadan, görüş alanı içinde bulunan Multikopteri kullanmak ve temel manevralar(dönüşler, taklalar vb.) yapmak amaçlanır. Sportif uçuşlar için genellikle 250'lik ve 450'lik boyutlar arasındaki Multikopterler tercih edilir. Bu tip uçuşlar genellikle 10 - 15 dakika civarındadır.

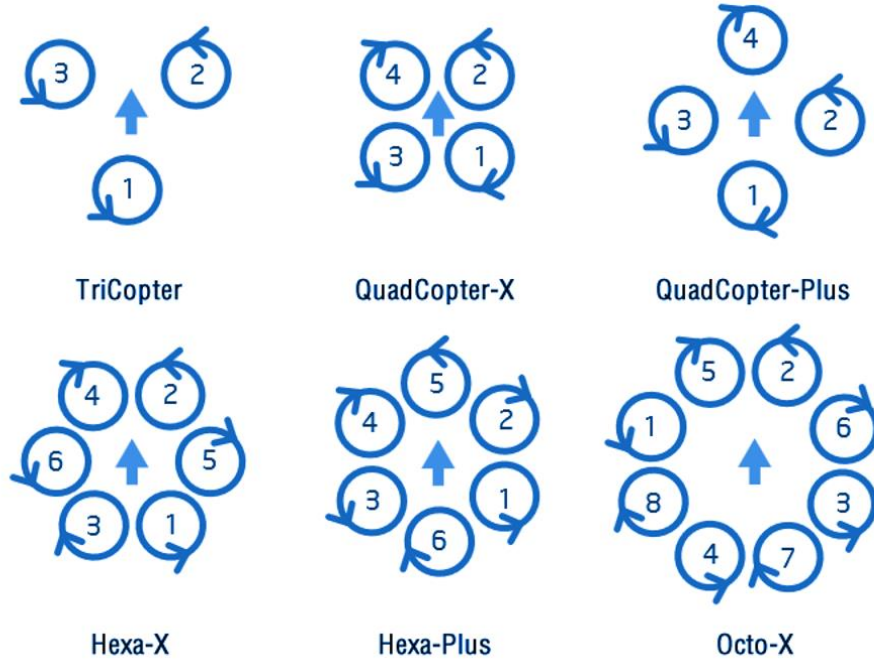
Aksiyon tarzı uçuş: Multikopterler üzerinde bulunan bir kamera ve video verici kullanılarak hızlı, akrobatik hareketler ve yakın geçişler içeren uçuşlar yapılır. Uçuşa daha iyi hakim olmak ve hız hissini daha iyi yakalayabilmek için Multikopterler'den alınan anlık görüntünün, gözlük tipinde görüntü cihazlarına aktarılarak yapıldığı uçuş çeşididir. Bu tip uçuşlarda, 250'lik boyutunda olan Multikopterler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Daha ufak boyutlarını görmek mümkünse de daha büyük boyutları pek tercih edilmez. Bu tip uçuşlar genellikle 5 dakika civarında sürmektedir. Bu uçuş Proximity Flying olarakta bilinir.

İlk kişi gözünden uçuş: Çevreyi ve manzarayı görüntüleme amacı ile yapılan uçuşlardır. First Person View (FPV) olarak da bilinir. Amaç itibarı ile video kamera ve video verici kullanılmaktadır. Uzak mesafeli uçuşlarda geri dönüşü garantiye alabilmek amacı ile GPS, OSD gibi ek donanımlar da kullanılmaktadır. Bu tip uçuşlarda, Multikopter üzerindeki kameradan gönderilen görüntüyü daha rahat izleyebilmek için genellikle 7 inç ve üstü boyutundaki monitörler kullanılır. 450'lik boyutundaki Quadkopterler ve 650'lik boyutundaki Hekzakopterler bu tip uçuşlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Daha büyük boyutlu ve daha çok motorlu modeller kullanıcılar tarafından tercih edilse de daha ufak boyutlu modeller pek kullanılmamaktadır. Uçuş süreleri de 15 - 20 dakika civarında olabilmektedir.

Ticari havadan görüntüleme uçuşları: Bu tip uçuşlar aslında temel olarak FPV uçuşlarına benzese de sinemacılık, reklamcılık, tanıtım filmleri, haritacılık ve benzeri amaçlar için kullanılır. Bu yüzden uçuş süreleri daha fazla ve kullanılan Multikopter ve üzerindeki ekipmanlar daha ağırdır. Kullanılacak Multikopterde bulunması gereken donanımlar; daha büyük boyutlarda gövde, çok yüksek kapasiteli pil, 3 eksenli gimbal ve fazla sayıda motor olmalıdır. Uçuş süreleri 30 dakika ya da daha fazla olabilmektedir.

4.2.2. Motor sayısına göre sınıflandırma

Her uçuş kontrol kartı farklı adlandırmalar ile karşımıza çıkabiliyor olsa da, motor düzenine ve sayısına göre sınıflandırılmaktadır. Üç motorlu ise Trikotter, dört motorlu ise Quadkopter, altı motorlu ise Hekzakopter ve sekiz motorlu ise Oktokopter olarak adlandırılır. Şekil 4.3'de Motor sayısına göre Multikopterler çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Motor sayısına göre Multikopterler

4.2.3. Gövde büyüklüğüne göre sınıflandırma

Multikopterleri gövde büyüklüğüne göre sınıflandırma yaparken, ölçüm mesafesi olarak karşılıklı/çapraz konumlandırılmış olan motorlar arasındaki mesafe dikkate alınır.

Multikopterler, 250'den daha ufak gövdeler, 250'lik gövdeler, 330'luk gövdeler, 450-500 sınıfı gövdeler, 550'lik gövdeler, 650-680'lik gövdeler, 800'lük gövdeler ve 1000'lik gövdeler olarak sınıflandırılır.

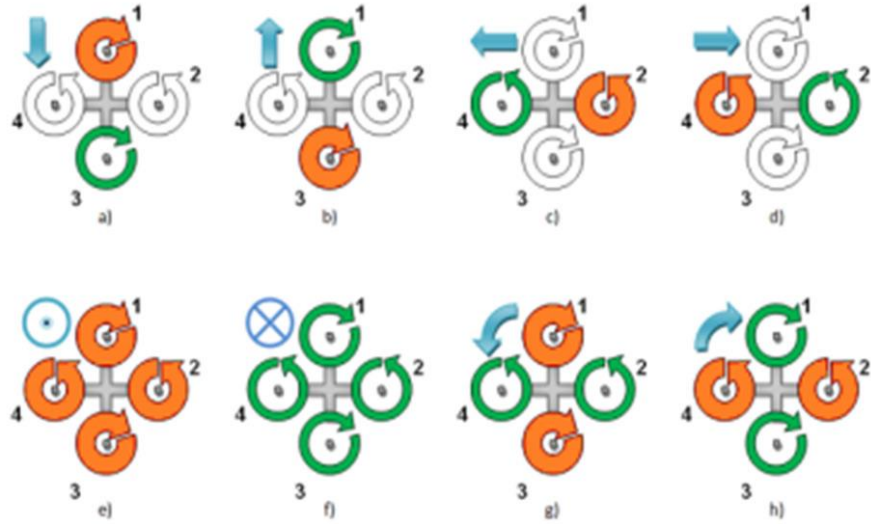
Bu sınıflamalardan öncelikli olarak karar verilmesi gereken uçuş amacına göre sınıflandırmadır. Çünkü bir Multikoptere karar verirken uçuş amacınızı belirlemeden, ne alacağınıza nasıl yapılandıracağınıza karar veremezsiniz.

4.3. Multikopterlerin çalışma prensibi

Bu çalışmada 4 motora sahip olan Multikopter kullanıldığı için Quadkopterin çalışma prensibinden bahsedilmiştir.

Quadkopter'ler, motorlarına bağlı pervanelerin itişi sayesinde havada kalan Multikopterlerdir. Bu sebeple Quadkopter öncelikle yerçekimini yenmeli daha sonra da yukarı doğru hızlanabilmek için ek itiş kuvveti uygulayabiliyor olması gerekmektedir.

Quadkopter'in 4 eşit motor ve eşit pervanesi vardır. Pervanelerin hızına göre araç sağa-sola ya da öne-arkaya gitmektedir. Quadkopter'e ait yönelmeler şunlardır: yunuslama (y ekseninde), yuvarlanma (x ekseninde), yönelme (z ekseninde), aşağı-yukarı ve yere paralel kaymadır. Quadkopter'in hareket edebilmesi için dört motorunda çalışma şekli Şekil 4.4'te gösterilmiştir. İnce ve yeşil halkalar yavaş dönüşü, Kalın ve turuncu halkalar ise hızlı dönüşü göstermektedir. Quadkopterler sabit mekanik yapıda olmalarından dolayı, hareket yönlerini "X", "Y", "Z" eksenleri doğrultusunda gövde yapılarını eğerek gerçekleştirir [33,34].



Şekil 4.4. Kaldırma kuvvetlerine göre Quadkopter'in hareketleri

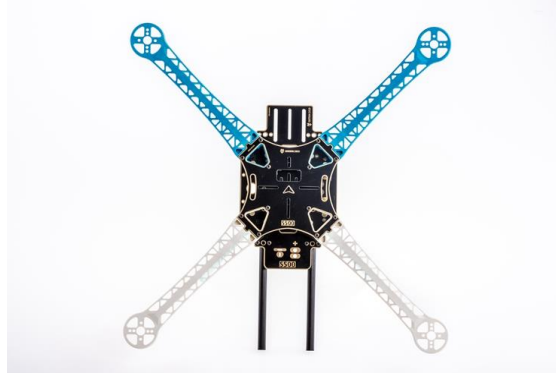
Quadkopter'in açısal momentini korumak için motor 1 ve motor 3 saat yönünde dönerken motor 2 ve motor 4 saatin tersi yönünde dönmektedir. Multikopter kullanımı günlük hayatta artmakla birlikte akademik alanda yapılan çalışmalarda tercih edilmeye ve doğrusal olmayan doğasından dolayı üzerinde çeşitli araştırma yapmaya olanak sağlamaktadır [35,36,37].

4.4. Multikopter için sistem donanımları

Multikopter'in uçabilmesi için birçok donanıma sahip olması gerekmektedir. Sadece motor ve pervane ile uçuş işlemi gerçekleştiremeyeceğinden uçuş kontrol kartı gibi önemli olan daha birçok donanım gereklidir.

4.4.1. Gövde

Multikopter'in tüm parçalarını üzerinde toplandığı kısımdır. Multikopter'in kullanım amacına göre gövde boyutu, şekli ve üretildiği malzeme farklılık gösterebilir. Gövdenin boyutu genellikle çapraz iki motor arasındaki uzaklık ile ifade edilir. Bu uzaklık milimetre cinsinden söylenerek isimlendirilir. Örneğin Şekil 4.5'te s500'lük bir Quadkopter gövdesi bulunmaktadır.



