

T.C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK JET MOTORLU HAVADAN KARAYA SEYİR
FÜZESİNİN TASARIMI, ANALİZİ VE 3 BOYUTLU YAZICI
YARDIMI İLE ÜRETİMİ**

Furkan YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

PROF. DR. ALİ OKATAN

İSTANBUL, 2019

Furkan YILMAZ tarafından hazırlanan “ELEKTRİK JET MOTORLU HAVADAN KARAYA SEYİR FÜZESİNİN TASARIMI, ANALİZİ ve 3 BOYUTLU YAZICI YARDIMI İLE ÜRETİMİ” 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: Prod. Dr. Ali OKATAN

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, 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 Savunma 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 hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları 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.

Furkan YILMAZ

__/__/2019

ELEKTRİK JET MOTORLU HAVADAN KARAYA SEYİR FÜZESİNİN TASARIMI, ANALİZİ VE 3 BOYUTLU YAZICI YARDIMI İLE ÜRETİMİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Furkan YILMAZ

İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

İsansız hava araçlarının son yıllardaki gelişimi ile birlikte, gelişmiş ülkelerin birçoğu savunma sanayi envanterlerindeki mevcut savaş uçaklarını insansız savaş uçakları ile değiştirmeye başlamıştır. Ülkelerin envanterine yeni yeni girmeye başlayan insansız hava araçları için yeni mühimmat ihtiyaçları doğmuştur. İnsansız hava araçlarının mevcut savaş uçaklarından farklı olan teknik özellikleri mevcut mühimmatların kullanılmasına engel olmaktadır. Özellikle bu yeni hava araçlarının sınırlı faydalı yük taşıma kapasitesi ve düşük seyir hızı, yeni mühimmatların üretilmesini zorunlu hale getirmektedir.

Bu tez çalışmasında, ülkemiz envanterindeki insansız hava araçları için uyumlu olabilecek ve hiçbir ülkenin envanterinde olmayan bir çalışma sistemine sahip seyir füzesi tasarımı yapılmıştır. Bu seyir füzesinin gövde imalatı tamamiyle 3 boyutlu yazıcı kullanılarak elde edilmiştir. Seyir füzesine itki kuvveti sağlayacak bir elektrikli fan motoru konumlandırılmıştır. Ayrıca yön tayin etmek için servo motorlardan kuvvet alan finler ve bu motorları kontrol edecek uçuş kontrolcüsü de eklenmiştir. Sistem tamamiyle elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Ana sistemi besleyen batarya ve emniyet düğmesi ile elektronik ekipmanlara güç sağlayan ikinci bir batarya ve ikinci bir emniyet anahtarı füzenin gövdesine entegre edilmiştir. Gövde 4 bloktan oluşmaktadır ve herhangi bir birleştirme elemanına ihtiyaç duymadan elle sökülebilir ve tekrar geri takılabilir bir yapıdadır.

Anahtar Kelimeler : Elektrikli Seyir Füzesi, Elektrik Fan Motorlu Roket, Elektrikli Jet Motoru, EDF, İHA.

Sayfa Adedi : 101

Danışman : PROF. DR. Ali OKATAN

DESIGN AND ANALYSIS OF ELECTRIC DUCTED FAN MOTOR POWERED AIR TO SURFACE CRUISE MISSILE AND PRODUCTION WITH 3D PRINTER

(M. Sc. Thesis)

Furkan YILMAZ

ISTANBUL GELISIM UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

With the development of unmanned aerial vehicles in recent years, many of the developed countries have begun to replace the existing warplanes in defense industry inventories with unmanned fighter planes. New ammunition requirements have emerged for unmanned aerial vehicles that have just begun to enter the inventory of countries. The technical characteristics of unmanned aerial vehicles which are different from the current warplanes prevent the use of existing ammunition. Particularly, the limited useful load carrying capacity and low cruising speed of these new aircraft make it necessary to produce new ammunition.

In this thesis, cruise missile design which has a working system which can be compatible for unmanned aerial vehicles in our country and which is not in the inventory of any country has been designed. The body construction of this cruise missile has been produced by using a 3D printer. An electric ducted motor is positioned to provide thrust force to the cruise missile. In addition to this, the fins that take force from the servo motors to determine the direction and the flight controller control these servo motors. The system is fully powered by electrical energy. Main battery and safety switch supplying main system. A second battery and a second safety switch that provide power to the electronic equipment are integrated into the body of the missile. The body consists of 4 blocks and can be removed by hand without any coupling elements and can be re-plugged.

Keywords : Electric Cruise Missile, Electric Ducted Motor Rocket, Electric Jet Engine, EDF, UAV.

Pages Number. : 101

Supervisor : PROF. DR. Ali OKATAN

TEŐEKKÖR

Çalıőmalarım esnasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Ali OKATAN'a ve lisans eğitimim sırasında üzerimde büyük emekleri olan sayın Dr. Hüseyin KURT ve Prof. Dr. Ekrem YANMAZ hocam'a, lisans eğitimimden bu güne kadar hiç ayrılmadan bir arada çalıştığımız değerli dostlarım Uzman Mühendis M. Ömer ERĐOAN ve Uzman Mühendis Umut UZ'a ayrıca son yıllarda büyük çalışmalara imza attığımız Gelişim Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi çalışanı arkadaşlarıma teşekkür ederim. Tüm çalışmalarımda her zaman arkamda bulunan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
RESİMLER LİSTESİ	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR	XIII
1. GİRİŞ	1
2. ROKET YÖN KONTROL YÖNTEMLERİ	6
3. ELEKTRİKLİ JET MOTORLU HAVADAN KARAYA SEYİR FÜZESİNİ OLUŞTURAN ELEKTRONİK BİLEŞENLER	8
3.1. Elektrikli Jet Motoru (Electric Ducted Fan)	8
3.1.1. Uygulama Alanları	8
3.1.2. Avantajları	11
3.1.3. Dezavantajları	12
3.2. Elektronik Hız Kontrolcüsü (ESC)	13
3.2.1. İşlev	14
3.2.2 Sınıflandırma	15
3.2.3. Uzaktan Kontrol Uygulamaları	16
3.2.4. Model Araba Sınıfında ESC Kullanımı	17
3.2.5. Model Helikopter Sınıfında ESC Kullanımı	18
3.2.6. Model Uçak Sınıfında ESC Kullanımı	18
3.2.7. Model Tekne Sınıfında ESC Kullanımı	18
3.2.8. Drone Sınıfında ESC Kullanımı	19
3.2.9. ESC Yazılımları	19
3.3. Fırçasız DC Elektrik Motoru	21
3.3.1 Fırçasız ve Fırçalı Motorlar Arasındaki Farklar	22
3.3.2. Komütatör	23
3.3.3. Komütatörün Dezavantajları	24
3.3.4. Fırçasız Motor Çözümleri	25
3.3.5. Sürücü Uygulamaları	28
3.3.6. Üretimdeki Farklılıklar	29

3.3.7. Uygulamalar	30
3.3.8. Taşıma Alnındaki Kullanım Alanları	30
3.3.9. Akülü El Aletlerinde Kullanımı	31
3.3.10. Isıtma ve Havanladırma Alanında Kullanımı	31
3.3.11. Sanayi Alanında Kullanımı	31
3.3.12. Hareket kontrol sistemleri Alanında Kullanımı	32
3.3.13. Konumlandırma ve Hareketlendirme Sistemlerinde Kullanım	32
3.3.14. Havacılık Modelciliği Alanında Kullanımı	33
3.3.15. Radyo Kontrollü Araçlarda Kullanım	33
3.4. Lityum Polimer Bataryalar	35
3.4.2. Çalışma Prensibi	37
3.4.3. Şarj Yöntemi	38
3.4.4. Li-Po Hücrelerine Baskı Uygulanması	39
3.4.4. Uygulamalar	39
3.4.5. Radyo Kontrollü Araçlarda Kullanım	39
3.4.6. Kişisel Elektronik Alanında Kullanım	40
3.4.7. Elektrikli Araçlarda Kullanımı	40
3.4.8. Güvenlik	41
3.4.10. Silisyum Grafen Katkı Maddesi İle Yüksek Voltaj Hücreleri	43
3.5. 3 Boyutlu Yazıcı ve 3B Baskı	44
3.5.1. Modelleme	46
3.5.2. Yazdırma İşlemi	46
3.5.3. Tamamlama Aşaması	48
3.5.4. Çoklu Malzeme İle Basma Teknikleri	49
3.5.5. 3 Boyutlu Yazıcılar ve İşlemleri	51
3.5.6. Uygulamalar	52
4. Üretim Sürecine Ait Teknik Rapor	53
4.1 Motor Bloğu	53
4.2. Güç Bloğu	54
4.3. Kontrol Bloğu:	55
4.4 Faydalı Yük Bloğu	56
4.5. Finler (Kanatçıklar)	57
4.6. Üretim Aşamaları	60

4.7. Çizim Aşaması	60
4.8. 3 Boyutlu Üretim Aşaması	61
4.9. Montaj Aşaması	64
5. Projeyi Oluşturan Hazır Malzemelere Ait Teknik Rapor	66
5.1. Elektrikli Fan Motoru (TP Power- TP4040)	66
5.2. Servolar (Corona CS238MG)	67
5.3. Ana Güç Li-Po Batarya (Gens Ace- 6s 5000mAh 45C)	68
5.4. Motor Sürücüsü (AeroStar Advance 150A HV)	69
5.5. Ana Güç Anahtarı (Team Whyachi MS-2 Switch)	70
5.6. Elektronik Sistem Anahtarı	71
5.7. Elektronik Sistem Besleme NiMh Batarya (Hitec TX for Aurora 9X).....	72
5.8. Radyo Alıcısı (Hitec optima 6 Kanal).....	73
5.9. Uçuş Kontrolcüsü (PRM Thunder P1)	74
5.10. Güç Kabloları (Amass 10AWG)	75
5.11. Sinyal Kabloları (Amass 22AWG).....	76
5.12. Kablo Soketleri (Amass EC5).....	77
6. Teknik Resimlerle Proje Anlatımı	78
6.1 Motor Bloğu	80
6.2. Güç Bloğu	81
6.3. Kontrol Bloğu	82
6.4. Faydalı Yük Bloğu	83
6.5. Yönlendirici Finler	84
7. TARTIŞMA VE SONUÇ	85
KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ.....	89

ŞEKİLLER LİSTESİ

ŞEKİL	SAYFA
Şekil 1.1: F-16 savaş uçağı ölçüleri	1
Şekil 1.2: Bayraktar TB2'ye ait teknik bilgiler	2
Şekil 1.4: MAM-L ve MAM-C teknik özellikleri	4
Şekil 1.6: UMTAS füzesinine ait teknik bilgiler	5
Şekil 1.7: Roketlerin yön tayin etme seçenekleri	7
Şekil 3.8: Fırçasız motor ile fırçalı motor bileşenleri arasındaki farklar	22
Şekil 3.12: Delta ve Wye sarma biçimlerini gösteren şematik	29
Şekil 4.24: Motor Bloğuna ait 3B çizim	53
Şekil 4.25: Güç bloğuna ait 3B çizim	54
Şekil 4.26: Kontrol bloğuna ait 3B çizim	55
Şekil 4.27: Faydalı yük bloğuna ait 3B çizim	56
Şekil 4.28: Fin kanatçığına ait 3B çizim	57
Şekil 4.29: Seyir füzesine ait montaj 3B çizim	58
Şekil 4.30: Motor bloğuna ait çizim aşamaları.....	60
Şekil 4.31: Seyir füzesinin montaj çizim aşaması	60
Şekil 6.50: Seyir füzesinin kesit görünüşü	78
Şekil 6.51: Seyir füzesinin montaj resminin bileşenlerinin numaralandırılması	79
Şekil 6.52: Motor bloğuna ait teknik resimler	80
Şekil 6.53: Güç bloğuna ait teknik resimler	81
Şekil 6.54: Kontrol bloğuna ait teknik resimler	82
Şekil 6.55: Faydalı yük bloğuna ait teknik resimler	83
Şekil 6.57: Yönlendirici finlere ait teknik resimler	84

RESİMLER LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.3: MAM-L mühimmatının Bayraktar TB2 den atılış görüntüsü	3
Resim 1.5: MAM-L ve MAM-C Bayraktar TB2 kanatları altında	4
Resim 3.1: Çeşitli çaplardaki EDF motorlar	9
Resim 3.2: 140mm çapındaki karbon pal ve gövdeye sahip EDF motor	10
Resim 3.3: Plastik fanlı EDF motor örneği	11
Resim 3.4: Alüminyum fanlı EDF motor örneği	12
Resim 3.1: Farklı teknik özelliklerdeki 3 adet ESC örneği	13
Resim 3.2: Uçak ESC sine ait bir örnek	15
Resim 3.3: Araba ESC sine ait bir örnek	16
Resim 3.4: Tekne ESC sine ait bir örnek	17
Resim 3.5: ESC kablolarını renklerine göre tanımlayan resim	20
Resim 3.7: Outrunner fırçasız motor örneği	21
Resim 3.9: Fırçasız motor bileşenlerine ait demonte resim	22
Resim 3.10: Inrunner ve outrunner fırçasız motor iç yapısını gösteren demonte resim	23
Resim 3.13: Farklı sarım ve mil uzunluğuna sahip iki outrunner motor örneği	34
Resim 3.14: 3 hücreli Li-Po batarya örneği	35
Resim 3.15: Liyüm Polimer Bataryaya ait patlatılmış resim	37
Resim 3.16: Li-Po bataryayı sarj etme esnasına ait resim	38
Resim 3.17: Li-Po pilleri bir arada güvenli bir şekilde saklamak için yapılmış kutu	41
Resim 3.18: Grafen katkılı Lityum pillerin çalışma mantığını gösteren animasyon resim	43
Resim 3.19: İki farklı marka ve model 3 boyutlu yazıcıya ait resim	45
Resim 3.20: Birden fazla filament ile baskı yapabilen 3B yazıcı	50

Resim 3.21: Birden fazla filament kullanılarak basılmış nihayi ürün	50
Resim 3.22: Sanayi alanında kullanılan 3B yazıcı örneği	52
Resim 4.32: Motor bloğunun 3B yazıcı ile üretim aşaması	44
Resim 4.32: Motor bloğunun üretim aşamasında tablaya yapışmama problemi	61
Resim 4.33: Motor bloğunun üretim aşaması sırasında atılan iç destekler	62
Resim 4.34: Güç bloğunun 3B yazıcı ile üretim süreci	63
Resim 4.35: Motor bloğunun 3B yazıcıda üretimi bitmiş hali	63
Resim 4.36: Motor bloğunun montaj edilebilmesini için talaş kaldırma işlemi	64
Resim 4.37: Montaj aşamasında ağırlık kontrolü	65
Resim 5.38: TP Power- TP4040 EDF motor	66
Resim 5.39: Corona CS238MG servo motor	67
Resim 5.40: Gens Ace- 6s 5000mAh 45C Li-Po batarya	68
Resim 5.41: AeroStar Advance 150A HV motor sürücü	69
Resim 5.42: Team Whyachi MS-2 Switch anahtar	70
Resim 5.43: 2 konumlu elektronik anahtarı	71
Resim 5.44: Hitec TX for Aurora 9X batarya	72
Resim 5.45: Hitec optima 6 Kanal radyo alıcı	73
Resim 5.46: PRM Thunder P1 uçuş kontolcüsü	74
Resim 5.47: Amass 10AWG güç kablosu	75
Resim 5.48: Amass 22AWG sinyal kablosu	76
Resim 5.49: Amass EC5 soket	77

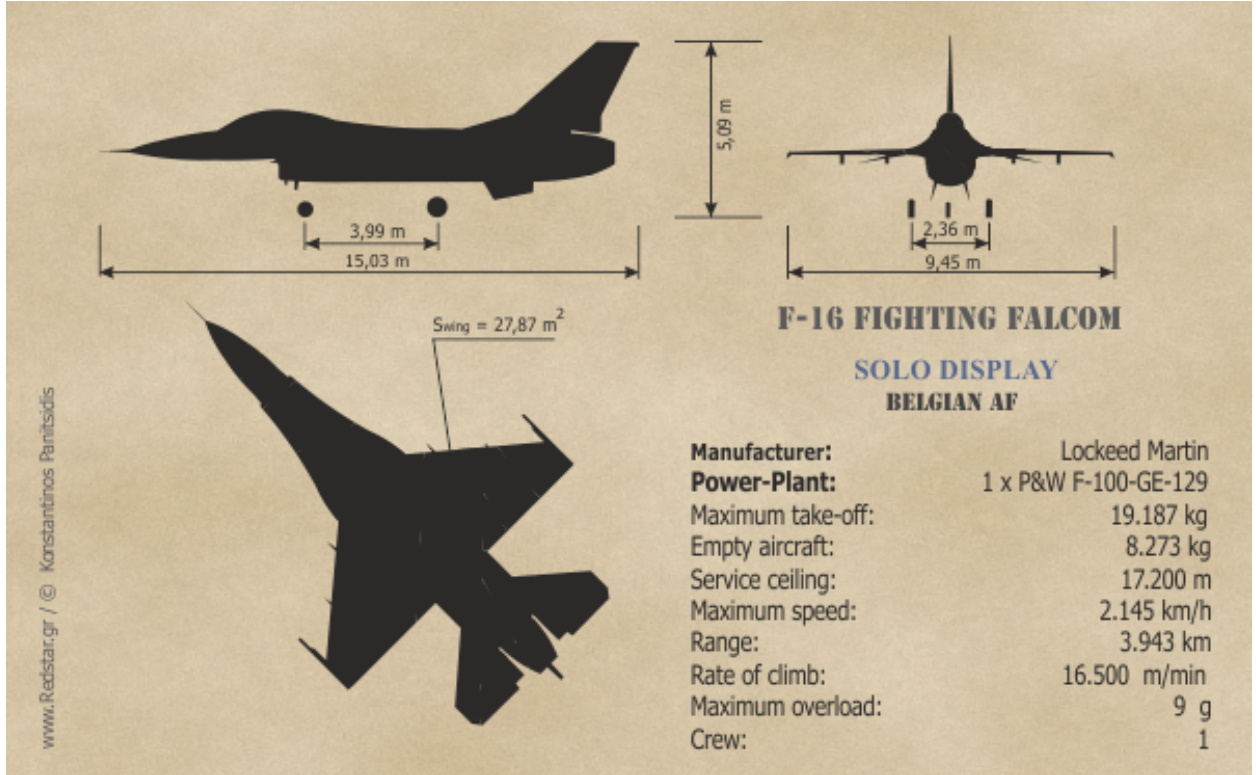
SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Kısaltmalar	Açıklamalar
V	Volt
A	Akım
DC	Doğru akım
AC	Alternatif akım
RC	Radyo Kontrol
ESC	Elektronik Hız Kontrolcüsü
İHA	İnsansız Hava Aracı
Li-Po	Lityum Polimer Batarya

1. GİRİŞ

Elektrik Fan Motorlu Havadan Karaya Seyir Füzesi Tasarımı projesi, mevcut insansız hava araçlarının roket envanterine bir seçenek olması amacıyla tasarlanmıştır. Günümüz teknolojisinde kullanılan askeri düzeydeki insansız hava araçları faydalı yük taşıma kapasitesi yönünden geleneksel savaş uçaklarının çok uzağındadır. Bu nedenle insansız hava araçlarına ağır mühimmatlar takılmamaktadır. Hatta buna bağlı olarak ülkemizdeki İnsansız hava araçlarının hiçbirinde, TSK envanterinde itki motoruna sahip bir roket bulunmamaktadır. İtkisiz roketler uçağın hızına ve bırakıldıkları irtifaya göre bir menzile sahiptirler. TSK envanterinde mevcut en uzun menzilli itkisiz motor menzili ise 8 Km+ dir. Roketlerin itki motoruna sahip olmamasının bir diğer dezavantajı ise hareketli hedeflere karşı etkisiz olmasıdır. Aşağıdaki tablolarda TSK bünyesinde mevcut geleneksel savaş uçakları ve insansız hava araçlarına ait bazı bilgiler ile TSK envanterinde bulunan insansız hava araçlarına ait roket mühimmatlarının teknik bilgileri yer almaktadır.



