

**T.C.**  
**İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HEXACOPTER YAPISINDA BİR İNSANSIZ HAVA ARACI İLE**  
**ELEKTRONİK İLAÇLAMA/SULAMA SİSTEMİNİN**  
**OLUŞTURULMASI**

**Umut UZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN**  
**PROF. DR. ALİ OKATAN**

**İSTANBUL, 2019**

Umut UZ tarafından hazırlanan “HEXACOPTER YAPISINDA BİR İNSANSIZ HAVA ARACI İLE ELEKTRONİK İLAÇLAMA / SULAMA SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İstanbul Gelişim Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Ali OKATAN

Bilgisayar Mühendisliği, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum .....

**Başkan:** Unvanı Adı SOYADI

Anabilim Dalı, Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum .....

**Üye:** Unvanı Adı SOYADI

Anabilim Dalı, Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum .....

Tez Teslim Tarihi: ...../...../..... Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Dr. Ümit ALKAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum bu tez çalışmada;

- Tez içerisinde sunduğum verileri, bilgileri ve dökümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Umut UZ

..../..../2019

# HEXACOPTER YAPISINDA BİR İNSANSIZ HAVA ARACI İLE ELEKTRONİK İLAÇLAMA/SULAMA SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Umut UZ

GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2019

## ÖZET

İsmi belirtilen tez çalışmasında, altı rotorlu otonom uçuş sağlayabilen bir hexacopter oluşturulmuş olup, oluşturulan mekanizma doğrultusunda tasarlanan otomatik ilaçlama veya sulama sistemi adaptasyonu gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan bu bütünleşik sistem doğrultusunda, oluşturulan altı rotorlu uçuş gerçekleştirebilen ilaçlama veya sulama hexacopterinin gerçekleştirdiği test uçuşlarına ait veriler elde edilmiş olup, bu veriler ışığında çalışmanın ne doğrultuda sonuca ulaştığı belirtilmiştir. Oluşturulan sistemde normal uçuş veya otonom uçuşun gerçekleştirilebilmesi için oto pilot modülü (STM32F427 Cortex M4 core) kullanılmıştır. Kullanılan bu modül sayesinde sistem içerisinde yer alan AC motor kontrolleri, radyo kontrol sinyallerinin işlenmesi ve telemetri verilerinin okunması gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan sistemde yer alan oto pilotun yazılımı ArduPilot platformunda gerçekleştirilmiş olup, yapılan testler doğrultusunda en uygun parametreler bu platform üzerinde belirlenmiştir. Belirlenen parametreler doğrultusunda uçuş sırasındaki tüm veriler radyo kontrol ekipmanı yani uzaktan kumanda üzerinden anlık olarak takip edilebilmektedir. Bunun yanı sıra ArduPilot programı ile bütünleşik çalışan Hexatar üzerinde GPS, altimetre, barometre gibi sensörlere de sahip olduğundan dolayı bu sensörlerden alınan tüm verileri (konum, yükseklik, gidiş yönü) ArduPilot programı üzerinde takip edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler : Hexatar, Pixhawk, Otonom Uçuş, ArduPilot, TAROT 690S

Sayfa Adedi : 86

Danışman : Prof. Dr. Ali OKATAN

THE PRODUCTION OF ELECTRONIC PHARMACEUTICAL / IRRIGATION  
SYSTEM WITH AN UNMANNED AERIAL VEHICLE IN HEXACOPTER  
STRUCTURE

(Master's Thesis)

Umut UZ

GELİŞİM UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

JULY 2019

ABSTRACT

In the mentioned thesis study, a hexacopter which can provide six rotor autonomous flight has been formed and automatic sprinkler or irrigation system adaptation designed according to the mechanism created has been realized. Based on this integrated system, data on test flights performed by hexacopter, which can perform six rotor flight, which can be created, have been obtained and in the light of these data, it is stated in the direction of the study. In order to perform normal flight or autonomous flight, auto pilot module (STM32F427 Cortex M4 core) was used. Through this module, AC motor controls, radio control signals processing and telemetry data are read. The software of the auto pilot in the system was carried out on the ArduPilot platform and the most suitable parameters were determined on this platform. According to the determined parameters, all data during the flight can be monitored instantly via the radio control equipment, ie the remote controller. In addition, Hexatar which is integrated with ArduPilot program has GPS, Altimeter, Barometer and all the data (position, height, direction) that are taken from these sensors can be followed on ArduPilot program.

Keywords : Hexatar, Pixhawk, Autonom Flight, ArduPilot, TAROT 690S

PageNumber : 86

Consultant : Prof. Dr. Ali OKATAN

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında her türlü bilgi, doküman teknik desteğini esirgemeyen, tüm bu süreç boyunca ılımlı yaklaşımıyla gelişmemde büyük rol oynayan tez danışmanım Prof. Dr. Ali Okatan'a teşekkür ederim. Lisans eğitimim süresince mühendislik bakış açımı genişleten ve bu tez çalışmasını gerçekleştirebilmemde ki gerekli temel bilgileri sayesinde öğrendiğim Dr. Hüseyin Kurt'a teşekkür ederim. Çalışma dönemi boyunca her daim benim yanımda olan, desteklerini her daim hissettiğim ve beni her konuda motive eden dostlarım Yüksek Mühendis Furkan YILMAZ'a ve Yüksek Mühendis Muhammet Ömer ERDOĞAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Bununla birlikte aktif iş hayatım içerisinde hiçbir zaman sorularımı cevapsız bırakmayıp, her konuda yardımcı olmaya çalışan İstanbul Gelişim Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi ekip arkadaşlarımdan Ali ÇETİNKAYA başta olmak üzere tüm ekip arkadaşlarıma teşekkür ederim. Aynı zamanda eğitim hayatım boyunca maddi manevi her türlü konuda yanımda olan, her daim desteklerini hissettiren ve nazımı çeken ailem ile nişanlım Kader AKGÜN'e teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xii
1.GİRİŞ.....	1
2.HEXATAR İÇİNDE KULLANILAN ELEKTRONİK EKİPMANLAR .....	6
2.1. ELEKTRONİK HIZ KONTROLCÜSÜ (ESC).....	6
2.1.1. Radyo Kontrol Tabanlı Elektrikli Arabalar .....	8
2.1.2. Radyo Kontrol Tabanlı Helikopterler .....	8
2.1.3. Radyo Kontrol Tabanlı Uçaklar .....	9
2.1.4. Radyo Kontrol Tabanlı Tekneler .....	10
2.1.5. Radyo Kontrol Tabanlı Multikopterler .....	10
2.1.6. T-80A ESC .....	11
2.2. BATARYA GRUBU .....	12
2.2.1.2. Nikel Metal Hidrit (NiMH) Batarya Grubu .....	14
2.2.1.3. Lityum İyon (Li-ion) Batarya Grubu .....	15
2.2.1.4 Lityum Polimer (Li-Po) Batarya Grubu.....	17
2.2.2 İlaçlama Sistemi İçerisinde Kullanılan Batarya Modeli .....	18
2.2.3 Sulama Sistemi İçerisinde Kullanılan Batarya Modeli .....	19
2.3. FIRÇASIZ (BRUSHLESS) MOTOR.....	20
2.3.1 Outrunner Brushless Motor (Dışı Dönen Fırçasız Motor).....	21
2.3.2 Inrunner Brushless Motor (İçİ Dönen Fırçasız Motor) .....	22
2.3.3. PRM Güç Dağıtım Kartı .....	25
2.3.4 Hexatar Sistemi İçerisinde Kullanılan Motor Modeli.....	26

2.4. UÇUŞ KONTROL SİSTEMİ .....	28
2.4.1. PİXHAWK .....	30
2.4.1.1. PİXHAWK Model Uçuş Kontrolcüsünün Matematiksel Kontrol Sistemi ve Bütünleşik Çalışan Ekipmanlar .....	32
2.4.1.1.2. Buzzer .....	33
2.4.1.1.3. Telemetri .....	33
2.4.1.1.4. Güç Modülü .....	34
2.4.1.1.5. Mission Planner .....	37
3. HEXATAR İLAÇLAMA SİSTEMİ .....	38
3.1. Prolux Elektrikli Yakıt Pompası .....	39
3.2. Röle Devresi .....	40
3.2.1. Röle Çeşitleri .....	42
3.2.1.1. Koaksiyal Röle .....	42
3.2.1.2. Kontaktör .....	43
3.2.1.4. Mandallama Rölesi .....	43
3.2.1.5. Takım Tezgahı Rölesi .....	44
3.2.1.6. Katı Hal Rölesi .....	45
3.2.1.7. Zamanlama Rölesi .....	45
3.2.1.8. İlaçlama Sisteminde Kullanılan Röle Modeli .....	46
4. RADYO KONTROL (KUMANDA) SİSTEMİ .....	48
4.1. Radyo Kontrol Sisteminin Kullanım Alanları .....	49
4.1.1. Askeri – Savunma Sanayi Alanlarında Kullanımı .....	49
4.1.2. Endüstriyel Alanlarda Kullanımı .....	50
4.2. Hexatar Radyo Kontrol Mekanizması .....	50
5. HEXATAR SİSTEMİNİN MEKANİK VE AERODİNAMİK ALT YAPISI .....	51
5.1. Tricopter .....	52
5.2. Quadcopter .....	53
5.3. Hexacopter .....	55
6. HEXATAR SİSTEMİ İÇİN KULLANILAN/OLUŞTURULAN MEKANİK EKİPMANLAR .....	57



6.1. Karbon Fiber (Kompozit Halinde).....	57
6.1.2. Karbon Fiber Malzemenin Ağırlıkla Kullanıldığı Alanlar; .....	60
6.2. Boyutlu Yazıcı Üretimi Multicopterler.....	61
6.3. Plastik Enjeksiyon Yolu İle Plastik Ham Maddeli Multicopter Üretimi .....	62
6.4. Tarot 690 S Frame (Ana Gövde) .....	63
6.4.1. Tarot 690S Üzerine Eklenen Ekipmanlar .....	64
6.5. Pervane .....	65
7. HEXATAR SİSTEMİ ÇALIŞMA DİYAGRAMI VE UÇUŞ TESTİ.....	66
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	70
KAYNAKLAR.....	71
EKLER .....	73
EK: 1 HEXACOPTER YAPISINDA BİR İNSANSIZ HAVA ARACI İLE ELEKTRONİK İLAÇLAMA VE SULAMA SİSTEMİNİN GÖRSELLERİ.....	74
EK: 2 SİSTEM İÇERİSİNDE KULLANILAN EKİPMANLARIN STANDARTLARI.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	85

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 DJI Agras MG-1 isimli Tarla İlaçlayan İnsansız Hava Aracı.....	1
Şekil 2.1. Örnek ESC Modeli .....	7
Şekil 2.2. Radyo Kontrol Tabanlı Araç Model Örneği.....	8
Şekil 2.3.Radyo Kontrol Tabanlı Helikopter Model Örneği.....	9
Şekil 2.4. Radyo Kontrol Tabanlı Uçak Model Örneği .....	9
Şekil 2.5. Radyo Kontrol Tabanlı Tekne Model Örneği.....	10
Şekil 2.6 Hexatar Sisteminde Kullanılan Konnektör ve ESC Modeli .....	12
Şekil 2.7 NiMH pil modeli örneği .....	15
Şekil 2.8 Radyo Kontrol Tabanlı Araç Model Örneği.....	16
Şekil 2.9. Uçuş Sisteminde Kullanılan Batarya ve Soket Modeli.....	19
Şekil 2.10. Sulama Sisteminde Kullanılan Batarya ve Soket Modeli.....	19
Şekil 2.11. Outrunner Motor Modeli ve Yapısı .....	21
Şekil 2.12. Inrunner ve Outrunner Motor Sistemlerinin Yapısı .....	22
Şekil 2.13. Delta Tipi Fırçasız Motor Örneği .....	24
Şekil 2.14. Yıldız Tipi Fırçasız Motor Örneği.....	25
Şekil 2.15. Hexatar İçerisinde Oluşturulan Güç Dağıtım Sistemi .....	26
Şekil 2.16. T-MOTOR 10. MN-4004 Motor Modeli.....	27
Şekil 2.17. Hexatar İçerisinde Yer Alan Motor Konnektörü ve Bu Konnektör ile Bağlantısı ile Gerçekleştirilen MN-4004 Motoru .....	28
Şekil 2.18. PIXHAWK 2.4.8 Modülü.....	29
Şekil 2.19. Uçuş Kontrolcüsü Çalışma Sistemi .....	30
Şekil 2.20. Uçuş Kontrolcüsü PID Diyagramı.....	32
Şekil 2.21. Pixhawk 2.4.8 ve Buzzer Bağlantı Biçimi.....	33
Şekil 2.22. Pixhawk ve Telemetry Bağlantı Biçimi.....	34
Şekil 2.23. Pixhawk ile Bütünleşik Çalışan Güç Modülü.....	34
Şekil 2.24. Pixhawk ve Güç Modülü Bağlantı Biçimi.....	35
Şekil 2.25. Pixhawk İçerisinde Belirtilen Hexacopter Diyagramı.....	36
Şekil 2.26. Hexatar İçerisinde Yer Alan Uçuş Kontrol Sistemi ve Bağlantı Düzeni.....	36
Şekil 2.27. Hexatar ve Mission Planner Bağlantısı Ekran Görüntüsü .....	37
Şekil 3.1. Hexatar İçerisinde Oluşturulan İlaçlama Sisteminin Montaj Şekli .....	39
Şekil 3.2. Prolux Elektrikli Yakıt Pompası Görseli .....	40

Şekil 3.3. Elektrikli Yakıt Pompası Çalışma Prensibi .....	40
Şekil 3.4. Basit Bir Röle Yapısı .....	41
Şekil 3.5. Röle Kontak Yapısı.....	42
Şekil 3.6. Kontaktör Yapısı ve Motor Çalışma Diyagramı.....	43
Şekil 3.7. Mandallama Röle Örnek Devresi .....	44
Şekil 3.8. Katı Hal Röle Modeli.....	45
Şekil 3.9. Zamanlama Röle Modeli Yapısı .....	46
Şekil 3.10. Pololu RC Röle Modeli .....	47
Şekil 3.11. Sistem İçerisinde Yer Alan Pololu RC Röle Modeli ve Hexatar'a Bağlantı Biçimi.....	47
Şekil 3.12. RC Röle Tabanlı Sistem Çalışma Diyagramı .....	48
Şekil 4.1. 2.4 GHz Frekansında Haberleşme Araçları .....	51
Şekil 5.1. Tricopter Matematiksel Modeli .....	52
Şekil 5.2. Örnek Quadcopter Modeli .....	53
Şekil 5.3. Hexacopter Matematiksel İfadesi .....	55
Şekil 6.1. Karbon Fiberin Tarihe Göre Kullanım Alanları .....	58
Şekil 6.2. Karbon Fiberin Kimyasal Yapısı .....	59
Şekil 6.3. Karbon Fiberin Yıllara Göre Kullanım Oran Grafiği .....	60
Şekil 6.4. 3D Yazıcıdan Üretilen Bir Drone Modeli .....	62
Şekil 6.5. Plastik Enjeksiyon Yolu İle Üretilmekte Olan Tali H-500 Hexacopter Modeli..	62
Şekil 6.6. Hexatar Modeli İçin Oluşturulan Tarot 690 S Frame Modeli .....	63
Şekil 6.7. Hexatar İçin Oluşturulan İniş Destek Mekanizması .....	64
Şekil 6.8. T-Motor 13 x 4.4 Pervane Modeli .....	65
Şekil 7.1. Hexatar Uçuş Testi .....	65

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu kısımda tez çalışmasına ait simgeler ve bu simgelere ait açıklamalar belirtilmiştir.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>V</b>	Volt
<b>A</b>	Amper
<b>Hexatar</b>	Elektronik İlaçlama Sistemine Sahip İnsansız Hava Aracı
<b>İHA</b>	İnsansız Hava Aracı
<b>ESC</b>	Elektronik Motor Sürücüsü
<b>RC</b>	Radyo Kontrol
<b>Li-PO</b>	Lityum Polimer
<b>Li-İON</b>	Lityum İyon
<b>Ni-MH</b>	Nikel Metal Hidrit
<b>NiCad</b>	Nikel Kadmium
<b>AC</b>	Alternatif Akım
<b>DC</b>	Doğru Akım
<b>PID</b>	Kontrol Döngüsü Yöntemi

## 1.GİRİŞ

Otonom veya manuel uçuş gerçekleştirebilen hexacopterlerin tamamı otopilot/uçuş kontrolcüsü modülleri doğrultusunda hareket etmektedirler. Bu modüller kullanılacak olan insansız hava aracının kaç motorlu veyahut kaç kollu olduğuna göre değişiklik göstermektedir. Hexacopter alt yapısına sahip insansız hava araçları ise dört rotorlu insansız hava araçlarına göre daha fazla yük taşıma özelliğine ve daha yüksek manevra kabiliyetine sahip olduğundan dolayı son dönemde çok fazla kullanılmaya başlanmıştır. Bununla beraber günümüzde popüler olan insansız hava araçları günlük yaşamın her alanında kullanılmaktadırlar. Bu alanlardan bir tanesi de tarım sektöründe kullanılabilmekte olan "Tarla İlaçlayan İnsansız Hava Aracı" ana konu başlığında yer alan modellerdir. Dünya genelinde aktif olarak kullanılmakta olan "Tarla İlaçlayan İnsansız Hava Araçları" yüksek kg taşıma kapasitesiyle birlikte tarım sektöründe gerek tarlalarda gerekse bodur ağaç bahçelerinde verimli sonuçlar elde etmektedir. Ülkemizde bu konu başlığı altında yapılan bir takım çalışmalar olsa da nihai olarak tarım sektöründe tarla ilaçlayan insansız hava aracı modelleri çeşitli eksikliklerden dolayı kullanılamamaktadır. Dünya genelinde yer alan "Tarla İlaçlayan İnsansız Hava Aracı" modellerinin yüksek fiyata sahip olmaları sebebiyle ülkemizde ithal edilip kullanılma durumu çok zordur. Şekil 1.1 'de Dünya genelinde en yaygın olarak kullanılan Tarla İlaçlayan İnsansız Hava Aracı modeli belirtilmiştir.



Şekil 1.1 DJI Agras MG-1 isimli Tarla İlaçlayan İnsansız Hava Aracı

Tarla ilaçlama işlemini gerçekleştiren insansız hava araçları, tasarlanan mekanik alt yapı üzerinde yer alan uçuş kontrolcüsünün türüne ve özelliklerine göre istenilen şekilde otonom/manuel uçuş gerçekleştirilebilmektedir. Bu oto pilot sisteminin yer aldığı insansız hava aracının düzgün bir şekilde üretilmiş/oluşturulmuş olması otonom/manuel uçuşun rahat bir şekilde gerçekleştirilmesi için en önemli etkenlerden biridir. Oluşturulan/üretilen insansız hava aracının şasesi farklı malzeme türlerine sahip olabilmektedir. Bu alanda

günümüzde en çok tercih edilen malzeme ise karbon fiberdir. Karbon fiber hem ağırlık açısından hafif hem de mukavemet açısından çok yüksek değerler sunmaktadır.

Ortaya çıkarılan bu mekanik şasenin dayanım özelliklerine göre belirlenen elektronik komponentlerle (motor, esc, batarya) bütünleşik çalışan radyo kontrol ve uçuş kontrol sistemleri insansız hava aracının belirlenen algoritma yapısında uçuşunu gerçekleştirebilmesi için kullanılmaktadır. Bu tip tarla ilaçlayan insansız hava araçları modellerinde belirlenen/üretilen şase üzerinde yer alacak elektronik ekipmanların seçimi çok önemli olmakla beraber, tüm bu ekipmanlar ve şasenin ağırlık merkezi dengesini en iyi şekilde belirlemek başarılı uçuşu gerçekleştirebilmek için en önemli etkenlerdendir.

Bu tez konusu altında gerçekleştirilen proje de temel bir tarla ilaçlama sistemi oluşturulmuş olup, bu ilaçlama sistemi ile de bütünleşik çalışabilecek altı rotorlu bir hexacopter yapısına sahip multicopter sistemi oluşturulmuştur. Bu proje alanında daha önceden yapılan çalışmaların özetleri aşağıda belirtilmiştir.

Yapılan çalışmada insansız hava araçlarının uçuşlarını gerçekleştirebilmesi için en önemli iki etken olduğu belirtilmiştir. Bunlardan biri ağırlık merkezi (dengeli uçuş mekanizması) iken bir diğeri elektronik ekipmanların birbirleriyle bir senkronizasyon eşliğinde çalışmalarıdır. Tarla İlaçlayan İnsansız Hava Araçları ve genel anlamda insansız hava araçları hakkında birçok çalışma literatürde mevcuttur. Bu tezin amacı da otonom/manuel iniş ve kalkış yapabilen bir insansız hava aracının oluşturulmasıyla tarla ilaçlama sisteminin bu oluşturulan insansız hava aracı ile birlikte bütünleşik çalışmasını ortaya çıkarmaktadır.

Abd. Hafiz Zakaria ve arkadaşlarının yapmış olduğu bu çalışmada multirotor alt yapısına sahip hexacopter modeli bir insansız hava aracı için bir yük taşıma ve serbest bırakma sistemi geliştirilmiştir. Önerilen yöntem için hexacopterin stabil bir uçuş yapısına ve aynı zamanda fazla yük taşıyabilme özelliğine sahip olması göz önüne alınmıştır. Amaç hexacoptere yüklenmiş olan faydalı yükü tutma ve serbest bırakma özelliğine sahip bir kısaç mekanizmasını oluşturmak ve hexacopter modeli ile bütünleşik çalışabilmesi olarak belirtilmiştir. Bu bütünleşik sistemi görev planlayıcısı üzerinden takip edebildikleri gibi performans analizini de yine bu program çıktıları üzerinden değerlendirebilmektedir.

Çalışma sonucu ortaya çıkan fazla ağırlık yükü sebebiyle PID kontrol cihazı üzerinde çalışmalarını değiştirip optimum değerler üzerinde çalışılmıştır.[1]

Y. Merç ve C. Bayılmış, yapmış oldukları çalışmada insansız hava araçlarının (İHA), son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmelerin ışığında, popülerliği giderek artan bir akademik çalışma ve mühendislik uygulama alanı haline geldiğini vurgulamıştır. İHA, özellikle savunma sanayii uygulamalarıyla birlikte çeşitli yangın ve afet durumlarında çeşitli harita uygulamalarında, v.b. gibi alanlarda birçok durumun çözüm veya analizinin hızlı ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada dört kola sahip dört rotorlu insansız hava aracı sistemi oluşturulmuş olup, Atmega tabanlı mikro denetleyici üzerinde uçuş kontrolü gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Oluşturulan sistem temelinde dört rotorlu insansız hava aracı başarılı bir uçuş gerçekleştirmiş olup mekaniksek alanda bazı sıkıntılar yaşadığı belirtilmiştir. [2]

Radek Baránek ve František Šolc yapmış oldukları çalışmada bir hexacopter için matematiksel modelleme ve kontrol algoritması geliştirmiştir. Yanlış uyarlanan kontrol algoritması uçuş için sıkıntılar oluşturabileceği vurgulanan çalışmada Newton yasaları kullanılarak matematiksel modelleme gerçekleştirilmiştir. Model ve doğrusallaştırma durum değişkenleri kullanılarak tasarlanan kontrol algoritması karmaşık yapıları ortadan kaldırmak için oluşturulmuştur. Oluşturulan modelleme ve kontrol algoritması doğrultusunda hexacopterin tepkileri belirtilmiş ve modelleme doğrultusunda hexacopterin hareket biçimi belirtilmiştir. [3]

Hexacopterlerin multirotor alt yapısına sahip diğer insansız hava araçlarından farklı yanlarından bahsedilen bu çalışmada farklı biçimlerde üretilen insansız hava araçlarının kullanım alanlarına göre değişiklik gösterdiği belirtilmiştir. İHA'ların en çok kullanım alanı uygulamalarından olan ve drone adıyla yaygınlaşan dört rotorlu insansız hava aracı modelidir. Quadrotor, isminde de belirtildiği gibi dört kollu bir mekanik yapıya sahip dört adet rotordan meydana gelen, hızlı ve kıvrak manevra yapabilen insansız hava araç modellerine verilmiş genel bir model ismidir. Quadrotorların rotor sayılarının arttırılmasıyla oluşturulmuş farklı alt yapılar mevcut olarak yer almaktadır. Altı rotorlu hexacopter ve sekiz motorlu octocopter bu İHA modellerine örnek olarak verilebilmektedir.