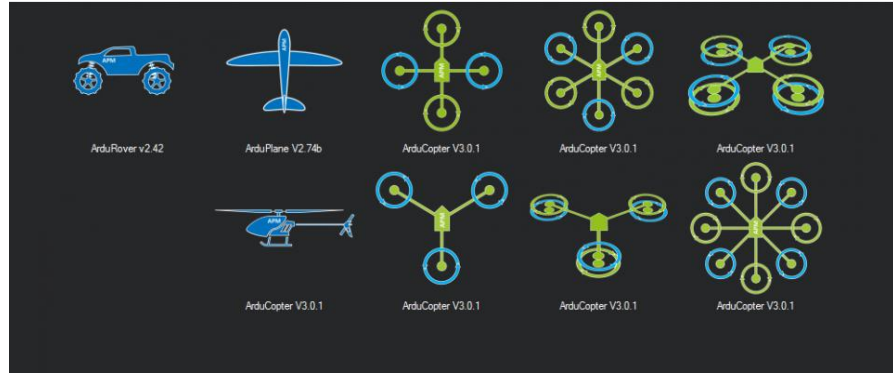
Şekil 4.5. s500 gövde

Quadkopter'lerde, çoğunlukla kullanılan 3 tane dizilim vardır. Bunlar motorların X, + veya H dizilimine göre koyulmasından kaynaklanır. Bu dizilimlerin temelde hiçbir farkı olmasa da, cihazın kullanım amacına göre farklılık gösterebilmektedir. Bu gövdenin merkezi, çapraz konuşlandırılmış motorlar arasında çekeceğimiz hayali çizgilerin kesişim noktasıdır. Hem ağırlık merkezi, hem de kontrol kartı bu kesişim noktasında bulunmalıdır. Multikopter gövdelerinin yapısı ahşap, plastik, pleksi, alüminyum veya karbon fiber olabilir. Hatta günümüzde 3B yazıcılardan faydalanılarak gövde üretilebilir. Yüksek manevra kabiliyetine olan Yarış Multikopterlerinde çoğunlukla karbon fiber gövde tercih edilir. Gövde seçimi yapılırken pervane boyutları ve motor özellikleri dikkate alınmalıdır, kullanacağımız malzemelere uygun bir gövde seçilmelidir.

4.4.2. Uçuş Kontrol Kartı

Kontrol kartı aracın beynidir. Aracın hareket etmesini sağlayan kontrol yazılımının yüklü olduğu kısım burada bulunur. Kontrol kartı, kumandadan gelen sinyalleri yorumlayarak ESC'lere gönderir. ESC'ler gelen komuta göre motor hızlarını arttırır veya azaltır.

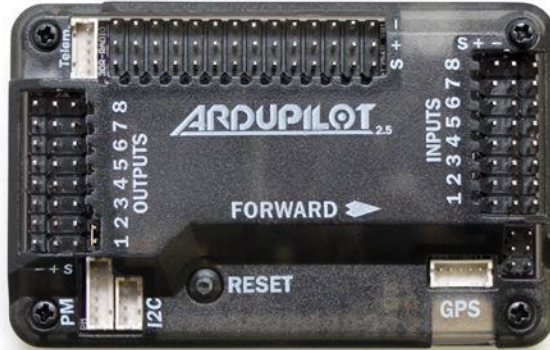
Günümüzde çok çeşitli kontrol kartları kullanılmaktadır. Açık kaynaklı olduğundan Ardupilot Mega(APM) en yaygın kontrol kartıdır. APM, Arduino Mega temelli bir kontrol kartıdır. APM ile hava ve kara araçlarına otonom hareket kabiliyeti kazandırılabilir. Bu yüzden otopilot sistemleri için kullanılan oldukça gelişmiş bir kontrol kartıdır. Multikopter, uçak ve helikopter gibi hava araçlarının yanı sıra, uzaktan kumandalı model araçları için de kullanılabilir. Şekil 4.6'da bu araçlar gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Ardupilot Mega'nın desteklediği araçlar

APM kartı üzerinde ATmega2560 mikrokontrolcü ve USB-Seri dönüşümü için ATmega32u2 mikrokontrolcüsü bulunmaktadır. Mikrokontrolcülerin yanı sıra, otonom hareket için gerekli olan ivmeölçer, jiroskop, barometre ve manyetometre gibi sensörler de kart üzerine entegredir. Bu sensörlerin kart üzerinde olmasından dolayı Inertial Measurement Unit (IMU) kullanmamıza gerek kalmadı. Jiroskop 3 eksendeki açıyı algılamakta, ivmeölçer de 3 eksendeki ivmeyi hesaplar. Bu sayede aracın dengelenmesi ve yere paralel hareket etmesi sağlanır. Barometrik basınç sensörü ise hava basıncını ölçer ve yüksekliğin sabit tutulmasını sağlar. Şekil 4.7'de APM uçuş kontrol kartının resmi bulunmaktadır. Ayrıca ESC ve servo gibi araçlar için gerekli olan bağlantılar kart üzerinde yer almaktadır. Harici sensör ve telemetri bağlantıları için hazır konnektörler

kart üzerinde yer alır. APM kontrol kartının üzerinde barındırdığı donanımlar ve açık kaynak kodlu olmasından dolayı her projeye göre kişiselleştirilebilir.



Şekil 4.7. APM Uçuş kontrol kartı

Özellikler:

- Tamamen açık kaynak kodlu olup uçak, Multikopter (quadcopter, tricopter, hexacopter vb.), helikopter ve kara araçlarını destekler,
- Otonom uçuş için Görev planlayıcı ile 3 boyutlu nokta tanımlama seçeneği,
- MAVLink protokolü ile iki yönlü telemetri desteği,
- Otonom kalkış, iniş ve özel komutlar,
- 8-kanal PWM, S-BUS, PPM ve Spektrum Satellite alıcı desteği,
- 4MB dahili bellek,
- 6-DOF MPU6000 ivmeölçer/jiroskop sensörü,
- 3-DOF HMC5883L-TR manyetometre sensörü,
- MS5611-01BA03 barometrik basınç sensörü,
- Harici GPS bağlantısı destekler.

4.4.3. Fırçasız Motor

Fırçasız motor teknolojisinin gelişmesiyle birlikte farklı alanlarda kullanılmaya başlamıştır. Bunlardan bir tanesi de robotik alanıdır. Kollektör ve fırça bulunmadığı için fırçasız motor olarak bilinirler. Şekil 4.8’de kullanılan fırçasız motorun resmi verilmiştir. Buna karşı DC motorların kullanımı kolay olduğundan farklı alanlarda tercih edilmiştir. Buna rağmen fırça ve komütatöre bağımlı olduğu için kullanılma alanı git gide azalmıştır. Fırçalar belli bir kullanımdan sonra aşındıkları için bakım yapılması gerekmektedir. Bu yüzden DC motorların dönme sayısı istenen disket veya CD sürücü gibi ortamlarda kullanıldığında, belli bir süreden sonra dönme sayısında azalma olur. Bu yüzden fırça ve komütatörün yerine yarı iletken anahtar kullanımı tercih edilmiştir. Fırçasız motorlar, rotor ve statordan oluşmaktadır. Bunlarla ilgili detaylı bilgi ilgili bölümde verilecektir.



Şekil 4.8. Dji e300 motor

Fırçasız motorlar RC arabalarda, helikopterlerde, fotokopilerde, yazıcılarda, teyp sürücülerde, optik tarayıcılarda ve tıp cihazları gibi yüksek güç gerektiren yerlerde kullanılır.

Fırçasız motorların avantajlarına baktığımızda doğrusal Moment-Hız İlişkisi ve yüksek Moment-Hacim Oranı vardır. Daha az bakım gerektirmesi ve tehlikeli ortamlarda kullanılabilir olmasıdır. Yüksek verim sağlamasına karşı elektriksel gürültü meydana getirmemesi yani sessiz çalışabilme özelliği olmasıdır. Daha çok tork üreterek uzun ömürlü olmasıdır.

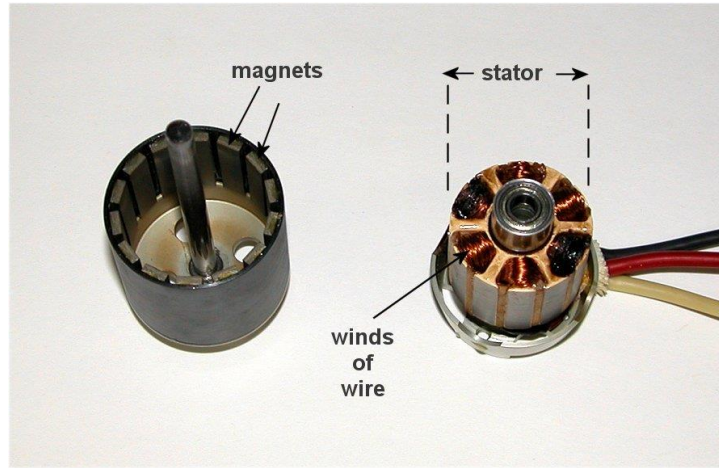
Fırçasız motorların dezavantajları: Verimli çalışma için rotor konum bilgisi gereklidir. Harici güç elektroniği ve etkili sensörler gereklidir. Ayrıca algılayıcısız yöntemlerin kullanımı için algoritma kullanır. Bu yüzden pahalı bir sistemdir.

Fırçasız Motor Yapısı: Fırçasız motorların yapısının iki bölümden oluştuğunu yukarıda bahsetmiştik. Bunlardan rotor, dönen bölümdür ve sabit mıknatıstan oluşmaktadır. Stator ise duran bölümdür ve küçük bobinli sargılardan oluşmaktadır.

- **Stator(Endüktör):** AC senkron motorlar ile fırçasız motorların yapısı benzerlik gösterir. Sargı ve nüvenden oluşan Stator, duran bölümdür. Endüvi ve Endüktör tarafından elde edilen iki manyetik alanda aynı frekansta döner.

- **Rotor (Endüvi):** Sabit mıknatıslı endüvinin sayısı iki ile sekiz arasında değişmektedir. Endüvide oluşacak manyetik akı yoğunluğuna göre ferritten yapılan mıknatıslar veya alaşımdan yapılan mıknatıstan birine karar verilir. Ferrittenli mıknatıslar diğerine göre daha ucuza mal olmaktadır. Buna karşın daha az manyetik yoğunluk sağlamaktadır. Fırçasız motorda kullanılan üç tip rotor vardır. Bunlar endüvi oyuklarına, endüvi milinin üzerine ve endüvinin gövdesi içerisine yerleştirilmiş kalıcı mıknatıslardır.

Motorların isminde 1806, 2204, 2206 gibi ifadeler geçer. Bu ifadeler motorun stator çapı ve stator uzunluğunun milimetre cinsinden ifadesidir. 1806 bir motor için stator çapı 18mm, stator uzunluğu ise 6mm'dir. Şekil 4.9'da "stator" olarak belirtilen mesafe, anlaşılacağı üzere stator çapı, dik uzunluk ise stator uzunluğudur.



Şekil 4.9. Fırçasız motorun yapısı

Quadkopter'de kullanılacak motoru seçerken;

Motor seçiminde en önemli kriterlerden birisi motorun itiş gücüdür. Motorun itiş gücüne karar vermeden önce bitmiş haldeki Multikopterin, uçuş sırasındaki her şey dahil ağırlığının ne olacağıdır. Gövde, pervanlar, piller, kartlar, ESC'ler, kablolar ve

motorlar gibi tüm donanımların yaklaşık ağırlıkları hesaplanmalıdır. Multikopterin uçuş sırasındaki her şey dahil ağırlığı All-Up-Weight (AUW) olarak adlandırılıyor. Quadkopter'in AUW değerinin yaklaşık 2 katı kadar motorların itki kuvveti üretmesi gerekmektedir.