Şekil 1.1: F-16 savaş uçağı

► BAYRAKTAR TB2 SİLAHLI TAKTİK İHA



► Teknik Özellikleri

Haberleşme Menzili	< 150 km
Sevir Hızı	70 knaf
Maksimum Hız	135 knaf (110 IAS)
Uçuş İrtifaa	22.500 ft
İntifa Tavanı	25.000 ft
Havada Kalma Süresi	< 24 hrs
Kanat Açıklığı	12 m
Uzunluk	6,5 m
Kalkış / İnş	Pist (Otomatik)
Maksimum Kalkış Ağırlığı	650 kg
Faydalı Yük Kapasitesi	< 55 kg
Yakıt Tipi	Mogas Avgas
Motör Tipi	4x 1000W (4x 1350W) Elektronik Deprem İzmit Aracı

► Teknik Kabiliyetler

Tam Otomatik Uçuş Sistemi
Sensör Füzeyu Yardımlı Tam Otonom Kalkış ve İnş Sistemi
Otomatik Takla ve Park Etme
Yarı Otonom Uçuş Modu
Haritaya Dayanıklı Sistem Mimarisii
Uç Yedekli Uçuş Kontrol Sistemi
Araç İçi Depotama
Yedekli Servo Eyleyiciler
Yedekli Güç Mimarisii

► Teknik Kabiliyetler

Elektro-Optik (EO) Kamera Modülü
Kızılötesi (IR) Kamera Modülü
Lazer Hedef İhareleyici
Lazer Mesafe Ölçer
Lazer İhareleyici

Bayraktar Silahlı Taktik İnsansız Hava Aracı, keşif ve istihbarat görevleri için orta irtifa-uzun havada kalış süresi sınıfına giren (MALE) insansız hava aracıdır. Uç yedekli otonom sistemleri ve sensör füzeyu mimarisiiyle tamamen otomatik kalkış, kalkış sonrası seyir ve iniş kabiliyetine sahiptir. TSK envanterine giren ilk milli taktik insansız hava aracı sistemi olan Bayraktar TB2, 2014 yılından bu yana aktif olarak kullanılmaktadır.

Ayrıca Silahlı Bayraktar, yerleşik lazer hedef izareleyicisi ile hassas hedefleme yapabilir ve dört kritik mühimmat kadar faydalı yükü hedefe atışabilir. Bayraktar, hedefe yakın alanlara verilebilecek hasarlara önlemek amacıyla hızlı gör-ve-vur özelliğine sahip hepsi bir arada çözüm sunan bir sistemdir.

SİLAHLI BAYRAKTAR TB2, TÜRK SİLAHLI KUVVETLERİ İÇİN SİLAHLANDIRILMIŞ OLUP KEŞİF, SÜREKLİ HAVADAN GÖZETLEME, HEDEF TESPİTİ VE İMHA İMKANI SAĞLAMAKTADIR.

TB2, 4 ADETE KADAR AKILLI MÜHİMMAT TAŞIYABİLİR.

Şekil 1.2: Bayraktar TB2'ye ait teknik bilgiler

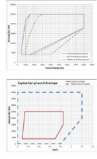
TSK envanterindeki mevcut insansız hava araçlarında teorik olarak kullanılabilen 2 temel roket ve füze sistemi vardır. Bunlar Mam-L, Mam-C ve UMTAS' dır. Mam serisinde herhangi bir itki motoru bulunmaz iken UMTAS güdümlü füzesinde itki motoru ve seyir motoru bulunabilmektedir. Ancak UMTAS sisteminin 37.5 KG ağırlığından dolayı bu güdümlü füze sistemi pratikte TSK envanterindeki hiçbir insansız hava aracında aktif olarak kullanılmamaktadır. Bu 3 roket ve füze sisteminin menzilleri birbirlerine çok yakındır. Ortalama olarak 8 Km menzile sahiptirler. Ancak Mam serisi roketlerde itici bir motor sisteminin olmaması belirtilen menzili sağlayabilmesi için yüksek irtifadan bırakılmalarını gerektirmektedir. Bu da yaklaşık olarak asgari 15.000 feetten bırakılması anlamına gelmektedir. Ayrıca MAM serisi roketler ancak 70km/h ve altındaki hızlara sahip hareketli hedeflere karşı etkili olabilmektedir. Buna karşılık UMTAS güdümlü füze sisteminin sahip olduğu itici motor sayesinde çok alçak seviyeden hatta yer birliklerinden ateşlenmesi bile 8 km menzili sağlayabilmesini mümkün kılmaktadır. Sahip olduğu yüksek hız ve yüksek taşıma kapasitesi sayesinde daha hızlı hareketli hedeflere karşı üstünlük sağlamanın yanında taşıdığı tandem başlık sayesinde bilinen tüm kara zırhlı hedeflere karşı etkili olabilmektedir.



Resim 1.3: MAM-L mühimmatının Bayraktar TB2 den atılış

UMTAS sisteminin teorik olarak mevcut insansız araçlarına uygulanabilmesine karşılık pratikte bir karşılık bulmamasının birkaç haklı nedeni vardır. Unlardan ilki UMTAS sistemi en yakın rakibi MAM-C sisteminden tam olarak 15 Kg daha ağırdır. Bu da henüz taşıma kapasitesi sınırlı olan insansız hava aracı sistemlerimiz için büyük bir sorun teşkil etmektedir. Ayrıca UMTAS'ın sahip olduğu en büyük kabiliyetlerden bir tanesi olan alçak irtifadan ateşlenebilme özelliği insansız hava araçları için operasyonel bir anlam ifade etmemektedir. Bunun gerekçesi ise insansız hava araçlarının büyük gövdeye sahip olması ve yavaş seyir hızıdır. Bu kadar büyük gövde ve kanada sahip ve seyir hızı düşük bir uçan cismin korunması pek mümkün olamamaktadır. Ağır silahlara sahip azınlık bir birlik tarafından bile kolaylıkla hedef olmasına sebep olabilmektedir. Herhangi bir akıllı kitlenme sistemi olmayan basit bir uçaksavar bataryası tarafından nişan alınarak hedef vurulabilir. Veyahut ucuz ve gerilla savaşlarında bulunabilecek güdümlü roket atar uçak savarlar tarafından da alçak irtifada kolaylıkla hedef olunabilir. Bu nedenlerden ötürü UMTAS silahının avantajlarını mevcut insansız hava araçlarında kullanmak pek operasyonel bir çözüm olamamaktadır.

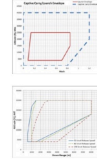
► ROKETSAN MAM-L



► Teknik Özellikler

Azami Menzil (sıfır yüksekliği ve platform haza bağlı)	> 8 km
Asgari Menzil (sıfır yüksekliği ve platform haza bağlı)	< 2 km
8 km'lik Menzil Uçuş Süresi	< 80 s
Hassasiyet	< 3 m
Harp Başlığı Tipi	Anti-Personel
Tip V Kurşuna ve Yakıt Aletine Duyarsız Mühimmat	> 20 m Anti-Personel Etki Çapı
Tip V Kurşuna ve Yakıt Aletine Duyarsız Mühimmat	Anti-Zırh İlan, zırık araçlar (700 mm RHA zırhla hafız etmiş)
Güdümlü	Doğru Esaslıda Aletsel Güdümlü + Yan Aktif Laser STANAG 3733
Ağırlık	21,5 kg
Uzunluk	1000 mm
Çap	160 mm

► ROKETSAN MAM-C



► Teknik Özellikler

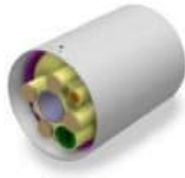
Azami Menzil (sıfır yüksekliği ve platform haza bağlı)	> 8 km
Asgari Menzil (sıfır yüksekliği ve platform haza bağlı)	< 2 km
8 km'lik Menzil Uçuş Süresi	< 80 s
Doğruluk	< 3 m
Harp Başlığı Tipi	Anti-Personel
Tip V Kurşuna ve Yakıt Aletine Duyarsız Mühimmat	10 m Anti-Personel Etki Çapı
Tip V Kurşuna ve Yakıt Aletine Duyarsız Mühimmat	Çok Amaçlı zırık araçlar (900 mm), anti-personel (80 m)
Güdümlü	Doğru Esaslıda Aletsel Güdümlü + Yan Aktif Laser STANAG 3733
Ağırlık	7 kg
Uzunluk	900 mm
Çap	70 mm

Şekil 1.4: MAM-L ve MAM-C teknik özellikleri



Resim 1.5: MAM-L ve MAM-C Bayraktar TB2 kanatları altında

UMTAS İvme ve Seyir Motoru



İvme Motoru



Seyir Motoru

Temel Özellikler

- Duyarsız Mühimmat,
- Az Dumanlı,
- Kalifiye Sistem, Seri Üretimdedir,
- Uzun Menzilli Tanksavar Silah Sistemi.

Teknik Özellikler

	İvme Motoru	Seyir Motoru
Çap	160 mm	160 mm
Boy	212 mm	680 mm
Kütle	6.1 kg	7.5 kg
NATO Tehlike Sınıfı	1,3 C	1,3 C
Yakıt	HTPB Bazlı Katı Kompozit	HTPB Bazlı Katı Kompozit
Motor Gövdesi	Alüminyum	Alüminyum
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-35°C ile +60°C	-35°C ile +60°C

UMTAS Uzun Menzilli Tanksavar Füzesi



Teknik Özellikler

Füze

Etkili Menzil	500 m - 8000 m
Çap	160 mm
Uzunluk	1.8 m
Ağırlık	37.5 kg
Güdümlü	Kızılötesi Görüntülemeli Arayıcı
Harp Başlığı	Tandem Harp Başlığı
Atak Modları	Direkt ve Üstten Vuruş

Laңçer

Füze Sayısı	4
Ağırlık	60 kg
Standart Arayüz	MIL-STD

Şekil 1.6: UMTAS füzesinine ait teknik bilgiler

Şekil 1.6 da görüldüğü üzere, 37.5kg ağırlığı sahip bu mühimmat mevcut ihalar için oldukça ağırdır. Azami menzili operasyonel olarak yeterli olsa da, asgari menzili yüksek irtifada uçuşması zorunlu olan insansız hava araçları için gereksiz bir özelliktir. UMTAS mühimmatının en büyük kabiliyetlerinden bir tanesi itki motoru sayesinde kısa menzilde ve alçak irtifada etkin olabilmesidir. Ancak her ne kadar Roketsan tarafından insansız hava araçları için ortak bir mühimmat platformu olarak tanıtılsa da UMTAS füzesi mevcut insansız hava araçları için başta ağırlık olmak üzere üretim maliyetleri açısından operasyonel bir mühimmat değildir.

2. ROKET YÖN KONTROL YÖNTEMLERİ

Herhangi bir tam ölçekli roketin dört ana bileşeni vardır; yapısal sistem veya çerçeve, yük taşıma sistemi, yönlendirme sistemi ve tahrik sistemi. Bir roketin yönlendirme sistemi çok gelişmiş sensörler, yerleşik bilgisayarlar, radarlar ve iletişim ekipmanı içerir. Bir roketin başlatılması sırasında yönlendirme sisteminin iki ana rolü vardır; rokete denge sağlamak ve manevralar sırasında roketi kontrol etmek.

Uçuş roketlerini kontrol etmek için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en temel dördü belirtilecektir. Uçuştaki herhangi bir cismin hareketi, ağırlık merkezinin çevirisinin ve aynı zamanda kütle merkezi olarak da adlandırılan ağırlık merkezinin etrafında dönmesinin bir birleşimidir. Kontrol yöntemlerinin tümü roketin ağırlık merkezi etrafında roketin uçuş sırasında dönmesine neden olan bir tork üretir. Rokete etki eden kuvvetlerin ve bunun sonucunda ortaya çıkan hareketin anlaşılmasıyla, roket yönlendirme sistemi hedefleri yakalamaya veya yörüngeye uçmaya programlanabilir.

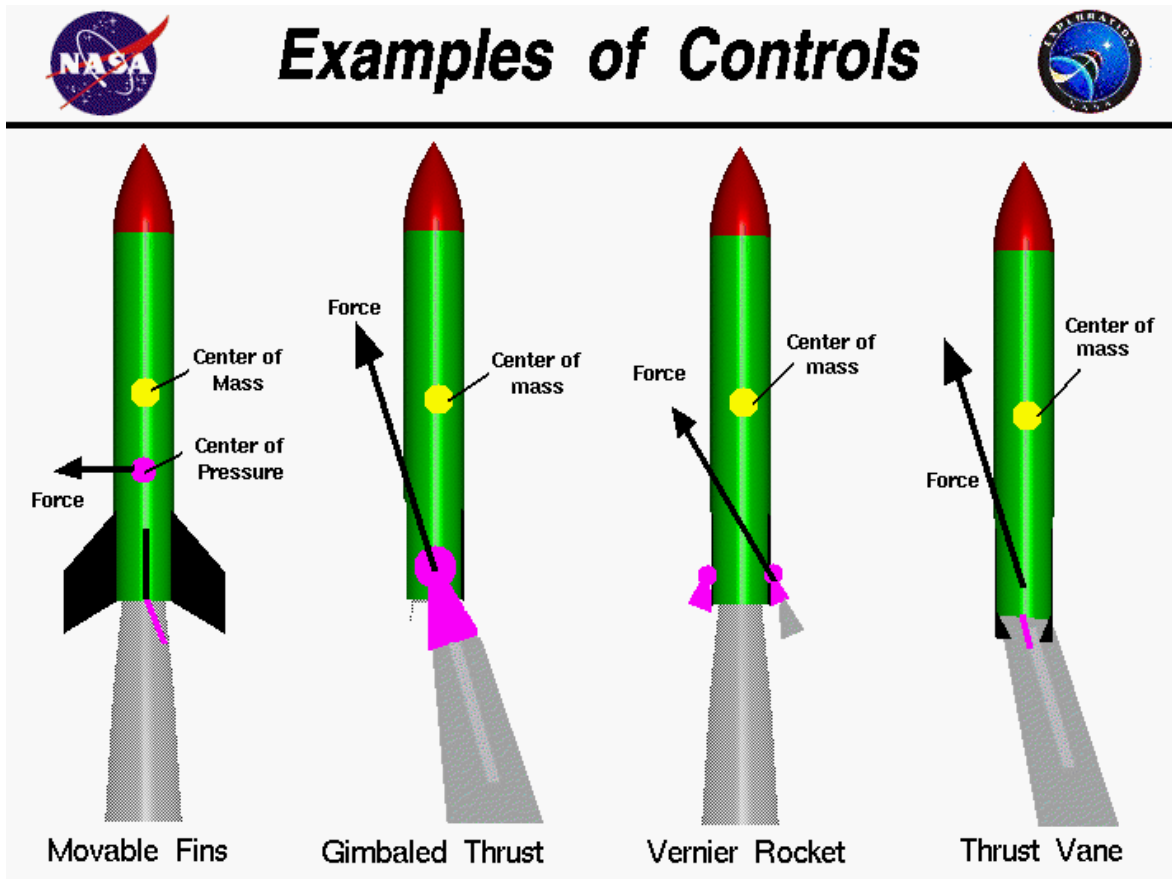
Erken roketler ve mevcut havadan havaya füzeler tipik olarak roketin arkasında hareketli finler kullanır. Hareketli finler roket üzerindeki aerodinamik kuvvet miktarını ayarlar. Aerodinamik kuvvet normalde ağırlık merkezinde bulunmayan basınç merkezinden etki eder. Konumdaki fark, ağırlık merkezi veya kütle merkezi hakkındaki torku oluşturur. Şekilde, bize bakan finin arka kenarı macenta renkli ve sağa doğru yön değiştirmiştir. Elde edilen aerodinamik kuvvet roketin burnunu sağa doğru hareket ettirir.

Modern roketlerin çoğu kontrol torkunu üretmek için nozülünü döndürür. Sabit bir itme sisteminde, roketin egzoz ağızlığı bir yandan diğer yana döndürülebilir. Meme hareket ettikçe, itme yönü roketin ağırlık merkezine göre değiştirilir. Şekilde roket başlığı macenta renkli ve sağa çevrilmiştir. Ortaya çıkan itme kuvveti, roketin burnunu sağa hareket ettirir.

Atlas füzesi gibi bazı eski roketler ana roketin altındaki küçük ek roket motorlarını kullanarak kontrol torkunu üretti. Küçük kontrol roketlerine daha çok roket demektir.

Şekilde, sağ sürmeli roket motoru macenta renkli ve daha büyük roket burnunun sağa hareket etmesine neden olmak için ateşlenmiştir. Yakıt ve daha az probleml tesisat için ve ilave ağırlık nedeniyle, sürmeli roketler artık kullanılmamaktadır.

Bazı erken roketlerde, V2 ve Redstone roketi gibi, itkiyi saptırmak ve kontrol torku üretmek için ana roketin egzoz akımına küçük itme kanatları yerleştirildi. Şekilde, bir itme kanadı macenta renkli ve sağa döndürülmüş. Bu, egzoz akımının sapmasına neden olur ve roketin burnu sağa hareket eder.



Şekil 1.7: Roketlerin yön tayin etme seçenekleri

3. ELEKTRİKLİ JET MOTORLU HAVADAN KARAYA SEYİR FÜZESİNİ OLUŞTURAN ELEKTRONİK BİLEŞENLER

Bu başlık altında elektrik jet motorlu havadan karaya seyir füzelerini oluşturan elektronik bileşenlerin genel tanıtımı, kısa tarihleri ve projeye olan uygunluğu işlenmiştir.

3.1. Elektrikli Jet Motoru (Electric Ducted Fan)

Elektrikli jet motoru, bir silindir veya kanallı bir yapının içine çeşitli pal sayılarına ve açılara sahip olabilen mekanik pervanelerin yerleştirilmesi ile oluşan yapıya verilen addır. Bu mekanik pervane sistemini çeviren genellikle dışı kasası sabit ve içi rotoru dönen fırçasız DC motorlardır. Pervanenin bulunduğu silindirik kanal ile pervaneler arasındaki mesafenin az olması hava kayıplarını azaltarak verimi artırır. Aslında bu sistem Bernoulli'nin akışkanlar prensibine dayanır. Bu ilkeye göre sürtünmesiz bir akış boyunca, hızda gerçekleşen bir artışın aynı anda ya basınçta ya da akışkanın potansiyel enerjisinde azalmaya neden olduğunu ifade eder. Bu fan sistemi genellikle uçak, zeplin, sürat teknesi, hovercraft ve dronlarda kullanılır. Bu fan sisteminde pervane uzunlukları standart uçak pervanelerinden çok daha kısa ve pal sayısı fazladır. Genellikle 11 pal civarındadır. Bu sebeple bu fan sistemi geleneksel hava araçlarının pervane dönüş hızından çok daha yüksektir.