Nurhan Kavaklı yapılan çalışmada, döner kanat çalışma disiplinine sahip insansız hava araçlarının gazetecilik alanında nasıl kullanılabileceği hakkında sonuçlar belirtilmiş olup,

insansız hava araçlarının birçok alanda kullanıldığına değinilmiştir. Temel olarak ilk etapta gözetleme amacı ile oluşturulmuş olan drone sistemleri askeri alanda ilk olarak 1800'li yılların sonuna doğru ABD ülkesinin yurtdışında yürüttüğü askeri projelerle ortaya çıkan droneler uluslararası haber platformları doğrultusunda bilinirliği artmış ve bu alandaki çalışmalara daha fazla önem verilmeye başlanmıştır. Uzaktan kumanda kontrolü ile birlikte belirli bir seyir güzergah planı üzerinde de uçuş gerçekleştirebilen dronelar ilk kez keşif amacının yanı sıra ABD tarafından silahlandırılarak belirlenen hedefleri yok etmek için kullanılmıştır. Bu doğrultuda gerçekleştirilen saldırılar ile birlikte Drone teknolojisi askeri alanda ölümcül olarak anılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise teknolojinin çok hızlı ilerlemesi doğrultusunda drone teknolojisi de birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanlara örnek olarak sanat, haritalama, insani yardım, video film çekimi, tarım sektörü vb. verilebilmektedir. Drone'ların günümüzde evimize kadar girmesinin en önemli faktörü ise teknolojinin giderek ucuzlaması ve bu ucuzlayan teknoloji ile birlikte daha küçük ve daha taşınabilir ürünlerin geliştirilmesidir.[4]

Carlos A. Arellano-Muro ve arkadaşları tarafından 2013 yılında gerçekleştirilen çalışmada, günümüzde multirotor alt yapısına sahip insansız hava araçlarının üretilmeye başlanmasıyla birlikte sabit kanatlı insansız hava araçlarına oranla sunmuş olduğu avantajlar sebebiyle çok daha popüler bir hal aldığı vurguladıkları çalışmada multirotor disiplindeki insansız hava araçlarından biri olan hexacopterde güçlü potansiyele sahip insansız hava araçlarından biri olduğu belirtilmiştir. Multirotor disiplinde ki en popüler modellerden olan dört rotorlu insansız hava araçlarına göre hexacopterlerin çok daha fazla güç ve bu güce bağlı olarak da çok daha fazla hız sunduklarından dolayı dört rotorlu insansız hava araçlarına göre daha avantajlı olduğu belirtilmiştir. [5]

J. Verbeke ve arkadaşları 2014 yılında yaptıkları çalışmada multicopter alt yapısına sahip meyve bahçelerini denetleyen bir insansız hava aracı ortaya çıkarılmıştır. Oluşturulan insansız hava aracının uçuşu ArduPilot-Mega model oto pilot sistemi doğrultusunda gerçekleştirilmiş olup, rüzgar ve yağmur gibi çevresel etkenlerde de sistemin testi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada hexacopter sisteminde bir insansız hava aracı oluşturulmuş olup, bu hexacopter sisteminde birden fazla farklı pervane ve bu kullanılan pervanelerden dolayı birden fazla çeşit kol modeli kullanılmıştır. Kullanılan oto pilot sistemi ArduPilot-Mega'nın PID kontrolünün başarılı olduğu ortaya çıkarılmış olup, sistem



üzerinde yer alan farklı kol boyları ve bu kollara bağlı olan farklı boyuttaki pervaneler üzerinde farklı olarak belirlenen momentum değerleri doğrultusunda uçuş gayet başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.[6]

Paweł Burdziakowski 2017 yılında yapmış olduğu bu çalışmada, özerk hava platformları için düşük maliyetli çözümler sunan ve son dönemde de yoğun olarak kullanılmakta olan insansız hava araçlarının fotogrametri alanında da kullanıldığını vurgulamıştır. Bu doğrultuda açık kaynak kod donanımına sahip bir insansız hava aracı üzerinde çalışma yapılmış olup, 2500 gr kalkış ağırlığına sahip bir insansız hava aracı oluşturulmuştur. ArduPilot 2016 açık kaynak kodlu program doğrultusunda gerçekleştirilen projede uçuş kontrolcü olarak pixhawk 1 modülü kullanılmıştır. İnsansız hava aracı üzerinde konumlanan telemetry modülü doğrultusunda ise insansız hava aracının anlık verilerini video ekranı üzerinden osd sistemi doğrultusunda takip edebilmektedir. Yapılan çalışmada altı rotorlu bir hexacopter 2.4 Ghz frekans bandına sahip radyo alıcı ve verici sistemi ile kontrol edilmektedir. Testi gerçekleştirilen hexacopter başarılı bir uçuş gerçekleştirmiş olup, temel amacı olan arazi haritalama işlemini sorunsuz olarak tamamlamıştır. [7]

Murillo F. Santos ve arkadaşları tarafından 2015 yılında altı rotorlu bir hexacopterin farklı test parametrelerine göre nasıl karşılık verdiğini ölçebilen matematiksel modellemeler oluşturulmuştur. Literatürde çalışılan iki ana hataya dayanıklı matematiksel kontrol grubu mevcuttur. Bunlar aktif ve pasif hataya dayanıklı kontrol gruplarıdır. Aktif Hata Toleranslı Kontrol Sistemleri farklı bir anahtarlama yaparak daha ciddi hatalara farklı çözüm üretebilen ve önceden hesaplamış olduğu kontrolü kendi içinde tekrardan değerlendirebildiği belirtilmiştir. Hata Toleranslı Kontrol Sistemleri genellikle sabit kanatlı uçaklarla ilgili olmakla beraber F-16 uçak modelindeki hatalar bu modelleme ile ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmada da tüm etkenler sistem modellemesinde ele alınarak bir hexacopter üzerinde denenmiştir. Parametreleri belirlenen hexacopter üzerinden yapılan modelleme de hexacopterin matematiksel modellemesinde oluşturulmuştur. Oluşturulan modelleme sonucunda dönüş sistemlerinde pervanenin farklılığının uçuşu önemli derece etkilendiği belirtilmiştir.[8]

A. Alaimo ve arkadaşları 2016 yılında yapmış oldukları çalışmada, hexacopterin son dönemde yaygın kullanılmasındaki temel dayanağın stabil uçuş ve bu stabil uçuş ile birlikte yüksek ağırlık kaldırabilme potansiyelinin olmasını belirten çalışmada sabit kanatlı insansız hava araçlarının pist ihtiyacına karşın multicopter yapıdaki insansız hava araçlarının piste

ihtiyaç duyulmadan rahat bir şekilde kullanılabilmesinden bahsedilmiştir. Hexacopterlerin temel oluşumunun ve gerçekleştirilen uçuşların Newton-Euler denklem çözümleri doğrultusunda yapıldığı belirtilmiştir. Böylelikle hexacoptere etki eden toplam güç ve hexacopter dinamiğinin dönme bileşeni ile aşılma değişim hızı ile momentum ve dış tork arasındaki farklı dengeler bu denklem çözümlerine göre yapılmaktadır. Hexacopterin doğrusal olmayan tüm dinamikleri Euler cinsinden tanımlanmıştır. Bu çalışma da hexacopter üzerinde bir oransal türevi birleştiren iki optimal algoritmanın karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma sonucunda kullanılan algoritmaların birbirine yakın sonuçlar verdiği ortaya çıkmış ve test için matematik modellemesi kullanılan hexacopterin stabil uçmadığı anda devreye giren kontrol mekanizması yarım saniye içerisinde sistemi dengeye getirmektedir. [9]

Yapılan bu literatür taraması göz önüne alındığında ve aynı alt yapıya sahip sistemler incelendiğinde Hexatar sistemi içerisinde kullanılan ekipmanlar bu ekipmanların hangi amaçla kullanıldığı aşağıda ki bölümde açıklanmaktadır.

## **2.HEXATAR İÇİNDE KULLANILAN ELEKTRONİK EKİPMANLAR**

Bu tez çalışmasında yer alan elektronik ekipmanların modelleri ve sistemdeki yerleri, kullanım biçimi ve tercih sebepleriyle birlikte aşağıda belirtilmiştir.

### **2.1. ELEKTRONİK HIZ KONTROLCÜSÜ (ESC)**

Elektrik ile çalışmakta olan motorun hızını ayarlayan ve düzenleyen elektronik devre modeli olarak adlandırılmaktadır. Aynı zamanda elektrik motorunun ters yönde hareket etmesini ve aynı zamanda ani frenleme işleminin yapılmasına destek vermektedir. Küçük yapıda ki elektronik hız kontrol sistemleri genel olarak elektronik radyo kontrol sistemlerinde kullanılmaktadır.

Elektronik hız kontrolcü modelleri, hız referans sinyallerini takip etmekte (Gaz kolu, joystick vb.) ve belli bir alanda etkili olan transistör ağının anahtarlama oranını değiştirir. Böylelikle transistörlerle motorun hızı değiştirilir. Transistörlerin hızlı geçişi, motorun kendisinin karakteristiği yüksek sinyal yaymasına sebep olmaktadır. Bu durum özellikle

tipte ESC modelleri kullanılmalıdır. ESC, fırçalı bir motorun voltajını sürekli değiştirerek motor hızını kontrol değiştirebilmektedir. Endüstriyel anlamda, sabit mıknatıs modelleri yerine elektromıknatıs alan sargılı motor modellerinde motora gelen akımın enerjisini ayarlama işlemini gerçekleştirerek hız kontrolü sağlanmaktadır. Fırçasız motor modellerinde hız ve sargılara iletilmekte olan akımların zamanı ayarlı bir şekilde değiştirilmektedir.

Fırçasız ESC modelleri temel anlamda fırçasız motor modellerini çalıştırabilmek için sürekli olarak değişken frekanslı üç fazlı AC gücü oluşturmaktadır. Fırçasız motorlarda ki kontrol üniteleri, fırçalı motor ünitelerinden daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Fırçasız motorlar, temel fırçalı motor modellerine oranla verimlilik, güç, uzun ömür ve hafiflikleri sebebiyle radyo kontrol tabanlı alanlarda çok fazla kullanılmaktadır.

ESC sistemleri genellikle en yüksek akım değerine göre derecelendirilmektedir. Genel anlamda derecelendirmenin oranına göre ESC'nin ağırlığı değişmektedir. Uçaklar için denge ve kütle değerleri hesaplanırken bu faktöre çok fazla dikkat edilmektedir. Birçok ESC modeli, NiMH, Li-ion, Li-Po ve farklı gerilimlerde ki lityum demir fosfat gibi piller ile çalışabilmektedir. ESC ile kullanılacak bataryanın tipi ve bu bataryaya bağlı hücre sayısı ESC içerisindeki denetleyiciye bağlı veya bağımsız bir ünite olarak yer alan batarya eleme devresini seçme konusunda önemli bir etkidir.

Günümüzde ESC'ler radyo kontrol tabanlı hobi alanlarında kullanılmakla beraber endüstriyel alanlarda da kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Örnek ESC Modeli

### 2.1.1. Radyo Kontrol Tabanlı Elektrikli Arabalar

Elektrikli araçlarda temel kullanım için oluşturulmuş olan ESC'ler çoğunlukla geri gidebilme özelliğine sahiptir. Özel bir şekilde yarış alanı için tasarlanmış olan ESC'ler anlık frenleme kabiliyeti sundukları için bu alan için ek avantaj sunmaktadır. ESC, armatürün üzerine elektriksel bir yük yerleştirerek motoru bir jeneratör haline getirmek için zorlamaktadır. Böylelikle armatürün dönmesi zorlaşır ve araba modeli yavaşlar veya durma eğilimi gösterir. Bazı kontrol mekanizmaları anlık frenleme konusunda bu durumun faydasını çok daha iyi bir şekilde göstermektedir.



Şekil 2.2. Radyo Kontrol Tabanlı Araç Model Örneği

### 2.1.2. Radyo Kontrol Tabanlı Helikopterler

Radyo kontrol tabanlı helikopterler için tasarlanan ESC'lerde frenleme özelliği gerekmemektedir. Aynı zamanda motoru çift taraflı yönlendirme de gerekmemektedir. Bir çok üst düzey helikopterlerde ESC motorun devrini ayarlanan hıza sabitleyerek çalışmaktadır. Böylelikle stabil uçuş gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.3.Radyo Kontrol Tabanlı Helikopter Model Örneği

### 2.1.3. Radyo Kontrol Tabanlı Uçaklar

Radyo kontrol tabanlı uçak modelleri için tasarlanmış olan ESC'lerde çoğunlukla güvenlik özelliği de mevcuttur. Batarya üzerinden gelmekte olan enerji, elektrik motorunun çalışması için yeterli olmaması durumunda ESC aileronlar, dümen ve asansör fonksiyonunun devamlı olarak kullanımına izin verir fakat motora giden enerji de ayrı olarak ayarlayabilmektedir. Bu kullanıcının düşük güç ile uçağın uçmasını ve uçuş kontrolünün ele almasını sağlamaktadır.



Şekil 2.4. Radyo Kontrol Tabanlı Uçak Model Örneği

#### 2.1.4. Radyo Kontrol Tabanlı Tekneler

Radyo kontrol tabanlı tekneler için tasarlanan ESC'lerin en büyük özelliği su geçirmemeleridir. Su geçirmez yapı, daha fazla paketlenmiş olan havayı muhafaza edebilmektedir. Elektrikli teknelerde oluşabilecek arızayı önleyebilmek için motor ve motora bağlı olan ESC'yi soğutmak gerekmektedir. Deniz seviyesindeki ESC modellerinin birkaçı motor üzerinden verilmekte olan su dolaşımındaki suyu ya da tahrik mili çıkışındaki ters yönde dönen pervane vakumu ile soğutulmaktadır. Aynı zamanda elektronik tekne ESC'leri de tıpkı otomobil ESC'leri gibi frenleme ve geri yönlendirme özelliklerine sahiptir.



Şekil 2.5. Radyo Kontrol Tabanlı Tekne Model Örneği

#### 2.1.5. Radyo Kontrol Tabanlı Multikopterler

ESC'ler modern quadcopterlerin ve diğer tüm multirotor alt yapısına sahip sistemlerin en temel bileşenlerindedir. Bu alt yapıya sahip sistemlerde motor/pervane bileşenleri sonucu ortaya çıkan hızın sürekli değişkenliği ve hassas RPM kontrolü gibi temel uçuş gereksinimlerini sağlamaktadır.

Quadcopter şeklindeki insansız hava araçlarında ESC'ler genellikle diğer çoğu radyo kontrol alt yapıya sahip sistemlerde kullanılmakta olan 50 Hz sinyal değerine oranla daha hızlı yenileme metodu kullanılmaktadır. Hali hazırda Oneshot, Multishot ve Dshot gibi farklı ESC modelleri birçok alanda kullanılmaktadır. Dshot ESC modelleri yüksek çözünürlük değerleri

sağlamakta ve bununla birlikte osilatör kaymalarını ortadan kaldıran bir ESC çeşididir. Aynı zamanda temel analog kontrole göre avantaj sağlamakta olan bir yapıdır. Günümüzde ESC sistemleri yüksek frekans değerlerinde haberleşme gerçekleştirebilmektedir.

Tüm bu ESC çeşitleri göz önüne alındığında bu tez içerisinde multirotor alt yapısına sahip sistemler için kullanılan ESC modellerinden biri kullanılmıştır

### **2.1.6. T-80A ESC**

Hexatar çalışması içerisinde yer alan MN-4004 model motoru istenilen komutlara uygun olarak kullanabilmek için T-80 A ESC modeli kullanılmıştır. Sürekli 80A maksimum ise 100A akım çekebilme özelliğine sahip olan bu ESC 5.6 V ile 26 V gerilim aralığında stabil olarak çalışmaktadır. Bu gerilim aralıkları göz önüne alındığında ise 2S-6S hücre aralığına sahip Li-Po batarya veya 5S-18S NiCd/NiMh batarya grupları ile bütünleşik olarak çalışabilme özelliğine sahiptir. PWM Sinyali ile kontrol edilen bu ESC radyo kontrol sisteminde yer alan kumandadan verilen komutları istenilen şekilde MN-4004 model motora aktarmaktadır. 3.3 başlama modu olan bu ESC normal, yumuşak ve daha yumuşak kontrol seçenekleriyle “Hexatar”ın kullanımını kolaylaştırmaktadır. T80 A ESC modelinin motora giden kablo uçları 2mm çapında Gold Bullet Banana Erkek Konnektör lehimlenmiş olup, motorlar ile bağlantı bu dişi-erkek konnektör vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 60 g ağırlığa sahip olan T-80A ESC modeli 70 (L) x 31 (W) x 14 (H) boyutlarına sahiptir.



Şekil 2.6. Hexatar Sisteminde Kullanılan Konnektör ve ESC Modeli

## 2.2. BATARYA GRUBU

Şarj edilebilen piller son on yıl içerisinde her bireyin rahat bir şekilde temin edebileceği bir hal almıştır. Fakat kullanıcının hangi pil modelini hangi uygulamada kullanacağı hakkında çok fazla fikir çatışması literatürde mevcuttur.

Bataryalardan maksimum performans ve uzun ömür elde etmek için kullanım alanına uygun batarya tercihi ve bu batarya tercihi doğrultusunda da iyi bir şarj cihazı kullanılması gerekmektedir.

Kullanıma uygun pillerin ömrünü ve performansını arttıran bazı temel kurallar vardır. Bunlar örnek olarak verilecek olursa

- Piller sürekli şarj edilmemelidir.
- Piller aşırı ısıya veya soğuğa maruz kalmamalıdır.
- Kullanım alanına uygun batarya çeşidi kullanılmalıdır.
- Kullanılan bataryaya uygun bir şarj cihazı kullanılmalıdır.
- Pillerin kısa devresinden kaçınılmalıdır
- Piller asla tamamiyle boşalmış bir durumda bırakılmamalıdır.



-Pillerinizin ömrünü ve performansını artırabilecek bazı basit temel kurallar vardır.

Tüm radyo kontrol tabanlı sistemlerde kullanılmakta olan piller, kullanım alanına uygun seçilmediğinde sistem içerisinde yer alan tüm elektronik ekipmanlara zarar verebilmekte hatta sistemi bir daha çalışamaz hale getirebilmektedir. Bu doğrultuda radyo kontrol tabanlı sistemlerde batarya kullanım konusu çok önemli bir etkiye sahiptir.

## **2.2.1.Radyo Kontrol Tabanlı Sistemlerde Kullanılan Batarya Çeşitleri**

### **2.2.1.1. Nikel Kadmiyum (NiCad) Batarya Grubu**

NiCad batarya modelleri yerini son yıllarda yeni teknolojik pil çeşitlerine bıraksa da radyo kontrol tabanlı çalışmalarda hala kullanılmaktadır.

#### **NiCad Batarya Kullanım Avantajları**

- Düşük iç dirence sahip olduğu için yüksek akım verebilmektedir.
- Kendi bünyesinde düşük deşarj değerlerine sahiptir.
- Soğuk ortamlarda istenilen düzeyde çalıştığından dolayı bu tip ortamlardan etkilenme oranı düşüktür.

#### **NiCad Batarya Kullanım Dezavantajları**

- Diğer batarya modellerine göre daha ağır bir yapıya sahiptir.
- Hafızalama ve anlık gerilim değişikliklerinde sorunlar oluşturabilmektedir.
- İçeriği sebebiyle çevre dostu bir yapıya sahip değildir.

NiCad model pilleri etkileyen en büyük sorun “bellek sorunu” olarak adlandırılan bir durumdur. Aynı zamanda bu sorun voltaj depresyonu olarak da adlandırılmakta ve bir NiCad batarya modeli tekrar tekrar şarj edildiğinde ve tamamen boşaldığı durumlarda meydana gelmektedir. Böyle durumlarda da NiCad model bataryalar zaman içerisinde sahip olduğu enerji oranının belli bir limite ulaşması durumunda sahip olduğu mevcut kapasiteyi kaybediyor gibi bir yapı sergilemektedir.

NiCad model batarya modelleri diğer batarya teknolojilerindeki gelişmeler ve iç yapısındaki çevreye zararlı maddeler sebebiyle üreticiler tarafından çeşitli paket seçenekleri olarak sunulmaktadır. Yüksek kapasiteli ve yüksek akım verebilen lityum polimer (Li-Po) pillerinin

geliştirilmesine rağmen bazı elektrik tabanlı projelerde kullanılmakta ve yüksek akımlarda güvenli bir seçenek olması sebebiyle bu batarya modeli güç kaynağı olarak kullanılmaktadır.

### **2.2.1.2. Nikel Metal Hidrit (NiMH) Batarya Grubu**

Nikel Metal Hidrit (NiMH) model piller büyük ölçüde radyo kontrol tabanlı sistemlerde alıcı ve verici sistemlerini beslemek için kullanılmaktadır. NiMH model pillerin hücreleri bazı durumlarda sorun çıkarabildiğinden dolayı radyo kontrol tabanlı sistemler gibi sistemler için çok uygun olmasa da birçok uygulama için pratik çözüm sunmaktadır. NiMH pillerinin en büyük problemi ise kullanım alanı doğrultusunda yüksek kapasiteye sahip olmaması ve bu nedenle kullanıcıların istediği doğrultuda ki güce ulaşamamasıdır.

#### **NiMH Batarya Kullanım Avantajları**

- 2700 mAh'a kadar akım kapasitesine sahiptir.
- Voltaj depresyon etkisinden uzak bir yapıya sahiptir.
- Çevre sorunlarından en az düzeyde etkilenmektedir.

#### **NiMH Batarya Kullanım Dezavantajları**

- Kendiliğinden deşarj olabilme özelliği doğrultusunda pil ömrü çok uzun değildir.
- Günümüz teknolojisinde hala istenilen yüksek gerilim değerlerine ulaşamamıştır
- Radyo kontrol tabanlı projelerde hassas kullanım için uygun değildir.

NiMH batarya modelleri kullanılan sistemlerde bu model bataryayı en iyi ve en güvenli şekilde şarj edebilmek için uygun şarj cihazları kullanılmalıdır. Ayrıca NiMH batarya modelleri uzun süre şarj edilme durumlarında veya yüksek akımda şarj edilmeleri halinde çok çabuk bozulabilen bir yapıya sahiptir. Bu sebeple uygun batarya şarj cihazıyla uygun değerler doğrultusunda batarya şarj işlemi gerçekleştirilmelidir.

NiMH batarya modelleri sahip olduğu kapasitenin belli bir limitin altına düştüğünde enerji vermeyi kesmektedir. Bu doğrultuda 2.4 Ghz bandında ki radyo kontrol sistemlerinde kullanılmaması gerekmektedir. Bu sistemlerde anlık olarak enerji kesilmesi sistemin tamamıyla çalışamaz hale gelmesine sebep olabilmektedir.



Şekil 2.7. NiMH pil modeli örneği

### 2.2.1.3. Lityum İyon (Li-ion) Batarya Grubu

İlk olarak 1970 yıllarında kimyager M.Stanley Whittingham tarafından şarj edilebilir bir pil türü olarak ortaya çıkarılmıştır. Çıkarıldığı günden bu yana lityum iyon batarya grubu taşınabilir elektronik cihazlarda ve elektronik alt yapıya sahip tüm projede kullanılmaktadır. Bu batarya grubu içerisinde yer alan lityum iyonlar, boşalma sırasına negatif elektrottan pozitif elektrota doğru hareket etmekte ve şarj olurken de bu doğrultuda geri dönmektedirler. Li-ion piller yüksek enerji yoğunluğuna sahip olduğundan dolayı yanıcı bir yapıya sahiptirler. Kullanılmak istenen alana uygun batarya kullanılmaması durumunda Li-ion batarya grupları çok büyük sıkıntılara yol açabilmektedir.

Li-ion batarya grupları kullanım alanına göre farklılık göstermektedir. Hematoloji, performans, maliyet ve güvenlik özellikleri Li-ion grupları içerisinde en fazla farklılık gösteren değerlerdir. Elde taşınabilen elektronik cihazlarda çoğunlukla lityum kobalt okside dayalı li-ion modelleri kullanılmaktadır.

Bir Li-ion pilin ömrü tipik olarak kapasite kaybı veya empedans artışı açısından bir hata limitinin eşiğine ulaşabilmek için tam şarj ve deşarj döngüsü sayısı olarak tanımlanmaktadır. Bununla beraber pil ömrü, sıcaklık, boşalma akımı, şarj akımı ve şarj durumu gibi birçok farklı stres faktörlerinden etkilenmektedir. Tüm bu etkenler doğrultusunda Li-ion pillerinin ömrü şarj döngüsüne bağlı olarak hesaplanmaktadır.

### **Li-ion Batarya Grubu Kullanım Avantajları**

- Genişletilmiş şarj ömrüne sahiptir.
- Üstün kullanılabilir kapasite değerlerine sahiptir.
- Enerji sağlandığında gerilim kaybı yaşatmamaktadır.
- Boyut ve boyuta bağlı ağırlık açısından kullanıcıya pratik çözümler sunmaktadır.
- Hızlı ve verimli şarj edilebilme özelliğine sahiptir.
- Çok düşük atık enerji değerlerine sahiptir.
- İklim direnci yüksektir.
- Bakım gereksinim yok denecek kadar azdır.

### **Li-ion Batarya Grubu Kullanım Dezavantajları**

- Anlık olarak yüksek akım verebilme özelliğine sahip değildir.
- Yüksek enerji depolayabildiğinden dolayı güvenlik açısından sorunlar oluşturabilmektedir.
- Şarj ömürleri çok uzun olmadığından dolayı kullanım alanları açısından kısıtlanabilmektedir. Günümüzde Li-Po ve li-on batarya grupları en çok kullanılan batarya modelleridir. Li-ion batarya grupları Li-Po batarya gruplarına göre daha az enerji sağlayabildiğinden dolayı radyo kontrol tabanlı sistemlerde belirli alanlarda kullanılmasına rağmen çok fazla yer almamaktadır.



Şekil 2.8 Radyo Kontrol Tabanlı Araç Model Örneği

### 2.2.1.4 Lityum Polimer (Li-Po) Batarya Grubu

LiPo pil modeli, 1980 yıllarında önemli bir araştırma konusu olan lityum iyon ve lityum metal hücrelerinin aşamasını takip etmiş ve Sony firmasının üretmiş olduğu Li-iyon hücresiyle önemli bir aşamaya ulaştırmıştır. Bu dönem sonrası, kese formatı dahil olmak üzere diğer ambalaj formları gelişmiş ve şimdi "Li-Po" olarak da adlandırılmaktadır.

Lityum Polimer pil teknoloji gelişmeden önce diğer batarya modelleri gerek performans gerekse dayanıklılık konusunda istenilen verimi elde edememekteydi. Ayrıca NiMH ve diğer pil modelleri çok daha ağır olduğundan dolayı ise radyo kontrol tabanlı projelerde kullanılmamaktadır. Bu doğrultuda ortaya çıkan Li-Po pil modelleri bir çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Kapasitesi hücre kavramıyla betimlenen Li-Po pillerin her bir hücresi maksimum 3,20 V değerine çıkmaktadır. Böylelikle kullanılması istenen projenin enerji ihtiyacına göre Li-Po pillerdeki hücre sayısı değişiklik göstermektedir.

#### Li-Po Pil Kullanım Avantajları

- Pil teknolojileri arasında en yüksek güç/ağırlık oranına sahip modeldir.
- Çok düşük kendiliğinden deşarj değerine sahiptir.
- Düşük sıcaklık koşullarında diğer batarya modellerine oranla daha az etkilenmektedir.
- Hafif bir yapıya sahip olduğu için radyo kontrol tabanlı uygulamalarda çokça kullanılmaktadır.
- Anlık olarak yüksek akım verebilme potansiyeline sahiptir.
- Yüksek akım ile hızlı şarj edilebilme özelliğine sahiptir.

#### Li-Po Pil Kullanım Dezavantajları

- Li-Po pil modeli kullanımı esnasında anlık kısa devre olma durumu oluşur ise bataryada aşırı boşalma meydana gelebilmektedir.
- Anlık olarak yüksek akım verebilme özelliğine sahip olduğundan dolayı çeşitli olumsuz durumlarda önemli bir yangın tehlikesi oluşturmaktadır.

Li-Po pil modelleri tıpkı dinamit gibi TNT ve nitrogliserinin kötüye kullanılması durumunda çok büyük tehlikeler oluşturabilmektedir. Aşırı şarj edilme durumu olduğunda veyahut fiziksel olarak hasar gördüğü takdirde güçlü yangın çıkaran bu batarya grubu kullanılırken çok dikkat edilmelidir. Li-Po pil modelleri için daima güvenli bir şarj ortamı oluşturulmalı ve uygun koşullarda saklanmalıdır. Ayrıca aşırı deşarj olmuş bir Li-Po pilin tekrardan kullanım oranı çok düşük olduğundan dolayı kısa devre gibi durumlardan sakınılmalıdır.