Motor kısmında pilden gelen elektrik enerjisinin, pervaneler tarafından oluşturulacak itiş gücüne çevrilir. Motorun itiş gücü değeri arttıkça çektiği akım da artmaktadır. Bu durum da akım verme kapasitesi daha yüksek bir pil (daha ağır bir pil) kullanılmasını gerektirir. Malzemeler bir birine bağlı olarak seçildiği için malzeme seçimi yaparken bütün parçalar bir arada düşünülmesi ve ona göre seçim yapılmalıdır. Ayrıca Quadkopter'de kullanılan motorlar verimliliğinin iyi olmasından dolayı 3 fazlı fırçasız motorlar tercih edilmelidir.

4.4.4. Elektronik hız kontrol devresi

Fırçasız motorların bobinlerine sırasıyla Pulse Width Modulation(PWM) dalgası yollayarak kontrol etmeye imkan sağlayan elektronik devre sistemleridir. Elektronik Speed Control (ESC) olarak da bilinir. Şekil 4.10'da kullanılan elektronik hız kontrol devresi gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Dji e300 ESC

ESC devresi üç bölümden oluşur. Bunlar; Servo sinyallerini çözen ve işleyen MCU, Motor akımını yükseltmeye yarayan devre ve motorda oluşan EMI'yi ölçen geribildirim devresidir.

Sensörlü motorlar ile birlikte kullanılan ESC'lerin çalışması farklıdır. Burada EMI'yi ölçen devre kullanılmaz onun yerine sensör bilgilerini çözümleyen decoder

kullanılır. RC ESC'ler, Radyo kumandalar ile kullanmak için özel olarak üretilmiş motor kontrol devresidir. Radyo kumandalar ürettikleri %7 ile %14 arasındaki PWN sinyaller ile motorları çalıştırır. Bu saykıl saniyede 60-70 hertzlik frekansta oluşur. ESC'ler gelen PWN sinyallerini fırçasız motorların anlayacağı şekle getirirler. ESC'lerin üzerinde yazan değerler genellikle firmaların laboratuvar koşullarında elde edebildikleri yüksek değerlerdir. Örneğin 30A ESC demek maksimum 30 ampere dayanıklı olduğu gösterir. Bu akım çekimine milisaniyeler mertebesinde dayanabilir.

ESC'ler genellikle tek yönde motoru hareket ettirir. Multikopter motorunun sürekli aynı yönde dönmesinden dolayı sorun oluşturmazken robotik alanında yapılan projelerde sıkıntı çıkabilir. Bu yüzden iki yönde döndürmek isteniyorsa kullanılacak ESC'nin geri döndürebilir (reversible) özelliği olması gerekmektedir.

Birçok ESC'de BEC(Battery Eliminator Circuit) adında bir devre vardır. BEC kısaca dahil voltaj regülatörüdür. ESC ve diğer elektronik devreler BEC üzerinden tek kaynaktan beslenebilir.

Her motor için bir tane ESC kullanılır ve ESC'ler verebildikleri akım değerine göre seçilmelidir. ESC'nin verebileceği devamlı akım (continuous current) değeri ve yanma akım (burst current) değeri bulunmaktadır. Seçilecek ESC'nin devamlı akım değeri, motorun çektiği akım değerinden yüksek olmalıdır. Aksi halde ESC'ler çabuk ısınır ve hasar görebilir.

Çalışma voltajı motorunuza uygun olmalıdır. Örneğin 4-6 cell ESC demek 4,8V ile 7,2V arasında çalışabilecek ESC demektir.

4.4.5. Batarya

Multikopterlerin uçuşu için gerekli olan enerji kaynağıdır. Birçok batarya tipi olmasına rağmen yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmaları nedeni ile Lityum Polimer(LiPo) piller tercih edilir.

LiPo Piller ve Çeşitleri: LiPo pil, Lityum ve Polimer kimyasallarından oluşmaktadır. Şekil 4.11'de örnek olarak bir LiPo pil gösterilmiştir. LiPo piller tek hücreli olabileceği gibi birden fazla hücreli de olabilir. Her bir hücrenin ideal voltajı 3,7 volt iken tam dolu hali 4,2V olmaktadır. Hücreleri birbirlerine seri ya da paralel bağlayarak bataryanın kapasitesinin veya geriliminin arttırabiliriz. Hücreler seri bağlı ise S harfi ile gösterilir.

Kaç hücreli olduğunu belirtmek için S harfinden önce hücre sayısı yazılır. Örneğin 3S için $3 \times 3,7=11,1$ Volt anlaşılır. LiPo pildeki hücrelerden biri 3Volt altına düştüğünde pilin kullanımı tavsiye edilmez. Ayrıca hücrenin 4,20 Volt'tan fazla şarj edilmesi tehlikelidir.



Şekil 4.11. LiPo pil

LiPo Avantajları ve Dezavantajları: LiPo pillerin bazı özelliklerinden dolayı diğer pillere göre avantajlıdır. Örneğin LiPo piller, NiCd ve NiMH pillere göre çok daha fazla akım üretebilirler. Diğer pillere karşılaştırıldığında daha hafiftir. LiPo piller farklı şekilde ve ölçüde üretilebilirler. NiCd ve NiMH pillere göre LiPo pilin kullanım süreleri daha uzundur.

LiPo pillerin dezavantajlarının başında özel dikkat gerektirdiğinden şarj edilmeleri gelmektedir. Ancak özel şarj cihazı ile şarj edilebilirler. Kısa devre yapılması durumunda patlayabilirler. LiPo piller, maksimum akım değerinden fazla akım çekildiğinde çok ısınır ve şişerler. Pilin kapasitesi aşıldığında pilin ömrü bitebilir ve kullanılamaz hale gelebilir.

LiPo pile karar verirken kullanılacak motorlarda istenilen itiş gücünü yakalayabilmek için motorların beslenmesi gereken voltaja göre seçilir. Lipo piller hücre sayılarına ve enerji depolama kapasitelerine göre adlandırılırlar. Kullandığım motorların özelliklerinde 6000gr itiş kuvveti için motorların 11.1V – 14.8v arasında beslenmesi gerektiği söylenmektedir. Bu yüzden 3 hücreli (3S) bir pil seçilmiştir ($3,7 \times 3=11,1V$). LiPo pil tam doldurulduğunda hücre başı gerilimi 4,2V'a kadar çıkmaktadır. Ayrıca LiPo pillerin akım verebilme kapasiteleri ve deşarj katsayısı (C

değeri) bulunur. Deşarj katsayıları da Continuous Discharge Rate (sürekli verebileceği akım değeri) ve Burst Rate (anlık verebileceği akım değeri) olarak 2 tanedir. Kullandığım pil 5200mAh'tır (5,2Ah) ve 35C sürekli verilen akım değerine sahiptir (burst rate 45C'dir). Bu da bu pilin saatte $5,2 \times 35 = 182A$ verebileceği anlamına gelir.

4.4.6. Pervane

Motorlardan gelen rotasyonel kuvveti, Quadkopter eksenine dik kuvvete çeviren pervanelerdir. İtiş gücünün asıl olarak oluşmasını ve havaya tutunmasını sağlar. Quadkopterlerde saat yönü (CW) ve saat yönü tersi (CCW) dönen olmak üzere 2 tip pervane kullanılmaktadır. Quadkopterde kullanılan pervanelerden 2 tanesi saat yönünde diğer 2 tanesi ise saat yönünün tersinde dönen tipte olmalıdır. Ayrıca pervanelerin uzunluğu ve burulma açısı olmak üzere 2 özelliği bulunmaktadır. Her motorun özellikleri arasında uygun olan pervane türleri gösterilir. Pervaneler bu özelliklere göre motorların özelliklerinde belirtilen değerlere uygun olarak seçilir. Örneğin Şekil 4.12'de gösterilen 9450 pervane şu demek: kanat boyu 94 inch(238,76cm) uzunluğunda ve 'pitch' değeri (bir rotasyon için aldığı yol değeri) 5.0'dır.



Şekil 4.12. 9450 pervane

4.4.7. Kumanda

Kullanıcı tarafından verilen komutlar, kumanda tarafından radyo sinyallerine çevrilir ve Multikopter üzerinde bulunan alıcıya gönderilir. Multikopter üzerinde bulunan alıcı ise bu komutları kontrol kartına iletir. Kumandalarda kullanılan çeşitli modlar vardır. Günümüzde en çok tercih edilen mod 1 ve mod 2 tipidir. Mod 1'de gaz

kolu sağda iken, mod 2’de gaz kolu soldadır. Türkiye’de genellikle mod 2 kumanda kullanılır. Şekil 4.13’te mod 2 tipinde bir kumanda gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Flysky FS-T6 mod 2 tipinde kumanda

Günümüzde kullanılan RC uzaktan kumandaların çoğu 2.4 GHz frekansta çalışmaktadır. 2.4 GHz kumandalar dijital haberleşme yaptığı için frekansların birbiri ile karışma olasılığı azalmıştır. Ayrıca anten boyları kısalmıştır.

Kumanda ile Alıcı sadece bir kez eşleşir. Bu eşleşme şifreleme ile gerçekleşir ve daha sonra o kumanda sadece kendi şifresini tanıyan alıcılar ile haberleşebilir. RC uzaktan kumandalar en az 500m civarında menzil de çok rahat çalışmaktadırlar.

4.4.8. Lipo Şarj Aleti

Quadkopter uçurulmadan önce LiPo pilin hücre başı gerilimi ölçülmeli eğer hücre başı gerilimi 3,7V altına düşmüş ise pil şarj edilmelidir. Aksi halde Quadkopter havada iken pil akım vermeyi kesip motorları durdurabilir ve yere düşebilir. Batarya birden fazla hücre olduğundan dolayı hücreler arası voltaj farkı olabilir. Bu yüzden LiPo pilin verimli kullanılabilmesi için balanslı şarj edilmesi gerekmektedir. Şekil 4.14’te balanslı şarj aletine örnek verilmiştir.



Şekil 4.14. İmax B6AC balanslı şarj aleti

4.4.9. Ekstra Donanımlar

Quadkopter'in uçuşu için zorunlu olmayan ama ekstra özellikler için gerekli olan donanımlar şunlardır:

GPS: Quadkopter'in konumunu harita üzerinden görebilmek ve otonom uçuş yapmak için kullanılır. GPS alırken uçuş kontrol kartına uyumlu olmasına dikkat edilmelidir.

Telemetre seti: Quadkopter'in uçuş esnasındaki bir dizi ölçüm bilgisine erişim sağlamak için telemetri bağlantısı olarak bilinen iki yönlü radyo kullanılmaktadır. Otonom uçuş yaparken Quadkopter'i harita üzerinde takip edebilmemize ve uçuş verilerinin Ardupilot'un ara yüzüne (Mission Planner) aktarılmasını sağlar. Otonom uçuş yapmak için zorunlu bir malzeme değildir fakat otonom uçuşu telemetri seti olmadan yapılmamalıdır. Çünkü bilgisayardan Quadkopter'in rotayı düzgün takip edip etmediğini bu kit ile görülebilir. Ayrıca bu kit ile Ardupilot'u bilgisayara USB kablosu olmadan kablosuz olarak bağlayabiliriz. Bu sayede kalibrasyon ve diğer ayarları yapabiliriz.

Titreşim Önleyici: Ardupilot içerisindeki sensörlerden doğru bilgiyi almak için uçuş kontrol kartını iyi sabitlemek gerekmektedir. Bu aparatla birlikte kontrol kartını titreşime karşı önlemiş oluruz ve kart daha verimli çalışır.