3.1.1. Uygulama Alanları

Hava taşıtlarında uygulanan geleneksel pervane sistemlerinde pervanelerin azami hızı sınırlıdır. Bunun sebebi pervane uçalarının ses hızına yaklaşmasıdır. Ancak kanallı bir fan sisteminde pervane uçları kanala çok yakın olduğu için geleneksel pervane sistemlerinden çok daha fazla dönüş hızına sahip olabilmektedir. Gerçek boyutlu uçaklarda uygulanan en yaygın kanallı fan sistemi, fanı döndürme gücünü bir gaz türbini tarafından sağlandığı turbofan motorudur. Turbofan motorları hemen hemen tüp tipteki sivil uçaklarda kullanılırken, daha fazla itki gücü ve buna bağlı olarak daha verimsiz olması beklenen turbojet motorları askeri tip uçaklarda kullanılmaktadır. Bununla birlikte bir kanallı fan,



Resim 3.1: Çeşitli çaplardaki EDF motorlar

pistonlu motor, Wankel motor veya elektrik motoru gibi herhangi bir shaft gücü kaynağı ile çalıştırılabilir. Yelpaze olarak bilinen ya da Fenestron ticari markası ile bilinen bir tür fan, aynı zamanda helikopterlerdeki kuyruk rotorlarının yerine kullanılır. Kanallı fanlar, kanaldaki rezonansı önlemek için genellikle tek sayıda bıçaklara sahiptir.

Kanallı fanlar, Lockheed Martin F-35 Lightning II gibi VTOL uçaklarında ve daha yüksek itme-ağırlık oranı için hovercraft gibi diğer düşük hızlı tasarımlarda tercih edilmektedir. Bazı durumlarda, kanallı bir rotor açık bir rotordan% 94 daha verimli olabilir. İyileştirilmiş performans, temel olarak dışa doğru akışın daha az kasılması ve dolayısıyla daha fazla kinetik enerji taşınmasıdır.[1]

Model uçak hobileri arasında, kanallı fan, yüksek performanslı radyo kontrollü model uçak üreticileri arasında popülerdir. İçten yanmalı motorun kanallı pervane sistemi ile

birleştirilmesi ile bu sektörde birçok ölçekli uçağın üretilmesi mümkün olmuştur. lekli model turbojet motorların kullanılmasına rağmen, elektrik motorlu fanlar daha küçük ve daha düşük maliyetli olduğunda model ualarda popüler olmaya devam etmektedir. Bazı elektrikle çalışan kanallı fan uaları 320km / s'den daha yüksek hıızlara ulaşabilir.

Bilgisayarlarda kullanılan çoğu fan tipi, fan düzeneğine entegre edilmiş bir kanal içerir; Kanal, fanın diğer bileşenlere mekanik olarak monte edilmesi için de kullanılır.



Resim 3.2: 140mm çapındaki karbon pal ve gövdeye sahip EDF motor

3.1.2. Avantajları

*Pervane kanadı ucu kayıplarını azaltarak, kanallı fan, benzer çaptaki konvansiyonel pervaneye göre, özellikle düşük hızda ve yüksek statik itme seviyesinde (zeplin, hava aracı), itme üretiminde daha verimlidir.

*Kanal sistemini uygun şekilde boyutlandırarak, tasarımcı pervanenin olduğundan daha yüksek hava hızlarında, daha verimli çalışmasını sağlayacak şekilde fanı ayarlayabilir.

*Aynı statik itme için, kanallı bir fan, serbest bir pervaneden daha küçük bir çapa sahiptir ve daha küçük dişli sağlar.

*Kanallı fanlar standart pervanelerden daha sessizdir: pal uçlarında artan hıza bağlı olarak hava akımını azaltırlar ve bu sayede bulunduğu devirde standart bir pervaneden daha az gürültü çıkarırlar.

* Kanallı fanlar kısa pal yapısında olduğundan geniş pervanelere göre daha mukavemetlidir. Bu sayede daha küçük bir çaptan çok yüksek itki kuvveti alınabilmektedir.

*Kanallı fanlar korumalı yapısı sayesinde zeminde daha fazla güvenlik sunar.



Resim 3.3: Plastik fanlı EDF motor örneği

3.1.3. Dezavantajları

*Seyir halindeyken standart bir pervaneden daha verimsizdir. (Daha düşük itme seviyesinde)

*Yüksek verimlilik, pal uçları ve kanal arasında çok küçük boşluklar gerektirir.

*Yüksek devir ve asgari titreşim gerektirir.

*Karmaşık kanal tasarımı nedeniyle, gelişmiş kompozitlerden yapılmış olsa bile ağırlık artar.

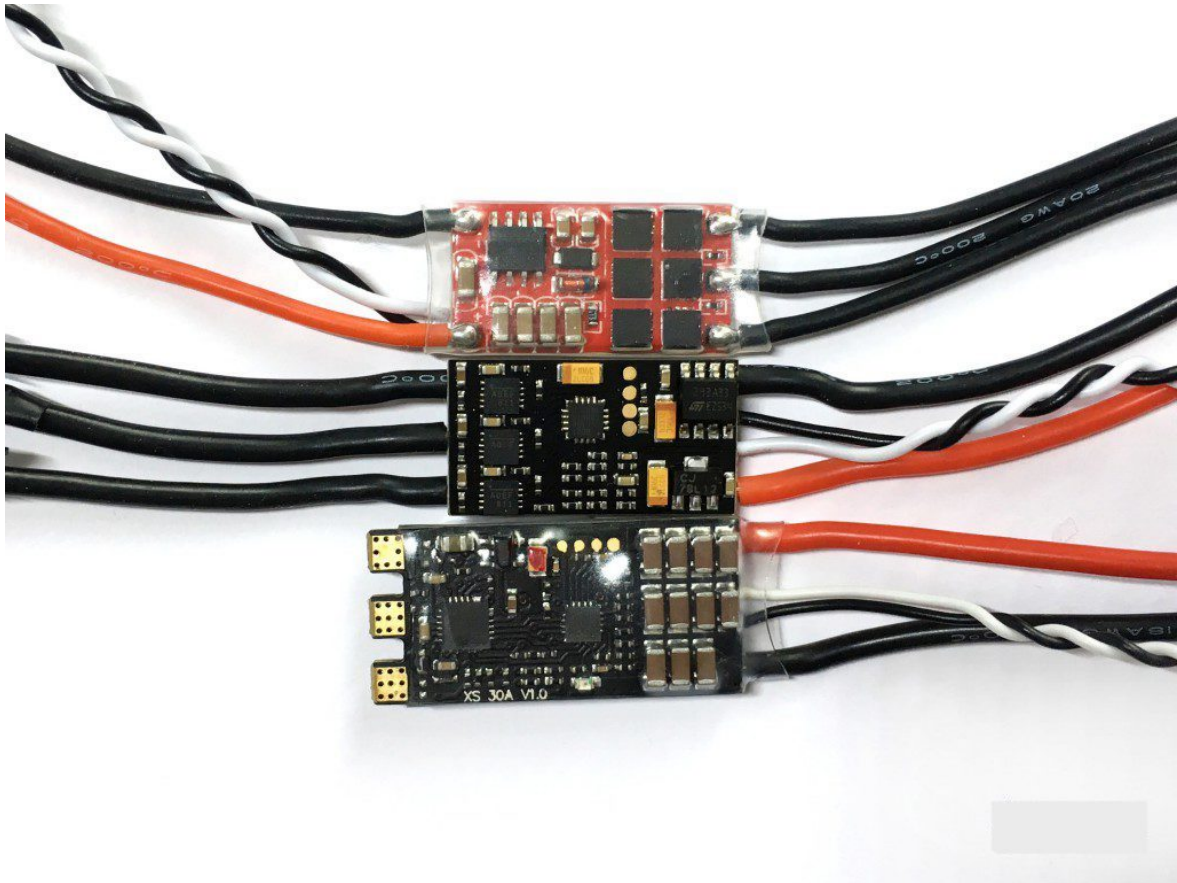
* Yüksek saldırı açısında, kanalın parçaları durur ve aerodinamik sürüklenmeye neden olur. [2]



Resim 3.4: Alüminyum fanlı EDF motor örneği

3.2. Elektronik Hız Kontrolcüsü (ESC)

ESC'ler yada tam ismiyle elektronik hız kontrolcüleri, elektrikli motorların hızını kontrol altına alan ve yapılandıran elektronik bir karttır. Aynı anda motorun ters çevrilmesini ve dinamik frenleme işlemlerinin yapılmasını sağlayabilir. Küçük boyuttaki elektronik hız kontrolcüleri, elektrikle çalışan radyo kontrollü modellerde kullanılır. Projede de tam olarak bahsedilen küçük ölçekli radyo kontrollü modellerde kullanılan bu hız kontrolcüsü kullanılmıştır. Sistem de kullanılan sürücünün özellikleri ise aşağıdaki gibidir.



Resim 3.1: Farklı teknik özelliklerdeki 3 adet ESC örneği

3.2.1. İşlev

Elektronik hız kontrolcüsü, bir pwm sinyali ile tetiklenir (bir gaz kolu, joystick veya başka bir manuel giriş olabilir) ve alan etkili bir transistör (FET) ağının anahtarlama hızını değiştirir. [3] Transistörlerin döngüsünü veya anahtarlama frekansını ayarlayarak, motorun hızı değiştirilir.

Motorların karakteristik özelliklerine bağlı olarak özellikle düşük devirlerde farkedilen vızıldamaya benzeyen ve titreşime sebep olan seslerin sebebi transistörlerin hızlı geçişidir.

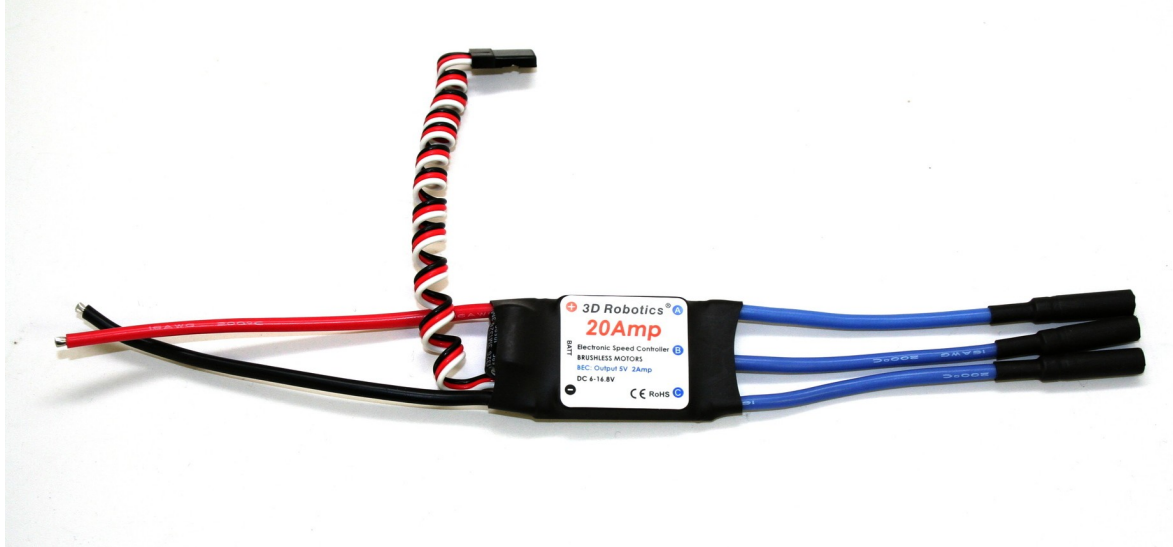
Fırçalı DC motorlar ve fırçasız DC motorlar için farklı hız kontrolcüleri kullanılması gerekir. Fırçalı DC bir motor, rotordaki voltajı değiştirerek hızını kontrol edebilir. (Endüstri alanında, sürekli mıknatıslar yerine bakır kablo sarılmış elektromıknatıs motorlar da motor alan akımının gücünü düzenleyerek devirlerini kontrol edebilirler.) Fırçasız bir motor farklı bir çalışma prensibi gerektirir. Motorun devri değişken bakır sargılarına değişken olarak elektrik akım darbelerinin zamanlaması ayarlanarak değiştirilir.

Entegre BEC ile 150A amper değerinde genel bir ESC modülü fırçasız motor ESC üniteleri asıl olarak fırçaya sahip olmayan motorlar çeşitlerini sürebilmek için sanayi alanında da sıklıkla kullanıldığı gibi ve değişken frekanslı bir sürücüde olduğu gibi üç fazlı AC gücü oluşturur.

Projede kullanılan Standart 150A lık ve fırçasız BEC entegreli bir sürücü fırçaya sahip olmayan motorları sürebilmek için değişken frekanslı bir sürücüde olduğu gibi üç fazlı AC gücü oluşturur. Fırçasız motorlar, geleneksel fırçalı motorlara kıyasla güç, verimlilik, ağırlık avantajı ve çok daha uzun ömürleri nedeniyle radyo kontrollü hobiler arasında çokça tercih edilmektedir. Fırça yapısına sahip olmayan alternatif akım motor kontrol üniteleri, fırçalı motor kontrol sürücülerinden daha fazla karmaşıktır. [4]

Doğru faz, ESC tarafından belirlenen motorun dönüşüne göre değişir. Genellikle, bu dönüşü tespit etmek için motordan geri EMF kullanılır, ancak manyetik (Hall etkisi) veya optik detektör kullanan varyasyonları da vardır. Bilgisayarla programlanabilen hız kontrolcüleri genellikle düşük voltaj kesme sınırlarını, zamanlamayı, hızlanmayı,

frenlemeyi ve dönme yönünün ayarlanmasını sağlayan kullanıcı tanımlı seçeneklere sahiptir. Motor yönünü tersine çevirmek, ESC'den motora giden üç uçtan herhangi birinin değiştirilmesiyle de gerçekleştirilebilir.



Resim 3.2: Uçak ESC sine ait bir örnek

3.2.2 Sınıflandırma

ESC'ler normalde maksimum akıma göre derecelendirilir. Mesela sürekli olarak azami 150A akım çekebilen ESC için 150A'lık ESC denir. Genel olarak, derecelendirme ne kadar yüksekse, ESC'nin eğilimi de o kadar yüksek ve ağırdır. Uçaklarda ağırlık ve denge yapısı hesaplanırken bu önemli bir faktördür. Birçok modern ESC (elektrikli hız kontrolcüsü), Li-Po, lityum iyon ve nikel metal hidrit vb. çeşitli giriş ve kesme gerilimlerine ait pilleri destekler. Batarya tipi ve bağlı hücre sayısı, bir batarya ayırıcı devresi (BEC) seçerken önemli bir husustur.



Resim 3.3: Araba ESC sine ait bir örnek

3.2.3. Uzaktan Kontrol Uygulamaları

Bir ESC, çoğu hobi sınıfında radyo kontrollü araçlarda olduğu gibi, alıcının gaz kontrol kanalına takılan veya alıcının kendisine dahil edilen bağımsız bir ünite olabilir. Bazı Radyo kontrol üreticileri giriş sınıfı hobi araçlarında kullandıkları ESC sistemlerini tek bir devrede birleştirir. Model RC (radyo kontrol) taşıtları için elektronik hız kontrolcülerini, alıcı voltajını düzenlemek için ayrı bir akü ihtiyacını ortadan kaldıran bir akü eleme devresi (BEC) içerebilir. Regülatör doğrusal veya anahtarlamalı moda olabilir. ESC'ler daha geniş anlamda, elektrik motorları için PWM kontrolörleridir. ESC genellikle darbe genişliği 1 ms ila 2 ms arasında değişen nominal 50 Hz PWM servo giriş sinyalini kabul eder. 50 Hz'de 1 ms genlikte darbe ile beslendiğinde ESC, çıkışına bağlı motoru kapatarak yanıt verir. 1,5



ms'lik bir darbe genliğinde giriş sinyali ise motoru yaklaşık yarı hızda çalıştırır. 2.0 ms darbe genliğinde giriş sinyali ile sürüldüğünde ise motor tam hızda çalışır.

Resim 3.4: Tekne ESC sine ait bir örnek

3.2.4. Model Araba Sınıfında ESC Kullanımı

Otomobillerde sert sürüş için üretilmiş ESC üniteleri çoğunlukla geri gitme özelliği ile birlikte gelir. Yeni çıkan bazı modellerde daha hızlı ve sert gaz kullanımına imkan tanımak amacıyla geri vites özelliği iptal edilebilir. Özellikle yarış yapılması için üretilmiş kontrolcüler dinamik fren sistemi olumlu özelliklerine ve artı avantajına sahiplerdir. ESC, endüvi üstüne elektrik yükleri yükleyerek motoru adeta jeneratörmüş gibi çalışmasını sağlar. Böylelikle rotorun devir çevirmesi zorlaşır, bu şekilde aracı belli bir ivmeyle yavaşlatır veya durdurabilir. Kimi denetleyici sürücülerini rejeneratif bir şekilde frenlemenin sonucu olarak çıkan enerjiyi pilleri geri beslemek için kullanır.

3.2.5. Model Helikopter Sınıfında ESC Kullanımı

Radyo kumandalı helikopterler için tasarlanan ESC'ler frenleme özelliğine sahip değildirler. Bunun sebebi ana pervaneyi yataklayan rulmanın tek yönde dönebilmesidir. Bu da ESC'nin bu özelliğini hiçbir şekilde işe yaramaz hale getirecektir.

Pek çok üst düzey model helikopter ESC'si, motor devrini ayarlanan ve dönüş hızını sabitleyen ve CCPM tabanlı uçuşa büyük ölçüde yardımcı olan bir “Yönetici modunu” sağlar. Ayrıca dronlar için de bu özellik sıklıkla kullanılmaktadır.

3.2.6. Model Uçak Sınıfında ESC Kullanımı

Radyo kontrollü uçaklar için üretilmiş ESC'ler genellikle birkaç güvenlik özelliği içerir. Batarya tarafından sağlanan enerji, elektrikle çalışan motorunu sürmeye devam etmek için yeterli değilse ESC, aileron, rudder, elevator vb. kabiliyetinin sürekli olarak kullanılmasını mümkün kılarken motora gönderilen gücü azaltacaktır veya kesecektir. Bu durumda pilot çok az motor gücüyle veya tamamen rüzgar gücünü kullanarak yönlendirme servolarını kumanda etmeye devam edip uçağı güvenli bir şekilde yere indirmesine olanak sağlayacaktır.

3.2.7. Model Tekne Sınıfında ESC Kullanımı

Tekneler için tasarlanmış ESC'ler su geçirmez özelliktedir. Su geçirmez yapı deniz tipi olmayan ESC'lerden önemli ölçüde farklıdır. Bunun sebebi tekne kullanımı için üretilen ESC modellerinin daha fazla hava tutucu mahfazaya sahip olmasıdır. Böylece ısıdan kaynaklı bozulmanın önüne geçebilmek için motoru ve elektrik motor denetçisini etkili bir şekilde soğutma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Tekne elektrik motor denetçilerin çoğu motor aracılığıyla iletilen dolaşımdaki deniz veya tatlı su yada tahrik millerinin çıkışının yakınındaki negatif pervane vakumu ile soğutulur. Otomobil ESC'leri gibi, tekne ESC'leri de frenleme ve ters yönde döndürme özelliklerine sahiptir.