### **2.2.2 İlaçlama Sistemi İçerisinde Kullanılan Batarya Modeli**

Radyo kontrol tabanlı sistemlerde kullanılabilen batarya modelleri incelendiğinde Hexatar için anlık yüksek enerji ihtiyacının oluşabilme durumundan dolayı, güç/ağırlık oranının çok iyi değerler sunmasından dolayı ve hızlı şarj edilebilme özelliğinden dolayı bu alanda aktif olarak kullanılmakta olan Li-Po batarya grubu kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında ilaçlama sistemi ve altı rotorlu uçuş sistemi için Li-Po batarya grubuna ait birbirinden bağımsız iki adet Li-Po batarya modeli kullanılmıştır. Uçuş sistemi ve Hexatar'ın üzerinde yer alan altı adet MN-4004 model motorun ejnerjisini sağlayabilmek için kullanılan batarya Gens-Ace marka/model olup, altı hücreye ve dolayısıyla bu hücrelere bağlı olarak 22.2 V gerilim değerine sahiptir. Bataryanın + ve - ucu XT40 model dişi konnektöre lehimlenerek sabitlenmiş olup, ana güç devresinin çıkışlarında yer alan kablolarla bağlı XT40 model erkek konnektör ile bağlantı gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 748 g ağırlığında olan bu batarya sahip olduğu 5000mAh toplam kapasiteyle birlikte 45C değerine sahip olmasından dolayı anlık olarak;

$$45 \times 5000 = 225,000 \text{ mAh anlık akım verebilme özelliğine sahiptir.}$$

MN-4004 model motorların bir tanesi maksimum güçte yaklaşık 9.6 A akım çekmektedir. Bu doğrultuda belirlenen bu batarya modeli ile Hexatar 3.6 kg'lık ağırlık ile ortalama 13 dk'lık bir uçuş süresine sahip olmaktadır.



Şekil 2.9. Uçuş Sisteminde Kullanılan Batarya ve Soket Modeli

### 2.2.3 Sulama Sistemi İçerisinde Kullanılan Batarya Modeli

Uçuş sisteminde kullanılan bataryadan bağımsız olarak sulama sistemi için kullanılan bir diğer Li-Po batarya modeli ise 12 V gerilim ile çalışmakta olan prolux marka elektronik yakıt motorunun çalışabilmesi için gerekli enerjiyi sağlamaktadır. Kullanılan batarya Gens Ace marka/model olup, 3 hücreye ve dolayısıyla bu hücelere bağlı olarak 11.1 V gerilim değerine sahiptir. Bataryanın + ve – ucu XT40 model dişi konnektöre lehimlenerek sabitlenmiş olup, sulama sisteminde yer alan motorun kablolarına lehimlenmiş olan XT40 model erkek konnektör ile bağlantı gerçekleştirilmiştir.

106mm x 33mm x 26mm (L x W x H) boyutlarına sahip olan bu model, yaklaşık 194 g ağırlığa sahiptir. 2700 mAh toplam kapasiteyle birlikte 25C değerine sahip olmasından dolayı anlık olarak;

$$2700 \times 25 = 67,500 \text{ mAh anlık akım verebilme özelliğine sahiptir.}$$



Şekil 2.10. Sulama Sisteminde Kullanılan Batarya ve Soket Modeli

### 2.3. FIRÇASIZ (BRUSHLESS) MOTOR

Elektronik olarak komuta edilmekte olan ve senkron DC motor olarak da adlandırılan fırçasız yapıya sahip, AC bir elektrik akım kaynağından sağlanan ve DC elektrik ile çalışmakta olan senkron motorlardır. Motorun her bir fazını sürebilmek için bir kontrolcü kullanılır. Kullanılan bu kontrolcü motorun hızını ve torkunu kontrol eden motor sargılarına akım darbeleri sağlamaktadır.

Elektronik şekilde kontrol edilmiş motor olarak ya da (ECM ya da EC motor) ve senkron DC motor şeklinde de bilinen fırçasız bir DC elektrik motoru (BLDC motoru veya BL motoru), bir AC elektrik akımı üreten bir inverter veya anahtarlama güç kaynağı üzerinden DC elektrikle çalışan senkron motorlardır. Motorun her bir fazını kapalı devre kontrolör üzerinden sürmek için. Kontrolör, motorun hız ve tork değerlerini kontrol eden motor sargılarına akım darbeleri sağlamaktadır. Fırçasız motorların fırçalı motora göre birçok avantajı bulunmaktadır. 1900'lü yılların başında icat edilen fırçalı motorların ardından 1960 yıllarında elektronik teknolojisinin gelişmesiyle fırçasız DC motorlar kullanılabilir hale gelmiştir.

Fırçasız motorlar sensörlü veya sensörsüz olmak üzere iki bölümde incelenmektedir.

#### **Sensörlü Fırçasız Motorlar**

Sensörlü fırçalı motorlar bobinin gövde içindeki yerini sıfır hata ile algılamaktadır. Motora uygun bir ESC modeli kullanıldığı takdirde hiç bir güç kaybı meydana getirmemektedir.

#### **Sensörsüz Fırçasız Motorlar**

Sensörsüz fırçasız motorlar yaygın olarak kullanılmakta olan motor çeşitleridir. ESC'lerden gelen radyo dalgalarının değiştirmek yerine akım yollanmamış bobinde oluşan elektrik sinyali doğrultusunda karar vermektedir. Sensörsüz motorlar sensörlü motorlar ile kıyaslandığında çok yüksek hız ve ivme değerlerine ulaşamamaktadır.



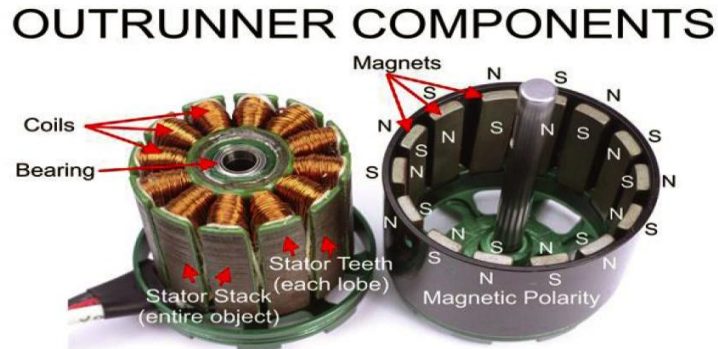
### Fırçasız Motorların Fırçalı Motorlara göre Avantajları

- Fırçasız motorlar fırçalı motorlara oranla yüksek güç üretebilmektedir.
- Fırçasız motorlar fırçalı motorlara göre çok daha küçük bir yapıya sahiptir dolayısıyla çok daha hafiftir.
- Fırçasız motorlar yüksek devirlerde çalışabilme karakteristiğine sahip olduklarından dolayı fırçalı motorlara oranla çok daha hızlıdır.
- Fırçasız motorlar belirli bir kontrolcü yardımıyla çok rahat kontrol edilebildiğinden dolayı fırçalı motorlara oranla elektronik kontrolü çok daha kolaydır.
- Fırçasız motorlar fırçalı motorlara oranla çok daha uzun ömre sahiptir ve aynı zamanda daha masrafsız motor çeşitidir.
- Fırçasız motorları fırçalı motorlara oranla çok daha sessiz bir yapıya sahiptir.

Brushless motorlar temel olarak iki alana ayrılmaktadır;

#### 2.3.1 Outrunner Brushless Motor (Dışı Dönen Fırçasız Motor)

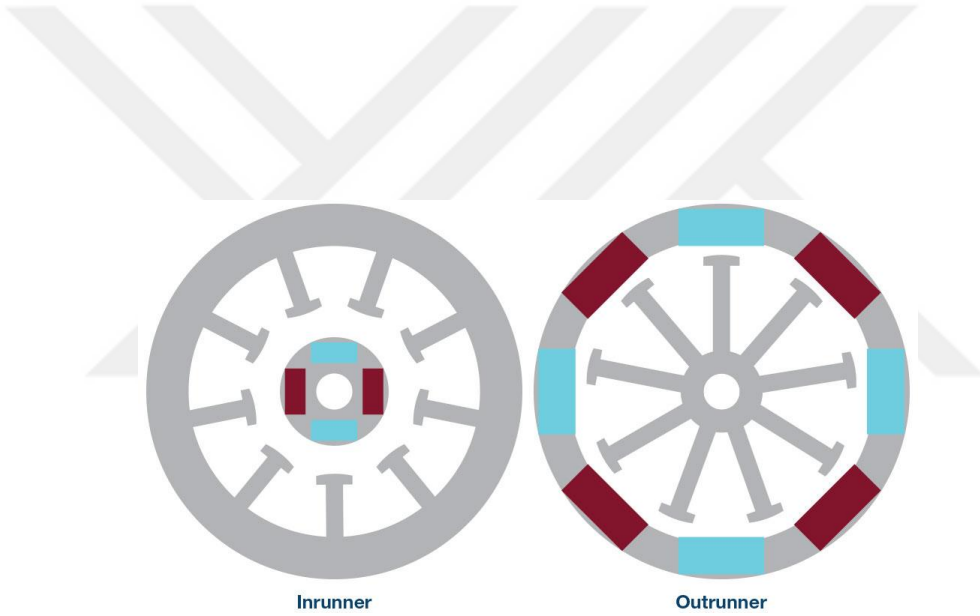
Bu tip fırçasız motorlarda dönme hareketi helikopter ve uçak motorlarında yer alan mıknatısları taşıyan motorun dış kısmında gerçekleşmektedir. Motor içinde yer alan stator bobinleri her daim sabit olarak durmaktadır. Bu tip fırçasız motorlar daha çok insansız hava aracı modellerinde kullanılmaktadır.



Şekil 2.11. Outrunner Motor Modeli ve Yapısı

### 2.3.2 Inrunner Brushless Motor (İçi Dönen Fırçasız Motor)

Radyo kontrol tabanlı model araba ve tekne motorlarının yapısı inrunner fırçasız motor modeli olup, bu tip motorlarda oluşan dönme hareketi mıknatısları taşımakta olan ana mil üzerinde gerçekleşmektedir. Bobinler ise kasada sabit olarak yer almaktadır. Inrunner fırçasız motorların hızları outrunner motorlara oranla çok daha yüksek olmasına rağmen bu tip motorların tek bir volt üzerinden ürettikleri tork değeri ise daha azdır. Dıştan görünüş olarak tamamiyle fırçalı DC motor şeklini andırmaktadır.



Şekil 2.12. Inrunner ve Outrunner Motor Sistemlerinin Yapısı

Fırçasız motorlarda sürtünmenin olmaması temel olarak mıknatıs kullanımı ile ortaya çıkmaktadır. Kullanılan mıknatıslar doğrultusunda fırçasız motorlar uzun ömürlü bir yapıya sahip olmaktadır. Fırçasız motorlara uygulanabilecek güç miktarı neredeyse yalnızca ısı ile sınırlanmaktadır. Motor içerisinde yer alan neodyum mıknatısları 80 derecenin üzerinde bir ısıya maruz kaldığında bu mıknatısları zayıflatmakta ve sargılına zarar

vermektedir. Nitekim fırçalı motorlarda yer alan kömürün fırçasız motorlarda yer almaması sebebiyle sürtünmeyi ortadan kaldırmakta ve böylelikle fırçasız motorlar çok fazla direnç ile karşılaşmamaktadırlar. Fırçasız motor modelleri daha çok bakım gerektirmeyen çalışmalarda yüksek hızlı kullanımlarda veya hassas elektronik ürünleri kontrol edebilmek için kullanılmaktadır.

Fırçasız motorları kullanabilmek için bir kontrol devresine ihtiyaç duyulmaktadır. Temel kontrol cihazları, bir mantık devresi tarafından kontrol edilmekte olan 3 çift yönlü çıkışı (frekans kontrollü üç faz çıkışı) içermektedir. Basit kontrolcüler, çıkış modülünün hangi bölümde ilerletileceğini belirlemek için karşılaştırıcılar kullanmaktadır. Yüksek modüllü kontrolcü çeşitleri ise ivmeyi, hızlanmayı verimliliği yönetmek için bir mikrodenetleyici kullanmaktadır.

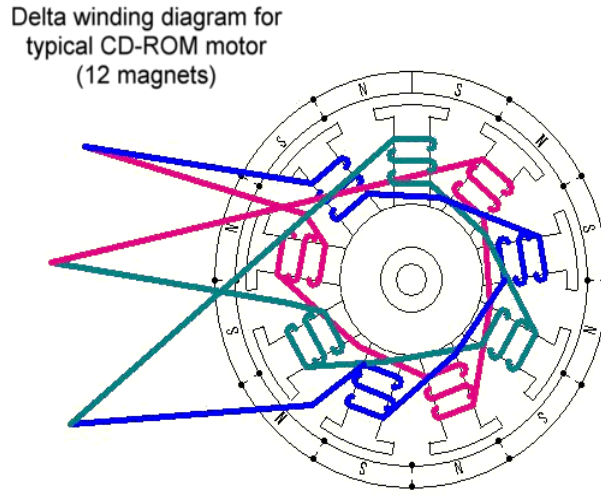
Fırçasız motorlar farklı fiziksel modeller ile üretilebilmektedir. Geleneksel olarak bilinen modelde kalıcı mıknatıslar rotorun bir parçası olarak yer almaktadır. Üç adet stator sargısı da rotoru çevreleyecek şekilde yer almaktadır. Çıkış veyahut dış rotor modelinde ise bobinler ile mıknatıslar arasındaki radyal ilişki tersine çevrilmekte ve stator bobinleri motorun merkezini oluşturmaktadır. Sabit mıknatıslar ise çekirdeği çevrelemekte olan rotor içerisinde dönmektedir. Dış rotor modelinde üçlü sargı grubunu koruyabilmek için çok fazla kutup yer almaktadır böylelikle düşük RPM'lerde daha yüksek bir tork değerine sahip olmaktadır. Tabii bununla birlikte ortaya çıkan sabit durum ise tüm fırçasız motorlarda bobinler sabit olarak yer almaktadır.

Fırçasız motor modelleri farklı matematiksel düzenlemelerle üretilebilmektedir. Klasik modellemede yer alan mıknatıslar rotorda yer almaktadır. Motorun dış bölüm (rotor) modellemesinde yer alan bobin ile mıknatıs arasında ki açısal ilişki ters dönmekte ve statorun bobinleri motorun merkezini çevrelemektedir. Alan veya şekil sınırlamalarının olduğu yerlerde kullanılan düz veya aksenal akı tipi, yüz yüze monte stator ve rotor plakaları kullanılır. Dışa vurucular, üç sargı grubunu korumak için üçlü takımlar içine yerleştirilmiş daha fazla kutuba sahiptir ve düşük RPM'lerde daha yüksek tork değerine sahiptir. Bu tip fırçasız motor modellerinde bobinler sabit olarak yer almaktadır.

Motorlar içindeki bobinleri sarım işlemi iki şekilde gerçekleştirilmektedir.

## Delta Modeli

Delta modeli sarım işleminde üçgen benzeri bir devrede üç sarım birbirine bağlanmakta ve bağlantıların her birine gerilim uygulanmaktadır. Delta modeli sargılara sahip olan bir motor düşük hızda düşük tor sağlamaktadır anca bu torktan bağımsız daha yüksek hız da sağlayabilmektedir.

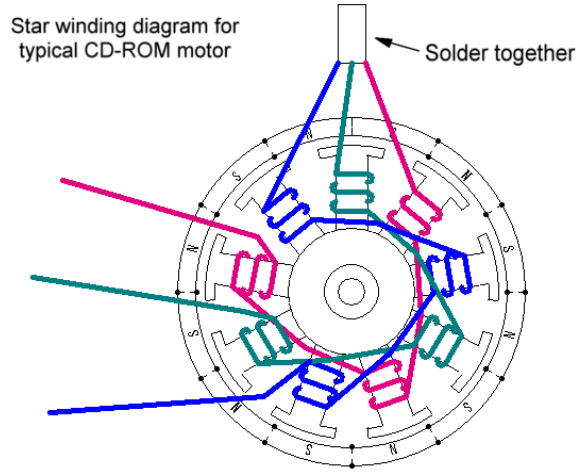


Şekil 2.13. Delta Tipi Fırçasız Motor Örneği

## Yıldız Modeli

Yıldız modeli sarım işleminde yıldız benzeri bir devrede üç sarımın her bir ucu birbirinden bağımsız durmakla birlikte, diğer uçları tek bir noktada birleşmektedir. Yıldız modeli sargılara sahip olan bir motor düşük hızlarda yüksek tork değeri sağlayabilmektedir.

Delta modeli sarım işleminde üçgen benzeri bir devrede üç sarım birbirine bağlanmakta ve bağlantıların her birine gerilim uygulanmaktadır. Delta modeli sargılarına sahip motor modelleri düşük hız değerlerinde daha düşük tork değeri sağlamaktadır. Fakat bu tork değerinden bağımsız olarak daha yüksek hız da sağlayabilmektedir.

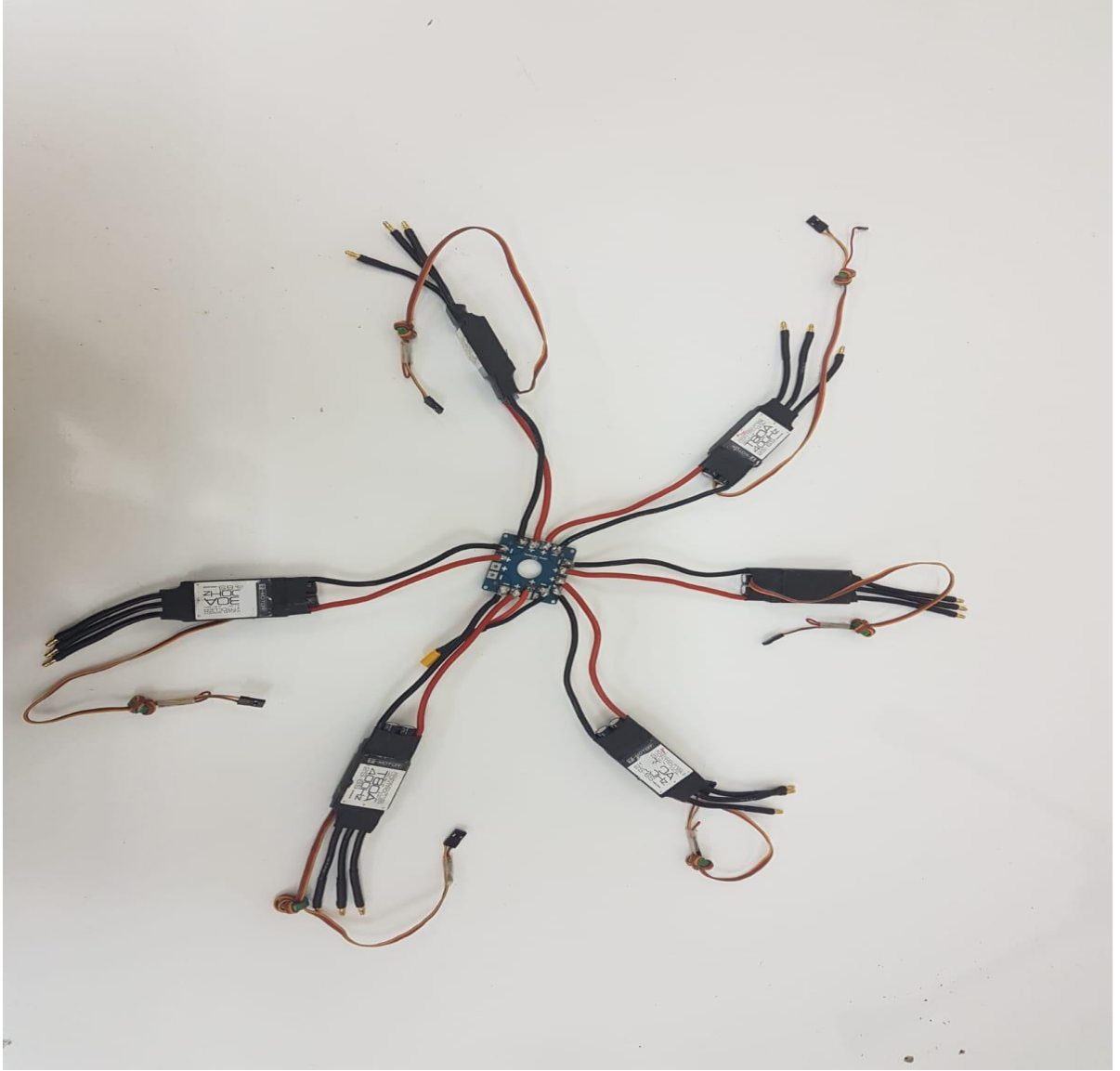


Şekil 2.14. Yıldız Tipi Fırçasız Motor Örneği

Bu bilgiler ışığında fırçasız DC motorlar multirotor tabanlı insansız hava aracı projelerinde ideal olarak kullanılan motor modelleridir. Hassas kontrol sağlama yeteneğiyle birlikte özellikle multirotor disiplinde yer alan her rotorun dönme hızını tam olarak kontrol ederek en stabil uçuşun gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Böylelikle fırçasız motorların teknolojisinde var olan mükemmel verimlilik, uzun ömürlü bir yapıya sahip olunması ve yüksek derecede kontrol kabiliyetine sahip olunması sebebiyle bu tez çalışmasında fırçasız dc motor modelinin kullanılması uygun görülmüştür. Çalışma içerisinde kullanılan motor ve motora ait özellikler aşağıda belirtilmiştir.

### 2.3.3. PRM Güç Dağıtım Kartı

Hexatar sistemi içerisinde yer alan altı adet T-80 A ESC modellerinin tek bir noktadan gerilim ile beslenmesi için kullanılan güç kartı modelidir. Bu kart kullanılmak istenen sisteme göre değişiklik göstermektedir. Kullanılan bu kart ile Hexatar sistemi içerisinde ki tüm ESC'ler ve ESC'lere bağlı tüm motorlar tek bir giriş üzerinden gerilim ile beslenmektedir.



Şekil 2.15. Hexatar İçerisinde Oluşturulan Güç Dağıtım Sistemi

### 3.4 Hexatar Sistemi İçerisinde Kullanılan Motor Modeli

#### **MN-4004 400 Kv**

Bu tez çalışmasında Çin menşeli T-Motor firmasının üretmiş olduğu MN-4004 model motoru kullanılmıştır. T-Motor, multirotor disiplinde sahip sistemlerde kullanılan en iyi motor, motor sürücüsü ve pervane alternatiflerini üretmektedir. Bu doğrultuda yine firmanın üretmiş olduğu MN-4004 model motoru hafifliği, düşük güçle yüksek performans elde edilebilirliği ve verimli bir yapıya sahip olması sebebiyle tercih edilmiştir.



Şekil 2.16. T-MOTOR 10. MN-4004 Motor Modeli

Outrunner yapıya sahip olan bu motor modeli dıştan dönen bir yapıya sahiptir. Böylelikle motor miline sabitlenen pervane, motorun dönmesiyle birlikte hareket etmeye başlamakta ve yer çekimine karşı bir kuvvet oluşturarak dikey kalkış gerçekleştirmektedir.

Tez çalışmasında yer alan bataryanın enerji sağladığı MN-4004 model motor 44 mm çapında olup yaklaşık olarak 52 g ağırlığa sahiptir. Maksimum 25.2 V'luk gerilimi desteklemekte olan bu motor sürekli olarak maksimum 9.6 A akım çekmektedir. Tek bir MN-4004 model motor yaklaşık olarak 1.2 kg itiş kuvveti sağlamakta ve dolayısıyla sistemde yer alan altı adet MN-4004 model motor yaklaşık 7.2 kg itiş kuvveti sağlamaktadır. Motor, radyo kontrol sistemi ile kumanda edileceği için sistemde yer alan T60 A model sürücü ile kontrolü sağlanmaktadır. Hexatar sistemi içinde yer alan bu motor sistemin uçuşunu gerçekleştiren ana elaman rolü görmekte olup, 13\*4,4 inç büyüklüğündeki pervane ile bütünleşik olarak çalışmaktadır. Kullanılan bu pervane motor miline geçirilip, iki adet alyan başlı civata ile sabitlenmiştir. Motorların ESC ile bağlantısının gerçekleştirilmesi için ise 2mm çapa sahip Gold Bullet marka Banana Konnektör Soket modeli kullanılmıştır. Bu soket modellerinin yalnızca erkek kısımları motorun çıkışı için kullanılan 3 adet kabloya ayrı ayrı lehim işlemi yapılarak sabitlenmiştir.



Şekil 2.17. Hexatar İçerisinde Yer Alan Motor Konnektörü ve Bu Konnektör ile Bağlantısı Gerçekleştirilen MN-4004 Motoru

## 2.4. UÇUŞ KONTROL SİSTEMİ

Uçuş kontrol cihazları insansız hava aracı alt yapısında geliştirilen sistemler için kullanılan ve uçuş eğilimi gösteren bir cismin aslında beyni olarak nitelendirilen bir devre kartıdır. Temel olarak insansız hava aracının yönlendirme değişikliklerini tespit etmekte olan, içinde bir veya birden fazla sensör barındıran bir devre kartıdır. Ayrıca radyo kontrol sistemi üzerinden gönderilen komutları almakta ve bu komutlara göre insansız hava aracını havada tutabilmek için motorları kontrol etmektedir. Temel olarak işlevi, uçuş kontrolcüsüne gelen sinyallere yanıt olarak her motorun RPM'sini yönlendirmek olarak ifade edilmektedir. Pilotun sistem üzerinde yer alan rotorların doğru bir şekilde hareket etmesi için kumanda üzerinde uygulamış olduğu komutları alıcı üzerinden uçuş kontrolcüsüne aktarmakta ve buna göre motorların nasıl yönlendirileceğine karar vererek sağlıklı bir uçuş gerçekleştirmektedir. Günümüzde neredeyse tüm uçuş kontrol cihazlarında Gyro (Gyroskop) ve Acc (Akselerometre) gibi temel sensörler yer almaktadır. Bazı baramotrik basınç sensörleri ve manyometre (pusula) gibi daha gelişmiş sensörler de içerebilmektedir. Tüm bu sensörlerle birlikte GPS, led, sonar sensörü vb. Gibi bir çok çevresel etkenler için kullanılmakta olan sensörlerde bu uçuş kontrolcü cihazlarında yer alabilmektedir.