Güç Modülü: APM'yi ek olarak beslemeye yarar. Güç dengeleme özelliği sayesinde uçuş esnasında kartın voltaj düşüklüğünden değişikliklerinden etkilenmesini minimuma indirir. Ayrıca telemetri seti bataryanın anlık gerilim ve akım bilgisini arayüze aktarır.

LiPo Pil Voltaj Ölçer: LiPo pillerin hücre başı ve toplam gerilimlerini ölçmek için kullanılır.

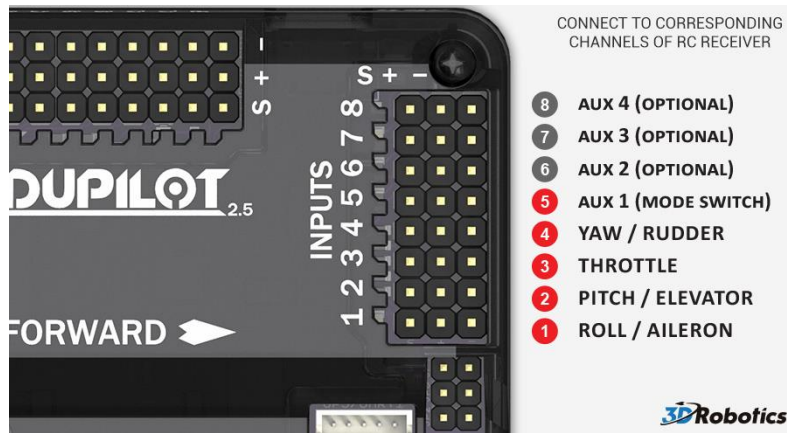
5. QUADKOPTERİN OLUŞUM AŞAMALARI

Quadkopter için gerekli olan donanım parçalarına karar verdikten sonra bu parçalar birleştirilir. Daha sonrasında ise uçuş kontrol kartı programlanarak uçuşa hazır hale getirilir. Uçuş öncesi ayarları yapabilmek, uçuş verilerini görebilmek ve otonom uçuş yapabilmek için otopilot sistemlerinden faydalanılır.

5.1. Quadkopter için gerekli olan parçaların birleştirilmesi

Quadkopterin gövdesine sırasıyla motorları, motor hız kontrolünü sağlayan ESC'lerin montajı yapılmıştır. Daha sonra Quadkopter'in önüne göre titreşim önleyici monte edilir. APM'de önünü gösteren forward yazısının yanındaki ok işareti, Quadkopter'in önünü gösterecek şekilde yere paralel ve tam ortaya gelecek şekilde titreşim önleyicinin üzerine koyulmuştur. APM'e içinde bulundurduğu sensörlerden dolayı sarsıntıyı hiç sevmez. Bu yüzden titreşim önleyici kullanılmıştır.

Quadkopter 6 kanallı ve mod 2 tipinde olan uzaktan kumanda ile kontrol edilecektir. Bu yüzden kumandanın gelen komutları iletmek için kumanda alıcısı APM'ye bağlanmıştır. Şekil 5.1'de gösterildiği gibi APM üzerindeki INPUTS pinleri alıcıdan gelen kabloların gireceği yerdir. Hava araçlarında Roll, Pitch, Throttle ve Yaw olmak üzere 4 hareket tipi mevcuttur. APM'nin INPUTS kısmında birinci pin Roll, ikinci pin Pitch, üçüncü pin Throttle ve dördüncü pin Yaw'dır.



Şekil 5.1. APM ile Alıcı bağlantısı

Kumandada ki Roll kolu ile Quadkopter'i sağı veya sola hareket ettirebiliriz. APM'nin 1 nolu pini ile alıcının 1. kanalı eşleştirilir. Pitch kolu Quadkopter'in ileri veya geri gitmesini sağlar. APM'nin 2 nolu pini ile alıcının 2. kanalı eşleştirilir. Throttle gaz koludur. Quadkopter'i aşağı veya yukarı hareket ettirmemize imkan sağlar. APM'nin 3 nolu pini ile alıcının 3. kanalı eşleştirilir. Kumandada ki Yaw kolu ise Quadkopter'in kendi eksenini etrafında dönmelerini sağlar. APM'nin 4 nolu pini ile alıcının 4. kanalı eşleştirilir. APM ile Alıcı arasında bu şekilde numara sırasına göre bağlantı yapılır. Ayrıca her iki cihazında üzerinde signal (S), power (+) ve ground (-) olmak üzere 3 adet pin vardır. Bağlantılar yapılırken bu pinlerin birbiriyle eşleştirilmesine dikkat edilmelidir.

Dört temel hareket tipi ayarlandıktan sonra uçuş modları arasında geçiş yapılabilecek bir kanal daha ayarlamamız gerekmektedir. Bunun için APM'nin 5 nolu pini ile alıcının 6. kanalı eşleştirilir. Daha sonra kumanda üzerinde 6. kanalın hangisi olduğu bulunur ve uçuş modları atanır. Uçuş modları konu başlığı altında daha detaylı bilgi verilmiştir. Ayrıca boşta kalan kanalları, kumandanın desteklediği kanal sayısına bağlı olarak kamera kontrolü gibi çeşitli uygulamalar için kullanılabilir.

Motorları hareket ettirmek için motor ile ESC bağlantıları yapılır. Bu kablolar rastgele takılır. Eğer motor ters yöne dönüyorsa bu kablolardan iki tanesinin yeri değiştirilerek motorun dönüş yönü düzeltilebilir. Daha sonra ESC den gelen kabloların bir tanesi APM'ye takılır diğeri ise gövde üzerine lehimlenir. Quadkopter X uçuş düzenine göre planlandığı için sağ ön motor birinci, sol arka motor ikinci, sol ön motor üçüncü ve sağ arka motor dördüncü motordur. ESC'den gelen kabloları Şekil 5.2'de gösterildiği gibi APM'nin Outputs kısmına numara sırasıyla bağlanmalıdır. Sağ ön motor Outputs üzerindeki 1 nolu pine, sol arka motor Outputs üzerindeki 2 nolu pine, sol ön motor Outputs üzerindeki 3 nolu pine ve sağ arka motor Outputs üzerindeki 4nolu pine bağlanmalıdır. Aksi takdirde motor dizilimi karışabilir. Bu yüzden uçuş esnasında sorunlar çıkabilir ya da uçuş işlemi gerçekleşmeyebilir.

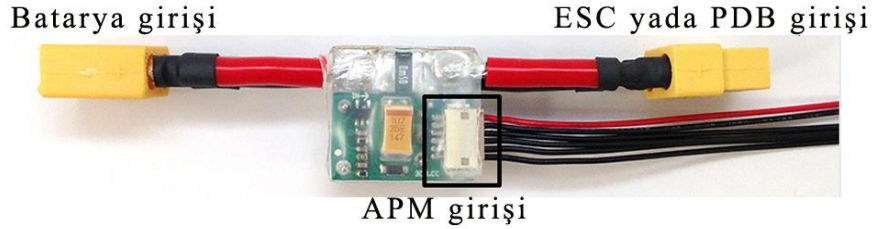


Şekil 5.2. APM de motor dizilimi ve bağlantısı

Uzaktan APM'ye erişmek ve hava aracı hareket halindeyken otopilot sistemiyle haberleşmesini sağlamak için Telemetri modülü kullanılmıştır. Bu modül alıcı ve verici setinden oluşur. Verici, Quadkopter'e bağlanmıştır. Alıcı ise bilgisayar, tablet veya telefona bağlanabilir. GPS bağlantısı yapılarak harita üzerinden Quadkopter'in nerede olduğu görülebilir. Ayrıca GPS yardımıyla otonom uçuş yapılabilir ve kalkış yaptığı noktaya geri dönebilir. GPS modülü yere paralel olarak ve APM'nin önüyle aynı yeri gösterecek şekilde gövde üzerine monte edilmiştir. GPS modülünden çıkan iki kablodan bir tanesi APM'nin üzerindeki "GPS" yerine diğeri ise "I2C" girişine takılır. Böylece APM ile GPS bağlantısı yapılmış olur. GPS ile ilgili ayarlar Kalibrasyon ayarları kısmında bahsedilmiştir.

Quadkopter'in güç mekanizmasını oluştururken s500 gövde üzerine ESC'lerden gelen kablolar lehimlenmiştir. Ayrıca gövde üzerine koyulan xt60 soket ile gövde üzerine elektrik dağıtımı sağlanmıştır. Şekil 5.3'te gösterilen güç modülü kullanılarak APM'nin hem güç modülü ile hem de ESC'ler ile beslenmesi sağlanmıştır. Güç modülünün bir ucu gövde üzerinde bulunan xt60 soketine bağlanmıştır. Bu bağlantı ile ESC'lere enerji ulaşır. Diğer ucu olan ince kablolar 5v değerinde olduğundan APM'nin "PM" girişine takılır. Böylece APM'ye enerji vermiş olur. Diğer ucu ise Quadkopter çalıştırılacağı zaman LiPo pile bağlanarak sisteme enerji dağıtımını yapacaktır. Böylece LiPo pilden gelen enerji güç modülü sayesinde ESC ye ulaşır. ESC'den de hem motorlara hem de APM'ye ulaşır. Ayrıca ince kablolar sayesinde APM'ye enerji ulaşmış olur. APM'yi iki farklı yolla besleyerek olası elektrik sorunlarına karşı garanti

altına almış oluyoruz. Ayrıca Telemetri modülü kullanılarak güç modülü üzerindeki devre sayesinde LiPo pilin durumu otopilot sistemine aktarılır ve buradan takip edilebilir.



Şekil 5.3. Güç modülü

5.2. Otopilot Sistemi

Günümüzde farklı algılayıcı ve işlemcilerle donatılmış, yazılım ve donanım değişikliklerine izin veren birçok otomatik pilot(otopilot) sistemi bulunmaktadır. Açık kaynaklı ve düşük maliyetli otopilot sistemleri akademik çalışmalarda, öğrenci projelerinde ve ticari amaçla kullanımı büyük bir hızla artmaktadır [38,39].