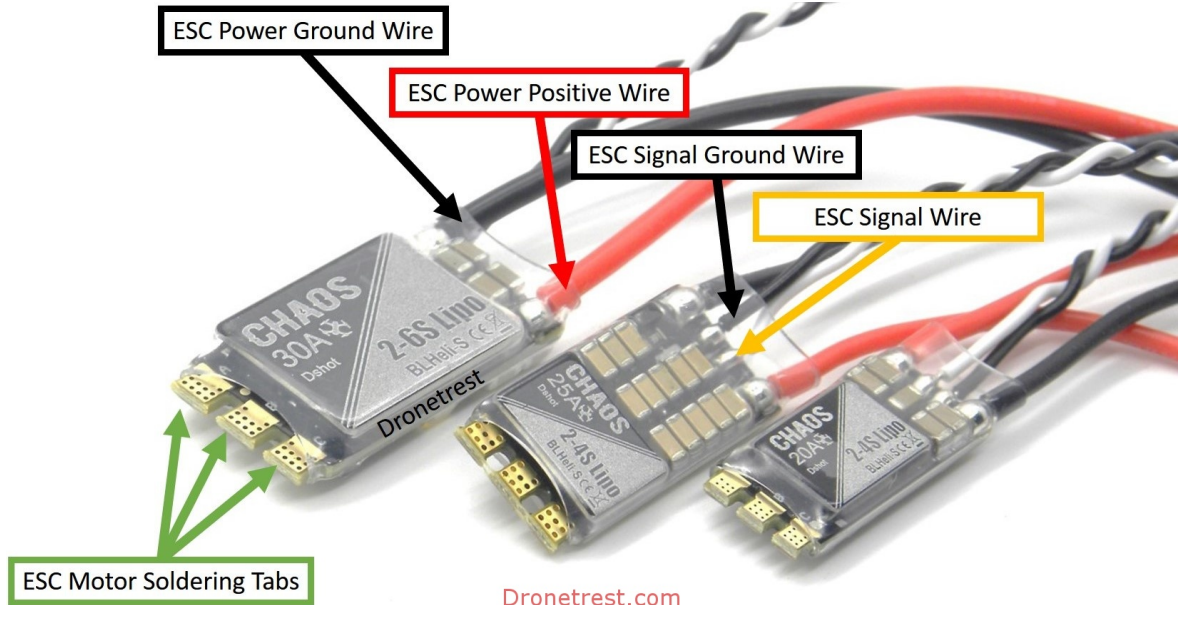
3.2.8. Drone Sınıfında ESC Kullanımı

Elektronik hız kontrolcüleri (ESC) modern dronların ve tüm multicopterlerin temel bir bileşenidir. Son derece kompakt bir minyatür paket içerisinde motorlara yüksek güç, yüksek frekans, yüksek çözünürlüklü 3 faz AC güç sunarlarlar. Bu uçan cihazlar tamamen pervaneleri tahrik eden motorların değişken hızına bağlıdır. Motor / pervane hızındaki bu hassas devir kontrolü, bir drone ve tüm multirotorların uçması için gerekli tüm kontrolleri sağlar.

Drone için üretilen ESC'ler genellikle diğer çoğu RC uygulamasında kullanılan standart ortalama 60Hz sinyaline mukayeseyle çok hızlı yenileme hızı kullanabilir. Oneshot40, Oneshot120, Multi-shot, D-Shot vb. de içinde olarak günümüzün multirotorları PWM'nin ilerisinde türlü elektrikli hız denetçi seçenekleri çalıştırılmaktadır. D-Shot, hem daha keskin znrlk, CRC sağlama, osilatör sapma sorunu (kalibrasyon ihtiyacını ortadan kaldırarak) gibi klasikleşmiş analog kontrolüne göre belirli avantajlar sunan sayısal bir çeşit protokoldür. Günümüz elektrikli hız denetleyici protokolleri 40KHz veyahut bundan yüksek devirlerde haberleşebilir. DSHOT2400 şasi ile yalnızca 6,5µ zaman içinde tepkime verebilmektedir. [5] [6]

3.2.9. ESC Yazılımları

Çoğu modern ESC, yerleşik bir program veya yazılım kullanarak giriş sinyalini yorumlayan ve motoru uygun şekilde kontrol eden bir mikrodenetleyici içerir. Bazı durumlarda, fabrikada ayarlı yerleşik yazılıma alternatif olarak halka açık, açık kaynaklı bir yazılım ile değiştirmek mümkündür. Bu genellikle ESC'yi belirli bir uygulamaya adapte etmek için yapılır. Bazı ESC'ler, kullanıcı tarafından yükseltilebilir yazılım kabiliyeti ile fabrikada üretilmiştir. Bu amaçla üretilmeyen ESC ler için bilgisayara bağlamak ve yazılım yükleme için lehimli bağlama işlemi gerekir.



Resim 3.5: ESC kablolarını renklerine göre tanımlayan resim

3.3. Fırçasız DC Elektrik Motoru

Fırçasız DC (doğru akım) elektrikli motoru (BLDC motor veya BL motor) aynı zamanda elektrik ile kontrol edilebilen motor (EC veya ECM motor çeşitleri) senkron doğru akım motorlar olduğu da bilinir. Senkron motoru türü olup, motorun her bir fazı kapalı bir döngü kontrolcüsü ile sürülür. Bu motor türü invertörle dönüştürülmüş bir DC güç kaynağı veyahut direkt olarak bir AC gerilim kaynağından beslenebilir. Motor sürücüsü, motorun hızını (devir sayısını) ve belirli devirde torkunu kontrol eden farklı genliklerde akım darbelerini motora gönderir.

Fırçasız motor sisteminin yapısı tipik olarak sabit mıknatıslı senkron motora (PMSM) benzer. Ancak aynı zamanda anahtarlama bir relüktans motoru veya bir endüksiyon (asenkron) motor da olabilir. [7]

Fırçasız bir motorun fırçalı motorlara göre avantajları, yüksek güç / ağırlık oranı, yüksek hız ve elektronik olarak kontrol edilebilmesidir. Fırçasız motorlar, bilgisayar çevre birimleri (disk sürücüler, yazıcılar), elektrikli el aletleri ve model uçaklardan otomobillere kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir.

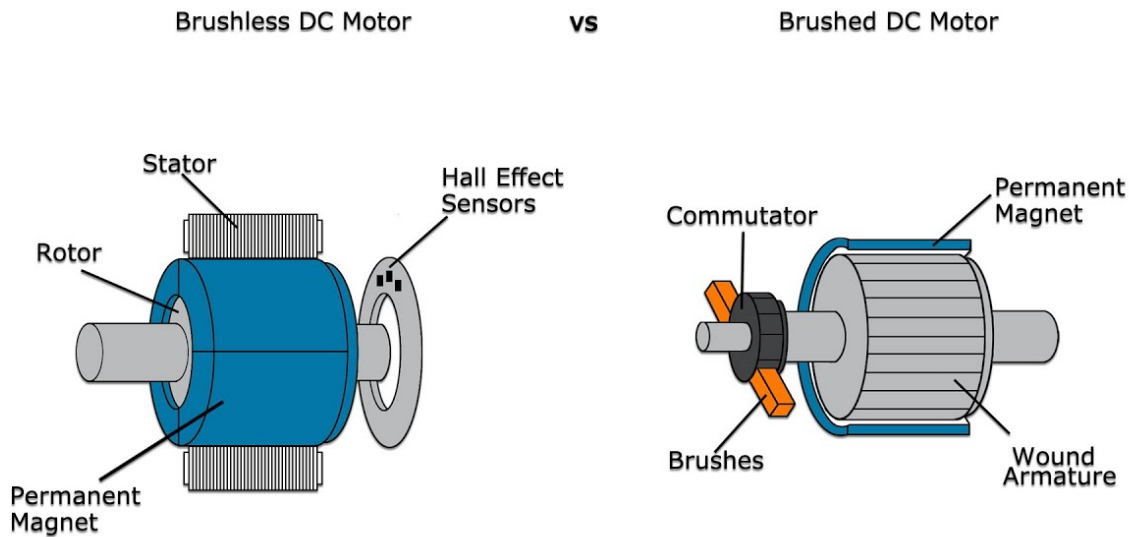


Resim 3.7: Outrunner fırçasız motor örneği

3.3.1 Fırçasız ve Fırçalı Motorlar Arasındaki Farklar

Fırçalı DC motorlar, 19. yüzyılda icat edildi ve hızlı bir şekilde yaygınlaştı. 1960'larda katı hal elektroniğinin gelişmesiyle fırçasız DC motorların üretilmesi mümkün hale geldi. [8]

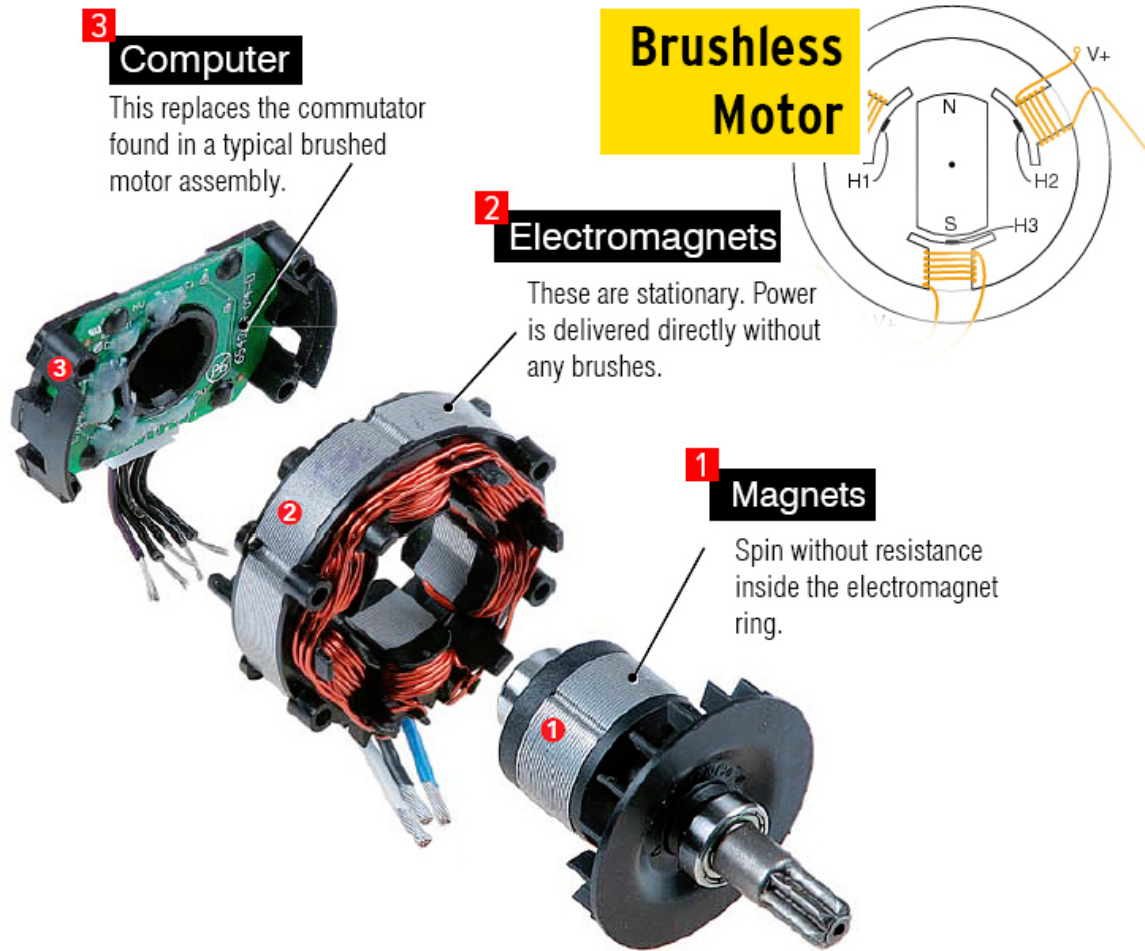
Bir elektrik motoru, rotora bağlı dönen mıknatısların polaritesini, motorun dönen kısmını ve rotoru çevreleyen stator üzerindeki sabit mıknatısların kutuplarını değiştirerek tork geliştirir. [9] Bir veya iki mıknatıs takımı, demir çekirdeğin etrafına sarılmış bir tel bobinden yapılmış olan elektromıknatıslardır. Tel sargısından geçen DC akım, motoru çalıştıran gücü sağlayan manyetik alanı oluşturur. Bununla birlikte, rotor 180° döndüğünde (yarım tur) rotor üzerindeki kuzey ve güney kutuplarının pozisyonu tersine çevrilir. Eğer kutupların manyetik alanı aynı kalırsa, bu her yarım turda rotor üzerindeki torkun tersine dönmesine neden olur ve böylece ortalama tork sıfır olur ve rotor dönmez. [10] [11] Bu nedenle bir DC motorda bir yönde tork oluşturmak için, sargılardan geçen elektrik akımının yönü rotorun her 180° lik dönüşünde ters çevrilmelidir (veya yanlış yönde olduğu süre boyunca kapatılmalıdır). Rotor döndükçe manyetik alanın yönünü tersine çevirir, böylece rotor üzerindeki tork daima aynı yönde olur.



Şekil 3.8: Fırçasız motor ile fırçalı motor bileşenleri arasındaki farklar

3.3.2. Komütatör

Fırçalı motorlarda motora yön verme işlemi, 19. yüzyılda icat edilmiş ve motorun şaftında bulunan komütatör adı verilen döner bir anahtarla yapılır. Bu anahtarlama sistemi rotor üzerinde çoklu metal temas bölümlerine ayrılmış dönen bir silindirden oluşur. Segmentler, rotordaki tel elektromıknatis sargılarına bağlanır. Grafit benzeri yumuşak bir iletkenden yapılmış "fırça" adı verilen iki veya daha fazla sabit kontak komütatöre temas ederek, rotor dönerken sıralı metal bölümlerle elektrik teması yaparak sargılara elektrik akımı sağlar. Rotor her 180 ° döndüğünde komütatör elektrik akımının yönünü tersine çevirir. Böylece manyetik alan bir yönde bir tork üretir.



Resim 3.9: Fırçasız motor bileşenlerine ait demonte resim

3.3.3. Komütatörün Dezavantajları

Komütatörün, fırçalı motorların kullanımında düşüşe yol açan birçok mühendislik dezavantajı vardır. Bu dezavantajlar:

Dönen komütatör bölümleri boyunca fırçaların sürtünmesi, düşük güçlü bir motorda önemli olabilecek güç kayıplarına neden olur.

Yumşak malzemeden üretilen fırçalar sürtünme sonucu toz oluşumu nedeniyle yıpranır ve sonunda fırçaların değiştirilmesi gerekmektedir. Bu, komütasyonlu motorları, sabit disk gibi düşük partiküllü veya sızdırmaz bir kapta uzun süre çalışması gereken sistemler için uygunsuz hale getirir.

Fırçaların temasının sonuncu oluşan direnç, motor devresinde fırça damlası adı verilen ve enerji tüketen bir voltaj oluşmasına neden olur.

Akımın, sarımların endüktansı yoluyla tekrar tekrar anahtarlanması komütatör temaslarında kıvılcım oluşmasına neden olur. Bu durum patlayıcı ortamlarda yangın tehlikesi ve düşük bir UV radyasyonu kaynağı ile yakınındaki mikroelektronik devrelerde elektromanyetik parazite neden olabilecek elektronik gürültü oluşturur.

Geçtiğimiz yüz yıl boyunca, bir zamanlar endüstrinin dayanak noktası olan yüksek güçteki DC fırçalı motorlar yerini alternatif akım (AC) senkron motorlara bıraktı. Günümüzde fırçalı motorlar yalnızca düşük güç gerektiren uygulamalarda veya yalnızca DC gerilim kaynağının mevcut olduğu yerlerde kullanılır. Ancak yukarıda belirtilen dezavantajlar, bu uygulamalarda bile kullanımlarını sınırlamaktadır. Bu problemleri çözmek için fırçasız motorlar icat edildi.

3.3.4. Fırçasız Motor Çözümleri

1970'lerde yarı iletken elektronik malzemelerin gelişimi ile birlikte DC motorlarda komütatör ve fırçaları kullanmadan motor üretmek mümkün hale gelmiştir. Fırçasız DC motorlarda, elektronik servo sistem mekanik komütatör kontaklarının yerini alır. [3] [5] [4] Elektronik bir sensör, rotorun açısını tespit eder ve yarı iletken anahtarları, bobinlerden akımı değiştiren transistörler gibi kontrol eder. Doğru zamanlamayla motor mili her 180 ° döndüğünde akımın yönünü tersine çevirerek veya bazı motorlarda akımı keserek, elektromıknatıslar bir yönde bir tork üretirler. Fırçaların temasının ortadan kaldırılması, fırçasız motorların daha az sürtünmeye ve daha uzun ömürlü olmasını sağlar. Çalışma ömürleri yalnızca rulmanlarının ömrü ile sınırlanmış olur.

Fırçalı DC motorlar, sabit devirde maksimum bir tork meydana getirirler ancak hız arttıkça doğrusal bir şekilde tork azalır [12]. Fırçalı motorların bazı sınırlamaları fırçasız motorlarla aşılabılır. Bunlar yüksek verimlilik ve mekanik aşınmaya karşı daha düşük bir duyarlılık içerir. Ancak bu avantajlar potansiyel olarak daha az sağlam, daha karmaşık ve daha pahalı kontrol elektroniğinin maliyetini de beraberinde getirmektedir. Tipik bir fırçasız motor, sabit bir rotor etrafında dönen mekanik mıknatıslara sahiptir. Bu da akımı taşıyacak iletkenin hareketli rotora bağlanması sorununu ortadan kaldıracak bir durumdur.

Fırçasız motorlar, fırçalı DC motorlara göre birçok avantaj sunar. Bunlar yüksek tork/ağırlık oranı, watt başına daha fazla tork (artan verimlilik), artan dayanıklılık, azaltılmış gürültü, daha uzun kullanım ömrü (fırça ve komütatör erozyonu yok), komütatörden iyonlaştırıcı kıvılcımların giderilmesi ve elektromanyetik etkileşimin (EMI) genel olarak azaltılmasıdır. Rotor üzerinde sarım olmadığından merkezkaç kuvvetlerine maruz kalmazlar. Sarımlar yataklayıcı bir kap tarafından desteklendiğinden, taşımayla soğutulabilirler. Soğutma için motorun içinde hava akımı olması gerekmez. Bu da, motorun iç kısımlarının tamamen kapatılabileceği ve kir, toz veya diğer yabancı maddelerden korunabileceği anlamına gelir.