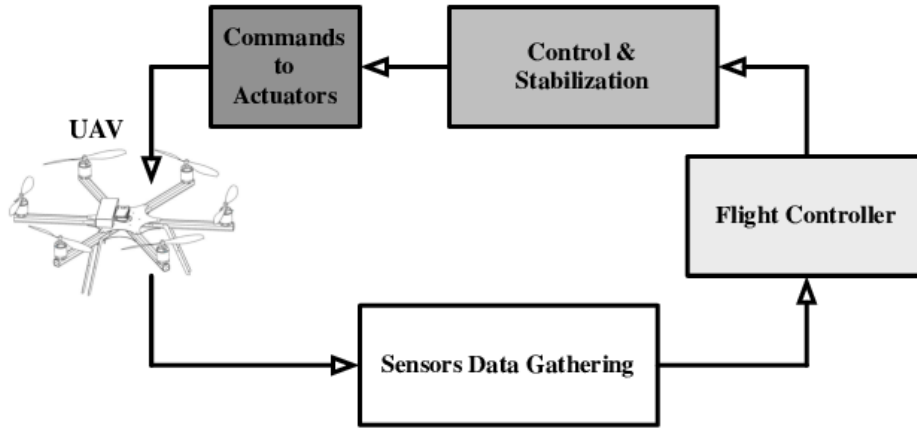
Uygun bir uçuş kontrol cihazı kurulumuyla bir pilotun kontrol girişleri, geminin davranışına tam olarak uymalıdır. Uçuş kontrolörleri, değişken çoklu rotor konfigürasyonlarına dayanan ayarlara izin vererek konfigüre edilebilir ve programlanabilir. Kazancı veya PID'leri denetleyiciyi ayarlamak için kullanılır; çabuk ve kilitlemiş bir yanıt verir. Uçuş kontrolörü seçiminize bağlı olarak, kendi ayarlarınızı yazmak için çeşitli yazılımlar kullanılabilir.





2.18. PİXHAWK 2.4.8 Modülü

Uçuş kontrol cihazları insansız hava aracı modellerinin çeşitlerine göre farklı olarak oluşturulmaktadır. Kullanılan sistem ve bu sistemde yer alan rotor sayısına göre çeşitli konfigürasyonlara dayanan belirli parametre ayarlarına izin vererek programlanabilmekte ve bu doğrultuda da sağlıklı bir şekilde kullanılabilir. Çoğunlukla PID kontrol sistemi üzerinde şekillendirilen uçuş kontrolcülerinden bazı modelleri kullanıcının isteğine göre de programlanabilmektedir. Son dönemde yarışma temalı insansız hava aracı modelleri popüler bir hal aldığından dolayı bu alandaki uçuş kontrol cihazları hızla gelişim göstermektedir. Bu uçuş kontrolcülerde daha küçük, daha hızlı işlemci ve donanımlar kullanılarak çok daha fazla opsiyonlu özellik entegre edilmektedir.



Şekil 2.19. Uçuş Kontrolcüsü Çalışma Sistemi

Uçuş kontrolcüleri multicopter tabanlı sistemlerin kaç rotorlu olduğu ile bağlantılı olarak sistematik bir şekilde çalışmaktadır. Uçuş kontrolcüsünün modeli hangi tür alt yapıya sahip bir sistemde kullanılacağı ile ilişkilidir. Örneğin, 4 rotorlu mini bir yarış dronu için kullanılacak bir uçuş kontrolcüsü ile altı rotorlu kontrol edebilen ve belirli bir görev niteliği taşımakta olan insansız hava aracı için kullanılması gereken uçuş kontrolcü kartı farklıdır. Hexatar içerisinde yer alan pixhawk isimli uçuş kontrolcüsü de tüm bu etkenler göze alınarak belirlenmiş olup, hem fiyat/performans hem de stabil uçuş gerçekleştirebilmek için en ideal seçim olarak kararlaştırılmıştır. Sistem içerisinde kullanılan pixhawk isimli uçuş kontrolcüsü modeliyle ilgili özellikler aşağıda belirtilmiştir.

#### 2.4.1. PİXHAWK

2009 yılında çalışması yapılmaya başlanan bu uçuş kontrolcüsü modeli Zürih'in İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsünde geliştirilmiş olup Özerk Sistemler Labaratuvarı ve Otomatik Kontrol Labaratuvarı tarafından desteklenmektedir. Ana işlemci olarak içeriğinde 32 bit Arm Cortex M4 tabanlı STM32F427 ile kullanılmaktadır. İçinde motorlar ve servo motorlar için 14 adet PWM çıkışı bulunduran bu uçuş kontrolcüsü üzerinde Uart, I2C, CAN gibi çevresel birimlerde yer almaktadır. Tüm bu çevresel birimler doğrultusunda da herhangi bir sensör veya kontrol elemanı kolay bir şekilde eklenebilmektedir. Üzerinde yer alan ledler vasıtasıyla programlama veyahut uçuş aşamasında ki durumları belirlenebilmektedir. Sd kart desteği doğrultusunda yüksek frekansta uzun süre sensör verisi kaydı gerçekleştirilebilmektedir. Pixhawk içerisinde yer alan sensör grupları ise şu şekildedir;

-ST Micro LSM303D 3 eksen16 bit gyroskop

-ST Micro LSM303D 3 eksen14 bit akselerometre

-Inevensense MPU 6000 3 eksen akselerometre/gyroskop

#### Güç Sistemi Özellikleri

-Diyot kontrolcüsü mevcut

-7 V yüksek akım çekme özelliğine sahip olan servo çıkışları mevcut

-Tüm çıkışlar yüksek akım korumasına sahip

-İçinde barındırdığı ana işlemci üzerinde herhangi bir sorun olduğunda STM32F103 isimli yedek işlemci devreye girerek tüm kontrol mekanizması bu işlemci üzerinden devam edebilmekte.

-Radyo kontrol tabanlı tüm sistemler için kullanılabilir. (Tüm İnsansız Hava Araçları, otomobil, tekne)

-Radyo kontrol tabanlı tüm multirotor disiplinine sahip tüm modelleri desteklemektedir.

-İçinde yer alan akım sensörü vasıtasıyla sistem üzerinden geçen toplam akım miktarını ve temel değerleri okuyabilmektedir. (Diğer otopilotlarda bu özellik mevcut değil)

-OSD çıkışı yer almaktadır. OSD çıkışı doğrultusunda uçuş kontrolcüsünün yer aldığı sisteme ait uçuş verilerini anlık olarak yine sistem içinde yer alan ekrana aktarabilmektedir.

-Oto paraşüt özelliği doğrultusunda sistem üzerine böyle bir eklenti yapabilmek mümkündür.

-Gimbal kontrolünü gerçekleştirebilme özelliği mevcuttur.

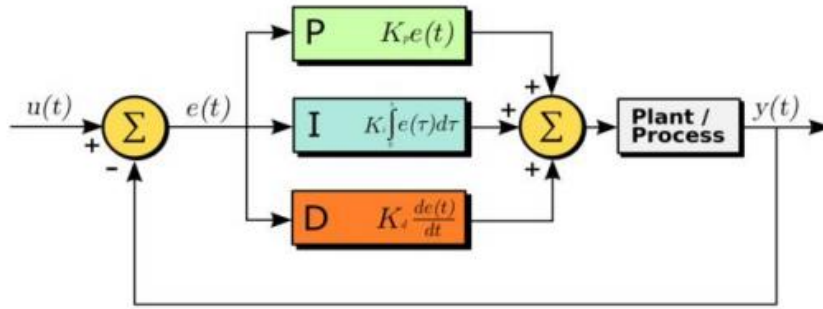
-Antenna Tracker olarak adlandırılan mesafe arttırıcı anten sistemini desteklemektedir.

-Phyton yazılım dille ile kodun ana kısmına bakmaya gerek kalmadan istenilen görev programı yazılıp derleyebilme imkanı sunmaktadır.

### 2.4.1.1. PİXHAWK Model Uçuş Kontrolcüsünün Matematiksel Kontrol Sistemi ve Bütünleşik Çalışan Ekipmanlar

Temel olarak, bir hexacopter stabilizasyonu için kullanılan kontrol sistemlerinde döngü geri besleme mekanizmasında kontrol edilmektedir. PID denetleyicisi (oransal-integral-türev denetleyici) olarak adlandırılmıştır. Bu özel sistemde PID kontrolörü uçuş kontrolcüsü üzerindeki jiroskoplar, ivmenölçerler ve sensörler tarafından ölçülen verileri alır ve bunu beklenen değerlerle karşılaştırır. Karşılaştırılan değerler birbiriyle uyuşmadığı takdirde ise sistem üzerinde oluşan herhangi bir farklılığı telafi etmek ve dengeyi korumak için motor hız değerleri kontrol algoritması doğrultusunda değiştirilir. PID kontrol hesaplama algoritması ise üç ayrı sabit parametre içerir. Bunlar orantılı, integral ve belirli bir inşaat için ayarlanması gereken türev değerlerine bağlı değerlerdir. ArduPilot 3.4.3 versiyonu kurulu olan Pixhawk uçuş kontrolcüsü, platform için PID parametrelerinin ayarlanabildiği otomatik ayarlama modunu otomatik olarak gerçekleştirir.

Gerçekleştirilen bu işlem yaklaşık bir kaç dakika sürer ve uçuş sırasında multikopter PID hızlarını otomatik olarak ayarlamak için önemli bir kayıp olmadan en hızlı ve en yüksek değeri vermektedir.



Şekil 2.20. Uçuş Kontrolcüsü PID Diyagramı

Hexatar sistemi içerisinde yer alan pixhawk ile birlikte bütünleşik çalışmakta olan buzzer, telemetri ve güç modülü ekipmanları da aktif olarak kullanılmıştır. Yapılan bu tez çalışmasında bu ekipmanların kullanılma amacı ve gereksinimi aşağıda belirtilmiştir.

### 2.4.1.1.2. Buzzer

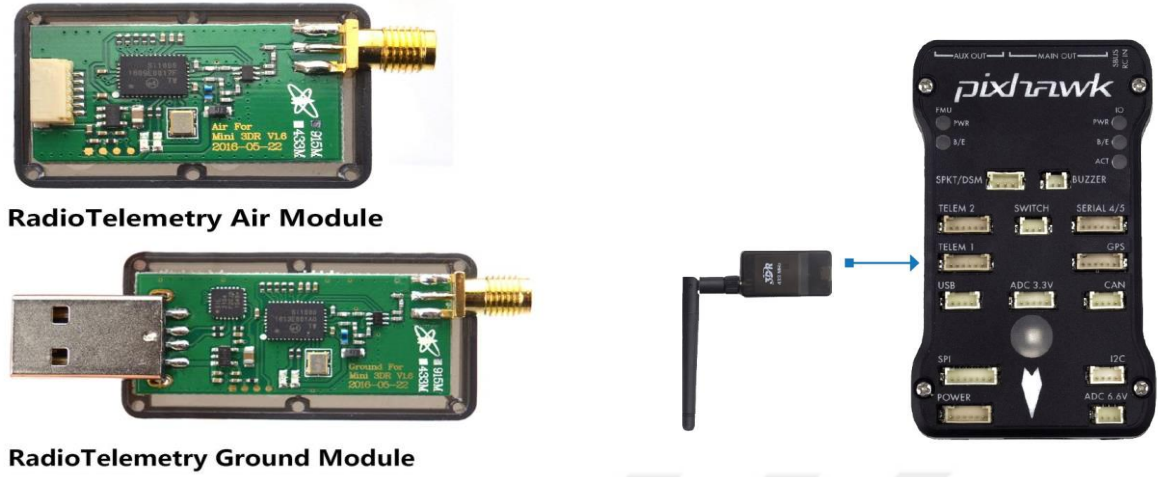
Pixhawk'a bağlı olan buzzer Hexatar'ın uçuşa hazırlık sırasında veya pixhawk uçuş kontrolcüsünün içerisinde ki yazılımsal değişiklikleri yapma durumunda ortama farklı sesler vererek, belirli bir ses komutu doğrultusunda kullanıcıyı bilgilendirmektedir. Böylelikle duyulan ses doğrultusunda herhangi bir hatalı parametre girişi ya da uçuşa hazırlık esnasında yapılan bir yanlışlık buzzer yardımıyla kullanıcıya bildirilmektedir.



Şekil 2.21. Pixhawk 2.4.8 ve Buzzer Bağlantı Biçimi

### 2.4.1.1.3. Telemetri

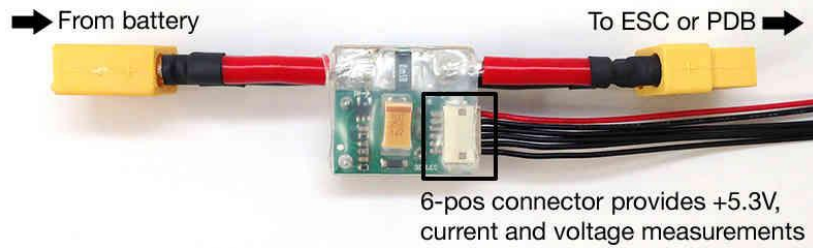
Radyo kontrol tabanlı telemetri modülleri uzaktan algılayıcılardan kablosuz olarak veri toplama sistemi olarak nitelendirilmektedir. Bu modül doğrultusunda radyo kontrol tabanlı çalışma gösteren uçak, helikopter veya multicopterlerin seyir hızlarını, ne kadar yükseklikte uçuş gerçekleştirildiğini, mevcut GPS koordinatlarını, batarya voltajını ve motorların çekmekte olduğu akımları gibi değerleri yer istasyonuna aktarmaktadır. Telemetri modülü iki adet ekipmandan oluşmakta olup, alıcı-verici sistemi olarak da nitelendirilebilir. Bu tez çalışmasında da telemetri modülünde yer alan verici modülü pixhawk'a bağlı olarak Hexatar üzerinde yer alırken bir diğeri bilgisayarın usb portuna takılı olarak yer almakta ve böylelikle Mission Planner programı üzerinden tüm değerler takip edilebilmektedir.



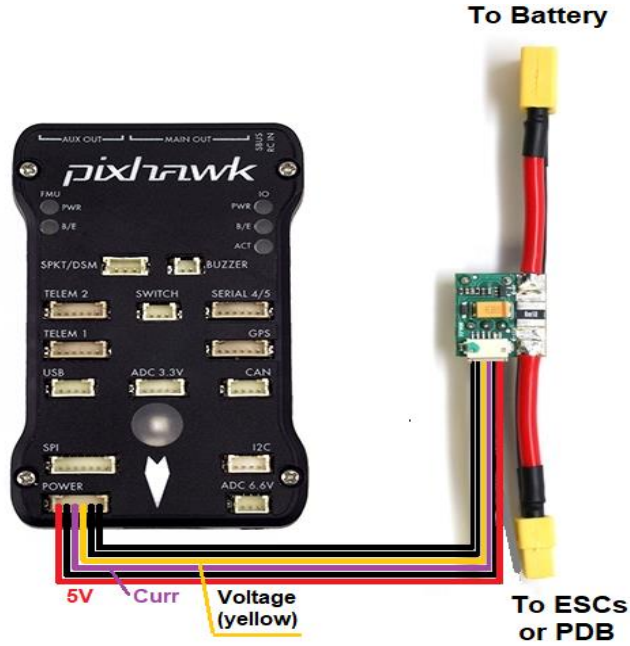
Şekil 2.22. Pixhawk ve Telemetri Bağlantı Biçimi

#### 2.4.1.1.4. Güç Modülü

Kullanılan sisteme göre farklılık göstermekte olan güç modülleri bu tez çalışmasında Hexatarın uçuş sistemi için gerekli olan enerjiyi sağlamakta olan bataryadaki gerilimi bir nevi regülatör görevi görerek pixhawk üzerine aktarmak için kullanılmıştır. Modül içerisinde yer alan akım sensörü vasıtasıyla sistem üzerinden geçen akım ve voltaj yine pixhawk üzerinden rahat bir şekilde takip edilebilmektedir. Modülün bir ucu XT60 konnektörü ile bataryaya bağlı olup bir diğer ucu sistem içerisinde yer alan ana güç ünitesine yine XT60 konnektörü vasıtasıyla enerjiyi yönlendirmektedir. Aynı zamanda modül içerisinde yer alan altı pinli dişli kablo soketi vasıtasıyla pixhawkın batarya bölümüne giderek pixhawkın çalışması için gerekli olan gerilimi sağlamaktadır.

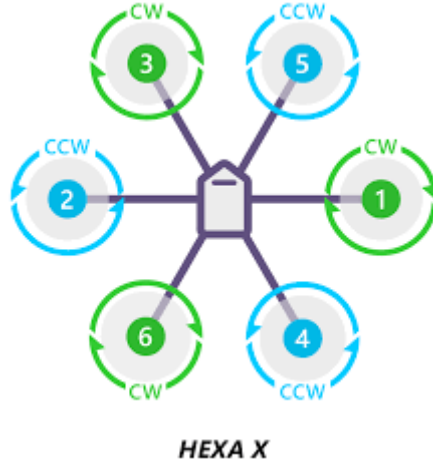


Şekil 2.23. Pixhawk ile Bütünleşik Çalışan Güç Modülü



Şekil 2.24. Pixhawk ve Güç Modülü Bağlantı Biçimi

Pixhawk uçuş kontrolcüsü modeli Hexatar sisteminde yer alan altı adet MN-4004 model motor, altı adet T60 A motor sürücüsü ve radyo kontrol sisteminde mevcut olan Hitec optima alıcı ile bütünleşik olarak çalışmaktadır. Radyo kontrol sistemi içerisinde yer alan Hitec Auroro 9X kumanda üzerinden uygulanan komutlar 2.4Ghz bandındaki PWM sinyaliyle Hitec Optima Alıcı ile haberleşmekte ve böylelikle Hitec Optima Alıcı ile Pixhawk arasında gerçekleştirilen bağlantı doğrultusunda Hitec Auroro 9X model kumandadan gelen sinyaller Pixhawk içerisindeki işlemci vasıtasıyla kontrol edilmektedir. Ardından da kontrol edilen sinyaller T60 A ESC'ler üzerinden MN-4004 model motorlara aktarılmaktadır. Hexatar içerisinde yer alan olan pervaneler pixhawk içerisindeki ana parametrelerde yer alan motor dönüş yönlerine göre MN-4004 motorlara sabitlenmiş olup altı rotorlu bir yapıya sahip olan insansız hava aracının pixhawk içerisinde belirtilmiş olan motor dönüş yönleri ise aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 2.25. Pixhawk İçerisinde Belirtilen Hexacopter Diyagramı

Böylelikle de Hexatar belirli bir kontrol mekanizmasına bağlı olarak uçuş gerçekleştirmektedir.

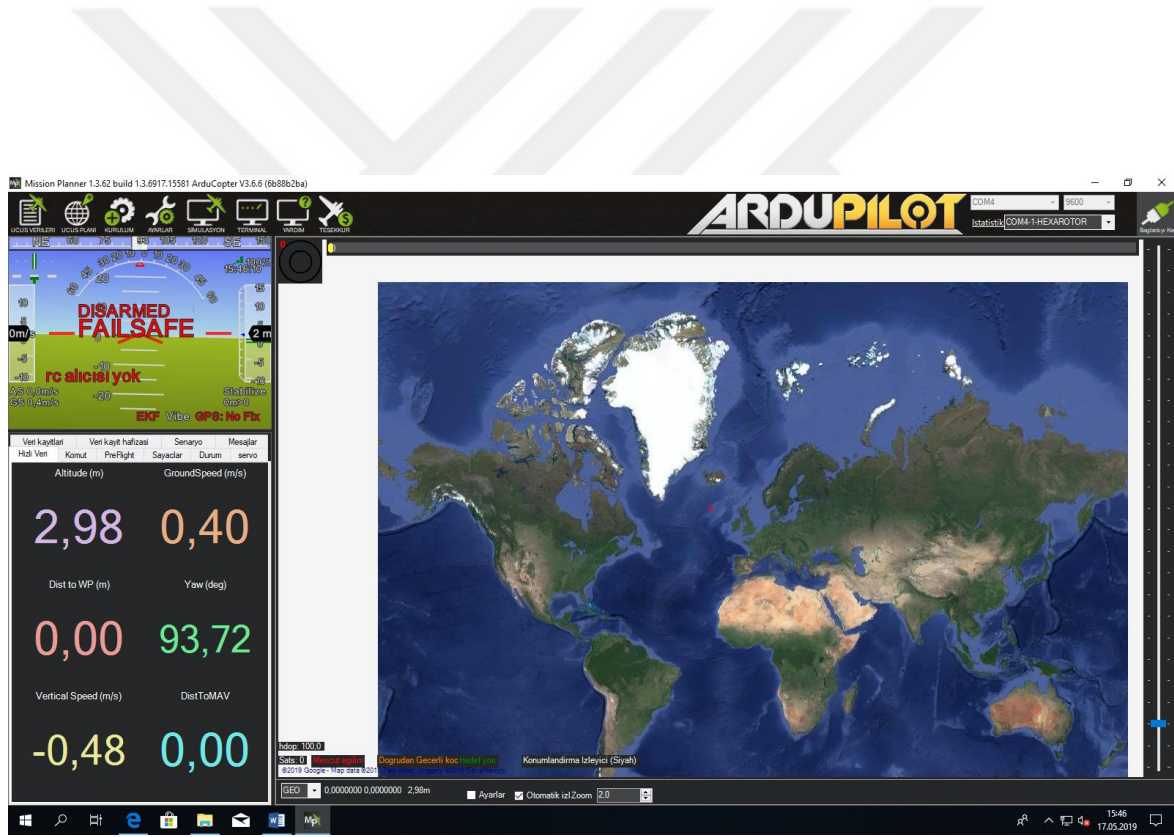


Şekil 2.26. Hexatar İçerisinde Yer Alan Uçuş Kontrol Sistemi ve Bağlantı Düzeni



### 2.4.1.1.5. Mission Planner

Mission Planner, APM otopilot proje sistemi için Michael Osborne tarafından geliştirilmiş ücretsiz, açık kaynak kod tabanlı ve topluluk destekli bir uygulamadır. Günümüzde hala aktif olarak geliştirilmeye ve yeni sürümleri oluşturulmaya devam edilen bu program online bir site platformu içerisinde bağış toplayarak gelişimini sürdürmektedir. Uçak, helikopter, multicopter, otomobil gibi radyo kontrol tabanlı uygulamaların veyahut projelerin yer kontrol istasyonu olarak adlandırılmakta olan Mission Planner yalnızca Windows işletim sistemi üzerinde çalışmaktadır.



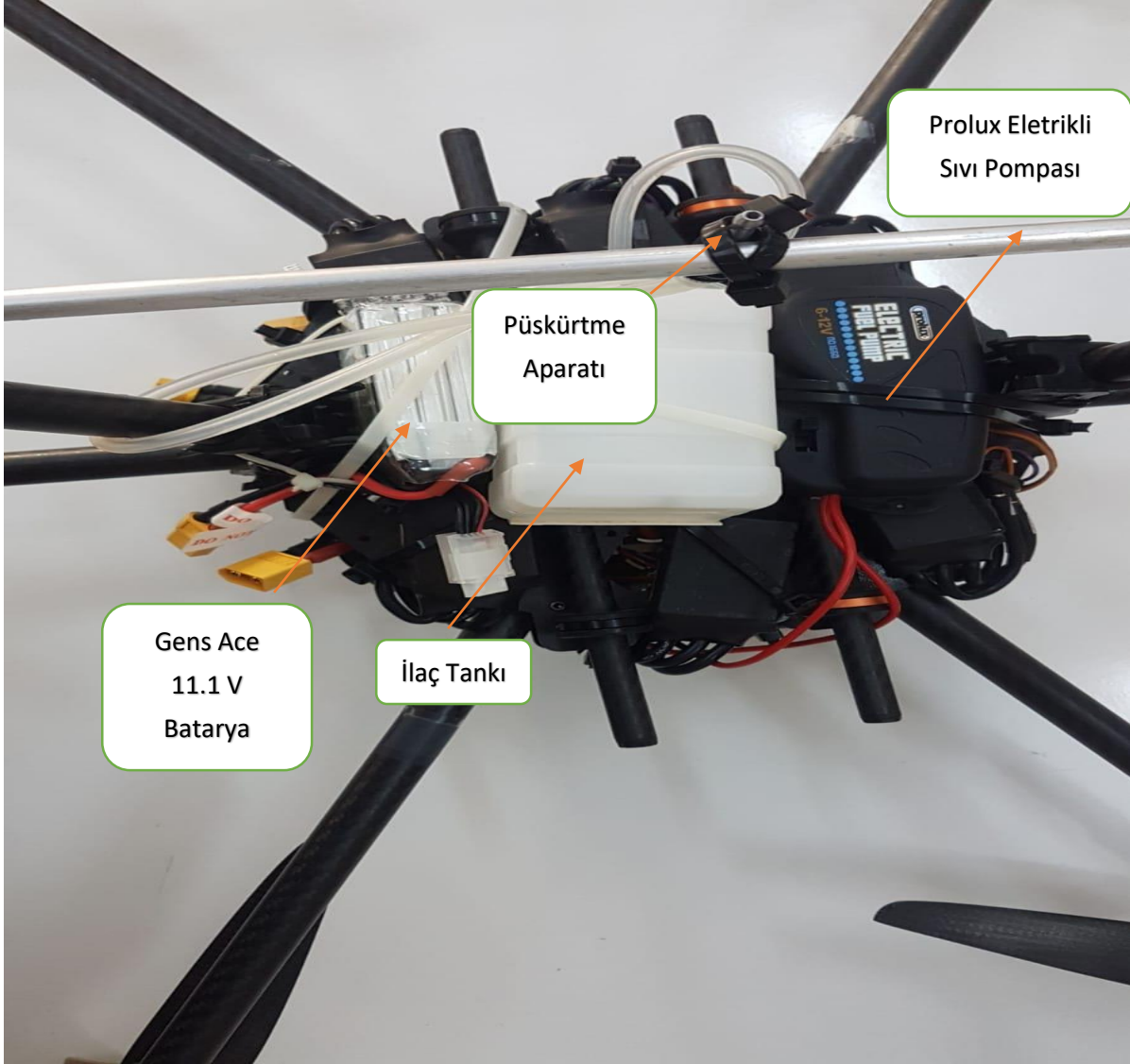
Şekil 2.27. Hexatar ve Mission Planner Bağlantısı Ekran Görüntüsü

Pixhawk uçuş kontrolcüsü Hexatar sistemi içinde kullanılan Mission Planner yazılımı ile bütünleşik çalışmakta olup, Pixhawk üzerinde yer alan telemetri modülü vasıtasıyla bilgileri kablosuz olarak mission planner programı üzerinden takip edilebilmektedir. Aynı zamanda Pixhawk açık kaynak kodlu bir yazılıma sahip olduğundan dolayı, Mission Planner programı üzerinden yapılmak istenen göreve uygun kodlar yazılabilir veyahut mevcut

parametreler üzerinden çeşitli değişikliklerle uçuş kontrolcüsü istenilen sisteme uygun bir yapıya getirilebilmektedir. Mission Planner programı basit ara yüzü sayesinde Pixhawk'ın bağlı olduğu sistem üzerindeki tüm verilere rahat bir şekilde erişilmesini sağlamaktadır.