Mission Planner, APM otopilot projesi Michael Osborne tarafından geliştirilen ücretsiz ve açık kaynak kodlu bir yazılımdır. Ayrıca topluluk tarafından da desteklenmektedir. Mission Planner, ArduPilot açık kaynaklı otopilot projesi için tam özellikli bir yer istasyonu uygulamasıdır. Mission Planner programına ait bir görüntü Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



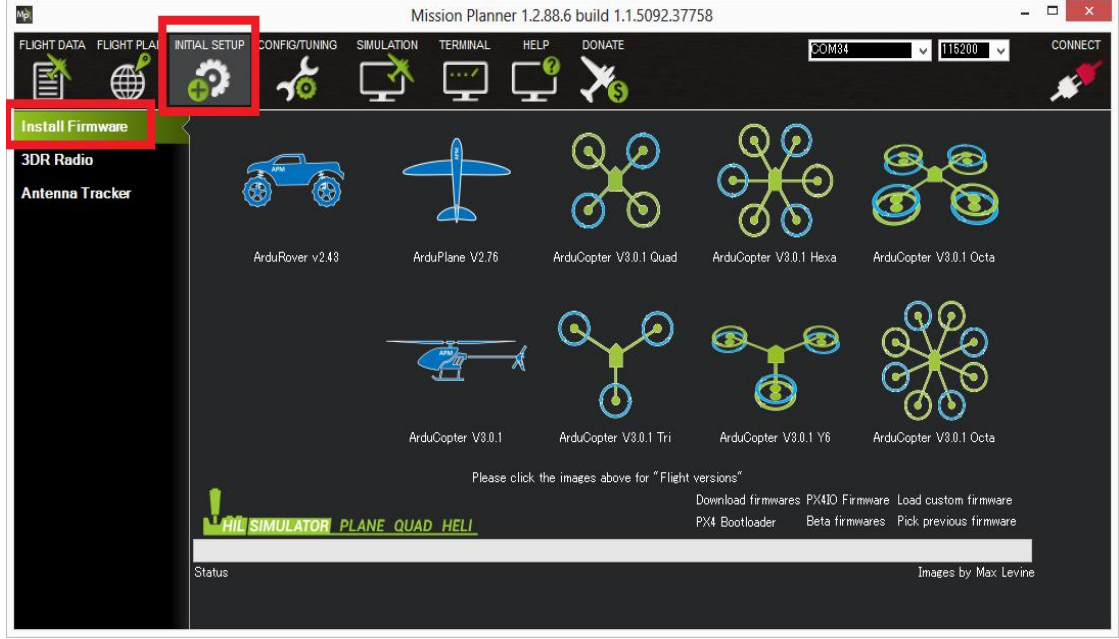
Şekil 5.4. Mission Planner programından bir görüntü

Mission Planner, Multikopter, uçak ve helikopter için bir yer kontrol istasyonudur. İnsansız araçlar için bir yapılandırma programı veya dinamik bir kontrol eklentisi olarak kullanılabilir. Mission Planner ile yapabilecek bazı şeyler:

- Aracı otomatik pilota kullanmak için gerekli yazılımı sağlar.
- Aracı standart ayarları kurmanıza yardımcı olur. Ayrıca kişiselleştirmenize olanak sağlar.
- İstenilen koordinatlara otonom bir şekilde ulaşım sağlar.
- Hava aracının takip edeceği rota, hava aracının hızı ve yüksekliği değiştirilebilir.
- Uygun telemetri donanımıyla şunlar yapılabilir:
 - Uçuş verileri (duruşsal veriler, konum, yükseklik, hız, yakıt ya da batarya durumu) anlık olarak gözlenebilir.
 - Dahili otopilot kayıtlarında çok daha fazla bilgi içeren telemetri bilgileri kaydedilebilir.
 - Uçuş verilerinin kaydı tutulabilir.
 - İHA üzerine takılacak bir kamera ile uçuş esnasındaki görüntü canlı olarak izlenebilir. Bu sayede İHA manuel olarak uçurulabilir.

5.3. Uçuş kontrol kartının kurulumu

APM uçuş kontrol kartının içinde hiçbir yazılım yoktur. Misson Planner uygulamasından yararlanılarak APM'ye açık kaynak kodlu olan yazılımlar yüklenir. APM'ye Multikopter, Uçak ve Helikopter gibi hava araçlarının yanı sıra, uzaktan kumandalı model araçları gibi çok farklı araç modelleri yüklenebilir. APM'ye yükleme yapabilmek için ilk önce Misson Planner uygulaması açılır. Daha sonra APM'nin LiPo pil bağlantısı kesilerek ya usp kablo aracılığı ile ya da Telemetri modülü ile bilgisayara bağlanır. Mission Planner uygulaması üzerinden sağ üst köşede bulunan Connect butonuna tıklayarak APM'ye bağlanmış olunur. Initial Setup sekmesine tıklanır. Açılan pencereden Instiall Firmware sekmesine tıklanır. Şekil 5.5'te gösterilen ekrana ulaşılmış olur. Burada yükleme yapmak istediğimiz model seçilir. Biz 4 motorlu olan Quadkopter'i seçiyoruz. Bu sırada bilgisayarın internete bağlı olması gerekiyor. Çünkü yazılımı internet üzerinden ücretsiz indiriliyor. İndirme işlemi tamamlandıktan sonra modele için gerekli olan yazılım standart ayarlar ile uçuş kontrol kartımıza yüklenir.



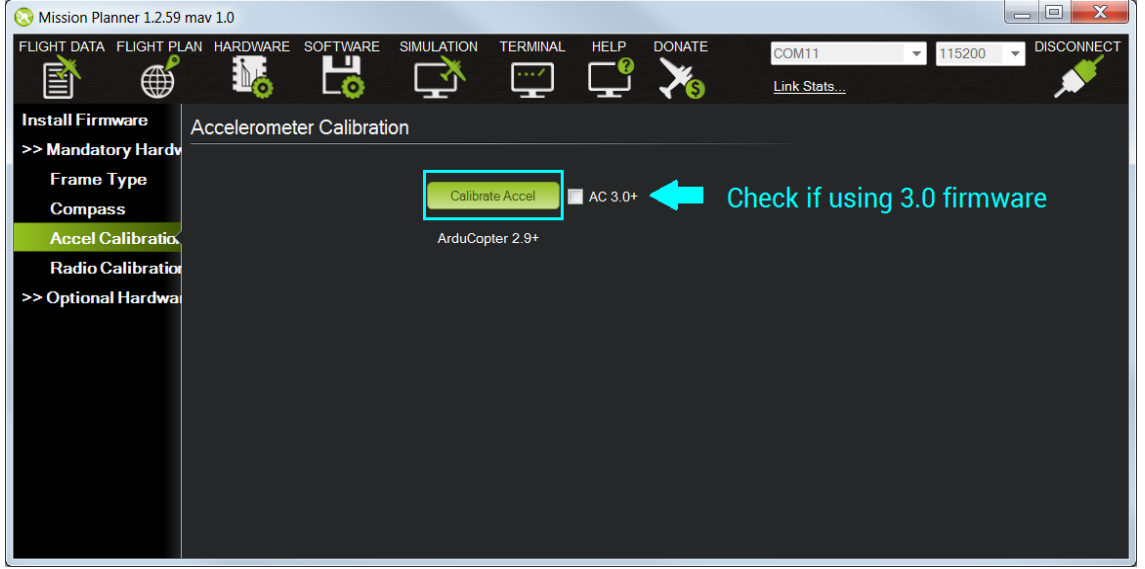
Şekil 5.5. APM kurulum ekranı

5.4. Kalibrasyon Ayarları

Uçuş kontrol kartına standart yazılımı yükledikten sonra kullanacağımız donanımlara göre kalibrasyon ayarlarını yapmalıyız. Bu yüzden Quadkoper için gerekli olan tüm donanımlar gövde üzerindeki yerlerine koyulmalıdır. Burada önemli olan Quadkopter'in ağırlık merkezi üzerindeki tüm donanımlara göre o an belirlenecektir. Buna göre de kalibrasyon ayarları yapılacaktır. Uçuş öncesinde Quadkopter üzerinde herhangi bir değişiklik yapıldıysa ağırlık merkezi değişebilir. Bu yüzden kalibrasyon ayarlarının en baştan tekrar yapılması gerekmektedir. Kalibrasyon ayarları Mission Planner programının Initial Setup sekmesinde bulunan Mandatory Hardware sayfasından yapılır. İvme, Pusula ve Kumanda kalibrasyonu olmak üzere üç kalibrasyon türü vardır.

5.4.1. İvme kalibrasyonu

Bu ayar ile APM'ye sağ, solu, önu ve arkası öğretilir. Yanlış yapılması sonucu uçuş esnasında Quadkopter istenilen tarafa gitmeyebilir. Bu ayar Initial Setup>Mandatory Hardware>Accelarator Calibration sekmesinden yapılmaktadır. Şekil 5.6'da İvme kalibrasyonunun yapıldığı yer gözükmektedir.



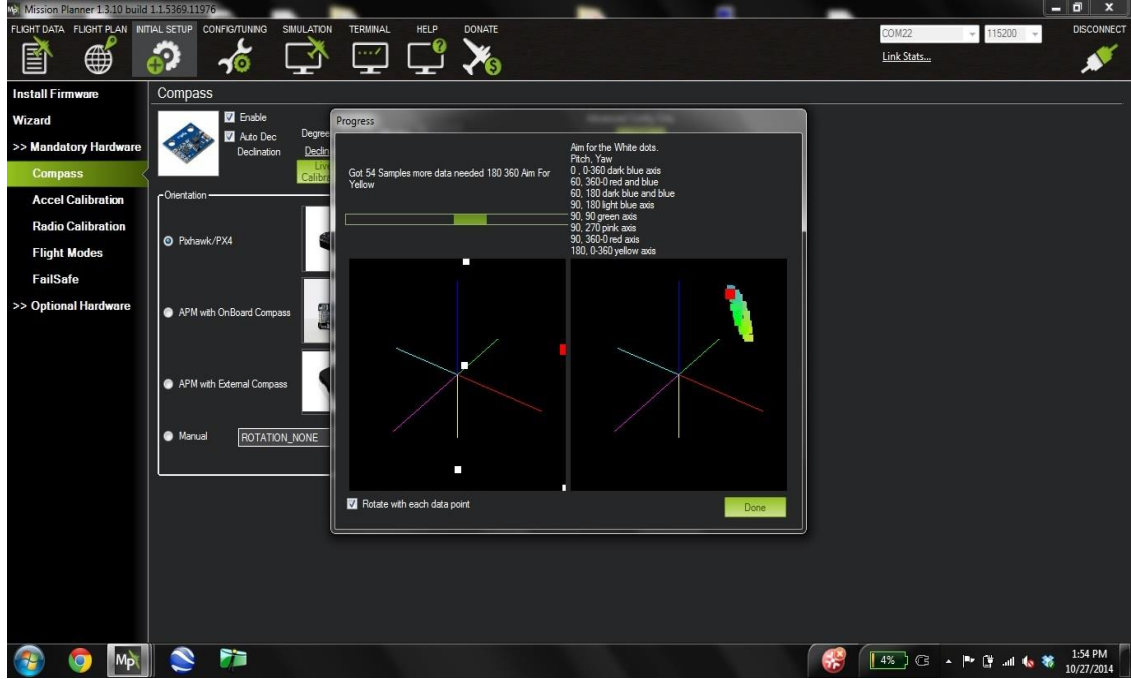
Şekil 5.6. İvme kalibrasyonu

Accel Calibration sekmesinden akselerometre kalibrasyonuna geçilir. Calibrate Accel butonu tıklanarak akselerometre kalibrasyonu başlatılır ve ekranda söylenen ifadeler doğrultusunda Quadkopter'in yönü aşama aşama ayarlanır. "Place APM level" ifadesi belirdiğinde Quadkopter düzgün bir zemin üzerinde durmalıdır ve Quadkopter'in bu durumdaki ön tarafı referans alınır. Çünkü diğer aşamalarda da Quadkopter'in önü bu yönde tutulur. "Place APM on its LEFT side" ifadesi belirdiğinde Quadkopter yerle 90 derece olacak şekilde sol tarafa döndürülür. "Place APM on its RIGHT side" ifadesi belirdiğinde Quadkopter yerle 90 derece olacak şekilde sağ tarafa döndürülür. "Place APM nose DOWN" ifadesi belirdiğinde Quadkopter'in önü yere bakacak ve yerle 90 derece yapacak şekilde döndürülür. "Place APM nose UP" ifadesi belirdiğinde Quadkopter'in önü yukarı bakacak ve yerle 90 derece yapacak şekilde döndürülür. "Place APM on its BACK" ifadesi belirdiğinde Quadkopter sırt üstü yere paralel olacak şekilde döndürülür ve ayarlar kaydedilir. "CALIBRATE SUCCESSFULL" ibaresi belirince işlem başarılı gerçekleşmiştir.