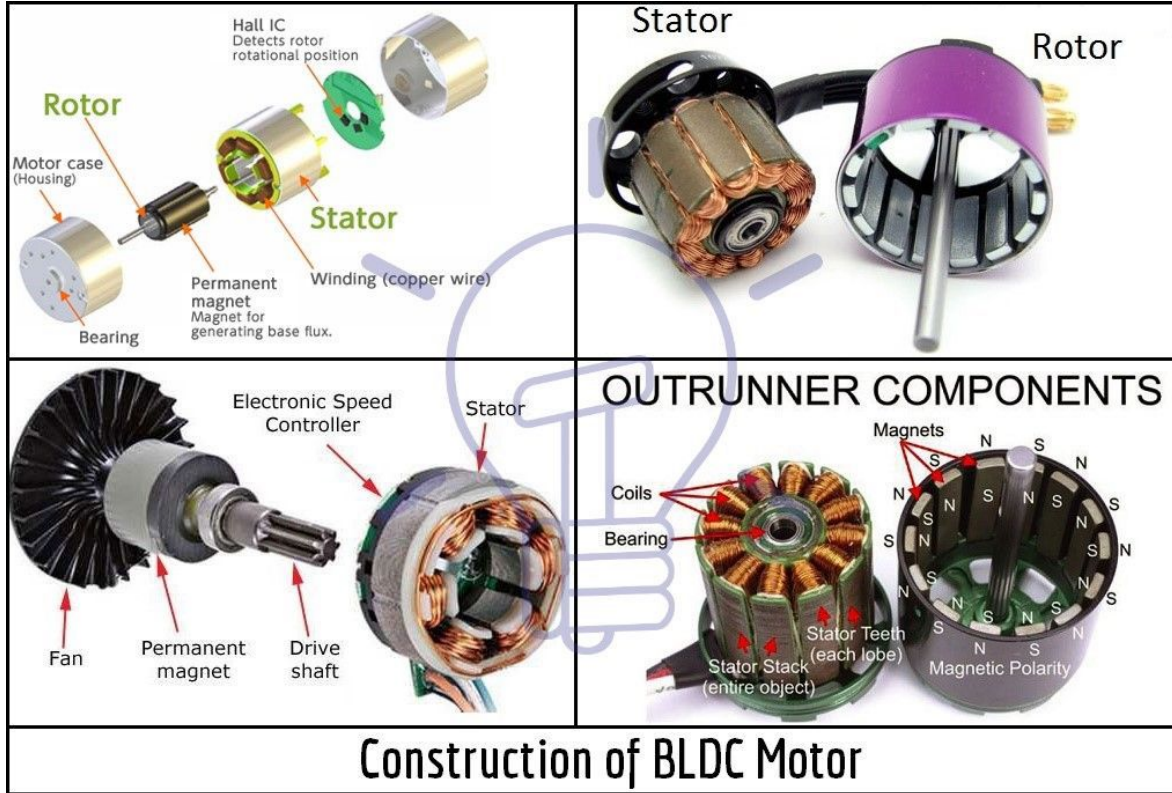
Fırçasız motor komütasyonu, yazılım içeren bir mikrodenetleyici veya mikroişlemci ile kontrol edilebilirler. Fırçalar yerine elektronik komütasyon fırçalı DC motorlarda

bulunmayan daha fazla esneklik ve özellikler sağlamaktadır. Bunlar, hız sınırlaması, yavaş ve/veya ince hareket kontrolü için "mikro kademeli" işlem ve hareketsiz durumdayken bir tutma torku sağlar. Denetleyici yazılımı, uygulamada kullanılan motor özelliklerine göre özelleştirilebilir ve bu da daha fazla komütasyon verimliliği sağlar.

Fırçasız bir motora uygulanabilecek maksimum güç, neredeyse yalnızca ısı ile sınırlıdır. Çok fazla ısı, mıknatısları zayıflatır ve sarımın yalıtımına zarar verir. Elektriği mekanik güce dönüştürürken, fırçasız motorlar fırçalı motorlardan daha verimlidir. Bu gelişme büyük oranda elektriğin değiştirildiği konum sensörü geri bildirim frekansından kaynaklanmaktadır. Ek kazançlardan bir tanesi ise sürtünmeden dolayı mekanik enerji kaybını arttıran fırçaların bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Yüksek verim, motorun performans eğrisinin yüksüz ve düşük yük bölgesinde en yüksek seviyededir. Yüksek mekanik yükler altında, fırçasız motorlar ve yüksek kalitedeki fırçalı motorlar verimlilikte kıyaslanabilirler.

Üreticilerin fırçasız DC motor kullandığı ortamlar ve gereksinimler genellikle uzun süre bakım gerektirmeyecek operasyonlar, yüksek hız ve performans gerektiren operasyonlar, kıvılcımın tehlikeli olduğu ortamlar (Patlayıcı depoları vb.) ve hassas elektronik devrelerdir.

Fırçasız bir motorun yapısı, bir step motorunkine benzeyebilir. Step motorun aksine fırçasız bir motorun genellikle sürekli rotasyon üretmesi amaçlanmıştır. Step motorlar genellikle rotor konumunun geri bildirim için bir shaft konum sensörü içermez. Bunun yerine, Step motor sürücüsü sürülen motorun konumunu tespit etmek için sürücünün hafızasını kullanır. Bu motorlar torkunu arttırmak için açılabilir bir hızda sık sık olarak dururlar. İyi tasarlanmış bir fırçasız motor sistemi de sıfır devirde güçlü torkta tutulabilir.



Resim 3.10: Inrunner ve outrunner fırçasız motor iç yapısını gösteren demonte resim

3.3.5. Sürücü Uygulamaları

Sürücüler geleneksel fırçalı motorların işlevselliğini uyguladığından, rotorun yönüne/konumuna ihtiyaç duyar (stator bobinlerine göre). Bu durum fırçalı motorda rotor şaftı ve fırçaların sabit geometrisi nedeniyle otomatiktir. Bazı tasarımlarda, rotorun konumunu doğrudan ölçmek için Hall efekt sensörleri veya encoder kodlayıcı kullanılır. Geri kalan sürücüler ise farklı Hall efekti sensörlerine duyulan ihtiyacı ortadan kaldırarak, rotor pozisyonunu ortaya çıkarmak için düzensiz bobinlerdeki arka elektromanyetik alanı ölçer ve bu nedenle genellikle sensörsüz sürücüler olarak adlandırılır.

Tipik bir sürücü cihazı 3 adet çift yönlü çıkış içerir (frekans kontrollü üç faz çıkışı). Bunlar bir mantık devresi tarafından kontrol edilir. Basit sürücüler çıkış aralığının ne zaman gönderileceğini belirlemek için karşılaştırıcılar kullanır. Daha gelişmiş sürücüler de ivmeyi, hızı ve detaylı ayar verimliliğini yönetmek için bir mikrodenetleyici kullanır.

Elektromanyetik alana dayalı rotor pozisyonunu algılayan sürücüler, hareketi başlatırken ekstra zorluklar yaşarlar çünkü rotor dururken hiçbir elektromanyetik alan üretilmez. Bu genellikle rastgele bir fazla başarılı bir dönüş başlangıcı yaparak ve yanlış faz algılanırsa düzelterek devam eder. Bu durum motorun kısa bir süre geri çalışmasına ve başlatma sırasına daha fazla karmaşıklık oluşmasına neden olabilir. Diğer sensörsüz sürücü üniteleri rotor pozisyonunu anlamak için mıknatısların konumundan kaynaklanan sarım doygunluğunu ölçebilir.

Fırçasız DC motorların iki ana performans parametresi vardır. K_T motor sabitidir (tork sabiti). K_e ($KV = 1 / K_e$ hız sabiti olarak da bilinen elektromanyetik alan sabitidir).

Uluslararası ölçü birimleri sisteminde. K_T ve K_V birimleri aynı sabittir:

$$K_t = \frac{\text{NewtonMeter}}{\text{Amp}} = \frac{\text{KilogramMeter}^2}{\text{AmpereSecond}^2}$$

$$K_e = \frac{\text{VoltSecond}}{\text{Radian}} = \frac{\text{KilogramMeter}^2}{\text{AmpereSecond}^2}$$

3.3.6. Üretimdeki Farklılıklar

Fırçasız motorlar temel olarak birtakım değişik konfigürasyonda hazırlanabilirler:

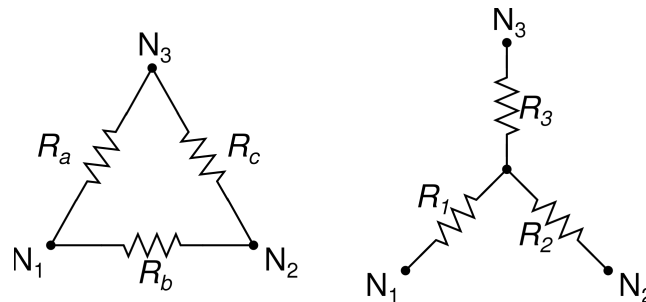
“Geleneksel” (İnrunner ismiyle de bilinebilmektedir) konfigürasyonunda temel mıknatıslar endüvinin ayrılmaz kısmıdır. Bu konfigürasyonda üç temel dönmeyen sabit sargısı, endüviyi kuşatır.

Outrunner motorda ise (external rotor olarak da bilinir) bakır emayeler ve temel mıknatıslar arasındaki radyan açısız bağ zıttına çevrilir. Merkezdeki sabit sargı bakır sargı emayeleri motorun özeğini (merkez çekirdeğini) oluşturur. Mıknatıslar özeğini saran endüvi içinde devir çevirirler. Düz veyahut aksel akı tipinde ise, boşluk veya şekil sınırlaması olan yerlerde kullanılır. Outrunner motorlar tipik olarak daha fazla kutup içerir ve düşük devirlerde çok daha fazlaca tork gücünü barındırır. Ayrıca tüm fırçasız yapıdaki motorlarda çeşitlerinde bakır emayeler sabittir.

İki yaygın bakır emaye (bobin) çevreleme konfigürasyonu vardır:

Delta konfigürasyonu, üç sargıyı birbirine bağlar (seri devreler). Üçgen benzeri bu devrede, bağlantıların her birine güç uygulanır. Bazen yıldız sarımı olarak da adlandırılan Wye (Y-biçimli) konfigürasyon, tüm sarımları bir orta noktaya (paralel devreler) bağlar ve her sarımın kalan ucuna güç uygulanır.

Delta konfigürasyonundaki sargılara sahip bir motor düşük hızda düşük tork sağlar, ancak daha yüksek hız sağlayabilir. Wye konfigürasyonu düşük hızda yüksek tork verir fakat yüksek hızda yüksek tork veremez.



Şekil 3.12: Delta ve Wye sarma biçimlerini gösteren şematik. (Bu görüntü motorun endüktif ve jeneratör benzeri özelliklerini göstermemektedir)

Verimlilik, motorun yapısı ile büyük ölçüde orantılı olsa da, Wye sarımı normalde daha verimlidir. Delta bağlantılı sargılarda, tahrik hattındaki bitişik sargılara (doğrudan tahrik kabloları arasındaki sargıya kıyasla) direnç kayıplarını artıran yarı voltaj uygulanır. Ek olarak sarımlar, yüksek frekanslı parazitli elektrik akımlarının tamamen motorun içinde dolaşmasına izin verebilir. Wye bağlantılı bir sarım, parazitli akımların akabileceği kapalı bir döngü içermez ve bu kayıpları önler.

Bir sürücü açısından, iki sarım stiline tamamen aynı şekilde davranılır.

3.3.7. Uygulamalar

Fırçasız motorlar, aslında fırçalı DC motorlar tarafından gerçekleştirilen birçok işlevi yerine getirir. Ancak maliyet ve kontrol karmaşıklığı, fırçasız motorların düşük maliyet zorunluluğu olan alanlarda fırçalı motorların yerini alamamasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, fırçasız motorlar özellikle bilgisayar sabit diskleri ve CD/DVD oynatıcılar gibi aygıtlar olmak üzere birçok alanda hakimiyet kurmuştur. Elektronik ekipmandaki küçük soğutma fanları, sadece fırçasız motorlarla çalışmaktadır. Motorun artan veriminin, akünün şarj edilmesi gerekmeden daha uzun kullanım sürelerine erişebilmesi adına akülü elektrikli el aletlerinde sıklıkla tercih edilmesine neden olmaktadır. Gramofon kayıtları için doğrudan tahrikli döner tablalarda düşük devirli, düşük güçlü fırçasız motorlar kullanılmıştır.

3.3.8. Taşıma Alanındaki Kullanım Alanları

Fırçasız motorlar elektrikli taşıtlarda, hibrit taşıtlarda ve kişisel taşıyıcılarda sıklıkla tercih edilmektedir. Çoğu elektrikli bisiklet tipinde tekerlek göbeğinin içine yerleştirilmiş bu motor tipi, stator aksa sağlam bir şekilde sabitlenmiş ve dış kasaya sabit mıknatıslar motorun dış kasası ile birlikte tekerleği döndürmektedir. Çoğu elektrikle çalışan RC modellerinde, yüksek verimliliklerinden dolayı fırçasız motorlar kullanılır.

3.3.9. Akülü El Aletlerinde Kullanımı

Fırçasız motorlar, bazı tel kesme makineleri, yaprak üfleyiciler, testereleler (dairesele veya pistonlu) ve matkaplar dahil olmak üzere birçok modern akülü alette bulunur. Fırçasız motorların, fırçalı motorlar üzerine getirdiği avantajlar (düşük ağırlık ve yüksek verim) AC güç kaynağından beslenen ve her zaman prize takılması gerken hantal ve her alanda kullanım imkanı bulunmayan ancak şebeke elektriği ile beslendiği için güçlü olan olan el aletlerinin aynı gücü koruyarak taşınabilir olarak üretilmesine ve kullanılmasını mümkün kılmıştır.

3.3.10. Isıtma ve Havanladırma Alanında Kullanımı

Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) ve soğutma endüstrisinde, çeşitli AC motorlar yerine fırçasız motorlar kullanılmaya başlanmıştır. Fırçasız bir motora geçiş yapmanın en önemli nedeni, tipik bir AC motoruna karşı fırçasız motoru çalıştırmak için gereken gücün daha az olmasıdır.

Sabit split kapasitör motorları bir zamanlar fan motoru olarak dünyada üstünlük kurmuşken birçok fan artık fırçasız bir motor kullanmaktadır. Bazı fanlar ayrıca genel sistem verimliliğini artırmak için fırçasız motorlar kullanır.

3.3.11. Sanayi Alanında Kullanımı

Fırçasız motorun yüksek verimliliğine ek olarak, HVAC sistemleri (özellikle değişken hız ve/ veya yük modülasyonuna sahip olanlar) fırçasız motorları kullanır. Dahili mikroişlemci programlanabilirliği hava akımı ve seri haberleşme kontrolüne olanak sağlar. Bazı tavan fanları ve taşınabilir fanlar da bu motora sahiptir. Motorun yüksek enerji verimli ve çoğu fandan daha sessiz olması bu tercihe sebebiyet vermektedir.

3.3.12. Hareket kontrol sistemleri Alanında Kullanımı

Fırçasız motorlar, ayarlanabilir veya değişken hızlı uygulamalarda yüksek hız tepkisi ile yüksek tork geliştirebileceklerinden pompa, fan ve mil tahriki alanlarında yaygın olarak kullanılır. Ek olarak, uzaktan kumanda için kolayca otomatikleştirilebilirler. Yapıları gereği, yüksek termal özelliklere ve yüksek enerji verimliliğine sahiptirler. [13] Değişken bir hız tepkisi elde etmek için, fırçasız motorlar bir elektronik motor sürücüsü ve bir rotor pozisyon geri besleme sensörü içeren bir elektromekanik sistem ile beraber çalışır. [14]

Fırçasız DC motorlar, takım tezgahı servo sürücüleri ile çalışabildiğinden bu alandaki servoların yerine çalıştırılabilmektedir. Servo motorlar mekanik yer değiştirme, konumlandırma veya hassas hareket kontrolü için kullanılır. DC step motorları servo motor olarak da kullanılabilir. Bununla birlikte, açık döngü sürücüleri ile çalıştıkları için genellikle torktan kaynaklı titreşimleri belirgin ederler. [15] Fırçasız DC motorlar, servo motorların yerine kullanım için daha uygundur. Çünkü hassas hareketleri, sık sık pozisyon belirleyen ve kararlı çalışma sağlayan kapalı bir döngü sürücü sistemiyle mümkündür.

3.3.13. Konumlandırma ve Hareketlendirme Sistemlerinde Kullanım

Fırçasız motorlar endüstriyel konumlandırma ve çalıştırma uygulamalarında kullanılır. [16] Montaj robotları için, [17] fırçasız step veya servo motorlar montaj için bir parçayı kaynak veya boya gibi bir imalat işlemi için bir aleti konumlandırmak için kullanılır. [18]

Doğrudan doğrusal hareket üreten motorlara doğrusal motorlar denir. Lineer motorların avantajı, döner motorlar için gerekli olacak olan bilyalı vidalar, vidalı miller, kremayer ve pinyon, kam, dişliler veya kayışlar gibi bir iletim sistemine ihtiyaç duymadan doğrusal hareket üretebilmeleridir. İletim sistemlerinin daha az duyarlılık ve daha az doğruluk sağladığı bilinmektedir. Doğrudan tahrikli, fırçasız DC lineer motorlar, manyetik dişleri olan oluklu bir stator, sabit mıknatıslar ve bobin sargıları olan hareketli bir aktüatörden oluşur. Doğrusal hareket elde etmek için bir motor sürücü, aktüatördeki bobin sargılarını harekete geçirerek manyetik alanların doğrusal harekete neden olan bir etkileşimine neden

olur. [19] Borulu lineer motorlar, benzer şekilde çalıştırılan bir başka lineer motor tasarım şeklidir.

3.3.14. Havacılık Modelciliği Alanında Kullanımı

Fırçasız motorlar, helikopterleri ve uçakları kapsayan havacılık modelleri için popüler bir motor seçeneği haline gelmiştir. Elverişli güç-ağırlık oranları ve 5 gramdan 5 kg'a kadar olan geniş ürün yelpazesi ve hacmine oranla verdiği güç oranı ile neredeyse tüm fırçalı elektrikli motorların yerini alan fırçasız motorlar model uçuş pazarında devrim yaptı. Düşük güçle çalışan, ucuz ve genellikle oyuncak sınıfına sahip uçaklar için Daha büyük ve daha ağır modellere güç veren önceki içten yanmalı motorlardan ziyade basit, hafif elektrikli model uçakların büyümesini teşvik ettiler. Düşük güçle ucuz, genellikle oyuncak sınıfı uçaklar hariç neredeyse tüm model sektörüne fırçasız elektrik motorlar hakim olmuştur. Ayrıca piyasa şartları ve gereksinimleri daha büyük ve daha ağır modellere güç veren içten yanmalı motorlardan ziyade basit ve hafif elektrikli model uçakların büyümesini teşvik ettiler. Modern pillerin ve fırçasız motorların artan güç/ağırlık oranı, modellerin kademeli olarak tırmanmak yerine dikey olarak yükselmesini sağladı. Küçük içten yanmalı motorlara kıyasla düşük gürültü ve hafifliği popülerliklerinin bir başka nedenidir.

Bazı ülkelerde yanmalı motorlu model uçakların kullanımına ilişkin yasal kısıtlamalar, en çok gürültü kirliliği potansiyeli nedeniyle hobicilerin içten yanmalı motorlardan fırçalı motorlara geçiş yapmasında en büyük etkenlerden biri olmuştur.

3.3.15. Radyo Kontrollü Araçlarda Kullanım

Fırçasız motorların popülerliği, radyo kontrollü (RC) otomobil alanında da arttı. Fırçasız motorlar, 2006'dan bu yana Kuzey Amerika RC otomobil yarışlarında (ROAR) yasaldı. Bu motorlar, RC yarışlarına uygun dişli ve yüksek deşarjlı Li-Po (lityum polimer) veya LiFePO₄ pillerle eşleştirildiğinde büyük miktarda güç sağlar. Bu arabalar saatte 160 kilometreden fazla hıza ulaşabilmektedir.

Fırçasız motorlar daha fazla tork üretme yeteneğine sahiptir ve nitro veya benzinle çalışan motorlara kıyasla daha yüksek devirlere çıkabilmektedir. Nitro motorları yaklaşık 46.800 dev/dak ve 2.2 kW'da (~ 2.95 hp) azami güce ulaşırken, daha küçük bir fırçasız motor 50.000 dev/dak ve 3.7 kW'a (~ 5 hp) güce ulaşabilir. Daha büyük fırçasız RC motorları, 1/5 ölçekli modellere güç sağlamak için 10 kW (~ 13,4 hp) güç ve 28,000 dev/' ya kadar erişebilir.