### **3.HEXATAR İLAÇLAMA SİSTEMİ**

Uçuş sisteminden bağımsız bir güç ünitesine sahip olan bu sistem ana sistemde olduğu gibi radyo kontrol vasıtasıyla çalışmaktadır. Bu sistem içerisinde bir adet Prolux marka 12 V gerilim ile çalışmakta olan elektrikli yakıt pompası, bir adet plastik ilaç tankı, radyo kontrol ile tetiklenmekte olan 5 V gerilim ile çalışan Pololu marka RC röle Gens Ace marka 11.1 V 2600 mAh batarya, bağlantı hortumları ve püskürtme nozulesi kullanılmıştır. Sistem Hitec Optima alıcıya bağlı olan Pololu RC rölenin PWM sinyali ile tetiklenmesiyle yine Pololu RC röle ile bağlantısı sağlanmış Prolux elektrikli yakıt pompasını Gens Ace marka bataryadan sağlanan enerji ile çalıştırmaktadır. Elektrikli yakıt pompası bir adet giriş ve bir adet çıkışa sahip olduğundan dolayı giriş ucuna 3mm çapında 40 cm uzunluğunda yakıt hortumu sabitlenmiş olup, hortumun bir diğer ucu da plastik yakıt pompasına sabitlenmiştir. Böylelikle elektrikli yakıt pompası çalışmaya başladığında tanktan almış olduğu ilaç ve su karışımını oluşturulan püskürtme nozulesi vasıtasıyla araziye püskürtmektedir.



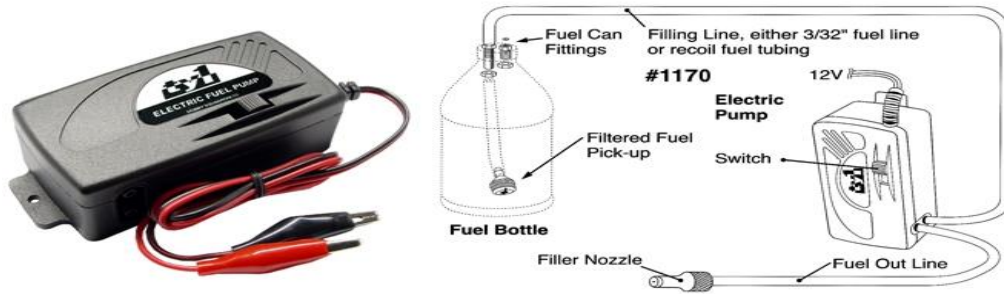
Şekil 3.1. Hexatar İçerisinde Oluşturulan İlaçlama Sisteminin Montaj Şekli

### 3.1. Prolux Elektrikli Yakıt Pompası

Hexatar'ın temel ana görevi olan ilaçlama işlemini gerçekleştirmek için kullanılmış olan bu pompa PWM sinyaliyle tetiklenen röleden almış olduğu çalış veya dur komutlarını uygulayarak sulama sisteminin çalışmasını ve durmasını sağlamaktadır. Bu motora bağlı olan iki hortum mevcuttur. Bu hortumların biri yakıt tankının içerisinde yer alırken bir diğer hortum pülüskürtme aparatına sabitlenmiştir.



Şekil 3.2. Prolux Elektrikli Yakıt Pompası Görseli



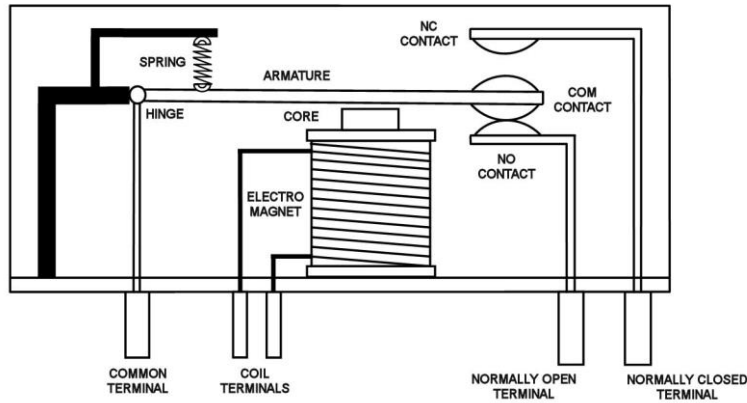
Şekil 3.3. Elektrikli Yakıt Pompası Çalışma Prensibi

### 3.2. Röle Devresi

Anahtar görevi görmekte olan röleler elektrik ile çalışmaktadır. Bazı röleler içerisinde yer alan elektromıknatis vasıtasıyla mekanik olarak çalışma işlemi gerçekleştirilmektedir fakat farklı çalışma disiplinlerinde de kullanılabilir. Röle modelleri klasik bir devrenin düşük güç sinyaliyle kontrol edilmesinin gerektiği ya da birkaç devre modelinin sinyal tarafından kontrol edilmesi gerektiği durumlarda kullanılmaktadır. Başlangıç döneminde ki

röleler uzun mesafeye sahip haberleşme sistemlerinde yükselteç olarak kullanılmıştır. Bu sistem bir devre üzerinden gelmekte olan sinyali tekrarlayarak başka bir devreye iletme işlemi ile gerçekleştirilmiştir. İlk etapta röle modelleri genellikle telefon santral bölgelerinde aktif olarak kullanılmıştır.

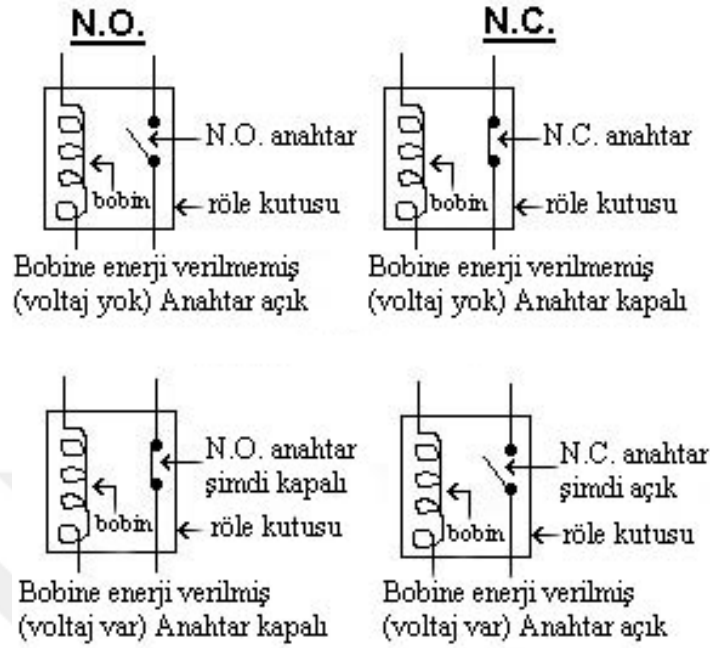
Elektrik ile çalışmakta olan motorları doğrudan kontrol edebilmek için gerekli olan yüksek enerjiyi kontrol edebilir yapıya sahip olan röle tipine kontaktör denilmektedir. Yarıiletken röleler, sabit parça içeren güç ünitelerini kontrol eder ve anahtarlama işlemi gerçekleştirmek için yarı iletken bir madde kullanılmaktadır. Elektrik devrelerini aşırı yük veya arızalardan korumak için kalibre edilmiş çalışma özellikli rölelerde bazı durumlarda çoklu işletme bobinleri kullanılmaktadır. Günümüz elektronik enerji sistemlerinde bu işlevler koruyucu röle adı verilen dijital cihazlar vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Manyetik mandallama röle modelleri, kontaklarını sabit yönde hareket ettirebilmek için bobin gücü darbe girdisi ve diğerlerini yeniden hareket ettirebilmek için yönlendirilmiş darbe girdisi gerektirmektedir. Aynı girişten gelmekte olan ve tekrarlanmakta olan darbe değerlerinin hiç bir tesiri yoktur. Manyetik kilitleme röleleri, kesilen gücün, rölenin kontrol ettiği devreleri etkilememesi gereken uygulamalarda yararlıdır.



Şekil 3.4. Basit Bir Röle Yapısı

Manyetik mandallama röle modelleri, bir veya iki bobine sahip olabilmektedir. Bir adet bobinli cihazda, enerji bir kutupla uygulandığında röle bir yönde çalışacak aynı zamanda kutup ters çevrildiği an sıfırlanacaktır. İkili bir bobin cihazında, sıfırlanan bobine polarize voltaj uygulandığında kontaklar geçiş yapmaktadır. AC kontrollü manyetik mandal röleleri, çalışma ya da sıfırlama isteklerinde seçim yapabilmek için direksiyon diyotları kullanmakta olan tek bobinli bir yapıya sahiptir.

## RÖLELER



Şekil 3.5. Röle Kontak Yapısı

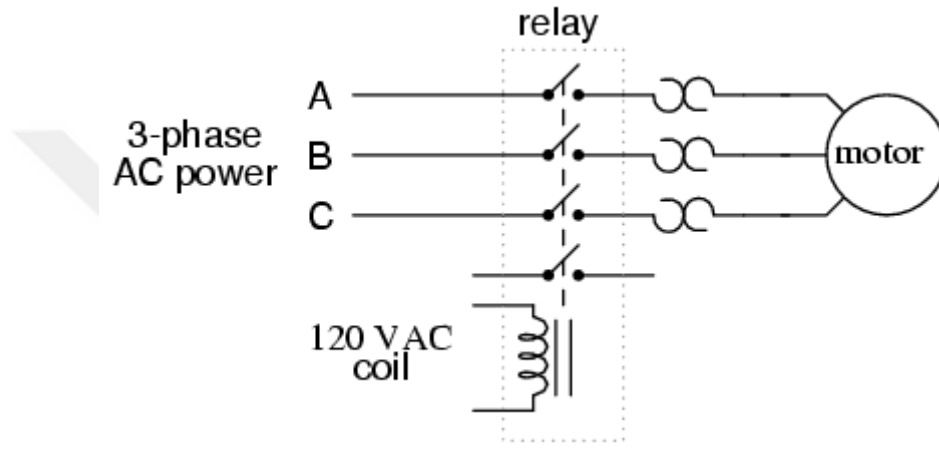
### 3.2.1. Röle Çeşitleri

#### 3.2.1.1. Koaksiyal Röle

Radyo verici sistemleri ve alıcılarında yer alan herhangi bir anteni paylaştığı durumlarda, koaksiyel röle modelleri, bu anteni alıcıdan vericiye iletmekte olan TR (verici-alıcı) rölesi olarak kullanılmaktadır. Bu gibi durumlarda alıcı, vericilerden kaynaklı yüksek enerjiden korunmaktadır. Böylelikle bu röle modelleri verici ve alıcı sistemlerini bir üniteye birleştirmekte olan alıcı verici devrelerinde kullanılmaktadır. Röle kontak mekanizmaları belirli frekanstaki radyo sinyallerini ana kaynağa yansıtılmamak için çok yüksek izolasyon değerlerine sahip bir şekilde üretilmektedir. Bu rölenin temel empedans değeri, sistemde yer alan iletim hattının empedans değeri ile eşleştirilmektedir.

### 3.2.1.2. Kontaktör

Bir kontaktör, elektrik motorlarını ve aydınlatma yüklerini değiştirmek için kullanılan yüksek akım oranlarına sahip ağır hizmet rölesidir. Genel kontaktör modelleri için devamlı akım değerleri yaklaşık olarak 10 A - 500 A arasında değişmektedir. Fazla akım çekebilen kontak modelleri, gümüş içermekte olan alaşımlar ile yapılmaktadır. Kaçınılmaz ark oluşumu kontakların oksitlenmesine neden olmaktadır. Aşırı yük koruma cihazlarına sahip kontaktörler genellikle motorları çalıştırmak için kullanılmaktadır.

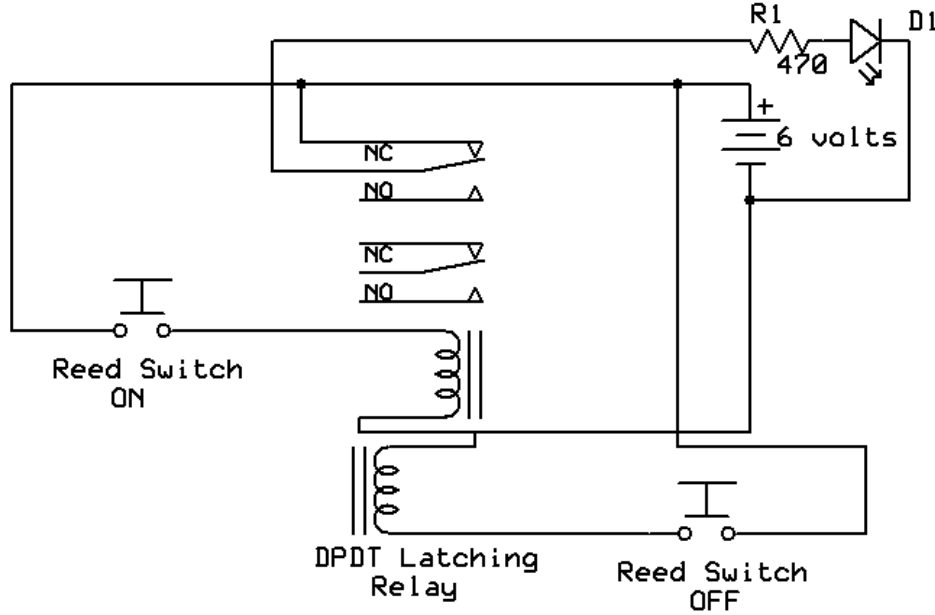


Şekil 3.6. Kontaktör Yapısı ve Motor Çalışma Diyagramı

### 3.2.1.4. Mandallama Rölesi

Sabit mıknatıslı mandallama röleleri, bobine uygulanmakta olan güç değeri olmadan her iki temas konumunu da süresiz olarak korumaktadır. Böylelikle, bir bobinin yalnızca röle değiştirildiği anda güç harcamakta olduğu durumlarda röle kontaklarının tüm ayarlarını elektrik kesintisi boyunca koruyabilmektedir. Mandallama röleleri, sürekli olarak (AC) enerji vermekte olan bobinden nem oranı yüksek olmadan üretilebilecek bina aydınlatma sistemlerinin uzaktan kontrol mekanizması ile kontrol edilmesini sağlamaktadır.

# Dual Coil Latching Relay



3.7. Mandallama Röle Örnek Devresi

## 3.2.1.5. Takım Tezgahı Rölesi

Bu röle modelleri, takım tezgah mekanizmalarının, transfer makine istasyonlarının ve aynı zamanda tüm sıralı kontrol biçimlerinin endüstriyel kontrolünün gerçekleştirilmesi için standardize edilmiş bir yapıya sahiptir. Normalde açıktan normalde kapalı duruma kolayca dönüştürülebilen çok sayıda kontak (bazen alanda genişletilebilir), kolayca değiştirilebilir bobinler ve kontrol paneline birçok rölenin kompakt bir şekilde kurulmasını sağlayan bir form faktörü ile karakterize edilmektedir. Bu röle modeli bir zamanlar otomobil montajı gibi endüstrilerdeki otomasyonun omurgasını oluştursa da, programlanabilir mantık denetleyicisi genellikle, makine tezgah röle modelinin sıralı kontrol uygulamaları tarafından değiştirilmiştir.

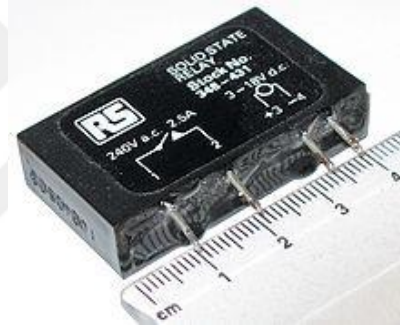
Bu röle modeli, devrelerin elektrikli ekipman vasıtasıyla değiştirilmesine izin vermektedir. Örneğin, bu röle modelini klasik zamanlayıcı devresi, belirlenmiş olan zaman diliminde gücü değiştirebilmektedir. Uzun dönemdir röle modelleri endüstriyel alanda ki elektronik sistem mekanizmalarının kontrolü için kullanılmaktadır. Zor anlaşılır fonksiyonları (röle mantığı) gerçekleştirebilmek için farklı röle modelleri ile birlikte kullanılabilir. Röle çalışma disiplini, ilgili kontak bölümüne enerji vermekte olan ve aynı zamanda enerjisini



kesmekte olan röle modellerine dayanmaktadır. Röleler sistemsel olarak mantık denetleme sistemlerinde merdiven mantık mekanizmasının öncü ürünleridir

### 3.2.1.6. Katı Hal Rölesi

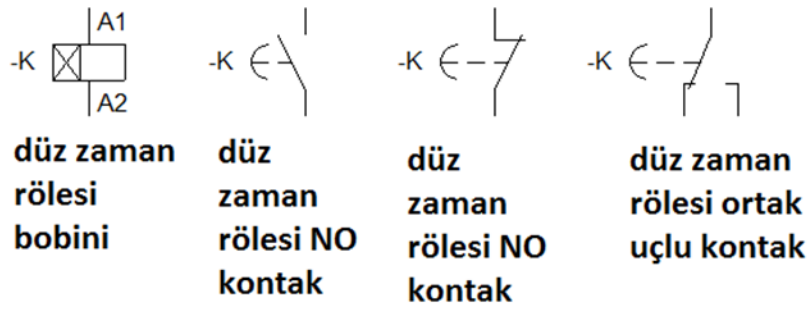
Katı Hal Rölesi yarı iletken röle kategorisinde yer aldığından dolayı içerisinde hareketli parça yer almamaktadır. 25 A akım değeri ile 40 A akım değerinde ki katı hal kontaktörler elektromekanik röleye benzer bir işlev sağlayan ancak uzun süreli güvenilirliği artıran hareketli bileşenlere sahip olmayan katı halli bir elektronik bileşendir. Katı hal röle modelleri selenoid yerine kontrollü yükü değiştirmek için sinyal vasıtasıyla etkinleştirilen bir tristör modeli, bir TRIAC ya da başka bir anahtar mekanizması kullanılmaktadır.



Şekil 3.8. Katı Hal Röle Modeli

### 3.2.1.7. Zamanlama Rölesi

Zamanlama röle modellerinin kontakları belirli bir zamana bağlı olarak çalışması ayarlanmıştır. Anlık gecikme için, armatür ve hareketli bıçak takımı arasında yer alan bir disk kullanılmaktadır. Diske akmakta olan akım manyetik alanı bir süre boyunca korumakta ve uzatma süre değerini arttırmaktadır. Daha uzun gecikme ihtiyacı doğrultusunda herhangi bir kontrol paneli kullanılabilir. Bir dashpot yavaş bir şekilde akmasına izin verilmekte olan sıvı ile doldurulmuş piston olarak görev alır ve hava dolgulu ya da yağ dolgulu panolar kullanılabilir. Akma hız değeri artırılarak ya da azaltılarak zaman aralığı değişebilir. Daha uzun süreler için ise mekanik olarak geliştirilmiş zamanlama sistemleri kuruludur. Röleler sabit zamanlama değerleri için düzenlenebilmekte ya da saha içerisinde ayarlanabilmekle birlikte uzaktan kontrol ile de ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.9. Zamanlama Röle Modeli Yapısı

Tüm bu röle çeşitleri doğrultusunda daha çok radyo kontrol ve hobi alanlarında kullanılmakta olan ve içindeki röle devresi Omron G5LE-14-DC5 model olan Pololu RC röle sistemi kullanılması karar kılınmıştır.

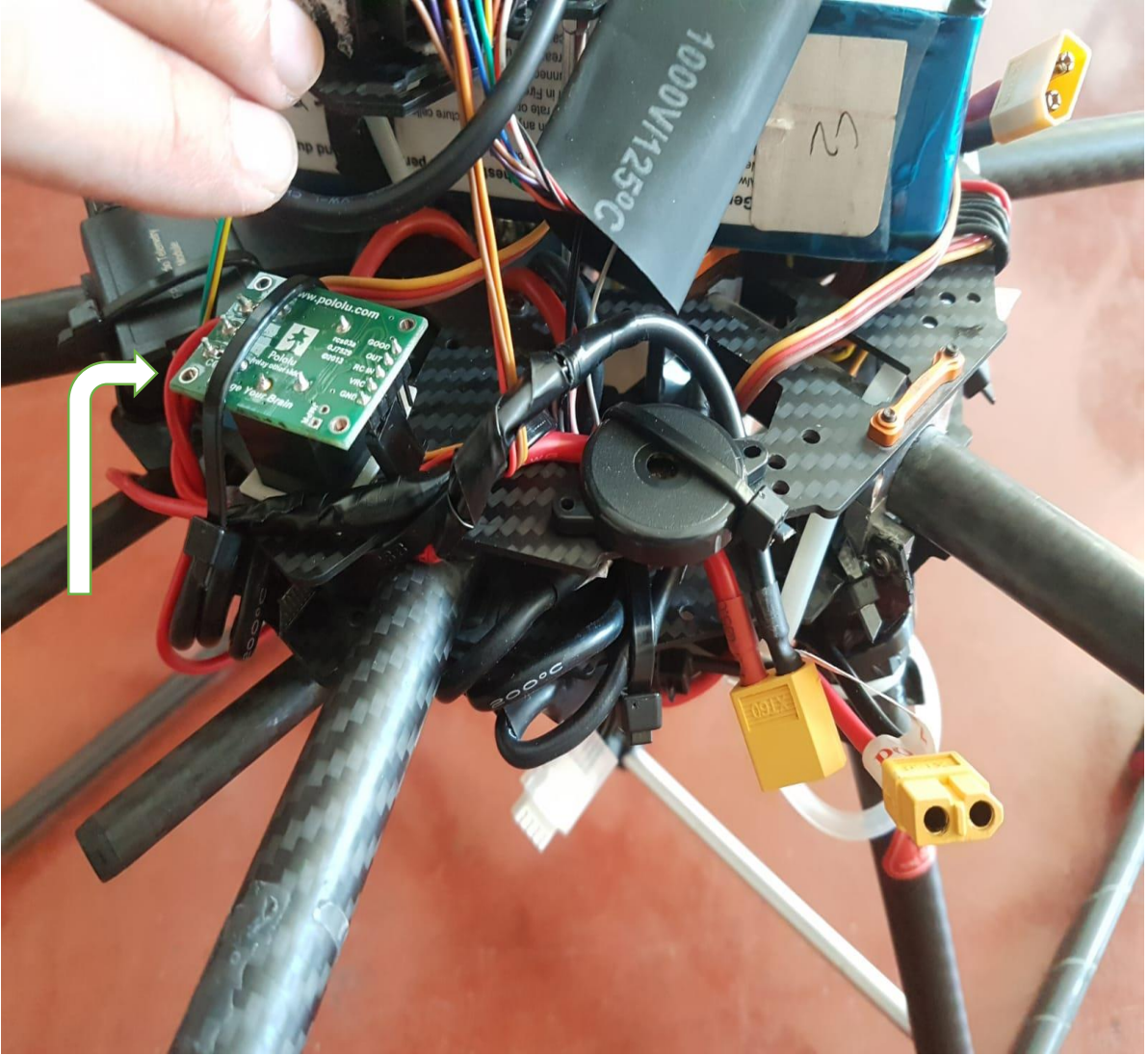
### 3.2.1.8. İlaçlama Sisteminde Kullanılan Röle Modeli

#### Pololu RC Röle

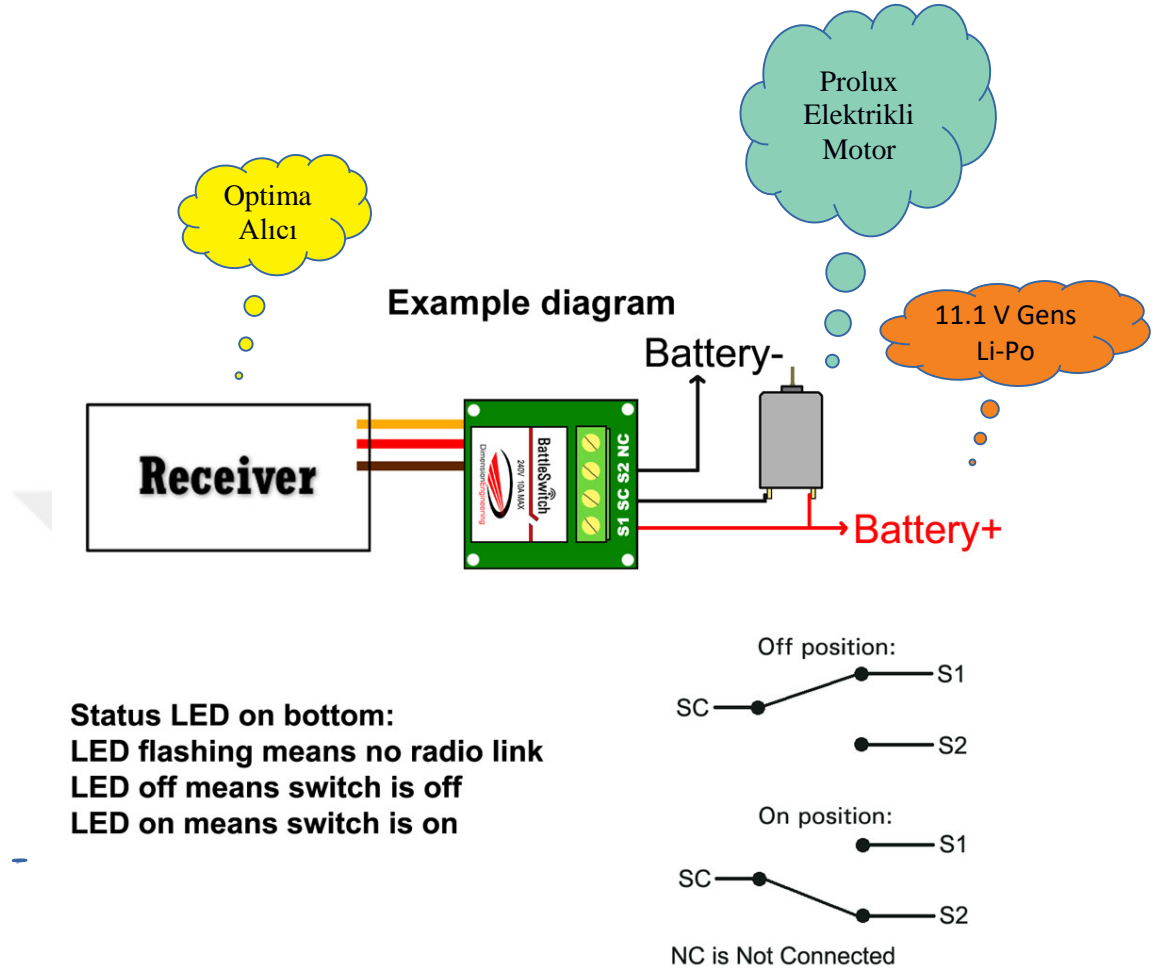
Bu tez çalışmasında radyo kontrol tabanlı bir röle kullanılmasının en büyük sebebi kumanda üzerinden verilen komutların oluşturduğu PWM sinyali doğrultusunda çalışma eğilimi göstermesidir. Radyo kontrol tabanlı PWM sinyali ile tetiklenmekte olan bu röle Hitec Optima alıcısından almış olduğu sinyalle klasik röle mantığında aç/kapa işlemi yaparak çalışma işlemini gerçekleştirmektedir. Çalışma aralıkları ve yönü değiştirilebilir koruyuculu başlatma özelliği doğrultusunda beklenmedik durumların yol açmamasını sağlamaktadır. Pololu RC rölenin diğer rölelerden en büyük farkı ise sinyal üzerinden tetikleme olarak sistemi çalıştırmasıdır. Bu sistem içerisinde 5V röle, terminal bloğu ve aynı zamanda erkek pimler lehimli bir vaziyette yer almaktadır. Temel olarak içindeki güç rölesi Omron G5LE-14-DC5 modeli olup çoğunlukla 10 A akım değerinde çalışma gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 3.10. Pololu RC Röle Modeli



3.11. Sistem İçerisinde Yer Alan Pololu RC Röle Modeli ve Hexatar'a Bağlantı Biçimi



Şekil 3.12. RC Röle Tabanlı Sistem Çalışma Diyagramı

#### 4.RADYO KONTROL (KUMANDA) SİSTEMİ

Radyo kontrolü (RC), bir cihazı uzaktan kontrol yoluyla kontrol etmek için radyo sinyallerinin kullanılması olarak adlandırılmaktadır. Telsiz kontrolü, el tipi bir telsiz vericisinden model araçların kontrolü için kullanılır. Bununla beraber endüstriyel, askeri ve bilimsel araştırma kuruluşları da radyo kontrollü araçlardan yararlanmaktadır.