5.4.2. Pusula kalibrasyonu

Quadkopter'in GPS ile uyumlu ve verimli çalışmasını sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Quadkopter bütün eksenlerinde döndürülerek ekranda oluşmakta olan küre tamamlanmaya çalışılır. Şekil 5.7'de küre gösterilmiştir. Oluşan küre üzerindeki

noktalar ne kadar çok ve küre ne kadar tamamlanmış olursa pusula kalibrasyonu o kadar başarılı olur. Bu ayarın başarılı olması için telsiz telefon vb. gibi etkileyici unsurlardan uzak bir ortamda yapılması gerekmektedir.



Şekil 5.7. Pusula Kalibrasyonu

5.4.3. Kumanda kalibrasyonu

Kumanda üzerinde kullanılan bütün kanalların maksimum ve minimum noktaları APM'ye tanıtılması açısından bütün kanallar oynatılarak maksimum ve minimum noktalarına getirilir ve ayarlar kaydedilir. Bu ayar havalanmadan önce iyi yapmalı yoksa uçarken sıkıntılar yaşanabilir. Çünkü kumandadaki gaz kolunun minimum yada maksimum noktaları iyi tanıtılmazsa gaz kolunu yarıya bile getirseniz pervaneler daha yeni dönmeye başlayabilir. Gaz kolunu maksimum seviyeye getirseniz dahi uçuş kontrol kartı bunu anlayamadığından Quadkopter havalanmayabilir. Aynı şekilde siz Quadkopterin çok fazla ileri gitmesini istesenz de o çok az ileri gitmiş olabilir. Bu yüzden kumanda kalibrasyonu önemlidir. Şekil 5.8'de kumanda kalibrasyon ayarlarının yapıldığı yer gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Kumanda kalibrasyon ayarları

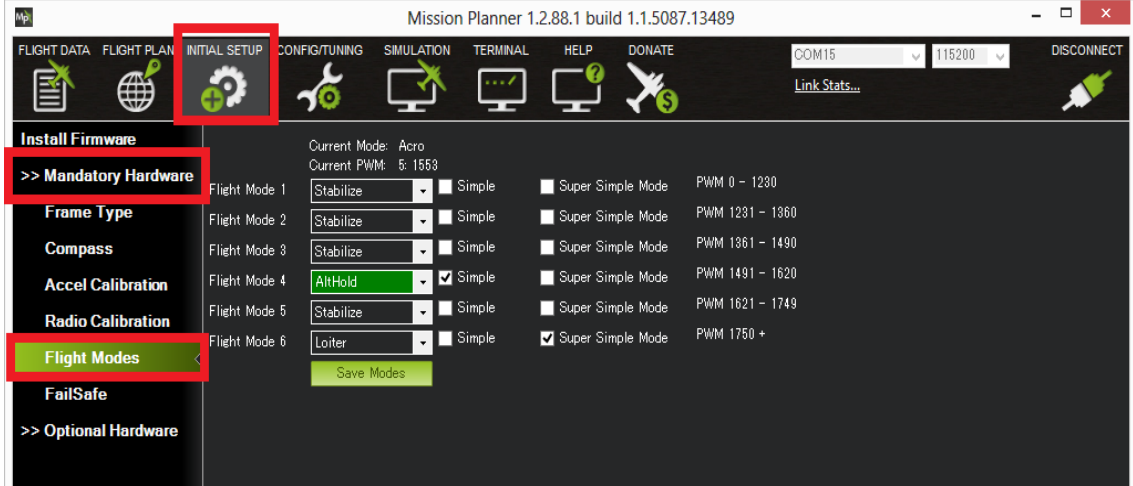
5.5. Uçuş modları

Quadkopterde 10 tanesi düzenli olarak kullanılmak üzere toplamda 14 tane uçuş modu vardır. Uçuş modlarına APM'nin Inputs kısmındaki 5. pin üzerinden ulaşılır. Kumanda üzerinde belirlenen bir kanal ile uçuş modu değiştirilir. Kullanılacak kumandanın kanal sayısına göre birçok uçuş modu kumandaya yüklenebilir.

Mission Planner programından uçuş modlarına erişmek için Initial Setup>>Mandatory Hardware>>Flight Modes sıralaması izlenmelidir. Şekil 5.9'da görüldüğü gibi Flight Mode 1 den Flight Mode 6'ya kadar karşımıza 6 tane uçuş modu gelmektedir. Bu uçuş modlarının hepsini kullanabileceğimiz gibi sadece bir tanesini de kullanabiliriz.

GPS gerektiren Uçuş modları: Loiter, RTL, Auto, Guided, Drift, PosHold, Follow Me, Circle ve Throw'dır.

GPS gerektirmeyen Uçuş modları: Stabilize, AltHold, Acro, Sport ve Land'tır.



Şekil 5.9. Uçuş modları

Stabilize: Quadkopter kontrolü tamamen kullanıcıdadır. Quadkopter kumandadan gelen sinyallere karşı çok hassastır.

Althold: APM kartının barometresi sayesinde yüksekliği sabit tutarak havada kalmasını sağlar. Yatayda ise sabit kalmaz. O yüzden rüzgar eserse yükseklik sabit kalacak şekilde yatayda rüzgar yönünde hareket edebilir. Quadkopter yatayda kumanda ile kontrol edilmesi mümkündür, fakat stabilize modda ki kadar hassas değildir. Loiter modundan farkı GPS gerektirmemesi ve yatayda sabit kalmamasıdır.

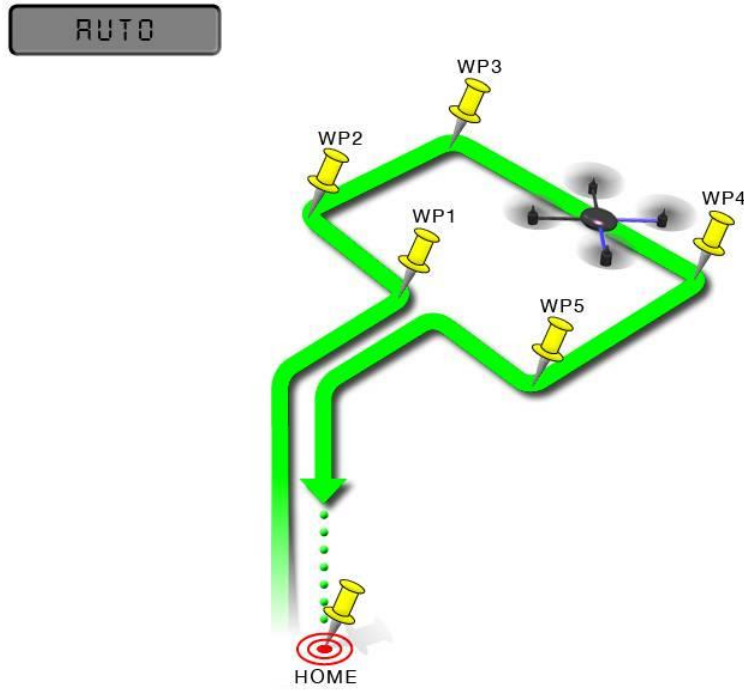
Loiter: Bu modda GPS yardımıyla Quadkopter'in yüksekliği ve yataydaki konumu sabit tutulabilir. Bu şekilde havada asılı kalabilir. Ancak bu modun aktif olabilmesi için APM'nin uyduya bağlanmış olması gerekmektedir. Ayrıca sadece uyduya bağlanmış olması yetmez. Çünkü az sayıda uyduya bağlanmış olan bir APM kartının yanılma payı oldukça yüksektir. O yüzden fazla uyduya bağlandıktan sonra kaliteli bir uçuş gerçekleştirilebilir. Zaten uydu bulamıyor ise bu moda geçmeyecektir.

Circle: Daire yörüngesinde, Aracın önünden başlayarak CIRCLE_RADIUS değeri kadar uzaklıktaki bir noktada, aracın burnu ortada gösterilir. CIRCLE_RADIUS değerini sıfıra ayarlamak, Quadkopter'in yerinde kalmasına ve yavaşça döndürülmesine neden olacaktır. Bu durum panoramik çekimler için kullanışlıdır. Aracın hızı (derece / saniyede) CIRCLE_RATE parametresi üzerinden değiştirilebilir. Pozitif bir değer saat yönünde döndürüldüğü anlamına gelir, negatif bir değer saatin tersi anlamına

gelir. Kullanıcı Roll ve Pitch üzerinde herhangi bir kontrol sahibi değildir, ancak yüksekliği gaz kolu ile AltHold veya Loiter modunda olduğu gibi değiştirilebilir.

Drift: Kullanıcı tarafından otomatik koordine edilmiş dönüşlerin yapılabildiği ve sanki bir uçak gibi Quadkopter'in uçuşuna olanak tanır. Kullanıcı Yaw ve Pitch'i doğrudan kontrol edebilir ama Roll otomatik pilot tarafından kontrol edilir. Mod 2 tipinde kullanılan kumanda ile Quadkopter tek bir kontrol kolu ile çok sezgisel olarak kontrol edilebilir.

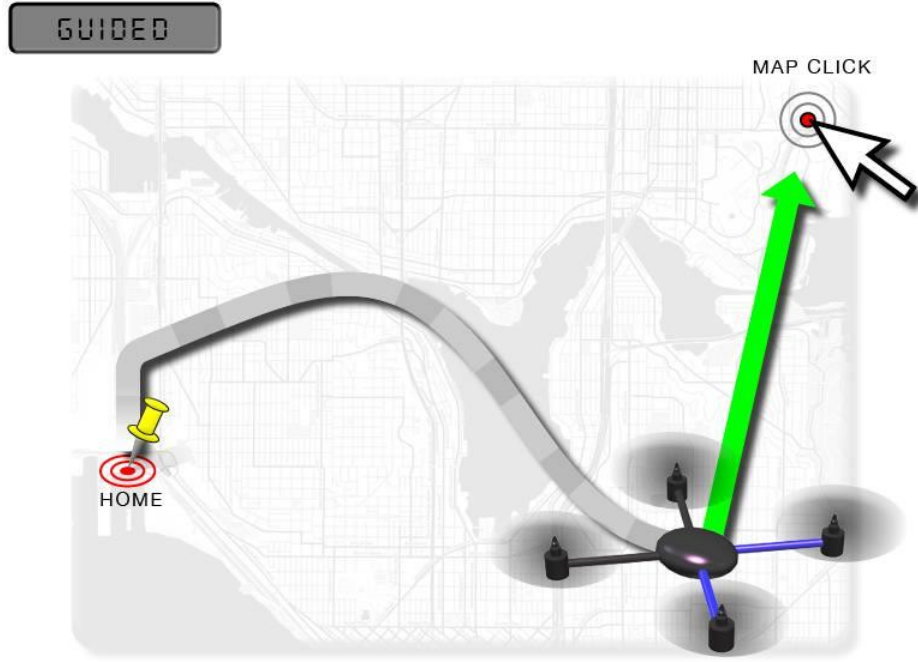
Auto: Bu modda ise otopilot devreye girer ve Quadkopter, APM'ye yüklenen uçuş planına göre otomatik uçuş yapar. Auto modda uçuş yaparken uçuş modunu değiştirmedikçe Quadkopter kumandadan kontrol etmek mümkün değildir. Şekil 5.10'da Auto modunu anlatan bir görsel gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Auto modu

PosHold: Bu modda Quadkopter'in sabit bir konumunu, rotasını ve yüksekliğini korur. Kumandadan yapılan değişiklikler ile Quadkopter direkt olarak kontrol edildiği için daha doğal bir his verir. Bu yüzden genel olarak daha popülerdir.