Resim 3.13: Farklı sarım ve mil uzunluğuna sahip iki outrunner motor örneği

3.4. Lityum Polimer Bataryalar

Lityum polimer batarya veya daha doğru bir şekilde lityum-iyon polimer batarya (LiPo, LIP, Li-poly, lithium-poly ve diğeri olarak kısaltılır) sıvı bir elektrolit yerine polimer elektrolit kullanan, yeniden şarj edilebilen lityum-iyon teknolojisi içeren batarya çeşididir. Yüksek iletkenlikli yarı katı (jel) polimerler bu elektroliti oluşturur. Bu piller, diğeri lityum pil türlerine göre daha yüksek enerji yoğunluğu sağlar ve mobil cihazlar ve radyo kontrollü uçaklar gibi ağırlığın kritik bir özellik olduğu uygulamalarda kullanılır. [20]

LiPo hücreleri, 1980'lerde üzerinde kapsamlı araştırmalar yapılan lityum-iyon ve lityum-metal hücrelerin tarihini takip ederek, 1991 yılında ilk ticari silindirik Li-iyon hücresinin icad edilmesiyle önemli bir dönüm noktasına ulaşmıştır. Bundan sonra artık "LiPo" olarak da adlandırılan prizmatik form ve ayrıca birtakım sardırma, paketleme formları gelişmiştir.



Resim 3.14: 3 hücreli Li-Po batarya örneği

Li-Po hücreleri, Li-Ion ve lityum-metal bataryalardan evrimleşmiştir. Temel fark, organik çözücüde (EC / DMC / DEC vb.) bulundurulmuş bir sıvı lityum-tuz elektroliti (örneğin LiPF₆) kullanılması yerine pilin poli (etilen oksit vb. katı bir polimer elektrolit (SPE) kullanmasıdır.

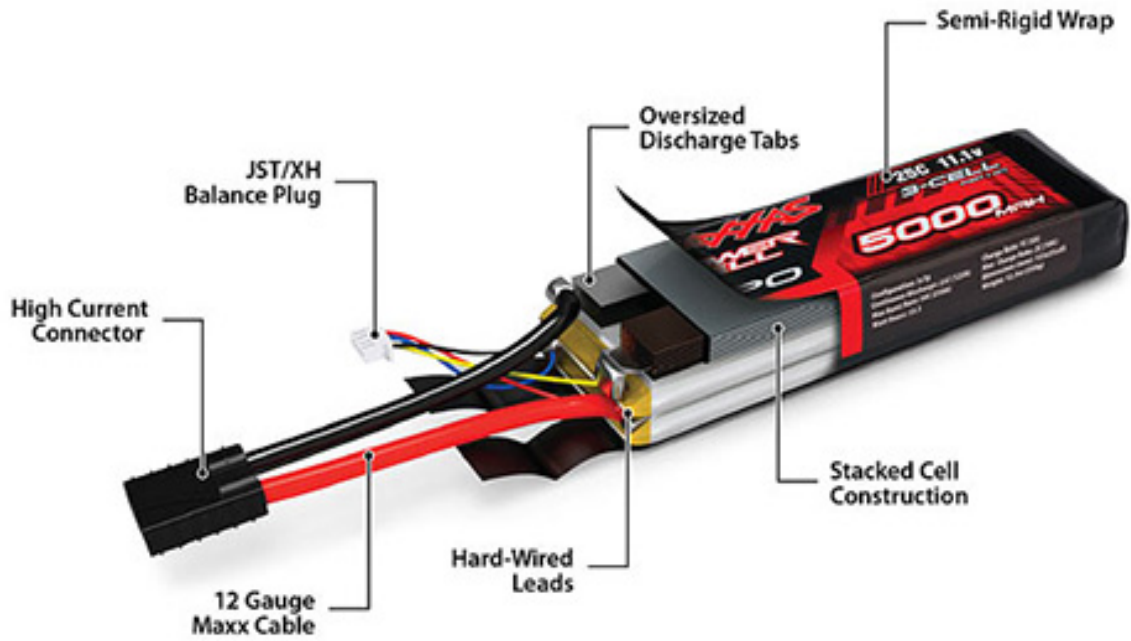
Katı elektrolitler temel olarak üç tipten birisi olarak sınıflandırılabilir. Kuru SPE, jelleşmiş SPE ve gözenek barındıran SPE. Kuru durumdaki SPE prototip pillerde ilk kez 1978'de Michel Armand, [21] [22] Fransa'dan 1985'te ANVAR ve Elf Aquitaine ve Kanada'dan Hydro Quebec tarafından kullanıldı. 1990'dan itibaren Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Mead ve Valence ve Japonya'daki GS Yuasa gibi kuruluşlar, jelleşmiş SPE'leri kullanan piller geliştirdi. [23] 1996'da Amerika Birleşik Devletleri'nden Bellcore, gözenekli SPE kullanarak yeniden şarj edilebilen lityum polimer bir hücre açıkladı. [23]

Alışılacak bilinen bir hücrenin dört temel bileşeni vardır. Bunlar pozitif elektrotlar, negatif elektrotlar, ayırıcılar ve elektrolitler. Ayırıcıların kendisi bir polimer olabilir, örneğin bir polietilen (PE) veya polipropilen (PP) mikro gözenek yapısındaki filmi, hücre sıvı bir elektrolit olsa dahi yine de bir "polimer" bileşeni içerecektir.

Buna ilave olarak, pozitif elektrotlar üç temel kısma ayrılabilir. Lityum metal oksidi (LiCoO₂ veya LiMn₂O₄ vb.), iletken katkı maddeleri ve bir polimer bağlayıcı (viniliden florür) [24] [25]. Negatif elektrot materyali, sadece lityum-metal oksiti karbon ile değiştirerek aynı üç parçaya sahip olabilir[24] [25]

3.4.2. Çalışma Prensibi

Tıpkı diğer lityum-iyon hücrelerinde olduğu gibi, Li-Po piller iletken bir ortam sağlayan sıvı elektrolit ile pozitif bir elektrot materyali ve negatif bir elektrot materyali ile lityum iyonlarının araya girmesi ve ayrılması ilkesi üzerine çalışır. Elektrotların birbirine doğrudan temas etmesini önlemek için, elektrot parçacıklarının bir taraftan diğerine geçmesine izin vermeyen yalnızca iyonlara izin veren mikro gözenekli bir ayırıcı vardır.



Resim 3.15: Lityum Polimer Bataryaya ait patlatılmış resim

3.4.3. Şarj Yöntemi

Bir LiPo hücresinin voltajı kimyasına bağlıdır. Lityum-metal oksitleri (LiCoO₂ gibi) yaklaşık 2.7V–3.0V (deşarj edilmiş durumda) ile 4.2V (tam dolu iken) arasında hücreleri şarj olur. Lityum-demir-fosfat (LiFePO₄) bazlı hücreler ise yaklaşık 1.8V-2.0V (deşarj edilmiş durumda) ile 3.6V-3.8V (tam şarjlı) arasında şarj edilir.

Kesin voltaj değerlerini belirlemek için ürünün teknik dökümanlarını incelemek gerekir. Hücrelerin kullanım sırasında sınırı aşacak şekilde şarj olmalarına veya aşırıdeşarj olmalarına engel olacak bir elektronik devre ile korunmaları gerekmektedir.

Seri bağlı hücelere sahip LiPo pil paketleri için özel olarak üretilmiş bir şarj cihazı hücre başına şarjı denetleyebilir. Böylece tüm hücrelerin aynı şarj duruma (SOC) getirilmesi sağlanır.



Resim 3.16: Li-Po bataryayı şarj etme esnasına ait resim

3.4.4. Li-Po Hücrelerine Baskı Uygulanması

Sert bir metal kasaya sahip olan lityum-iyon silindirik ve prizmatik hücrelerin aksine, LiPo hücreleri esnek folyo tipi (polimer laminat) bir kasaya sahiptir. Bu nedenle nispeten esnektir.

Li-Po pillerin hafif olması, radyo kontrollü uçaklarda olduğu gibi minimum ağırlık gerektirdiğinde büyük bir avantajdır. Bununla birlikte, hücreyi oluşturan tabaka yığını üzerine hafif bir baskının, kapasitenin tutulmasının artmasıyla sonuçlandığı gözlemlenmiştir. Çünkü bileşenler arasındaki temas maksimize edilir ve hücre empedansı ve degradasyonunun artması ile ilişkili olan delaminasyon ve deformasyon önlenir. [26] [27]

3.4.4. Uygulamalar

LiPo hücreleri, üreticilere cazip avantajlar sağlar. İstenilen herhangi bir şekilde kolayca pil üretebilirler. Örneğin, mobil cihazların ve laptop bilgisayarların alan ve kütle gereksinimleri tamamen karşılanabilir. Ayrıca ayda yaklaşık % 5 oranda düşük kendiliğinden deşarj oranına sahiptir.

3.4.5. Radyo Kontrollü Araçlarda Kullanım

Li-Po bataryalar, radyo kontrollü uçaklarda, radyo kontrollü arabalarda ve küçültülmüş ölçekli model trenlere güç sağlamak için kullanıldığından modelcilik alanında neredeyse her yerde bulunur. Düşük ağırlık ve arttırılmış kapasite ve güç dağıtımının avantajları fiyatını hak etmesine sebebiyet vermiştir. Test raporları, piller talimatlara uygun şekilde kullanılmadığında yangın riski taşıdığı konusunda uyarır. [27]

2016 yılının ortalarından itibaren, 95C sürekli deşarj ve kısa süreli 190C deşarj kapasitesine sahip 1.3Ah kapasitedeki piller piyasaya çıkmaya başlamıştır. 2017 yılının Mart ayında Li-Po bataryalar, bazı R/C araçlarına ve helikopterlerine veya uçaklara güç vermek için, en fazla 6400mAh kapasiteye kadar maksimum 4.2V hücre gerilimine ulaşan

çeşitli konfigürasyonlarda sınırlandırılmıştır. Bazı test raporları, bataryaların talimatlara uygun şekilde kullanılmadığı durumlarda yangın riski konusunda uyarılmaktadır.

LiPo paketleri aynı zamanda airsoft'ta yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Daha yüksek deşarj akımları ve daha geleneksel NiMH pillere kıyasla daha iyi enerji yoğunluğu, dikkate değer bir performans kazancı sunmaktadır. Yüksek deşarj akımları ark nedeniyle (kontakların okside olmasına ve çoğunlukla karbon biriktirilmesine neden olur) anahtar uçlarına zarar verir, bu nedenden ötürü katı hal MOSFET anahtarını kullanılması veya tetik kontaklarını düzenli aralıklarla temizlenmesi tavsiye edilir.

3.4.6. Kişisel Elektronik Alanında Kullanım

LiPo piller mobil cihazlarda, taşınabilir şarj cihazlarında, ince dizüstü bilgisayarlarda, taşınabilir ortam yürütücülerinde, video oyun konsollarında, kablosuz kontrol cihazlarında, kablosuz PC çevre birimlerinde, elektronik sigaralarda, küçük form faktörlerinin arandığı ve yüksek enerji yoğunluğunun istendiği diğer uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

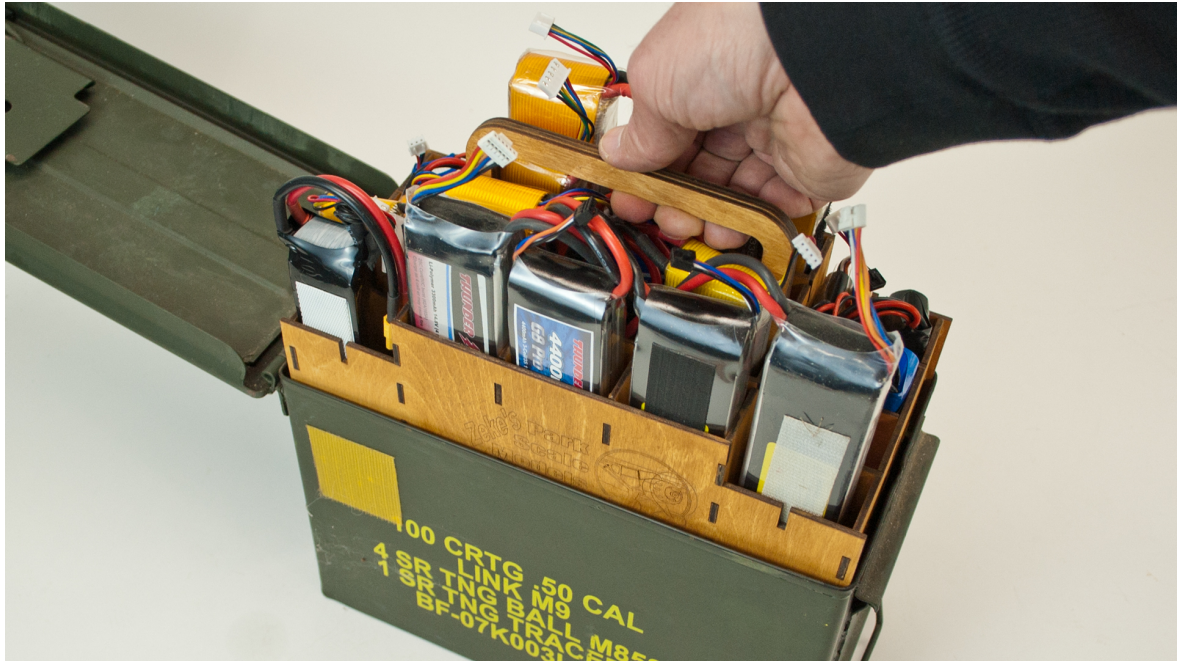
3.4.7. Elektrikli Araçlarda Kullanımı

Akülü elektrikli taşıtlara güç sağlamak için kese biçimindeki lityum iyon hücrelerin araştırmaları devam etmektedir. Bir aracı sürmek için gerekli güç ve enerji seviyesini elde etmek için çok sayıda küçük kapasiteli hücrelerin kullanılması mümkün olsa da, bazı üreticiler ve araştırma merkezleri bu amaç için 50 Ah'i aşan büyük formatlı lityum iyon hücrelerin üretilmesi için çalışmaktadır. Hücre başına daha yüksek enerji içeriğine ve kapasiteye sahip hücrelerin kullanılması elektronik devre kurma açısından birçok komponentin sayısını ve işçilik maliyetlerini azaltacak olsa da bu kadar yüksek kapasiteye sahip bireysel hücreler daha büyük tehlikelerin yaşanmasına sebep olabilir.

3.4.8. Güvenlik

LiPo hücreleri, diğer lityum-iyon hücrelerle aynı problemlerden etkilenir. Bunlar, aşırı şarj, aşırı deşarj, aşırı sıcaklık, kısa devre, ezilme gibi nedenler elektrolit sızıntısı ve yangın gibi felaketle sonuçlanabilecek bir hasara yol açabilir.

Tüm Li-iyon hücreleri, elektrolitin hafif buharlaşmasından dolayı yüksek şarj durumunda (SOC) veya aşırı deşarjda genişler. Bu delaminasyona ve dolayısıyla hücrenin iç katmanlarının temasıyla sonuçlanabilir bu da hücrenin kararlılığını ve genel döngü ömrünü azaltır. Bu durum Li-Po piller için çok dikkat çekici bir durumdur. Hücrelerin esnek kese formda olması dışında sert bir koruyucu bir kap olsa dahi genişlemeye devam etmesini sağlar.



Resim 3.17: Li-Po pilleri bir arada güvenli bir şekilde saklamak için yapılmış kutu örneği

Katı polimer elektrolit içeren hücreler tam olarak ticarileştirilmemiştir ve halen bir araştırma konusudur. Bu tip prototip hücrelerin, geleneksel bir lityum-iyon batarya (sıvı elektrolitli) ve tamamen plastik bir katı durumlu lityum iyon pil arasında olduğu düşünülebilir.

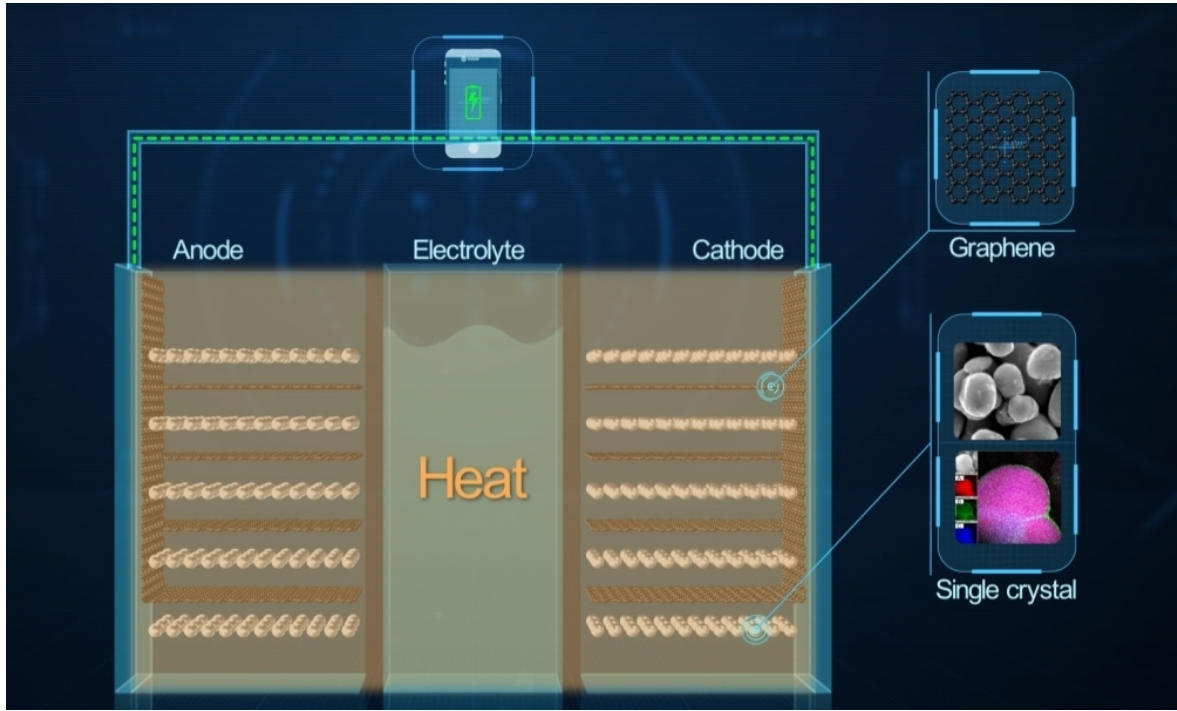
Nishi, Sony'nin 1988'de sıvı elektrolit lityum-iyon hücrenin 1991'de ticarileştirilmesinden önce, 1988'de jelleşmiş polimer elektrolitlerle (GPE) lityum iyon hücreler üzerinde araştırma yapmaya başlanıldığını belirtti. O zamanlarda polimer piller ümit vericiydi ve polimer elektrolitlerinin vazgeçilmez olacağı öngörülüyordu. Sonunda bu tür bir hücre 1998 yılında piyasaya girdi. Bununla birlikte Scrosati, en katı şekilde jelleşmiş zarlardan "gerçek" polimer elektrolitler olarak sınıflandırılmayacağını, daha ziyade sıvı fazların polimer matrisi içinde bulunduğu hibrit sistemler olarak sınıflandırılabilceğini savundu. Her ne kadar bu polimer elektrolitler kuru olabilse de yine de % 30 ila % 50 sıvı çözücü içerebilirler. Bu bağlamda bir "polimer pil" in gerçekte ne şekilde tanımlanacağı açık bir sorudur.