1894 yılında, uzaktan uzaktan kablosuz kontrolün ilk örneği, bir elektromanyetik dalga suni olarak üretildiğinde bir ayna galvanometreyi bir ışık huzmesini hareket ettirmek için bir Édouard Branly'nin bağlayıcısını kullandığı İngiliz fizikçi Oliver Lodge'un gösterimi döneminde gerçekleşmiştir. Bu, Guglielmo Marconi ve William Preece tarafından 12 Aralık 1896'da Londra'daki Toynbee Hall'da gerçekleştirilen ve herhangi bir kabloyla bağlantısı olmayan bir kutuda bir düğmeye basarak bir zil yaptıkları bir gösteride yapılmıştır. II. Dünya

savaşında ilk kez radyo kontrolü kullanımı Almanlar tarafından bir dizi füze projesinde kullanılmıştır. Modellerde radyo kontrol sistemleri ilk olarak 1950 yıllarında başlamıştır.

Transistörlerin ortaya çıkışı akü gereksinimlerini büyük ölçüde azaltmıştır. Elektronik teknolojisinin hızla ilerlediği dönemlerde tek sinyalli kanal devresi tasarımı gereksiz hale gelmiştir ve bunun yerine telsizler, darbe genişliği modülasyonunu (PWM) kullanarak, bir servo mekanizmasının yorumlayabileceği orantılı olarak kodlanmış sinyal akışlarını sağlamıştır.

Son dönemlerde ise, Pulse-kod modülasyonu (PCM) özelliklerini kullanan üst düzey hobi sistemleri, daha önceki PWM kodlama türü yerine alıcı cihaza bilgisayarlı bir dijital bit akışı sinyali sağlayan piyasaya çıkmıştır. Bununla birlikte, bu kodlamada bile, uçuş sırasında aktarım kaybı, kısmen daha kablosuz olan toplum nedeniyle, daha yaygın hale geldi. Hâlâ "PWM" kodlamasını kullanan bazı daha modern FM sinyal alıcıları, daha gelişmiş bilgisayar yongalarının kullanılması sayesinde, belirli bir PWM tipi radyo kontrol vericinin emisyonlarının bireysel sinyal özelliklerini kilitlemek ve kullanmak için yapılabilmektedir.

21. yüzyılın başlarında, 2.4 Ghz frekans bandında spektrumlu RC kontrol sistemleri, model araçların ve hava taşıtlarının kontrolünde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Şimdi, bu 2,4 GHz frekans bandındaki sistemler çoğu radyo üreticisi tarafından yapılmaktadır.

#### **4.1.Radyo Kontrol Sisteminin Kullanım Alanları**

##### **4.1.1. Askeri – Savunma Sanayi Alanlarında Kullanımı**

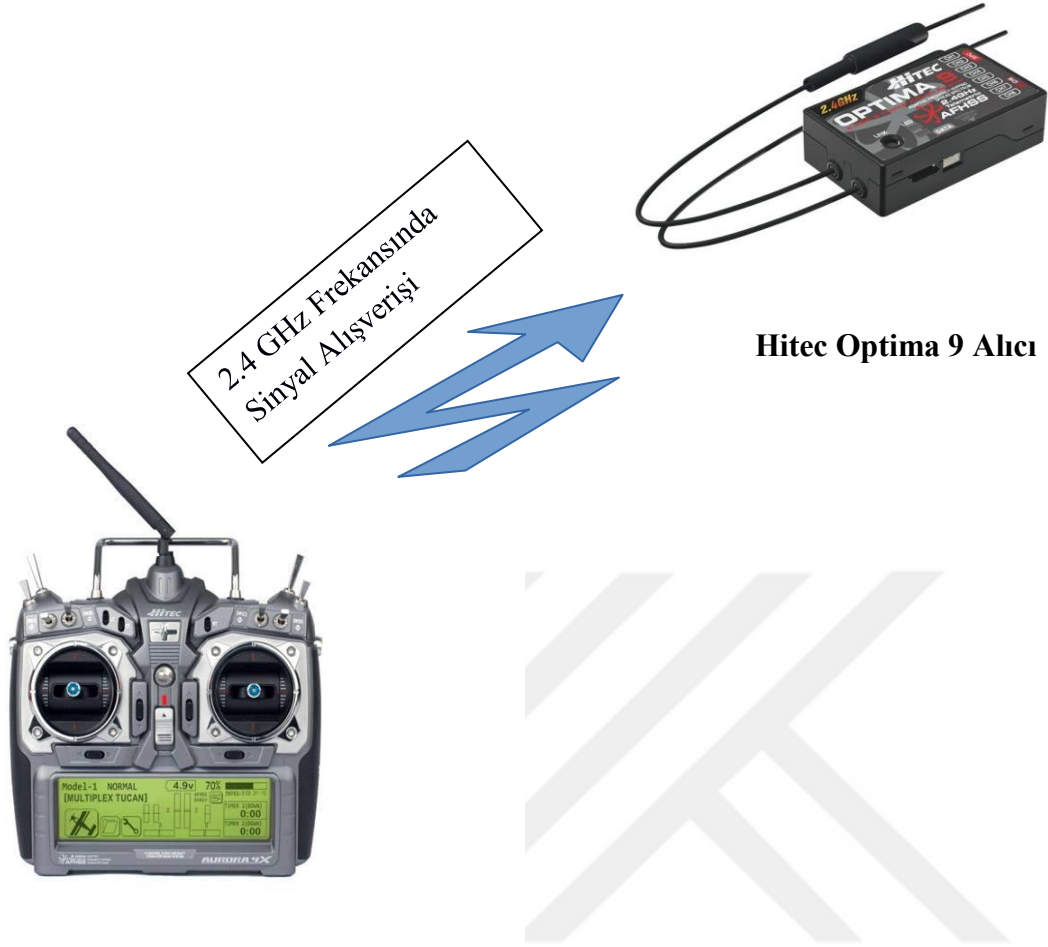
Uzaktan kumanda askeri uygulamaları tipik olarak doğrudan anlamda radyo kontrolü olmamakla birlikte doğrudan uçuş kontrol yüzeylerini ve tahrik gücü ayarlarını çalıştırmaktadır. Bunun yerine tamamen özerk, bilgisayarlı bir otomatik pilota gönderilen talimatlar biçimini almıştır. Uçak doğru yöne uçana kadar uygulanan "sola dönüş" sinyali yerine, sistem "bu noktaya uç" diyen tek bir talimat gönderme üzerine kurulmuştur. Günümüzde ise teknolojinin çok daha gelişmesiyle birlikte İnsansız Hava Araçları alanında çok ciddi çalışmalar oluşturulmuştur. İnsansız Hava Araçları askeri alanda hali hazırda birçok ülke tarafından kullanılmaktadır. Keşif – gözlem ve bombardıman özelliklerine sahip birçok İHA aktif olarak görev yapmaktadır. Bu araçlar gelişmiş elektronik ekipmanlar ile desteklendiğinde çok uzun menzillerde çalışmaya şartları sunabilen modeller ortaya çıkabilmektedir.

#### **4.1.2. Endüstriyel Alanlarda Kullanımı**

Günümüzde radyo kontrolü, endüstriyel vinçler ve şalt lokomotifleri gibi cihazlar için kullanılmaktadır. Telsizle kontrol edilen teleo operatörler, teftiş ve bombaların etkisiz hale getirilmesi için özel araçlar gibi amaçlar için kullanılır. Bazı uzaktan kumandalı cihazlara genel anlamda robot denilmektedir. Endüstriyel bir radyo uzaktan kumandası bir kişi tarafından veya bir makineden makineye (M2M) modunda bir bilgisayar kontrol sistemi tarafından çalıştırılabilir. Örneğin, otomatik bir depo, belirli bir öğeyi almak için bilgisayar tarafından işletilen bir radyo kontrollü vinç kullanabilir. Endüstriyel uzaktan kumandalar çoğu tüketici ürününde farklı çalışır. Alıcı, vericinin gönderdiği radyo sinyalini aldığı anda, doğru frekansta olduğunu ve güvenlik kodlarının eşleştiğini kontrol eder. Doğrulama tamamlandığında, alıcı aktif olan bir röleye bir talimat gönderir. Röle, uygulamada vericiler düğmesine karşılık gelen bir işlevi etkinleştirir. Bu, elektrikli bir yönelimli motoru bir üst vinçe bağlamak olabilir. Bir alıcıda genellikle birkaç röle vardır ve bir gezer vinç kadar karmaşık bir şeyde, tüm yönleri kontrol etmek için belki de en fazla 12 veya daha fazla röle gerekir. Bir kapı açan bir alıcıda, iki röle genellikle yeterlidir.

#### **4.2. Hexatar Radyo Kontrol Mekanizması**

Tüm bu radyo kontrol tabanlı haberleşmeler ışığında Hexatar sistemi içerisinde 2.4 GHz frekans bandında haberleşme sistemi kullanılmasına karar verilmiştir. Radyo kontrol sistemi içerisinde 1 adet Hitec Auroro 9X Kumanda 1 adet Hitec Optima Alıcı yer almaktadır. Bu sistem kumanda üzerinden aktarılan komutları PWM sinyali doğrultusunda alıcıya aktarmakta ve alıcı ile bütünleşik çalışmakta olan pixhawk üzerinden motorlara sinyal aktararak sistemin çalışması gerçekleşmektedir. Böylelikle Hexatar içerisinde yer alan radyo kontrol sistemiyle tüm elektronik mekanizmalar bütünleşik olarak çalışma sağlamaktadır.



**Hitec Aurora 9X Kumanda**

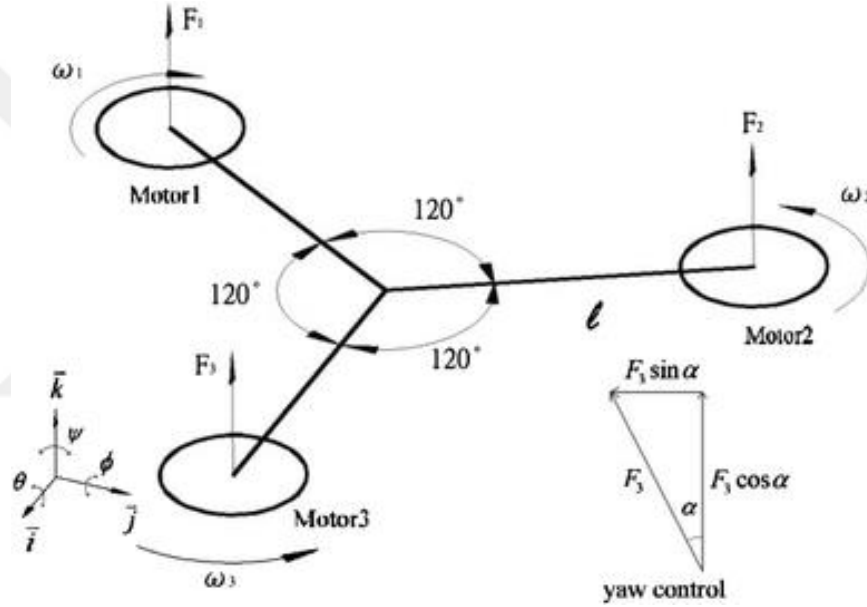
Şekil 4.1. 2.4 GHz Frekansında Haberleşme Araçları

## 5. HEXATAR SİSTEMİNİN MEKANİK VE AERODİNAMİK ALT YAPISI

Multirotor alt yapısına sahip insansız hava aracı modelleri birden fazla rotora sahip sistemler olarak adlandırılmaktadır. Uygulanmak istenen alana göre değişiklik gösteren bu rotor sayısı kullanıcıya sistem ile ilgili farklı avantajlar veya dezavantajlar kazandırmaktadır. Günümüzde multirotor alt yapısına sahip insansız hava araçları daha çok üç rotorlu (tricopter), dört rotorlu (quadcopter), altı rotorlu (hexacopter), sekiz rotorlu (octocopter) olarak nitelendirilmiş ve bu rotor sayıları doğrultusunda çeşitli mekanik şase (frame) oluşturulmuştur.

### 5.1. Tricopter

Üç rotorlu bir yapıya sahip olan bu insansız hava aracı modeli düşük maliyet ile üretilebileceğinden dolayı kullanıcıların ilk etapta incelediği modeller arasında yer almaktadır. Bununla birlikte aerodinamik yapısı konusunda istenilen verim alınamayan bir model olan tricopter rotor sayılarının eşit dönüş yönüne sahip olmamasından dolayı iyi bir manevra kabiliyetine sahip değildir. Tricopter sistemi içerisinde yer alan rotor sayısı da üç olduğundan dolayı ağırlık taşıma potansiyeli düşük ve dolayısıyla uygulanabilirlik özelliği de çok azdır.



Şekil 5.1. Tricopter Matematiksel Modeli



## 5.2. Quadcopter

Quadcopter”, dört rotor tarafından kontrol edilen bir drone için kullanılan daha spesifik bir terimdir. Aynı zamanda bir quadrotor veya quadrotor helikopteri denir. Quadcopter üzerindeki rotorların her biri bir motor ve bir pervaneden oluşur. Ek olarak, bu İHA'lar önceden programlanmış yerleşik bir bilgisayar tarafından kontrol edilmek yerine her zaman uzaktan kontrol edilmektedir. Bu sistem içerisinde yer alan rotora bağlı dört adet pervanenin ikisi saat yönünde (CW) dönüş sağlarken diğer iki pervane saat yönünün tersinde (CCW) dönüş sağlamaktadır. Böylelikle bir kare/dikdörtgen şablonu oluşturan quadcopter günümüzde hem maliyeti hem de işlevsel özellikleri sebebiyle en yaygın kullanılan insansız hava aracı modelleridir. Quadcopterler sahip olduğu dört rotor kullanıcının istediği yeterli gücü sağlamakla birlikte frame yapısı doğrultusunda stabil uçuş imkanı da sunmaktadır.



Şekil 5.2. Örnek Quadcopter Modeli

Bir quadcopter modelinin kontrol diyagramı aşağıda belirtilmiştir.

$$F_* = k_1 \delta_*$$

$$\tau_* = k_2 \delta_*$$

where  $k_1$  and  $k_2$  are constants that need to be determined experimentally,  $\delta_*$  is the motor command signal, and  $*$  represents  $f$ ,  $r$ ,  $b$ , and  $l$ .

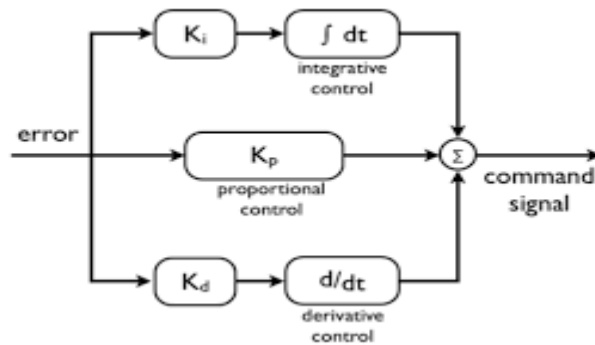
Therefore, the forces and torques on the quadrotor can be written in matrix form as

$$\begin{pmatrix} F \\ \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_1 & k_1 & k_1 & k_1 \\ 0 & -\ell k_1 & 0 & \ell k_1 \\ \ell k_1 & 0 & \ell k_1 & 0 \\ -k_2 & k_2 & -k_2 & k_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_f \\ \delta_r \\ \delta_b \\ \delta_l \end{pmatrix} \triangleq \mathcal{M} \begin{pmatrix} \delta_f \\ \delta_r \\ \delta_b \\ \delta_l \end{pmatrix}.$$

The control strategies derived in subsequent sections will specify forces and torques. The actual motors commands can be found as

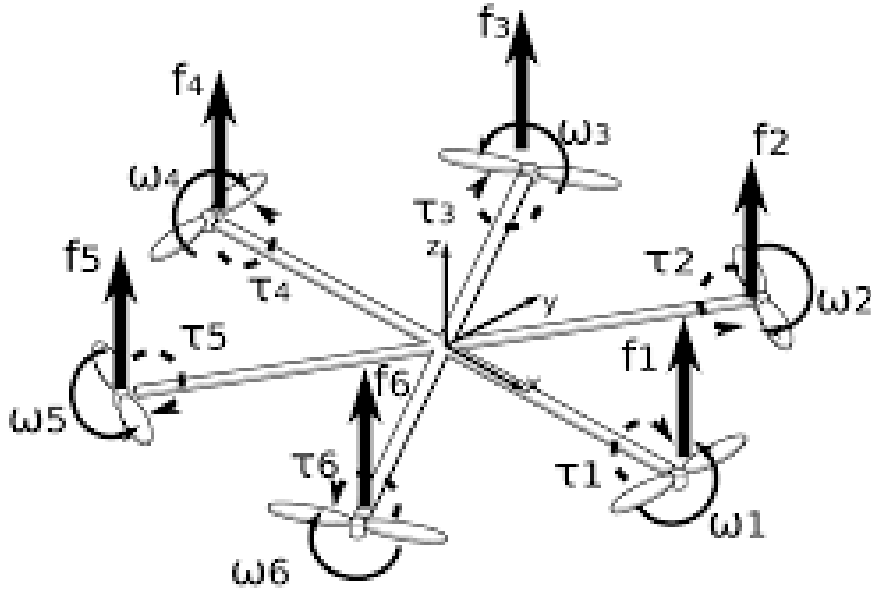
$$\begin{pmatrix} \delta_f \\ \delta_r \\ \delta_b \\ \delta_l \end{pmatrix} = \mathcal{M}^{-1} \begin{pmatrix} F \\ \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{pmatrix}.$$

Quadrotorlar belli bir karakteristik yapıya bağlı olarak uçuş gerçekleştirmektedir. Bu karakteristik kinematik kontrol doğrultusunda formülize edilir.



### 5.3. Hexacopter

Altı rotorlu bir yapıya sahip olan bu multicopter modeli altıgen veya daire formatında bir frame üzerinde şekillendirilmektedir. Hexacopterler quadcoptere oranla çok daha yüksek irtifaya çıkabilme potansiyeline sahip olup, stabil uçuş gerçekleştirme konusunda multicopter modelleri arasında en iyisi olarak görülmektedir. Genellikle yüksek uçuş sürelerine ulaşması beklenen hexacopter modelleri film sektöründe kullanılan insansız hava aracı modellerinin başında gelmektedir. Yapısı gereği iki adet iniş ayak mekanizması bulunduran hexacopterler ağırlık/güç oranını da en iyi şekilde optimize etmektedir. Yapısında ki altı rotor sebebiyle yüksek ağırlıkları kaldırmaya olanak sunan hexacopterler film sektörü dışında da birçok alanda aktif olarak kullanılan insansız hava aracı modeli olarak yer almaktadır. Hexacopter bünyesinde barındırdığı altı rotordan üç tanesi saat yönünde (CW) dönüş yaparken diğer üç rotor (CCW) saat yönünün tersinde dönüş gerçekleştirmektedir. Böylelikle hexacopter dengeli ve stabil bir şekilde uçuş gerçekleştirmektedir.



Şekil 5.3. Hexacopter Matematiksel İfadesi

Hexacopter alt yapıya sahip insansız hava aracı sistem girişinin modellenmesi aşağıda belirtilmiştir.

$$m \ddot{\xi} = \mathbf{F}_g + \mathbf{Q} \mathbf{T}_B.$$

$$\mathbf{M} = d(\mathbf{I} \nu) / dt + \nu \times (\mathbf{I} \nu).$$

$$\tau_{M_i} = b \omega_i^2 + I_{M_i} \dot{\omega}_i$$

$$\begin{bmatrix} \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3}{4} kl (\omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_5^2 - \omega_6^2) \\ kl \left( -\omega_1^2 - \frac{\omega_2^2}{4} + \frac{\omega_3^2}{4} + \omega_4^2 + \frac{\omega_5^2}{4} - \frac{\omega_6^2}{4} \right) \\ b (-\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2 - \omega_5^2 + \omega_6^2) + \\ + I_M (\dot{\omega}_1 + \dot{\omega}_2 + \dot{\omega}_3 + \dot{\omega}_4 + \dot{\omega}_5 + \dot{\omega}_6) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{I} \dot{\nu} + \nu \times (\mathbf{I} \nu) + \mathbf{\Gamma} = \tau_B,$$

$$\dot{\nu} = \mathbf{I}^{-1} \left( \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_{xx} p \\ I_{yy} q \\ I_{zz} r \end{bmatrix} - \mathbf{I}_r \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \omega_\Gamma + \tau \right),$$

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (I_{yy} - I_{zz}) q r / I_{xx} \\ (I_{zz} - I_{xx}) p r / I_{yy} \\ (I_{xx} - I_{yy}) p q / I_{zz} \end{bmatrix} - I_r \begin{bmatrix} q / I_{xx} \\ -p / I_{yy} \\ 0 \end{bmatrix} \omega_\Gamma + \begin{bmatrix} \tau_\phi / I_{xx} \\ \tau_\theta / I_{yy} \\ \tau_\psi / I_{zz} \end{bmatrix}$$

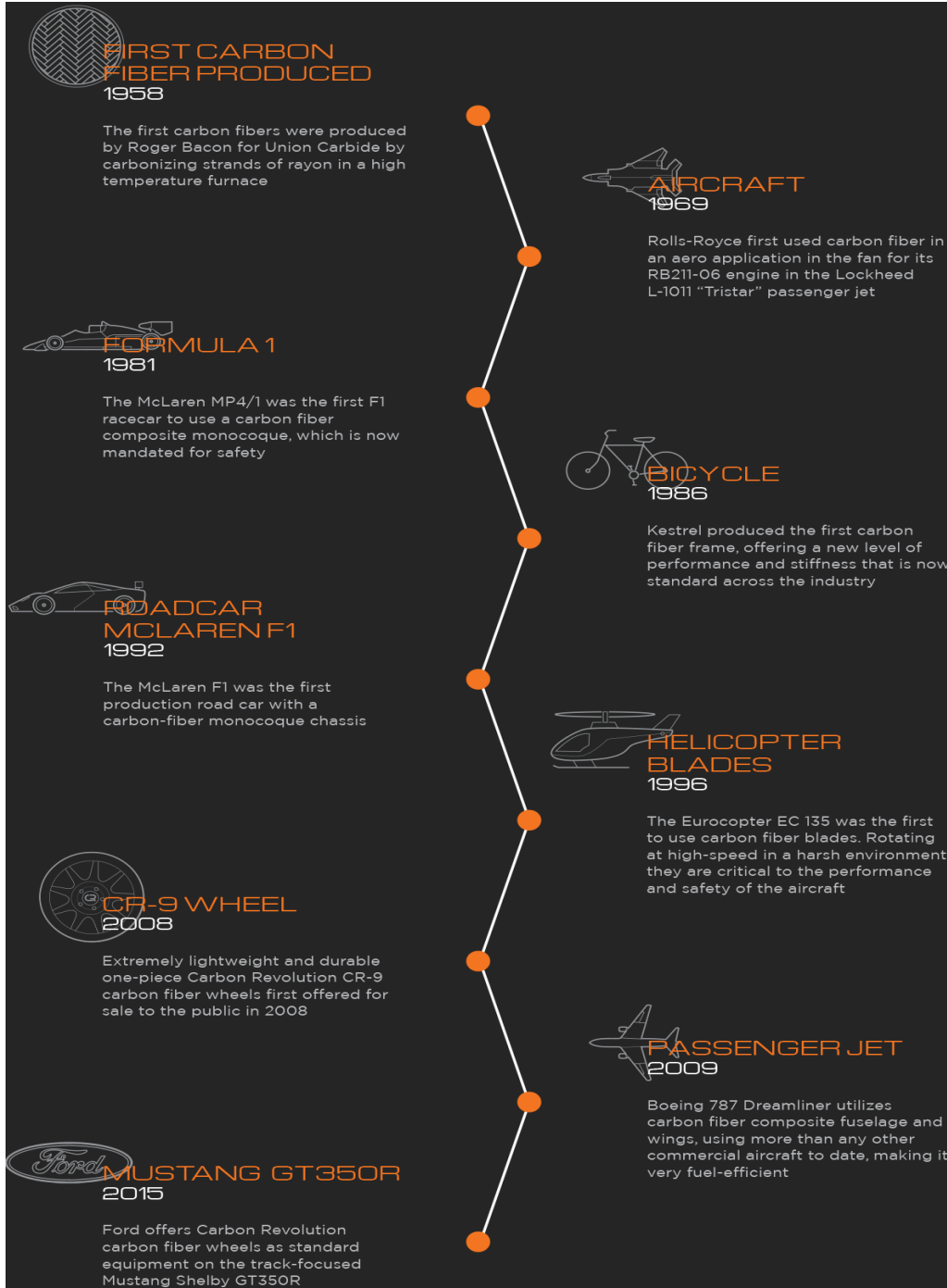
Tüm bu multirotor alt yapısı altında oluşturulan modeller incelendiğinden yüksek ağırlık taşıyabilme özelliği ile kontrollü uçuş özellikleri sebebiyle altı rotorlu çalışma disiplinine sahip hexacopter modelinin kullanılmasına karar kılınmıştır.