Guided: Quadkopter'in, Telemetri modülü ve otopilot uygulaması kullanılarak kablosuz olarak harita üzerinden belirlenen bir konuma otonom olarak gitmesi sağlanır. Mission Planner programında harita üzerinden bir yere sağ tıklayarak buraya uç seçeneği seçilir. Quadkopter otonom olarak bu konuma gider. Konuma ulaştığında durur ve bir sonraki hedefi bekler. Şekil 5.11'de Guided modunu anlatan bir görsel gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Guided modu

Follow Me: Telemetri modülü ve otopilot uygulaması kullanılarak hareket ettiğinizde Quadkopter'in sizi takip etmesi sağlanır. Bu modu kullanmadan önce Guided modu seçilerek bir koordinata gitmesi sağlanır. Eğer başarılı olursa Follow Me moduna geçiş yapılır. Çünkü Follow Me modunda, Mission Planer uygulaması cihazdaki GPS verisini okur ve onu her iki saniyede bir buraya uç komutu olarak Quadkopter'e gönderir. Bu şekilde Quadkopter, belirlenen bir yükseklikten hareket ettiğimiz sürece bizi takip eder.

Acro: Bu mod hız modu olarak bilinir. Quadkopter'in açisal hızını kontrol etmek için kumanda kolları kullanır. Kollar serbest bırakılsa bile araç mevcut konumunu korur. Akro modu, yumuşak ve hızlı kontrol istenildiği zaman hava akrobosisi veya FPV için

kullanılabilir. Bu modda ile güvenilir uçuşlar yapmaya başladıktan sonra aracınızın performans özelliklerine göre daha gelişmiş ayarlar yapılabilir.

Land: Quadkopter'i düz aşağı indirmek için çalışır. Mission Planner'ın programında bulunan ve istenildiği zaman değiştirilebilen WPNAV_SPEED_DN parametresinde bulunan hızla inişe geçer. Altitude Hold kontrolcüsünü kullanarak 10 metreye iner. Quadkopter, 10 metrenin altında varsayılan LAND_SPEED parametresinde belirtilen oranda yani 50 cm / s iner. Zemine ulaşıldığında Quadkopter'in motorları otomatik olarak kapanır.

Throw: Bu modun kullanımı biraz tehlikelidir. Kullanıcı motorları çalıştırmak için aracı havaya fırlatmasına veya aracın düşmesine izin verir. Havaya doğru fırlatılmadan önce, kullanıcı tarafından kumandadan verilen herhangi bir komut Quadkopter tarafından kabul edilmez. Bu mod GPS gerektirir.

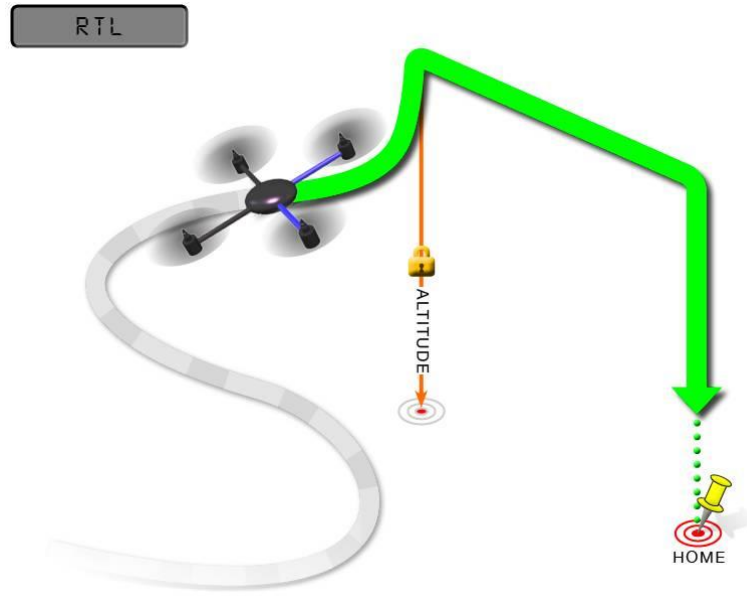
Throw modunun kullanımı:

1. Quadkoper açılarak yere koyulur.
2. Throw moduna geçilir.
3. GPS ışığının yeşil olup olmadığı kontrol edilir.
4. Quadkopter'i aktif edilir ve hazır olduğuna belli eden sesli uyarı beklenir. Bu sırada kumandadan verilen komutlar ile motorlar döndürülmez.
5. Sesli uyarı geldikten sonra araç kaldırılır ve kendimizden uzağa doğru atılır. (50 cm / s tırmanıp toplam hızı 5 m / s'ye ulaşması gerekir)
6. Araç durduktan sonra manuel kontrolü tekrar almak için uçuş modunu Loiter (veya başka bir mod) moduna getirilip kullanılabilir.

Motorlar, araç yörüngesinin tepesine ulaştığında çalışmaya başlamalıdır. Motorlar çalışmaya başladıktan sonra bu uçuş modu öncelikle duruşunu kontrol etmeye (dönmeye ve durmayı bırakmaya) çalışacak, sonra iniş yapmayı durduracak ve nihayet yatay olarak hareket etmeyi bırakacaktır.

Sport: Sport modu, hız kontrolü sabitleme ve ilave olarak yükseklik sabitleme olarak bilinir. Quadkopter belli bir açıya göre ayarlanıp o şekilde durabilir. Bu açının otomatik olarak maksimum değeri 45 derecedir. İstenilirse bu değer değiştirilebilir.

RTL(Return-to-Launch): Bu modda GPS yardımıyla Quadkopter'in kalkış yaptığı yere geri dönmesi sağlanır. Bu moda geçmeden önce GPS'in çalışıyor olması gerekmektedir. Ayrıca otomatik olarak kalktığı yere iniş yapacağı için kalkış yerinin insanlardan uzak ve etrafında çok fazla bir şey bulunmaması tavsiye edilir. Şekil 5.12'de RTL modunu anlatan bir görsel gösterilmiştir.

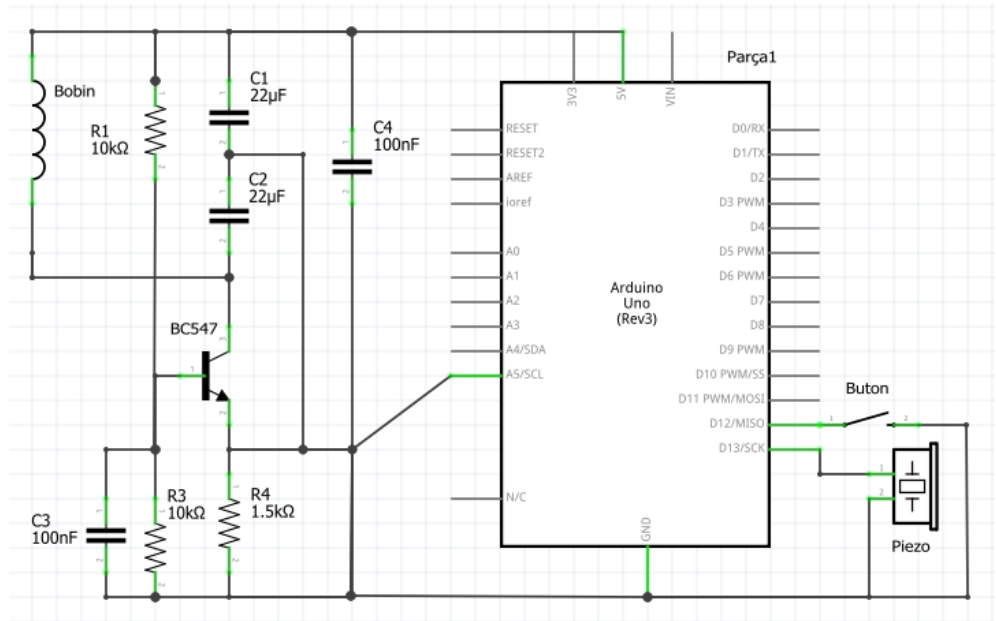


Şekil 5.12. RTL modu

6. METAL DEDEKTÖR YAPIMI

Mayının ateşleme mekanizması metal olduğu için kullanılan dedektörler metal dedektördür. Bu yüzden BFO tipinde metal dedektörü yapılmıştır.

Metal tespit etmede yardımcı olarak Arduino Uno R3 üzerinde bulunan Atmega328 Mikro denetleyici kullanılmıştır. Metal dedektöründe 2 adet 22NK100 transistör, 2 adet 104J63 transistör, 2 adet 10k lık direnç, 1 adet 1,2k lık direnç, 1 adet BC547 transistör ve 15 metre bakır tel kullanılmıştır. Şekil 6.1'de Metal dedektörüne ait şema gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Metal dedektör şeması

Osilatör devresi Arduino'nun beşinci pimine yaklaşık 160kHz sinyal gönderir. Arduino'ya yazılan kodlar sayesinde doğru bir şekilde bu pin sıklığını ölçer. Düğmeye basılı tutulduğunda bu frekans kaydedilir. Bu frekanstan sapma, hoparlör yardımıyla ses çıkışına neden olur. Metal, bobine yaklaştıkça ses oranı artar.

Bobini oluşturmak için 15 cm çapında olan çembere, 15 metre bakır kablo 30 tur sarılmıştır. Bu sayede dedektör 10 kuruş madeni parayı bile çok rahat bir şekilde bulabiliyor. Mayındaki pin kısmının çapı 10 kuruş madeni paradan daha büyük olduğu için yapılan tarama cihazı mayınları kolay bir şekilde yerini belirleyebiliyor.

Metal dedektör Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Metal dedektör

7. QUADKOPTER İLE MAYIN TARAMA

Quadkopter ile mayın taramaya geçmeden önce ülkemizde mayın tarama işlemi nasıl yapılıyor bundan bahsedelim. Askeriye de mayın tarama işlemi bir grup asker tarafından yapılır. Bu askerler tek sıra halinde dizilir. En öndeki askerde metal dedektör bulunur. Bu asker bölgeyi tarayarak tehlike olup olmadığını kontrol eder. Bu sırada diğer askerler tek sıra olarak tarama yapan askeri izlerler herhangi bir tehlike durumunda ise askerler bölgeyi koruma altına alırlar ve mayını etkisiz hale getirmeye çalışırlar. Şekil 7.1’de askerler tarafından yapılan mayın taramaya örnek verilmiştir.



Şekil 7.1. Askerler tarafından yapılan mayın tarama işlemi

Tez kapsamında geliştirilen Quadkopter ile mayın tarama işlemine farklı bir bakış açısı getirilmiştir. İlk başta Quadkopter için belirlenen donanımlar bir araya getirilerek uçuşa hazır hale getirilmiştir. Daha sonra uçuş kontrol kartının yazılımı olan Mission Planer programında kartın yapılandırılması yapılmıştır. Burada yapılan işlemler ise uçuş tipi seçimi, kalibrasyon ayarları(İvme, Pusula ve Kumanda) ve uçuş modu ayarlarıdır. Şekil 7.2’de Quadkopter gösterilmiştir. Üzerinde s500 gövde, dört tane fırçasız motor, dört tane ESC, dört tane pervane, APM uçuş kontrol kartı, titreşim önleyici, GPS, Telemetri modülü, Alıcı, Güç modülü ve LiPo pil bulunmaktadır.