Bu sistem için literatürde kullanılan diğer terimler arasında "hibrit" polimer matrisi, sıvı çözücü ve tuzun kombinasyonunu ifade eden hibrit polimer elektroliti (HPE) vardır. Bellcore'un 1996'da bir lityum-polimer hücresi geliştirmek için kullandığı, "plastik" lityum-iyon hücresi (PLION) olarak adlandırılan ve daha sonra 1999'da ticarileştirilen yapı böyle bir sistemden oluşmaktaydı.

3.4.10. Silisyum Grafen Katkı Maddesi İle Yüksek Voltaj Hücreleri

Yeni Li-ion pil hücresi teknolojisi, boşaltma sırasında pozitif terminali korumaya yardımcı olan ve böylece hücre ömrünü ve döngü ömrünü artıran bir silikon-grafen katkı maddesini de beraberinde getirmiştir.

Çalışmalar, bir Li-iyon hücresinin zayıf kapasite tutma ve azalan ömrünün, özellikle pozitif terminalin korozyonu nedeniyle 4.2V üzerinde yüklendiğinde üssel olarak arttığını göstermiştir. Silikon-grafen katkı maddesi, 4.35V veya daha yüksek voltajlara kadar yüklendiğinde pozitif terminalin korozyonunu azaltmaya yardımcı olur.



Resim 3.18: Grafen katkılı Lityum pillerin çalışma mantığını gösteren animasyon resim

3.5. 3 Boyutlu Yazıcı ve 3B Baskı

3B baskı terimi, üç boyutlu bir nesne oluşturmak için malzemenin bilgisayar ortamında çizilmesi ve ardından bu çizim bilgilerinin 3B yazıcıya gönderilmesinin ardından makinede birleştirildiği ya da katılaştırıldığı çeşitli işlemleri kapsar. Makineye malzeme eklendiğinde (örneğin sıvı moleküller, toz tanecikler veya katı filamentler) tipik olarak tabaka tabaka makine bu malzemeyi çeşitli yöntemlerle tabaka tabaka işler. 1990'larda 3B baskı teknikleri sadece fonksiyonel veya estetik prototiplerin üretimi için uygun olarak kabul edilirdi asıl amacı hızlı prototipleme idi. Günümüzde hassasiyet, tekrarlanabilirlik ve malzeme yelpazesi, bazı 3D baskı işlemlerinin endüstriyel üretim teknolojisi olarak kabul edilebilir olduğunu göstermiştir. 3B baskının en önemli avantajlarından biri çok karmaşık şekiller veya geometriler üretme yeteneğidir. 3B makinede yazdırılan herhangi bir parçanın üretilmesi için bir ön koşul yoktur. Dijital 3B model veya bir CAD dosyası yeterlidir.

En yaygın kullanılan 3D Baskı işlemi, kaynaşık biriktirme modellemesi (FDM) olarak adlandırılan bir malzeme ekstrüzyon tekniğidir. Metal Baskı yatağı füzyonu, son zamanlarda 3B baskı endüstrisindeki metal parçaların muazzam uygulamaları sayesinde öne çıkmaktadır. 3B Baskı'da, üç boyutlu bir nesne, bilgisayar destekli bir tasarım (CAD) modelinden, genellikle malzemenin bir stok kaleminden veya dökümden çıkarıldığı geleneksel işleminden farklı olarak art arda katman ekleyerek yapılır ve talaşsız bir üretim uygulanmış olur.

"3B yazdırma" terimi, başlangıçta mürekkep püskürtmeli yazıcı kafaları ile tabaka halinde bir bağlayıcı malzemeyi bir yatak üzerinde toz biriktiren bir işlemi ifade etmekteydi. Amerika Birleşik Devletleri ve küresel teknik standartlar, bu geniş anlam için resmi terimi kullanmaktadır.



Resim 3.19: İki farklı marka ve model 3 boyutlu yazıcıya ait resim

3.5.1. Modelleme

3B yazdırılabilir modeller bilgisayar destekli tasarım (CAD) programı ile, 3B tarayıcıyla veya düz dijital kamera ve fotogrametri yazılımıyla oluşturulabilir. CAD ile oluşturulan 3B yazdırılabilir modeller hataların azalmasına neden olur ve yazdırılmadan önce düzeltilir. Böylece yazdırılmadan önce nesnenin tasarımında doğrulama yapılabilir. 3B bilgisayar grafikleri için geometrik veri hazırlama manuel modelleme işlemi, heykel gibi plastik sanatlara benzer. 3B tarama, gerçek bir nesnenin şekli ve görünümüyle ilgili dijital veri toplama, buna dayalı bir dijital model oluşturma işlemidir.

CAD modelleri, CAD modellerin yüzeyindeki üçgenlemelere dayanan verileri depolayan ilave üretim için fiili bir CAD dosyası formatı olan stereolitografi dosya formatında (STL) kaydedilir. STL formatı ilave üretim için tasarlanmamıştır çünkü çok sayıda yüzey topolojisi nedeniyle topoloji için optimize edilmiş büyük parçalar ve kafes yapıları oluşturur. Daha yeni bir CAD dosya formatı olan Additive Manufacturing File format (AMF) bu sorunu çözmek için 2011'de tanıtıldı. Bu format kavisli üçgenleme kullanarak bilgi depolar.

3.5.2. Yazdırma İşlemi

Bir STL dosyasından bir 3D model yazdırmadan önce, öncelikle hatalar incelenmelidir. Çoğu CAD uygulaması aşağıdaki gibi STL dosyalarında hatalar üretebilir.

- holes
- faces normals
- self-intersections
- noise shells
- manifold errors

"Onarım" olarak bilinen STL oluşumundaki bir adım, orijinal modeldeki bu sorunları düzeltir. Genellikle 3B tarama ile elde edilen bir modelden üretilen STL'ler genellikle bu hataların çoğuna sahiptir. Bu, 3B taramanın çalıştığı genellikle noktadan noktaya bir kazanımla olduğu için, 3B rekonstrüksiyon çoğu durumda bu hataları içerecektir.

Bir kez tamamlandığında, STL dosyasının "dilimleyici" adı verilen ve modeli bir dizi ince katmana dönüştüren ve belirli bir 3B yazıcıya (FDM) göre uyarlanmış talimatları içeren bir G kodu dosyası üreten bir yazılım tarafından işlenmesi gerekir. Bu G kodu dosyası daha sonra 3D baskı yazılımıyla (G kodunu yükleyen ve 3D yazıcıyı 3D baskı işlemi sırasında yönlendirmek için kullanır) yazdırılabilir.

Yazıcı çözünürlüğü, katman kalınlığı ve X – Y çözünürlüğünü nokta/inç (dpi) veya mikrometre (μm) cinsinden ifade eder. Tipik katman kalınlığı 100 μm (250 DPI) civarındadır, ancak bazı makineler 16 μm (1.600 DPI) kadar ince katmanları basabilmektedir. X – Y çözünürlüğü, lazer yazıcılar ile karşılaştırılabilir. Parçacıklar (3B noktalar) yaklaşık 50 ila 100 μm (510 ila 250 DPI) çapındadır. Bu yazıcı çözünürlüğü için 0,01-0,03 mm ağ çözünürlüğü ve rd 0,016 mm'lik bir akor uzunluğu belirlemek optimum bir STL üretir. Daha yüksek çözünürlük belirlemek, baskı kalitesinde artış olmadan daha büyük dosyaların üretilmesine neden olur.

Çağdaş yöntemlerle bir modelin oluşturulması, kullanılan yöntem, modelin boyutuna ve karmaşıklığına bağlı olarak birkaç saat ila birkaç gün arasında sürebilir. Eklemeli sistemler bu zamanı birkaç saate indirebilir, ancak kullanılan makinenin türüne ve aynı anda üretilen modellerin boyutuna ve sayısına bağlı olarak değişebilir.

Enjeksiyonla kalıplama gibi geleneksel teknikler, polimer ürünlerinin seri adette üretilmesi için daha ucuz olabilir, ancak ilave imalatlar için nispeten az miktarda parça üretilirken daha hızlı, daha esnek ve daha düşük maliyetli olabilir. 3D yazıcılar tasarımcılara ve konsept geliştirme ekiplerine bir masaüstü boyutlu yazıcı kullanarak parça ve konsept modelleri üretme yeteneği verir.

3.5.3. Tamamlama Aşaması

Yazıcı tarafından üretilen çözünürlük birçok uygulama için yeterli olsa da, istenen nesnenin biraz büyük boyutlu bir versiyonunun standart çözünürlükte basılması ve ardından daha yüksek çözünürlüklü bir çıkarma işlemi kullanarak malzemenin çıkarılmasıyla daha fazla hassasiyet elde edilebilir.

Tüm Katmanlı İmalat işlemlerinin katmanlı yapısı, kaçınılmaz olarak baskı platformuna göre eğimli veya eğimli olan parça yüzeyleri üzerinde zorlanma-adım etkisine yol açar. Etkiler, inşaat süreci içinde kısmen bir yüzeyin oryantasyonuna bağlıdır.

ABS gibi bazı basılabilir polimerler, aseton veya benzer çözücülere dayalı kimyasal buhar işlemleri kullanılarak yüzey yüzeyinin pürüzsüzleştirilmesine ve iyileştirilmesine izin verir.

Bazı katkı maddesi imalat teknikleri, parça yapımı sırasında birden fazla malzeme kullanabilmektedir. Bu teknikler aynı anda birden fazla renk kombinasyonunda basabilir ve ayrı bir boyama işlemi gerektirmemektedir.

Bazı baskı teknikleri, baskı sırasında sarkmaları ve eğilmeleri önlemek için dahili desteklerin oluşturulmasını gerektirir. Bu destekler, baskı tamamlandığında mekanik olarak çıkarılmalı veya çözülmelidir.

Bütün ticari metal 3B yazıcılar, metal bileşenin metal alt tabakadan kesilmesini esas alır. GMAW 3D baskı için yeni bir işlem, alt tabaka yüzey modifikasyonlarının alüminyum veya çeliği çıkarmasına izin vermektedir.

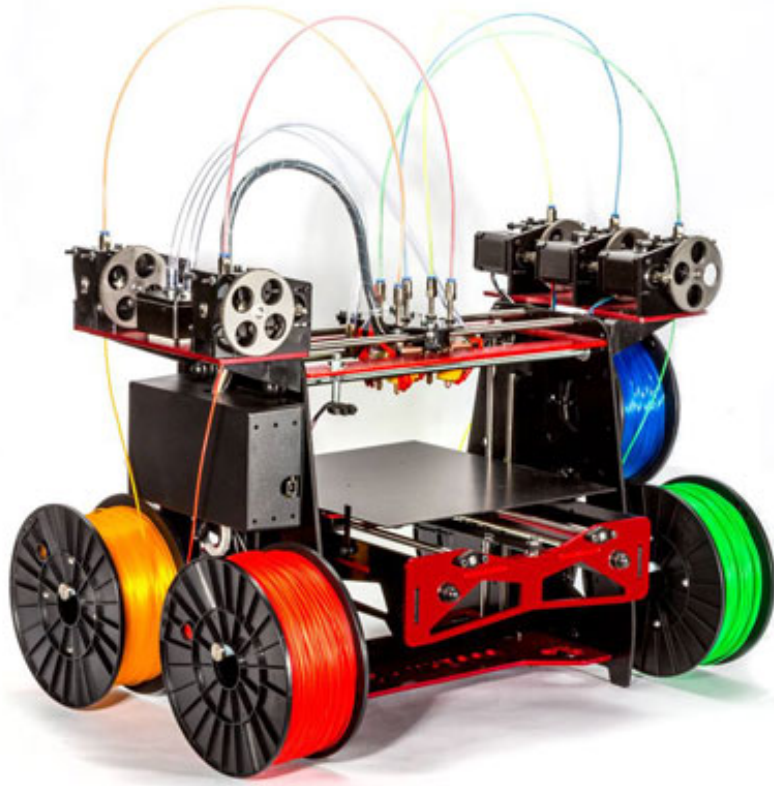
3.5.4. Çoklu Malzeme İle Basma Teknikleri

Çok malzemeli baskı, nesnelerin karmaşık ve heterojen malzeme düzenlemelerinden oluşmasına izin verir. Nesne hacmindeki her voksel için doğrudan belirtilen bir malzemenin bulunmasını gerektirir. İzole ve monolitik algoritmalar nedeniyle, süreç zorluklarla doludur. Spec2Fab tercümanı oluşturmak gibi bu sorunları çözenin birçok farklı yolu vardır. Veya 3B Baskıda Esnekliği Kontrol Etmek İçin Mikro Yapıları Kullanın. Çok malzemeli bir 3d resmin nasıl yazdırılacağına dair bir çözüm de var: Çok Katmanlı, Özel Mürekkepli Baskı ile Derin Çok Gözlü Boyama Reprodüksiyonu.

Çok malzemeli 3B baskı, gelecekteki teknolojinin gelişimi için temel bir unsurdur. Değişken endüstrilere halihazırda uygulanmıştır. Küçük imalat sanayilerinde yaygın olarak kullanılan uygulamalardan başta oyuncaklar, ayakkabılar, mobilyalar, telefon kılıfları, aletler ve hatta sanat eserleri üretmek vardır. BAAM (Büyük Alan Katkı Maddesi Üretimi) makinesiyle, 3B basılmış evler veya arabalar gibi büyük ürünler oldukça dikkat çekicidir. Aynı zamanda ileri teknoloji endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Araştırmacılar, havacılık uygulamaları için BAAM ile yüksek sıcaklıkta aletler üretmeye kendini adanmıştır.

Tıp endüstrisinde, son zamanlarda 3B baskılı hap ve aşı kavramı ortaya çıkmıştır. Bu yeni konsept ile birçok ilaç bir araya getirilebilecek ve bu da birçok riski azaltacaktır. Çok malzemeli 3B baskının gittikçe daha fazla uygulanmasıyla, günlük yaşamın maliyeti ve ileri teknoloji geliştirme maliyetleri ciddi bir şekilde azalacak.

Metalografik malzemeler ile 3B baskı konusu de güncel olarak araştırılmaktadır. Her materyali sınıflandırarak CIMP-3D sistematik çoklu baskı ile 3B baskı yapılması mümkündür.



Resim 3.20: Birden fazla filament ile baskı yapabilen 3B yazıcı



Resim 3.21: Birden fazla filament kullanılarak basılmış nihayi ürün

3.5.5. 3 Boyutlu Yazıcılar ve İşlemleri

Yedi kategoride toplanabilen birçok farklı 3B yazdırma işlemi vardır: Bunlar aşağıdaki gibidir:

- Vat photopolymerization
- Material jetting
- Binder jetting
- Powder bed fusion
- Material extrusion
- Directed energy deposition
- Sheet lamination

İşlemler arasındaki temel farklar, parçalar oluşturmak için kullanılan tabakalarda ve kullanılan malzemelerdedir. Her yöntemin kendi avantajları ve dezavantajları vardır. Bu nedenle bazı şirketler nesneyi oluşturmak için kullanılan malzeme için bir çeşit toz ve polimer seçeneği sunar. Diğer firmalar ise bazen dayanıklı bir prototip üretmek için yapı malzemesi olarak standart hazır iş kağıtlarını kullanırlar. Bir makine seçiminde göz önünde bulundurulması gereken başlıca hususlar genellikle hız, 3B yazıcının maliyeti, yazdırılan prototipin maliyeti, malzemelerin seçimi ve maliyeti ve renk yetenekleridir. Doğrudan metallerle çalışan yazıcılar genellikle pahalıdır. Bununla birlikte kalıp yapımında ucuz yazıcılar kullanılabilir. Bu daha sonra metal parçalar yapmak için kullanılır.

Bazı yöntemler katmanları üretmek için malzemeyi eritir veya yumuşatır. Kaynak biriktirme modellemesi (FDM) olarak da bilinen kaynak filament imalatında, model veya parça hemen tabakalar oluşturmak üzere sertleşen küçük boncuklar veya malzeme akışlarının ekstrüzyonu ile üretilir. Termoplastik metal tel veya başka bir malzeme filamanı, materyali ısıtan ve akışı açıp kapatan bir ekstrüzyon ağızlığı kafasından (3B yazıcı ekstruder) beslenir. FDM ile üretilebilecek şekillerin varyasyonunu bir şekilde sınırlandırılmıştır. Başka bir teknik, katmanın parçalarını birleştirir ve daha sonra çalışma alanında yukarı doğru hareket eder, başka bir granül katmanı ekler ve parça oluşana kadar işlemi tekrarlar. Bu işlem, üretilmekte olan parçadaki sarkmaları ve ince duvarları

desteklemek için kaynaşmamış ortamı kullanır, bu da parça için geçici yardımcı destek ihtiyacını azaltır. Son zamanlarda, FFF / FDM filamentle dönüşümü önlemek için doğrudan peletlerden 3-D baskıya geçildi. Bu işlem kaynaşmış parçacık üretimi (FPF) (veya kaynaşmış granüler imalat (FGF) olarak adlandırılır ve daha fazla geri dönüştürülmüş malzeme kullanma potansiyeline sahiptir.

3.5.6. Uygulamalar

Mevcut durumda, 3B baskının veya katkı İmalatının başarılı bir şekilde ticari teknoloji haline gelmesini sağlayan, 3B baskının veya Katkı İmalatının tıp, endüstri ve sosyokültürel sektörlerde kullanılmasıdır. Daha yakın zamanlarda sağlık sektöründe bir dizi tıbbi ürün, protez, yedek parça ve yedek parça üretmek için 3B baskı da kullanılmıştır. Örneğin hızlı prototipleme en eski katkı varyantlarından biriydi ve misyonu, daha önce sadece CNC freze ve tornalama gibi talaşlı üretim yöntemleriyle yapılan yeni prototiplerin geliştirme süresini ve maliyetini azaltmaktı. 2010 yılından itibaren katkı maddesi üretimi daha büyük ölçüde üretim alanına aktif olarak girmeye başlamıştır.



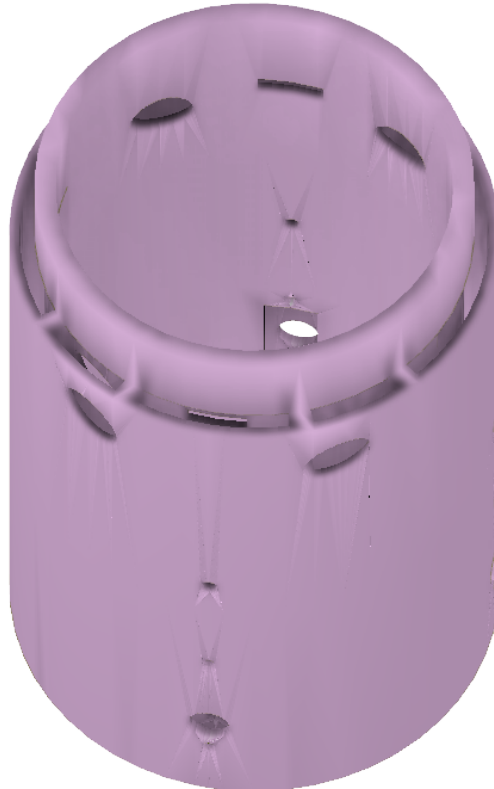
Resim 3.22: Sanayi alanında kullanılan 3B yazıcı örneği

4. Üretim Sürecine Ait Teknik Rapor

Elektrik Fan Motorlu Seyir Füzesi projesinin prototibi 3 boyutlu yazıcı ile üretilmiştir. Roket temel olarak 4 ana bloktan oluşacaktır. Bunlarla beraber 4 adet hareketli ve yönlendirici Fin (kanatçık) bağlanmıştır. Aşağıda temel parçalara ait detaylı bilgiler verilmiştir. Ayrıca detaylı olarak çizim aşamaları hakkında bilgi verimiştir.