## **6. HEXATAR SİSTEMİ İÇİN KULLANILAN/OLUŞTURULAN MEKANİK EKİPMANLAR**

İnsansız Hava Aracı modellerinde en önemli temel özellik hafif bir gövde veya şaseye sahip olunmasıdır. Yüksek süreli uçuş gerçekleştirebilmek için gövdenin hafif olması çok önemlidir. İnsansız Hava Araçları arasında yer alan uçaklarda genellikle balsa, köpük vb. gibi özgül ağırlığı çok daha düşük olan malzemeler kullanılmaktadır. Multicopter alt yapısına sahip cihazlarda ise maliyetin karşılanabilirliğine göre karbon fiber ve fiberglas ağırlıklı olarak tercih edilen malzeme türlerindedir. Günümüzde multicopter teknolojisi çok hızlı ilerlediğinden dolayı 3 Boyutlu Yazıcılar veya daha büyük maliyetlerle oluşturulan plastik enjeksiyon yöntemiyle plastik malzeme yapısına sahip insansız hava aracı modelleri de oluşturulmaktadır. Multicopter alt yapıya sahip insansız hava aracı modellerinde kullanılan malzemelerin özellikleri ve farklılıkları aşağıda belirtilmiştir.

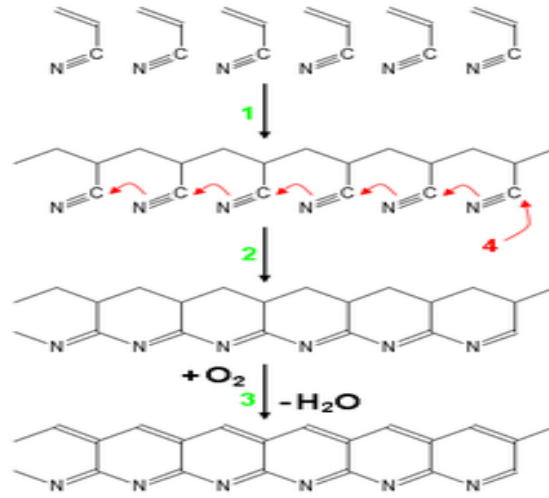
### **6.1. Karbon Fiber (Kompozit Halinde)**

Karbon fiberler (alternatif olarak CF, grafit fiber veya grafit fiber) çapı yaklaşık 5-10 mikrometredir ve çoğunlukla karbon atomlarından oluşur. Karbon lifleri, yüksek sertlik, yüksek çekme dayanımı, düşük ağırlık, yüksek kimyasal direnç, yüksek sıcaklık toleransı ve düşük termal genleşme dahil olmak üzere birçok avantaja sahiptir. Bu özellikler karbon elyafını diğer uzay sporları ile birlikte havacılık, inşaat mühendisliği, askeri ve motor sporlarında çok popüler hale getirmiştir. Bununla birlikte, cam elyafları veya plastik elyafları gibi benzer elyaflarla karşılaştırıldığında nispeten pahalıdır.



Şekil 6.1. Karbon Fiberin Tarihe Göre Kullanım Alanları

Karbon fiberin atomik yapısı, normal altıgen bir düzende (grafen levhalar) düzenlenmiş karbon atomu tabakalarından oluşan grafitinkine benzer, fark bu tabakaların birbirine geçme biçimindedir. Grafit, tabakaların birbirine paralel şekilde istiflendiği kristalimsi bir malzemedir. Levhalar arasındaki moleküller arası kuvvetler, grafitte yumuşak ve kırılgenlik özellikleri kazandıran nispeten zayıf Van der Waals kuvvetleridir.



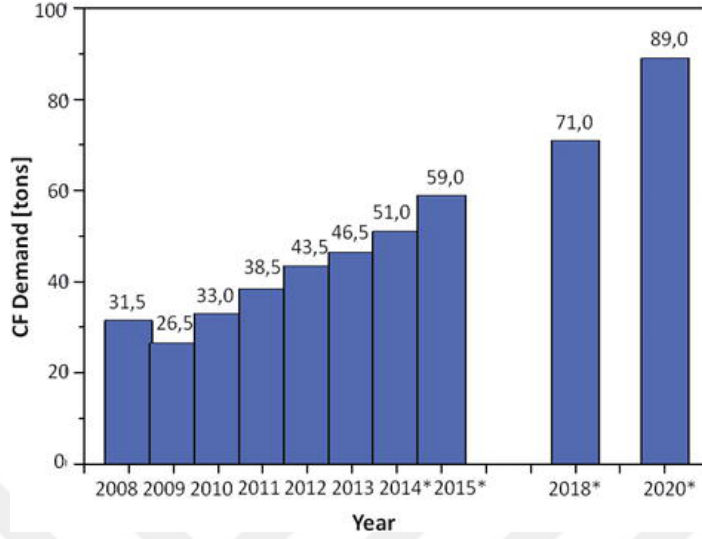
Şekil 6.2. Karbon Fiberin Kimyasal Yapısı

Karbon fiber için en yüksek talep uçak ve havacılıktan rüzgar enerjisinden ve aynı zamanda optimize edilmiş reçine sistemli otomotiv endüstrisinden gelmektedir. Karbon fiber kompozitlerin artan kullanımı, galvanik korozyon sorunları nedeniyle alüminyum havacılık uygulamalarından diğer metallerin lehine değiştirmektedir.

ABD tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda uçağın içinde kullanılan kompozitlerin en büyük vaatlerinden biri, geniş alanlı Wifi İnternet erişimi sağlayan kalıcı, uzun süreli sistemler için bir olanaktır. İdeal olarak, bu tür insansız hava araçları güneş enerjisine sahip olacak ve aynı anda haftalarca kesintisiz İnternet erişimine sahip birçok kilometrekarelik kara alanlarına hizmet edebilecektir.

Karbon elyafı en çok bileşik malzemeleri, özellikle de karbon elyafı veya grafitle güçlendirilmiş polimerler olarak bilinen malzeme sınıfını güçlendirmek için kullanılmaktadır. Polimer olmayan malzemeler de karbon elyafı için matris olarak kullanılabilir. Metal karbürlerin oluşumu ve korozyon hususları nedeniyle, karbon metal matriks kompozit uygulamalarında sınırlı başarı görmüştür. Takviyeli karbon-karbon (RCC) karbon fiber takviyeli grafitten oluşmakta ve yapısal olarak yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadır Elyaf ayrıca, yüksek sıcaklıktaki gazların filtrasyonunda, yüksek yüzey alanına ve kusursuz korozyon direncine sahip bir elektrot olarak ve antistatik bir bileşen olarak kullanım alanı bulur. İnce bir karbon elyaf katmanının kalıplanması, polimerlerin

veya termoset kompozitlerin yangın dayanımını önemli ölçüde arttırmakta, çünkü yoğun ve kompakt bir karbon elyaf katmanı ısıyı verimli bir şekilde yansıtmaktadır.



Şekil 6.3. Karbon Fiberin Yıllara Göre Kullanım Oran Grafiği

Karbon fiber çok güçlü bir malzeme yapısı olmakla birlikte aynı zamanda çok hafif bir yapıya sahiptir. Böylelikle uçaklar, multikopterler, otomobiller ve rüzgar türbinleri gibi birçok uygulamada daha fazla enerji verimliliği sağlamaktadır. Karbon fiber'in mukavemet oranı çelikten 50 kat daha yüksektir ve bu da onu altyapıdan tıbbi cihazlara kadar her şeyi güçlendirmek için mükemmel bir seçenek haline getirmektedir. Karbon fiberin diğer malzeme türlerine oranla bu kadar iyi kullanım değerleri vermesi dolayısıyla endüstri uzmanları karbon elyaf üretiminin maliyetini azaltmanın yolları üzerinde çalışmaktadır.

### 6.1.2. Karbon Fiber Malzemenin Ağırlıkla Kullanıldığı Alanlar;

-Uzay

-Savunma

-Otomotiv

-İnşaat



- Deniz
- Rüzgar Enerjisi
- Altyapı Onarımı
- Spor Malzemeleri
- Tıbbi Malzeme
- Enerji Depolama

## 6.2. Boyutlu Yazıcı Üretimi Multicopterler

Günümüz teknolojisinin gelişmesiyle birlikte 3B yazıcı kullanımı ileri seviyeye ulaşmıştır. Ham plastik malzemeyi belirli bir sıcaklıkta eriterek kişinin hayal gücüne göre çizmiş olduğu .STL formatındaki model veya ürünleri üretmek 3B yazıcılar kullanılmaktadır. Bu doğrultuda da çeşitli alanlarda kullanılan 3B yazıcılar multicopter üretimi alanında da kullanılmaya başlanmıştır. Genellikle başlangıç düzeyinde kendi tasarımına sahip multicopter üretimi için 3B yazıcılar kullanılmaktadır. PLA, ABS gibi plastik malzemelerden oluşturulan multicopter frameleri genel anlamda hafif bir yapıya sahip olduklarından dolayı kullanım açısından sorun yaşatmamaktadır. Bunun dışında plastik malzemeler genellikle mukavemet konusunda çok verimli olmadığından dolayı hatalı uçuş sırasında 3B yazıcı yoluyla imal edilmiş multikopterler çok çabuk kırım sorunu yaşamaktadır.



Şekil 6.4. 3D Yazıcıdan Üretilen Bir Drone Modeli

### 6.3. Plastik Enjeksiyon Yolu İle Plastik Ham Maddeli Multicopter Üretimi

Fabrikasyon multikopter olarak adlandırılabilen olan bu üretim yöntemi yüksek maliyetli yapıya sahiptir. Bununla birlikte yine plastik ham madde üzerinde gerçekleştirilen üretimleri seri bir şekilde gerçekleştirmek için plastik enjeksiyon yöntemi kullanılmaktadır. Tasarım ve görsel açıdan kusursuz çizgiler sunan bu üretim insanların daha çok uyguladığı değil üretim gerçekleştiren firmalardan ücret karşılığında ürünü satın alarak ön plana çıkmaktadır.



Şekil 6.5. Plastik Enjeksiyon Yolu İle Üretilmekte Olan Tali H-500 Hexacopter Modeli

Tüm bu malzeme çeşitleri ışığında hafif bir yapıya ve bununla birlikte yüksek mukavemet özelliğine sahip olmasından dolayı karbon fiber malzemedan üretilmiş frame yapısına sahip bir model olan Tarot 690S model hexacopter frame modeli kullanılmasına karar verilmiştir.

Karbon fiber yapıda olması ve frame üzerinde yer alan boşlukların uçuş ve sulama sistemi ile bütünleşik çalışabilecek bir yapıya sahip olmasından dolayı tercih edilmiştir.

#### 6.4. Tarot 690S Frame (Ana Gövde)

Karbon Fiber malzemeden üretilmiş 230 x 230 (W) (L) mm ölçülerinde 2 mm et kalınlığına sahip ana gövde 300 mm uzunluğundaki karbon fiber kollar monte edilmiş ve bunlarla birlikte iniş gerçekleştirebilmek için 2 adet karbon fiber malzemeden üretilen boru ile iniş mekanizması kurulmuştur. Demonte halde temin edilen bu frame Tarla İlaçlayan Drone sisteminin başlangıç seviyesi için yeterli olup, üzerinde gerekli değişikliklerle kullanım amacına uygun bir hale getirilmiştir.



Şekil 6.6. Hexatar Modeli İçin Oluşturulan Tarot 690 S Frame Modeli

#### 6.4.1. Tarot 690S Üzerine Eklenen Ekipmanlar

10mm çapında ve 340 mm uzunluğunda 5000 serisi Alüminyum boru oluşturulmuş olup bu alüminyum boru Hexatar sistemi içerisinde yer alan Tarot 690S ana gövdesinin iniş mekanizmasındaki 10mm çapında iki adet karbon fiber boruya vidalama işlemi ile sabitlenmiştir. Böylelikle Hexatar 5.5 kg'lık kalkış ağırlığıyla ani iniş yapma gereksinimi duyduğunda iniş mekanizmasına herhangi bir zarar vermeyecek sabit mesnet haline getirilmiştir.



Şekil 6.7. Hexatar İçin Oluşturulan İniş Destek Mekanizması

Tarot 690S frame modeli tüm elektronik ve ek mekanik ekipmanları tutucu görevde yer almaktadır. Tüm mekanizmalar bu ana gövde üzerinde sabit olarak yer almaktadır. Sistem içerisinde yer alan iniş mekanizması tamamiyle Tarot 690S frame ile bir bütün olarak yer almaktadır.

## 6.5. Pervane

Multicopter alt yapısına sahip insansız hava aracı modellerinde pervaneler çok büyük önem teşkil etmektedir. Pervanelerin temel mantığı motor ile bütünleşik hareket ederek yer çekimi kuvvetine karşı bir şekilde hava üflemesi olarak ifade edilmektedir. Bu tip çalışmalarda kullanılan pervaneler bir sağ bir sol olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler dönüş yönlerine göre, saat yönü (CW) ve saat yönünün tersi (CCW) şeklinde çift olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla iki rotorlu bir sistem içerisinde iki adet saat yönünde dönen pervane kullanılırken iki adet de saat yönünün tersinde dönen pervane modeli kullanılmaktadır. Pervaneler plastik, ahşap veya karbon fiber olarak üretilebilmektedir. Sistem içerisinde en iyi değerler sunan model ise karbon fiber pervane modelleridir. Yüksek mukavemet sağlaması ve deformasyonunun ahşap ve plastik muadillerine göre çok daha düşük olması sebebiyle profesyonel modellerin tümünde karbon fiber pervaneler kullanılmaktadır. Karbon fiber pervanelerin en büyük dezavantajı ise yüksek üretim maliyetleri sebebiyle satış fiyatlarının bir hayli yüksek olmasıdır.

Tüm bu bilgiler ışığında Hexatar sisteminde altı adet karbon fiber pervane kullanımında karar kılınmıştır. Hexatar içerisinde yer alan MN-4004 motor ile bütünleşik çalışma özelliği oluşturan ve Tarot 690S frame ölçülerine uyumlu bir yapıda olan T-Motor 13 x 4.4 boyutlarındaki karbon fiber pervane modeli kullanılmıştır.

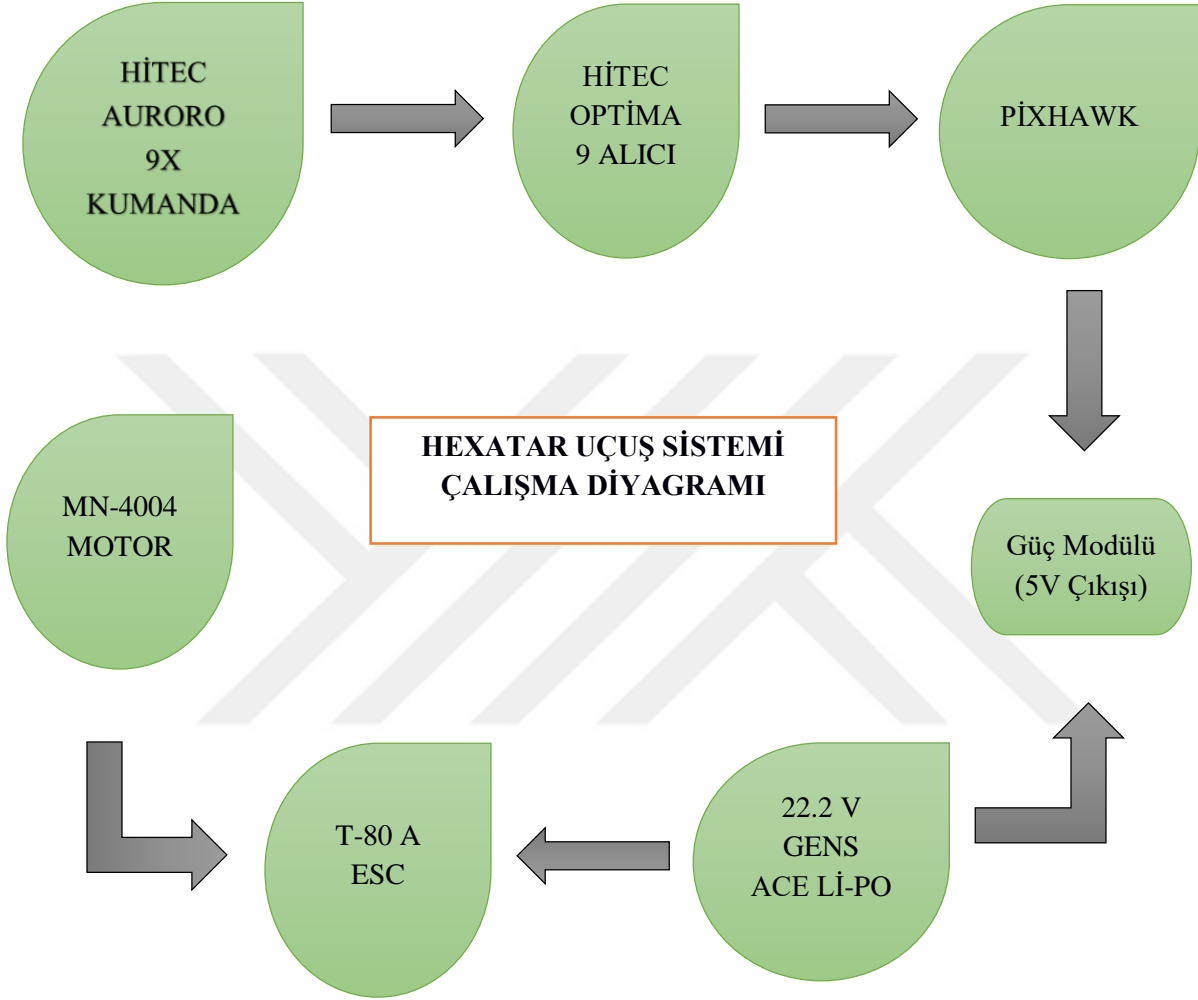
### T-Motor 13X 4.4 Karbon Fiber Pervane

Hexatar sistemi içerisindeki tüm elektronik ekipmanların T-Motor marka/model olması sebebiyle ve istenilen yüksek mukavemet ile düşük deformasyon değerlerini elde edebilmek için T-Motor 13 X 4.4 karbon fiber pervane modeli kullanılmıştır. Yapılan tez çalışmasının ana hedeflerinden birinin uzun uçuş süresi olması sebebiyle tercih edilen bu pervane %100 balanslı olması sebebiyle uzun uçuş süresinin yanında kontrollü bir uçuş yapma olanağı da sunmaktadır.

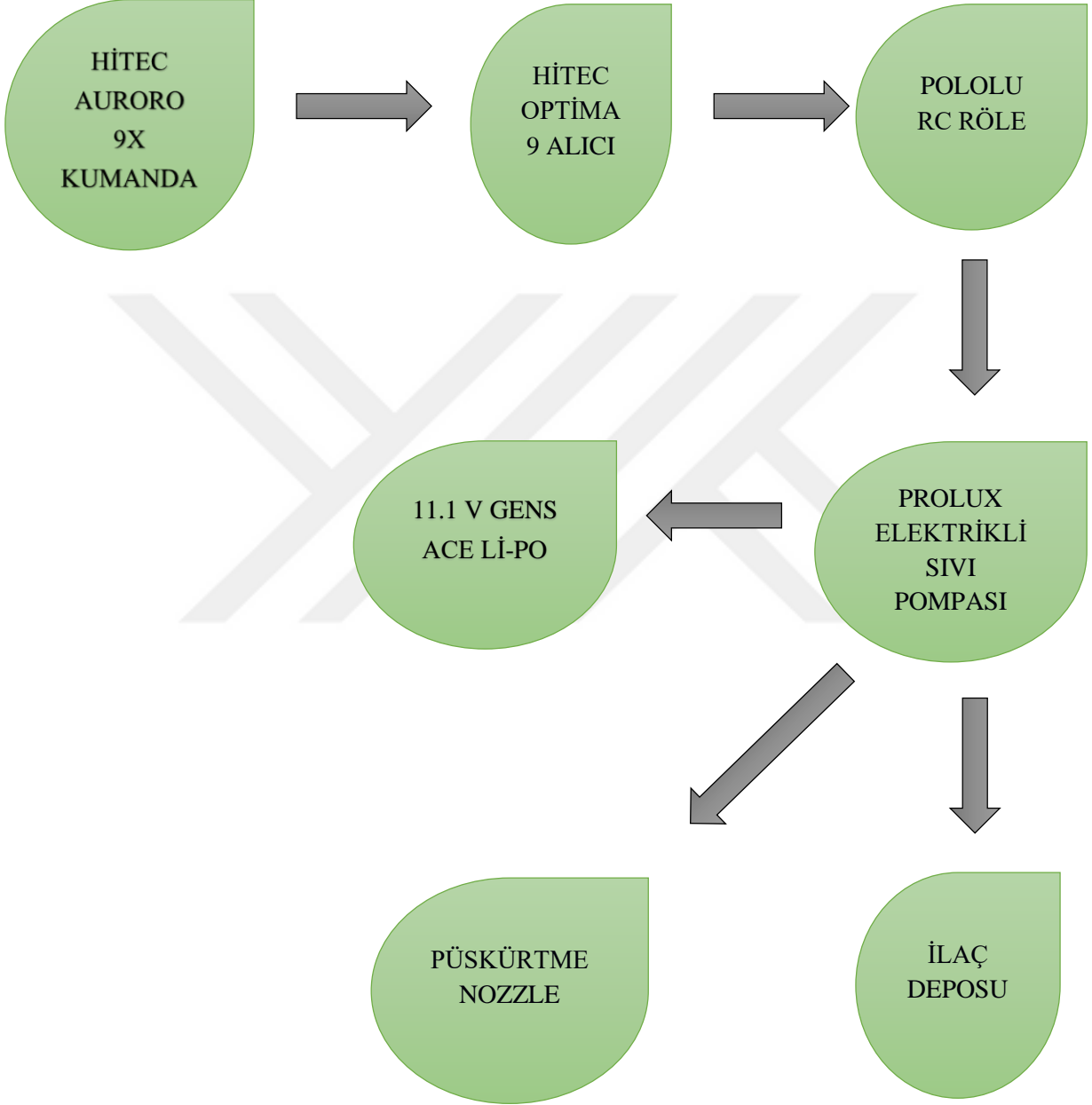


Şekil 6.8. T-Motor 13 x 4.4 Pervane Modeli

## 7. HEXATAR SİSTEMİ ÇALIŞMA DİYAGRAMI VE UÇUŞ TESTİ



HEXATAR SULAMA SİSTEMİ  
ÇALIŞMA DİYAGRAMI



Hexatar yukarıda belirtilen uçuş ve sulama sistemi diyagramları doğrultusunda çalışmakta olup, oluşturulan sistem doğrultusunda açık alanda uçuş ve ilaçlama testi gerçekleştirilmiştir. Sistem Hitec Aurora 9X kumanda üzerinden verilen tüm komutlara uygun hareket etmiştir. 5.5 kg kalkış ağırlığına sahip olan Hexatar testler sonucunda yaklaşık olarak 9 dk havada kalma eğilimi göstermiştir. Uçuş sırasında stabil bir görüntü çizen Hexatar'ın yine sulama sistemi de kumanda üzerinden başarıyla çalıştırılmıştır. Sistem içerisinde yer alan tüm ekipmanlar hatasız olarak çalışmış ve ana hedef olan insansız hava aracı ile elektronik ilaçlama/sulama sistemi eksiksiz olarak meydana getirilmiştir. Bu tez çalışması doğrultusunda ortaya çıkan ürün makul maliyet bilançosu ile profesyonel olarak geliştirilmeye açık bir yapıya sahiptir.







Şekil 7.1. Hexatar Uçuş Testi

## 8.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle tarım alanlarında birçok yeni proje oluşturulmaya başlanmıştır. Bunlardan biri olan Tarla İlaçlayan İnsansız Hava Aracı modelleri kendilerine has belirli özelliklere sahiptir. Ülkemizde bu tip modeller yüksek fiyat etiketine sahip olduğu için kullanılmamakta ve dolayısıyla tarım alanında çeşitli inovasyonlar yapılarak üretimi doğrudan etkileyebilecek, yeni ve yerli teknolojik ürünlerin ortaya çıkarılması gerekmektedir.

Hexatar isimli Hexacopter şeklinde İnsansız Hava Aracı modeli çalışması da bu hedef doğrultusunda ortaya çıkarılmış olup, bir çok alanda geliştirilmeye açık bir yapıya sahiptir. Yüksek maliyet sebebiyle daha yüksek itiş kuvvetine sahip motorların temin edilebileceği bir ortam oluşması taktirde çok daha yüksek ağırlıklarda ki ilaç tank modellerini taşıyabilme potansiyeli ortaya çıkacak ve böylelikle uzun uçuş süresiyle birlikte yüksek verimli bir Tarla İlaçlayan İnsansız Hava Aracı modeli ortaya çıkarılabilecektir. Hexatar şu anki haliyle hedeflenen tüm sistemsel çalışmaları başarıyla gerçekleştirmiş olup yaklaşık 9 dk uçuş süresiyle birlikte 500 ml ilaç taşıyabilme özelliğine sahip bir yapıdadır. Uçuş kontrolcüsü üzerinden optimum değerler ile ayarlanan parametreler vasıtasıyla kontrollü ve stabil bir uçuş sağlayan Hexatar kullanıcı tarafından kumanda vasıtasıyla vermiş olduğu her komutu başarılı bir şekilde yerine getirmektedir.

Sistem içerisinde yer alan tüm elektronik ürünleri koruyucu birden fazla kutu ve kılıf tasarımı yapılmış olup, profesyonel 3D yazıcıya sahip olunmadığı için tarafımda ürüne dökülüp sistem içerisinde kullanılır bir hale getirilememiştir. Dolayısıyla hem göze hoş gelecek bir yapıya sahip olması hem de çeşitli çevresel etkenlerden koruyabilmek amacıyla gerek 3D yazıcı gerekse çeşitli üretim teknikleri vasıtasıyla koruyucu kılıf ve kutu üretimi yapılması gerekmektedir.

Bu tez çalışması doğrultusunda ortaya çıkan bütünleşik sistemin daha yüksek potansiyelli satışa hazır bir hale getirilmesi ve muadillerinden daha fonksiyonel aynı zamanda da daha ucuz bir mali yapıya sahip olması için gerekli çalışmalara başlanmış olup, kısa bir zaman dilimi içerisinde nihai ürün olarak ortaya çıkarılmasını hedeflemekteyim.