Şekil 7.2. Quadkopter

Mission Planer programı ile uçuş simülasyonu yapılmıştır. Uçuş simülasyonlarının başarılı şekilde tamamlanmasından sonra gerçek uçuş testlerinin yapılması süreci başlanmıştır. Uçuş testleri sırasında en uygun uçuş modu seçilmeye çalışıldı. Stabilize uçuş modu çok hassas olduğu için mayın tarama işlemi sırasında kullanılmayacağına karar verildi. Loiter modunda çok stabil uçuş gerçekleştirildi. Quadkopter'in yatayda ve düzeyde sabit kalmasıyla birlikte istenilen yükseklikte ileri geri sağa sola gidilerek mayın tarama işlemi yapılabileceği görüldü. Ayrıca Auto modda bir rota çizilerek rota çerçevesinde mayın tarama işlemi yapılabileceği görüldü.

Quadkopter'in birim testleri ve uçuş testleri bittikten sonra üzerine entegre edilecek mayın tarama cihazının yapımına başlanmıştır. Mayın tarama cihazları hakkında bilgi toplanmıştır. Mayın tarama cihazları aslında metal dedektörü olduğunu anlaşılmıştır. Mayınlar önceki dönemlerde tamamen metalden yapıldığı için dedektörler kolaylıkla tespit edebiliyordu. Günümüzde kullanılan mayın dedektörlerinin sadece pin yani ateşlemeyi sağlayan bölümü metal diğer kısımları ise plastikten yapılmaktadır. Bu sebepten dolayı mayının tespiti daha zor olmaktadır.

Şekil 7.3'te yapılan tarama cihazını gösterilmektedir.



Şekil 7.3. Quadkopter ile Mayın tarama cihazı

Metal dedektörün çalışması ve test işlemleri bittikten sonra Quadkopter ile entegrasyon işlemine geçiş yapıldı. Quadkopterin ayaklarına monte edilen metal dedektör sayesinde istenilen yerde havadan mayın tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Rüzgarın durumuna göre Quadkopter ile yaklaşık 30dk mayın tarama işlemi yapılabilmektedir.

8. SONUÇ

Mayın tarama işlemi için tasarlanmış olan Quadcopter, metal dedektör sayesinde belirlenen rota çerçevesinde otonom olarak mayın tespiti veya uzaktan kumanda ile kullanıcı kontrolünde istenilen bölgeyi tarama yapabilmektedir. Quadcopter'in hız kontrolü APM uçuş kontrol kartı ile gerçekleştirilmiştir. Metal dedektörden gelen veriler ise Arduino da işlendikten sonra herhangi bir tehlike durumunda sisteme uyarı vermesi sağlanmıştır.

Quadcopter ve metal dedektör geliştirilmeye açık şekilde tasarlanmıştır. Daha uzun süre tarama yapabilmek için Quadcopter geliştirilebilir. Mayın tarama işlemini daha yukardan gerçekleştirebilmek ve daha iyi sonuçlar alabilmek için Metal dedektör geliştirilebilir. Tarama cihazının Quadcopter'e sabitlenmesi daha sert ve esnek olmayan bir madde ile yapılarak dedektörün sallanma ihtimali ortadan kaldırılabilir. Sinyal kesici cihaz kullanılarak tarama yapılacak bölgedeki sinyaller engellenebilir. Böylece mayının uzaktan patlatılması engellenebilir. Ayrıca üzerine kamera takılarak haritada istenilen bölgenin fotoğraflanması ve istenen bölgede tehlike olup olmadığı tespit edilebilir.

9. KAYNAKLAR

- [1] Yıldırım İ., Yüzgeç U. ve Kesler M., *Mayın Algılama Robotu*, Elektrik, Elektronik, Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu- ELECO , 2014
- [2] Hewish M. ve Ness L., *Mine-Detection Technologies*, International Defence Review, 1995.
- [3] Chao H., Cao Y. ve Chen Y., *Autopilots for Small FixedWing Unmanned Air Vehicles: A Survey*, International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), s:3144-3149, 2007.
- [4] Jodeh N., Blue P. ve Waldron A., *Development of Small Unmanned Aerial Vehicle Research Platform: Modeling and Simulating with Flight Test Validation*, AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, Washington DC, U.S.A, 2006.
- [5] Erdos D. ve Watkins S.E., *UAV Autopilot Integration and Testing*, IEEE Region 5 Conference, Kansas City, U.S.A, 2008.
- [6] Stojcsics D. ve Molnar A., *Fixed-wing small-size UAV navigation methods with HIL simulation for AERObot autopilot*, IEEE 9th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), s:241-245, 2011.
- [7] Sullivan J.M., *Evolution or revolution? The rise of UAVs*, IEEE Technology and Society Magazine, cilt:25, no:3, s:43-49, 2006.
- [8] Baysallı O. U., *Otonom Mayın Tarama Robotu*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2010.
- [9] Doğru M., *Design Of A Semi-Autonomous Robot Adaptable To Land Mine Detection*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, 2009.
- [10] Castillo P., Lozano R. ve Dzul A., *Modeling and control of Mini-Flying Machines*, 2005.
- [11] Önkol M., *Dönerkanat Tipinde Bir İnsansız Hava Aracının Tasarımı, Modellenmesi ve Kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, 2010.
- [12] Altuğ E., *Vision Based Control of Unmanned Aerial Vehicles with Application to an Autonomous four rotor Helicopter*, Doktora Tezi, University of Pennsylvania Philedelphia, 2003.
- [13] Hoffmann G., Rajnarayan D.G., Waslander S.L., Dostal D., Jang J.S. ve Tomlin C. J., *The Stanford Testbed of Autonomous Rotorcraft for Multi-Agent Control (STARMAC)*, 23rd Digital Avionics Systems Conference, 2004.

- [14] Merç Y. ve Bayılmış C., *Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracı Uygulaması*, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 2011
- [15] Tol A., *Farklı Detektörler Taşıyan Robotların Kara Mayını Tespit Algoritmasının Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin, 2007.
- [16] Şahinoğlu A., *Mayın Tarama ve Çıkartma Makinası Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2013.
- [17] Dağ M., *FPGA Kontrollü Metal Algılayıcısı Tasarımı Ve Gerçeklemesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2011
- [18] Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisi, Gelişim Yayınları, s:7887, 1986.
- [19] Yujiri L., Hauss B. ve Shoucri M., *Passive millimeter wave sensors for detection of buried mines*, SPIE, s: 2-6, 1995.
- [20] Kıyak E. ve Göl G., *Arduino Geliştirme Kartı ile Döner Kanatın Kontrolü ve Kontrol Yazılımlarının Geliştirilmesi*
- [21] Çaçka S. ve Gayretli A., *A Survey of UAV/UGV Collaborative Systems*, CIE44 & IMSS'14 Proceedings, s: 453-463, 2014.
- [22] Altenburg G., *Unmanned Air Vehicles*, NATO Senior Politici-Military Group on Proliferation (SGP), s:1-14, 2002.
- [23] Hüdayim B. ve Murat G., *İnsansız Hava Aracı Kazalarının Önlenmesi İçin Risk Ölçümü ve Yönetimi Modeli*, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 14, No: 1, s: 55-65, 2008.
- [24] Kundak N. ve Mettler B., *Experimental Framework for Evaluating Autonomous Guidance and Control Algorithms for Agile Aerial Vehicles*, European Control Conference, s: 293–300, 2007.
- [25] Valenti M., Bethke B., Fiore G., How J. P. ve Feron E., *Indoor Multi_Vehicle Flight Tested for Fault Detection, Isolation, and Recovery*, AIAA Guidance.
- [26] Özalp N., *3 Boyutlu Arazi Üzerinde Çoklu Otonom İnsansız Hava Aracı Rota Planlaması*, Yüksek Lisans Tezi, Hava Harp Okulu, 2013.
- [27] Mozaffari M., Saad W., Bennis M. ve Debbah M., *Unmanned aerial vehicle with underlaid device-to-device communications: Performance and tradeoffs*. IEEE Transactions on Wireless Communications, cilt:15, no:6, s: 3949-3963, 2016.
- [28] Zeng Y., Zhang R. ve Lim T.J., *Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges*, IEEE Communications Magazine, cilt:54, no:5, s:36-42, 2016.

- [29] Mozaffari M., Saad W., Bennis M., ve Debbah M., *Efficient deployment of multiple unmanned aerial vehicles for optimal wireless coverage*, IEEE Communications Letters, cilt:20, no:8, s:1647-1650, 2016.
- [30] Bomes O., *Royal Air Force, Directorate of Defence Studies*, Air Power-UAVs: The Wider Context, 2009.
- [31] Özer F., *Android İşletim Sistemli Cihazlar ve 2.4GHZ Kumanda ile Arm Tabanlı Mikrodenetleyici Üzerinden Quadrotor İnsansız Hava Aracının Tasarımı, Otonom Kontrolü ve Denetimi*, Bitirme Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2016.
- [32] Hoffmann G., Huang H., Waslander S.L. ve Tomlin C.J., *Quadrotor Helicopter Flight Dynamics and Control: Theory and Experiment*, In the Conference of the American Institute of Aeronautics and Astronautics. Hilton Head, South Carolina, 2007
- [33] Waslander S.L., Hoffman G.M., Jang J.S. ve Tomlin C. J., *Multi-Agent Quadrotor Tested Control Design: Integral Sliding Mode vs. Reinforcement Learning*, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, s:3712–3717, 2005
- [34] Arıkan Y., Çaşka S., Gayretli A. ve Oğuz Y., *Dört Pervaneli İnsansız Hava Aracının Kontrolü İçin PID Kontrol Algoritmaları Geliştirilmesi ve Yörünge Takibi Uygulaması Yapılması*, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı-TOK'2015, 2015
- [35] Kundak N. ve Mettler B., *Experimental Framework for Evaluating Autonomous Guidance and Control Algorithms for Agile Aerial Vehicles*, European Control Conference, s:293–300, 2007.
- [36] Valenti M., Bethke B., Fiore G., How J.P. ve Feron E., *Indoor Multi-Vehicle Flight Tested for Fault Detection, Isolation, and Recovery*, AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit, 2006.
- [37] Waslander S.L., Hoffman G.M., Jang J.S. ve Tomlin C.J., *Multi-Agent Quadrotor Tested Control Design: Integral Sliding Mode vs. Reinforcement Learning*, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, s:3712–3717, 2005.
- [38] Shih T. ve Chang H., *FPGA based hardware in the loop test platform of small size UAV*, IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA), s:551-556, 2009.
- [39] Elbir Ö., *Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracı İçin Otopilot Tasarımı* Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi Ve Teknoloji Üniversitesi, 2013

10. ÖZGEÇMİŞ

Onur KARA, 1993 yılında Edirne'nin Keşan ilçesinde doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Keşan'da tamamlamıştır. Lise'den okul 1.si olarak mezun olmuştur. 2011 yılında Ege Üniversitesi Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi(CEIT) bölümünü kazanmıştır. 2015 yılında bölüm 3.sü olarak mezun olmuştur. Aynı yıl Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisansa başlamıştır.