## KAYNAKLAR

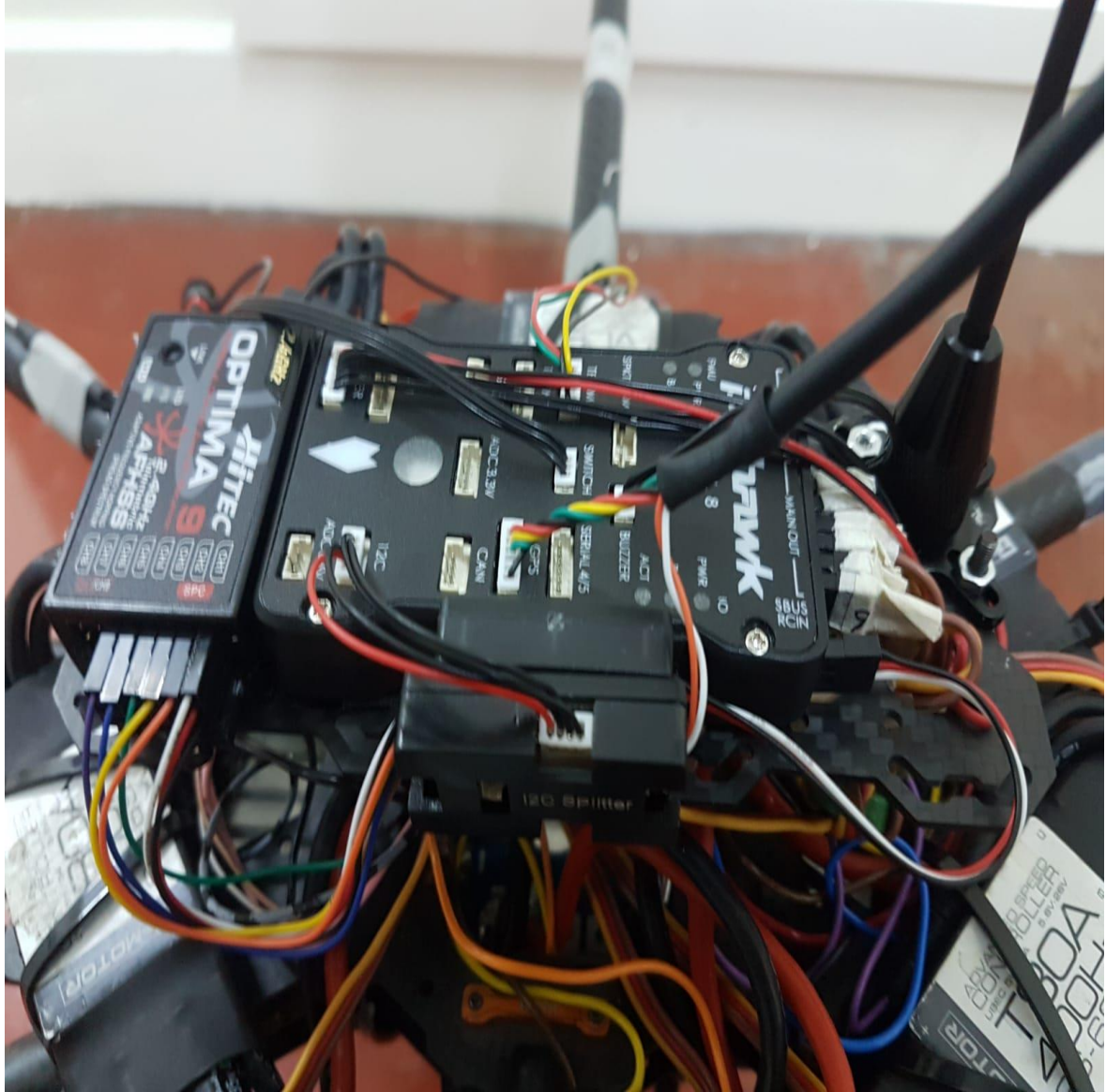
1. Abd. Hafiz Zakaria, Yasir M. Mustafah, Muhd. Mudzakkir M. Hatta, Muhd Nadzif N. Azlan (2015), Development of Load Carrying and Releasing System of Hexacopter, 10th Asian Control Conference (ASCC), 2015, <https://doi.org/10.1109/ASCC.2015.7244701>
2. Merç Y., ve Bayılmış C., Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracı (Quadrotor) Uygulaması (2011), *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey*
3. Radek Baránek, František Šolc, Modelling and Control of a Hexa-copter (2012), Proceedings of the 13th International Carpathian Control Conference (ICCC), May 2012, doi: 10.1109/CarpathianCC.2012.6228609
4. Kavaklı N (2018, Ocak). Drone'ların Gazetecilikte Kullanımı: Drone Haberciliğinin Olanakları, Zorlukları ve Sınırları. *Erciyes İletişim Dergisi*, s.160-172,
5. Carlos A. Arellano-Muro, Luis F. Luque-Vega, B. Castillo-Toledo, Alexander G. Loukianov (2013), Backstepping Control with Sliding Mode Estimation for a Hexacopter (2013), 10th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE), September 2013, <https://doi.org/10.1109/ICEEE.2013.6676026>
6. J. Verbeke, D. Hulens, H. Ramon, T. Goedemé and J. De Schutter (2014), The Design and Construction of a High Endurance Hexacopter suited for Narrow Corridors, International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), May 2014, DOI: 10.1109/ICUAS.2014.6842296
7. Burdziakowski P. (2017), Low Cost Hexacopter Autonomous Platform for Testing and Developing Photogrammetry Technologies and Intelligent Navigation Systems, April 2017, <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.172>
8. Murillo F. Santos\*, Leonardo M. Honorio', Exuperry B. Costa, Edimar J. Oliveira, Joao Pedro Portella Guedes Visconti (2015), 19th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC) October 2015, doi: 10.1109/ICSTCC.2015.7321334

9. A. Alaimo, V. Artale, G. Barbaraci, C.L.R. Milazzo, C. Orlando, A. Ricciardello (2016), LQR-PID Control Applied to Hexacopter Flight, European Society of Computational Methods in Sciences and Engineering (ESCMSE), 2016, pp. 47-56 ISSN 1790–8140
10. <https://learn.adafruit.com/li-ion-and-lipoly-batteries/rc-type-batteries> (Eriřim Tarihi: 11/05/2019)
11. <http://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/fircasiz-dc-motorlar-3835/> (Eriřim Tarihi 10/05/2019)
12. <https://electronics.howstuffworks.com/rc-toy.htm> (Eriřim Tarihi: 06/05/2019)
13. Çetinkaya A., “Otonom bir robotun bulanık kontrolör yaklaşımı ile konum kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, KTO Karatay Üniversitesi, 2017.

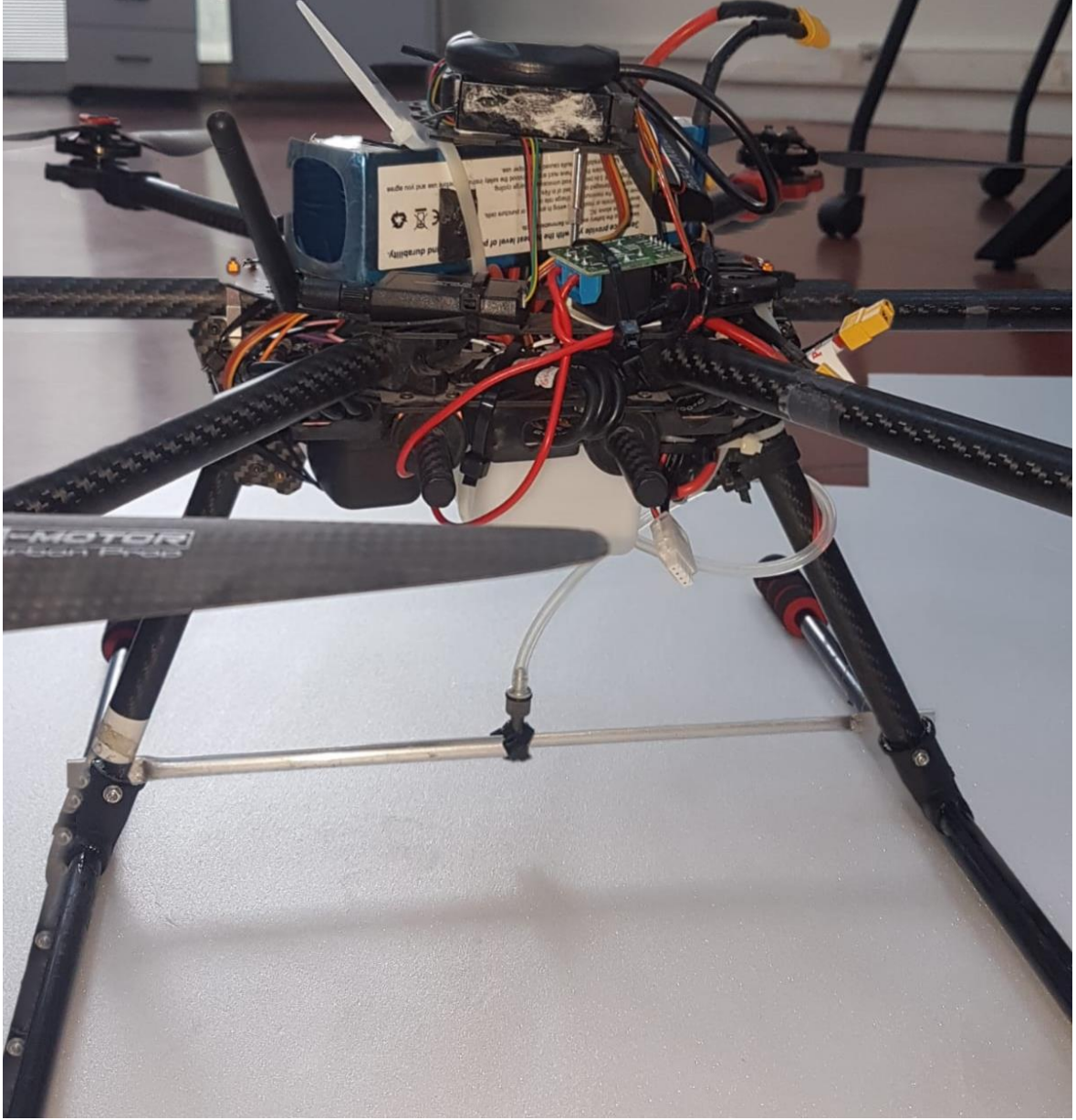




## EK-1 Hexacopter Yapısında Bir İnsansız Hava Aracı ile Elektronik İlaçlama ve Sulama Sisteminin Görselleri



**EK-1 (devam) Hexacopter Yapısında Bir İnsansız Hava Aracı ile Elektronik İlaçlama ve Sulama Sisteminin Görselleri**



**EK-1 (devam) Hexacopter Yapısında Bir İnsansız Hava Aracı ile Elektronik İlaçlama ve Sulama Sisteminin Görselleri**





**EK-1 (devam) Hexacopter Yapısında Bir İnsansız Hava Aracı ile Elektronik İlaçlama ve Sulama Sisteminin Görselleri**



**EK-1 (devam) Hexacopter Yapısında Bir İnsansız Hava Aracı ile Elektronik İlaçlama ve Sulama Sisteminin Görselleri**

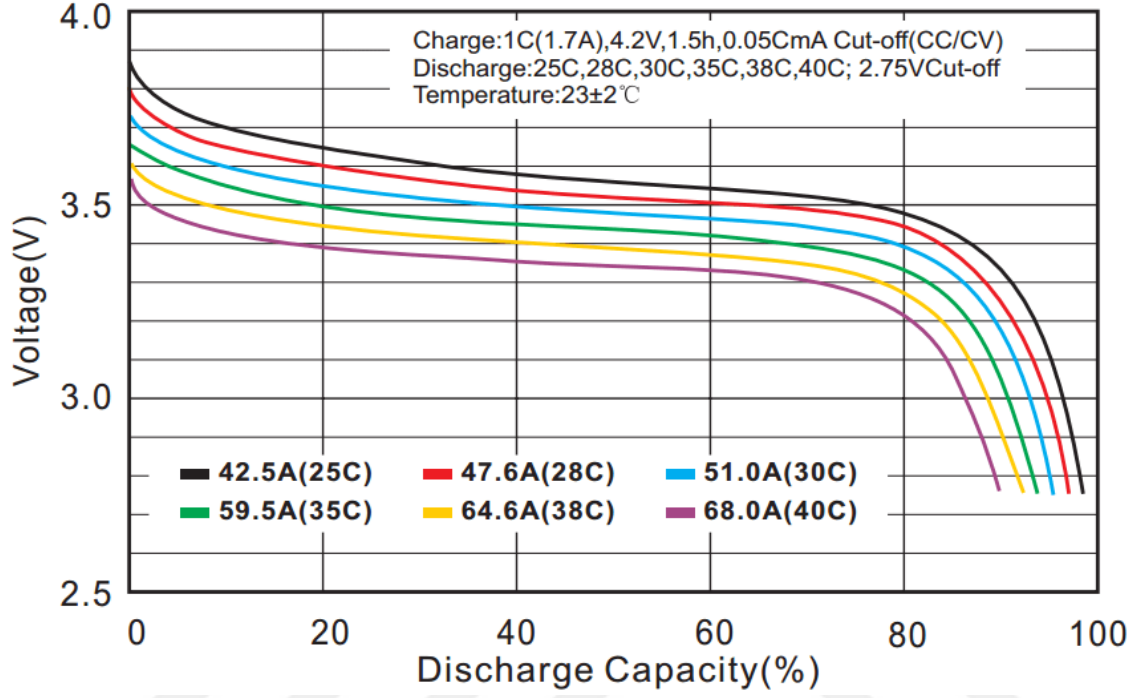


## EK-2 Sistem İçerisinde Kullanılan Ekipmanların Standartları

Test Report										
Test Item		AntigravityMN4004 KV400			Report NO.			MN.00033		
Specifications										
Internal Resistance		350mΩ			Configuration			18N24P		
Shaft Diameter		4mm			Motor Dimensions			Ø44.35*19mm		
Stator Diameter		40mm			Stator Height			4mm		
AWG		/			Cable Length			50mm		
Weight Including Cables		53g			Weight Excluding Cables			52g		
No.of Cells(Lipo)		4-6S			Idle Current@10v			0.2A		
Max Continuous Power 180S		300W			Max Continuous Current 180S			12A		
Load Testing Data										
Ambient Temperature		/			Voltage			DC Power Supplier		
Item No.	Voltage (V)	Prop	Throtlla	Current (A)	Power (W)	Thrust (G)	RPM	Efficiency (G/W)	Torque (N*m)	Operating Temperature (°C)
Antigravity 4004 KV400	24	T-MOTOR 13*4.4CF	50%	1.8	43.20	448	3613	10.37	0.075	33
			55%	2.2	52.80	535	4146	10.13	0.085	
			60%	2.7	64.80	609	4458	9.40	0.101	
			65%	3.3	79.20	696	4736	8.81	0.116	
			75%	4.6	110.40	885	5308	8.02	0.144	
			85%	6.3	151.20	1067	5841	7.06	0.177	
		T-MOTOR 14*4.8CF	100%	8.2	196.80	1311	6391	6.66	0.211	54
			50%	2.2	52.80	566	3623	10.72	0.097	
			55%	2.7	64.80	670	3915	10.34	0.112	
			60%	3.3	79.20	766	4175	9.67	0.128	
			65%	4.1	96.40	872	4448	8.86	0.146	
			75%	5.6	139.20	1078	4941	7.74	0.175	
			85%	7.6	187.20	1270	5392	6.78	0.214	
			100%	10.4	249.60	1521	5766	6.09	0.239	
Notes:The test condition of temperature is motor surface temperature in 100% throttle while the motor run 10min.										
Drawing										

MN-4004 Motor Datasheet

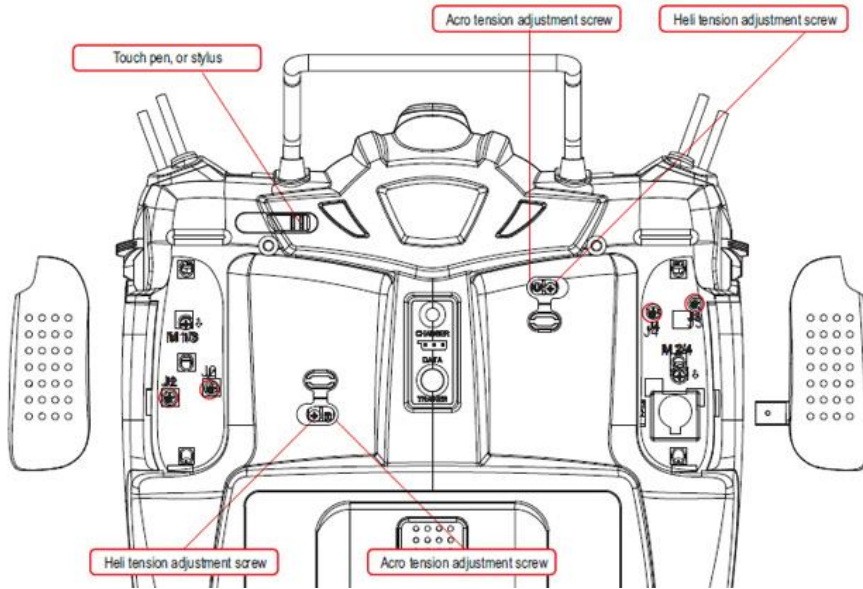
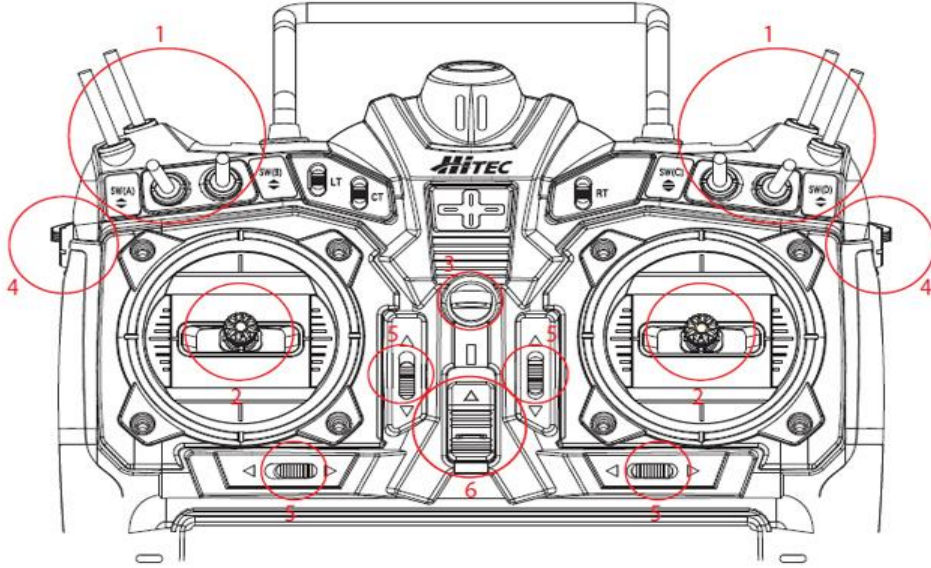
## EK-2 (devam) Sistem İçerisinde Kullanılan Ekipmanların Standartları



22.2 V Li-Po Deşarj Diyagram

## EK-2 (devam) Sistem İçerisinde Kullanılan Ekipmanların Standartları

1. A, B, C, D, E, F, G, H, switches
2. J1, J2, J3, J4 gimbles
3. Neckstrap hook
4. LS and RS sliders
5. All Digital trims, T1, T2, T3 and T4
6. On-Off switch



Hitec Aurora 9X Kontrol Diyagramı

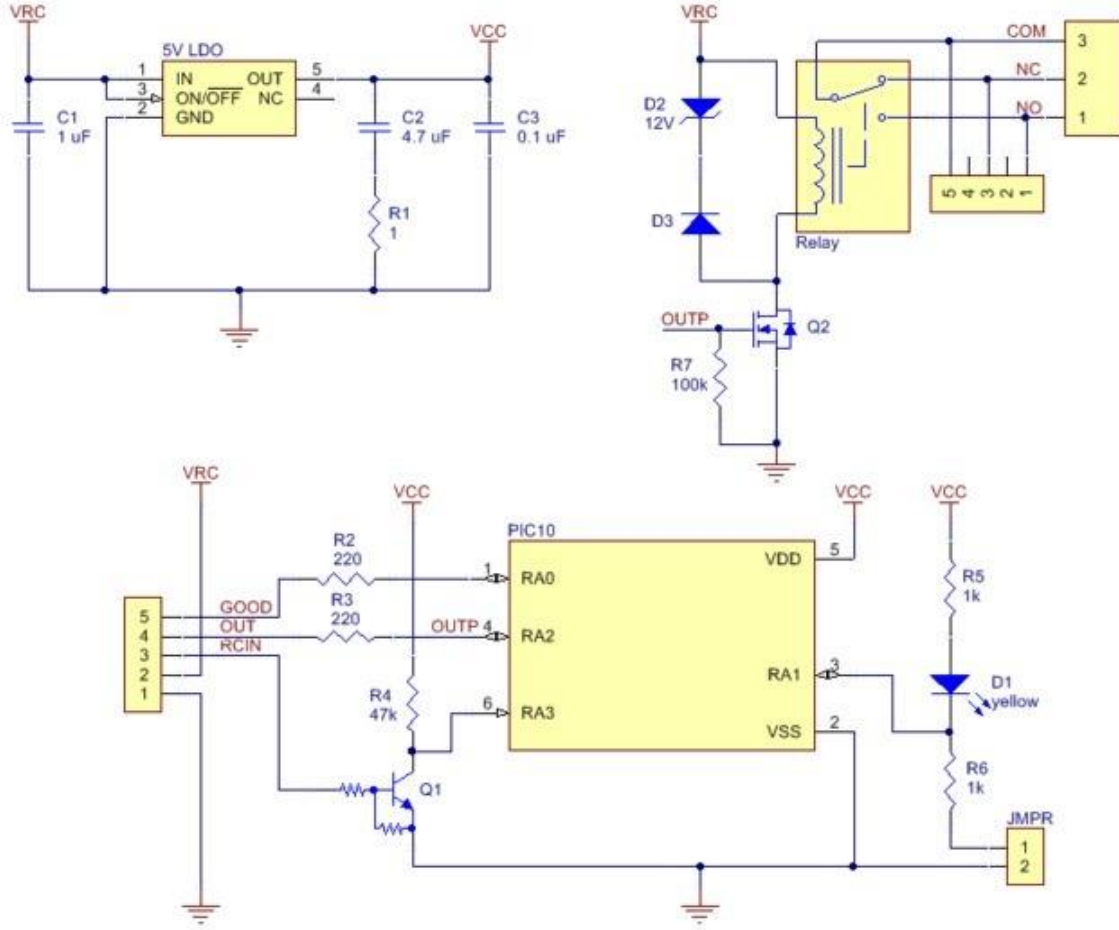
## EK-2 (devam) Sistem İçerisinde Kullanılan Ekipmanların Standartları

<b>AURORA COMPARISON CHART</b>		
<b>Features</b>	<b>Aurora 9X</b>	<b>Aurora 9</b>
Modulation	AFHSS, SLT(Single / Bi-Directional)	AFHSS / PPM / QPCM
Resolution	4096	1024
2-Position Switches	3 (B, F, G - Toggle), 1 (H - Spring Return)	6 (Toggle)
3-Position Switches	4 (A, C, D, E - Toggle)	2 (Toggle)
Condition Monitor	Flight Condition & Function	Flight Condition
Flight Conditions	8 (Switch and Control Stick)	8 (Switch only)
Flight Condition Copy	Yes	No
Programmable Mixes	8 (7-Point Mix)	8
Hardware Reverse (by software)	Yes	No
Flight Counter	Yes	No
Aux Channel Rename	Yes	No
Automatic Switch Assignment	Yes	No
<b>Basic Functions</b>		
Exponential	Yes (Max 24 Rates, Dual)	Yes (Max 24 Rates)
Servo Monitor	Yes (Travel & Limit)	Yes (Travel)
<b>Airplane Functions</b>		
Throttle Curve	Yes (7-Point moveable), Delay, 24 Rates	Yes (7-Point), Max 24 Rates
Aileron to Rudder Mix	Yes (7-Point)	Yes
Elevator to Camber Mix	Yes (7-Point), Max 8 Rates, Adjustable	Yes (Max 8 Rates, Adjustable)
Rudder to Aileron Mix	Yes (7-Point), Max 8 Rates, Adjustable	Yes (Max 8 Rates, Adjustable)
Knife Edge Mix	Yes	No
Aileron to Flap Mix	Yes (7-Point)	Yes
Flap Control	Yes (7-Point)	Yes
Flap Trim	Yes	No
Spoiler Control	Yes (Max 8 Rates, Start/Return Delay)	Yes (Max 8 Rates, Start Delay)
Spoiler to Elevator Mix	Yes (7-Point)	Yes
Camber Mix	Yes (7-Point)	Yes
<b>Glider Functions</b>		
Motor Control	Yes (Throttle Stick Control)	Yes (Speed/Delay by Toggle SW)
Spoiler Control	Yes (Max 8 Rates, Start/Return Delay)	Yes (Max 8 Rates, Start Delay)
Aileron to Rudder Mix	Yes (7-Point), Max 8 Rates, Adjustable	Yes (Max 8 Rates)
Rudder to Aileron Mix	Yes (7-Point), Max 8 Rates, Adjustable	Yes (Max 8 Rates)
Aileron to Flap Mix	Yes (7-Point), Max 8 Rates, Adjustable	Yes (Max 8 Rates)
Elevator to Camber Mix	Yes (7-Point), Max 8 Rates, Adjustable	Yes (Max 8 Rates, Adjustable)
Flap Control	Yes (7-Point)	Yes
Butterfly / Crow Mix	Yes (7-Point, Max 8 Rates, Start/Return Delay)	Yes (Max 8 Rates, Start Delay)
Spoiler to Elevator Mix	Yes (7-Point)	Yes
Camber Mix	Yes (7-Point, Max 8 Rates, Start/Return Delay)	Yes (Max 8 Rates, Start Delay)
Offset	Yes (New Offset Function)	Yes (Camber Mix Adjust Function)
<b>Helicopter Functions</b>		
Swash Ring	Yes	No
Revolution Mix	Yes (7-Point), Max 24 Rates	Yes (3-Point), Max 24 Rates
Pitch Curve	Yes (7-Point Moveable), Max 24 Rates	Yes (7-Point), Max 24 Rates
Throttle Curve	Yes (7-Point Moveable), Max 24 Rates	Yes (7-Point), Max 24 Rates
<b>Hardware</b>		
Vibration Mode	Yes	No
SLT Compatible	Yes	No

Hitec Aurora 9X Komut Listesi



## EK-2 (devam) Sistem İçerisinde Kullanılan Ekipmanların Standartları



Pololu RC Röle Datasheet



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Uz, Umut  
 Uyruğu : Türk  
 Doğum tarihi ve yeri : 06.09.1995  
 Medeni hali : Bekar  
 Telefon : 0534 – 411 – 89 - 15  
 Faks :  
 e-mail : umut.uz@outlook.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	İstanbul Gelişim Üniversitesi / Mekatronik Mühendisliği	13.07.2017
Lise	Rami Atatürk Anadolu Lisesi	14.06.2013

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016	İstanbul Gelişim Üniversitesi	Mekatronik Mühendisi (Yarı Zamanlı)
2017 – Halen	İstanbul Gelişim Üniversitesi	Mekatronik Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayımlar

-

### Hobiler

Kitap Okumak, Spor yapmak



*ĞELİŐİM ĞELİŐMEKTİR..*