4.1 Motor Bloğu

Motor bloğu 116mm dış ve 94mm iç çapa sahiptir. İç içe geçmiş 2 adet borudan oluşmaktadır. Bu bloğun amacı elektrikli fan motorunu ve arka finleri taşımaktır. İç içe geçmiş borular arasında 6mm boşluk bulunmaktadır. Bu boşluğun amacı kabloları buradan geçirip hava akımını mümkün olduğunca bozmadan daha güvenli bir şekilde orta bloğa aktarmaktır. Ayrıca motor bloğunun ön tarafında hava çekişini sağlayabilmek adına 4 adet açılı elips delikler konumlandırılmıştır. Motor bloğunun arka tarafında ise finlere güç verecek 4 adet servo yuvası bulunmaktadır. Son olarak motor bloğunun en ön kısmı, orta blok ile geçemeli bir yapıyı sağlayabilmek adına 5mm kalınlığında ve 20mm uzunluğunda dairesel bir yapıya sahiptir.



Şekil 4.24: Motor Bloğuna ait 3B çizim

4.2. Güç Bloğu

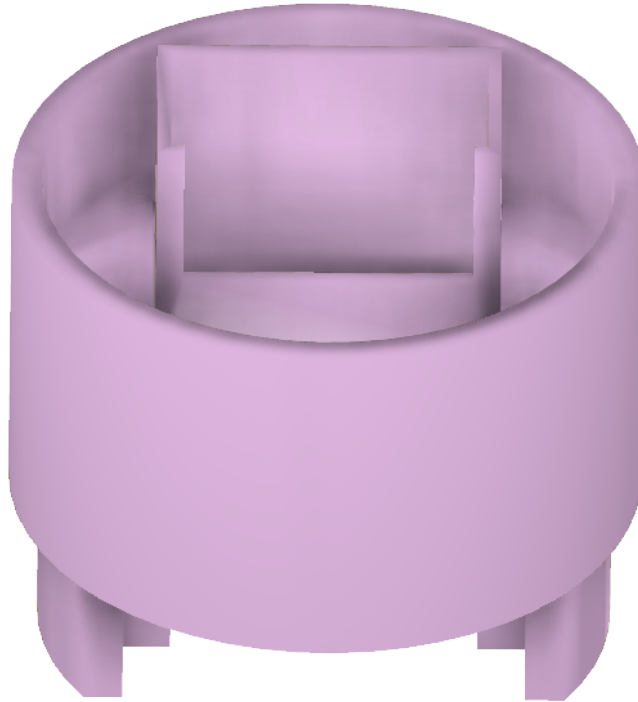
Güç bloğu 116mm dış çapa ve 3mm et kalınlığına sahiptir. Bu bloğun ana görevi hacimsel olarak roket içerisinde en büyük alanı kaplayan Lityum Bataryayı ve motor sürücüsünü barındırmaktır. Orta bloğun başında bulunan geçme sistemi motor bloğu ile uyumludur. Bu sayede iki blok birbirine sıkı geçme ile bağlanmakta ve vidalar ile sağlamlaştırılacaktır. Ayrıca arka kısmında bulunan delikler vasıtası ile bloklar arasında kablo geçişleri sağlanmış olacaktır. Son olarak orta kısımda finlere güç verecek 4 adet servo yuvası bulunmaktadır.



Şekil 4.25: Güç bloğuna ait 3B çizim

4.3. Kontrol Bloğu:

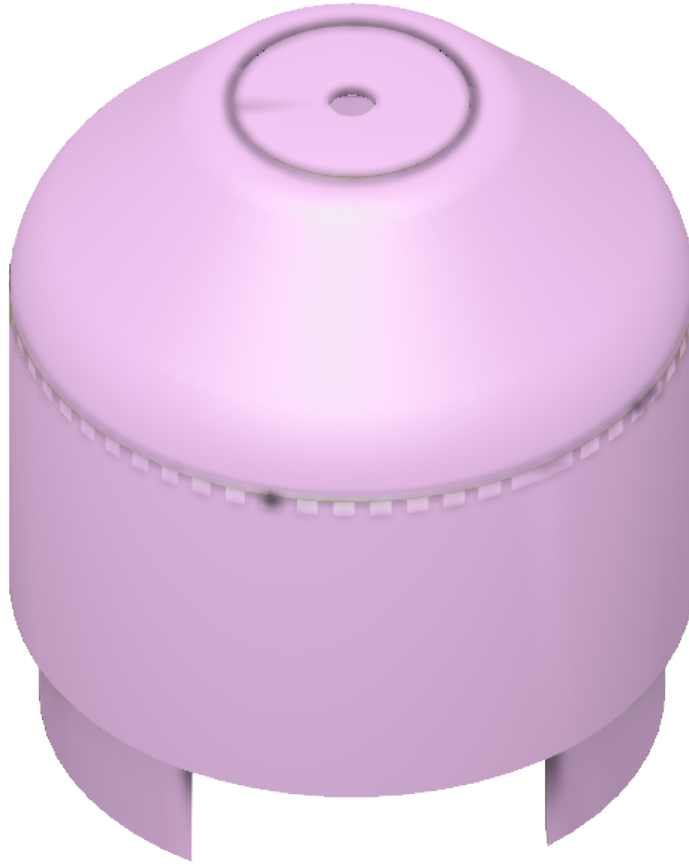
116mm dış çapa ve 3mm et kalınlığına sahiptir. Bu yapının ana görevi kritik elektronik parçaları ve tüm sistemi ayrı ayrı güvenli bir şekilde açıp kapatabilecek switchleri barındırmasıdır. Uçuş kontrolcüsü bu yapının içinde terazili bir şekilde sabitlenmiştir. Elektronik komponentleri ve g elektroniğini besleyen 2 farklı batarya için 2 farklı açma kapama switchi yuvası tasarlanmıştır. Bu anahtarlara erişebilmek için gerekli boşluklar bırakılmıştır. Bu yapı roketi oluşturan gövdeler arasında en kısa ve en hafif olanıdır. G kablolarının konumlandırılması için yeterli boşluk bırakılmıştır.



şekil 4.26: Kontrol bloğuna ait 3B

4.4 Faydalı Yük Bloğu

Ön blok konik bir yapıya sahiptir. Arka kısmı orta blok ile sıkı geçme olacak şekilde tasarlanmıştır. Arkadan öne sivrilen geometrik yapısı ile sürtünmeyi azaltarak hız ve menzili arttırmayı hedeflemiştir. İçi boş bir yapı olacak şekilde bırakılmıştır. Görev amacına göre bu boşluğa çeşitli yuva ve yataklar monte edilebilecektir. Bu sayede değişken faydalı yük entegre edilmesine olanak sağlanacaktır. Burunun kısmında küçük çapta bir delik bırakılmıştır. Bu deliğin amacı ana güç sistemini kontrol eden yüksek akım anahtarına bir alyan anahtar vasıtası ile ulaşılabilmesine olanak sağlamaktır. Alyan anahtarın dönüş yönüne bağlı olarak ana batarya sistemi aktif hale getirilebilmektedir. Bu sayede görev esnasında hızlı ve güvenli bir şekilde ayarlama yapılabilmektedir.



Şekil 4.27: Faydalı yük bloğuna ait 3B çizim

4.5. Finler (Kanatçıklar)

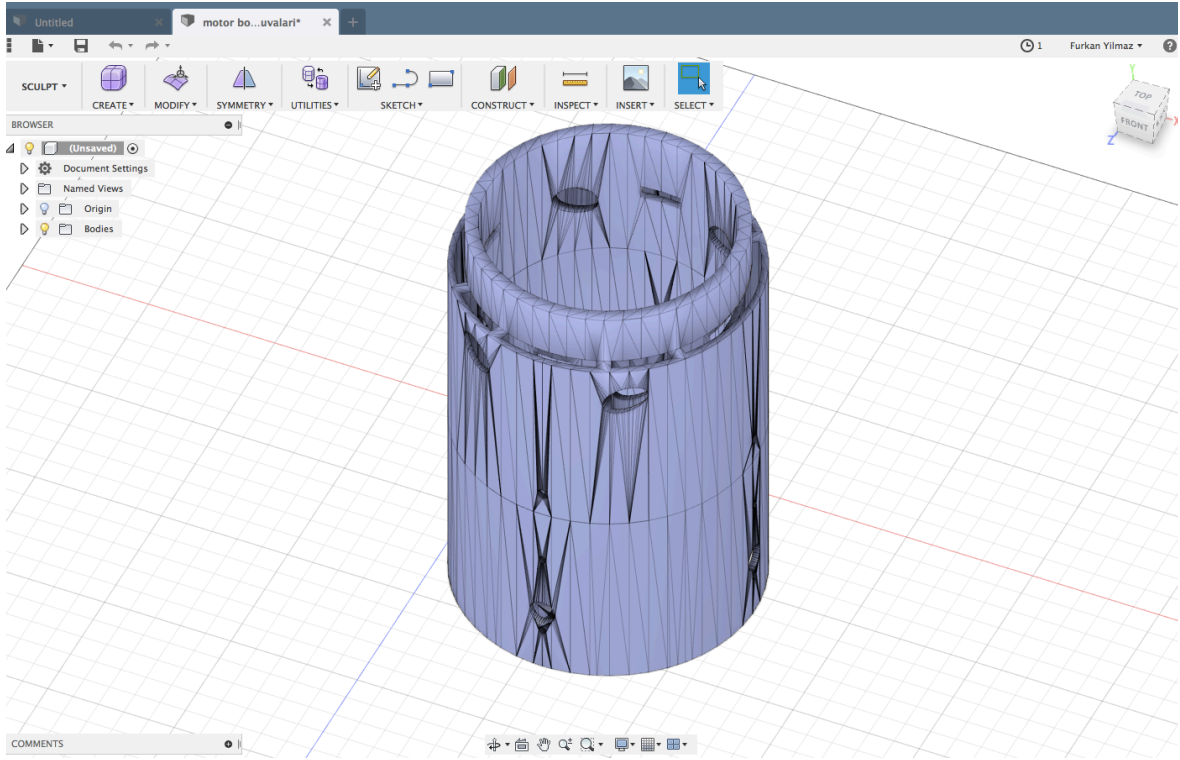
Roketler uçaklar gibi tam manasıyla uçmazlar. Uçaklardaki kanat yapısının temel amacı uçağı havaya kaldırmakken, roketlerde bu kanatlar daha küçüktür ve asıl amacı yön tayin etmektir. Ayrıca boyutu sebebiyle kanatçık olarak isimlendirilmektedir. Roketlerin dengeli ve düzgün bir uçuş sergileyebilmesi için kanatçıklarının bulunması zorunludur. Bu zorunluluk bir akışkan içerisinde yüksek hızda ilerleyen her cisim için geçerlidir. Bir cisimin bulunduğu ortamda ilerlerken karşıt kuvvetlere maruz kalmaktadır. Roketlerde de bulunan bu durumu inceleyen bilim dalı aerodinamik birimidir. Roketlerin çalışma prensibi çok eskiye dayanan okçuluk ile benzerlik göstermektedir. Aynı oklardaki tüyler gibi roketlerde de kanatçıklar vardır. Roketlerdeki kanatçık sistemi uçaklardaki gibi kaldırmak kuvvetini sağlamadığı gibi daha çok yörüngesinde kararlı ve düzgün yol alabilmesini sağlamaktır. Eğer roketlere kanatçıklar takılmaz ise rokete etki eden rüzgar, motor itkisi ve yer çekimi kuvvetleri birleşerek roket rampadan çıktığı anda takla atmasına sebep olacaktır. Bu durumun asıl sebebi roketin basınç merkezinin (CP) roketin ağırlık merkezinin (CG) önünde olmasıdır. İşte bahsedildiği gibi roketlerde bulunan kanatçıklar ağırlık merkezini basınç merkezinin arkasına yerleştirilmesini sağlar.



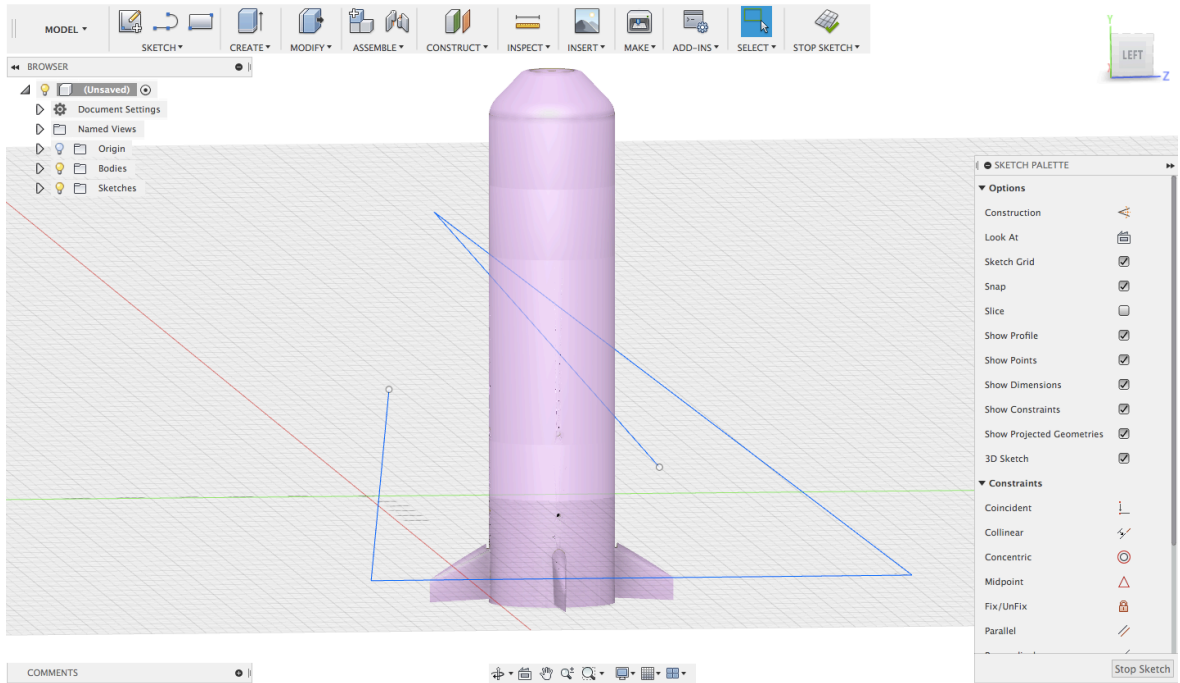
Şekil 4.28: Fin kanatçığına ait 3B çizim



Şekil 4.31: Seyir füznesinin montaj çizim aşaması.



Şekil 4.30: Motor bloğuna ait çizim aşamaları



Şekil 4.31: Seyir füzusunin montaj çizim aşaması

4.6. Üretim Aşamaları

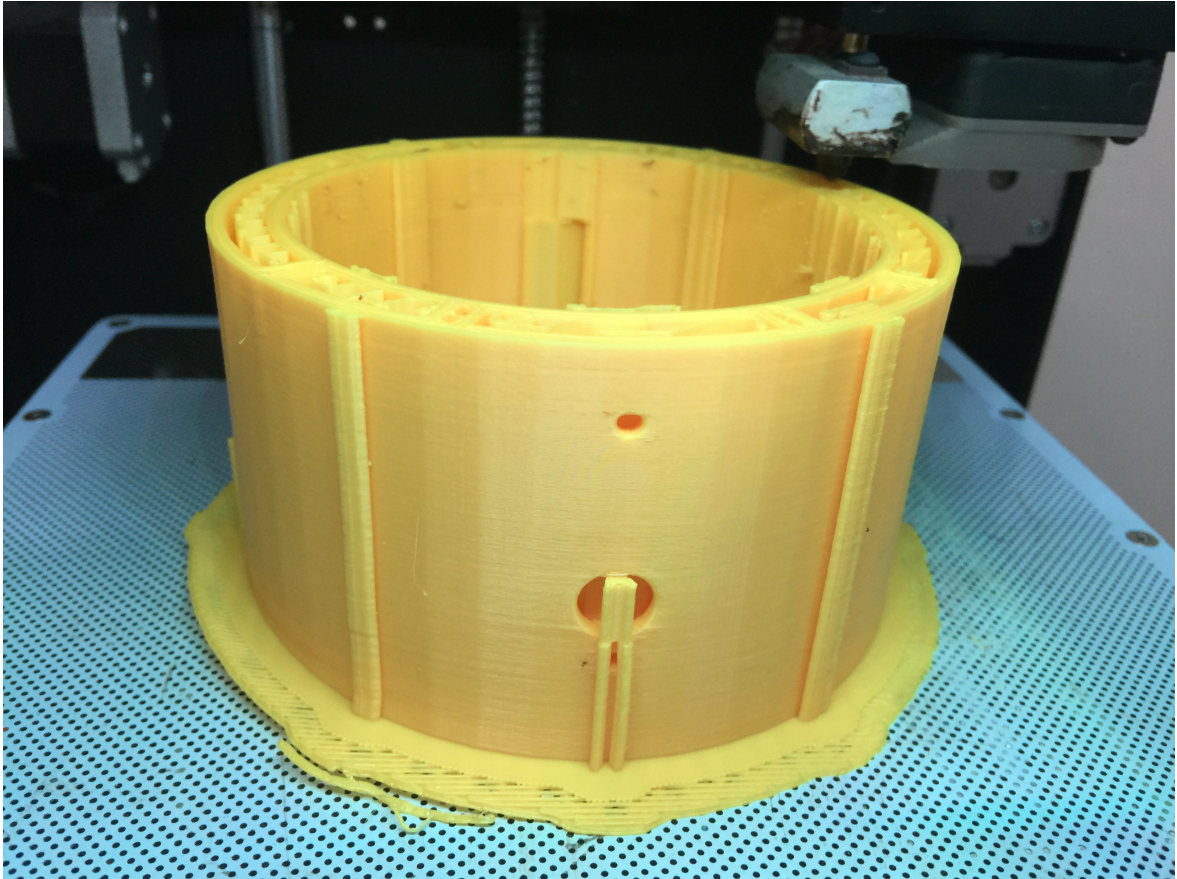
Gerekli literatür taramasının ardından yapılacak proje akılda oluşturulmuştur. Üretim için öncelikle hangi malzemelerin kullanılması gerektiği büyük bir titizlikle seçilmiştir. Bu seçim sırasında ulaşılabilirlik, zaman ve birim fiyatı gibi bir çok etken rol oynamıştır. Siparişi verilen parçaların ardından çizim aşaması başlamıştır. Çizim sırasında hassas ölçüler kullanılmıştır. Birçok parçanın sıkı geçme olması hasebiyle toleranslar araştırılmış ve uygulanmıştır. Çizimlerin bitmesinin ardından üretimin gerçekleşeceği 3 boyutlu yazıcıya çizim dosyaları aktarılmıştır. Üretimin bitiminden itibaren gerekli kontroller yapılmış ve montaj hazırlığına geçilmiştir. Gerekli birleştirme elemanları ve ihtiyaç duyulan alet edevatlar temin edildikten sonra elektronik parçaların roket gövdelerine sabitleme işlemleri başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Bu aşamadan sonra roket bir bütün olarak test edilmiş ve sonuçlar not edilmiştir.

4.7. Çizim Aşaması

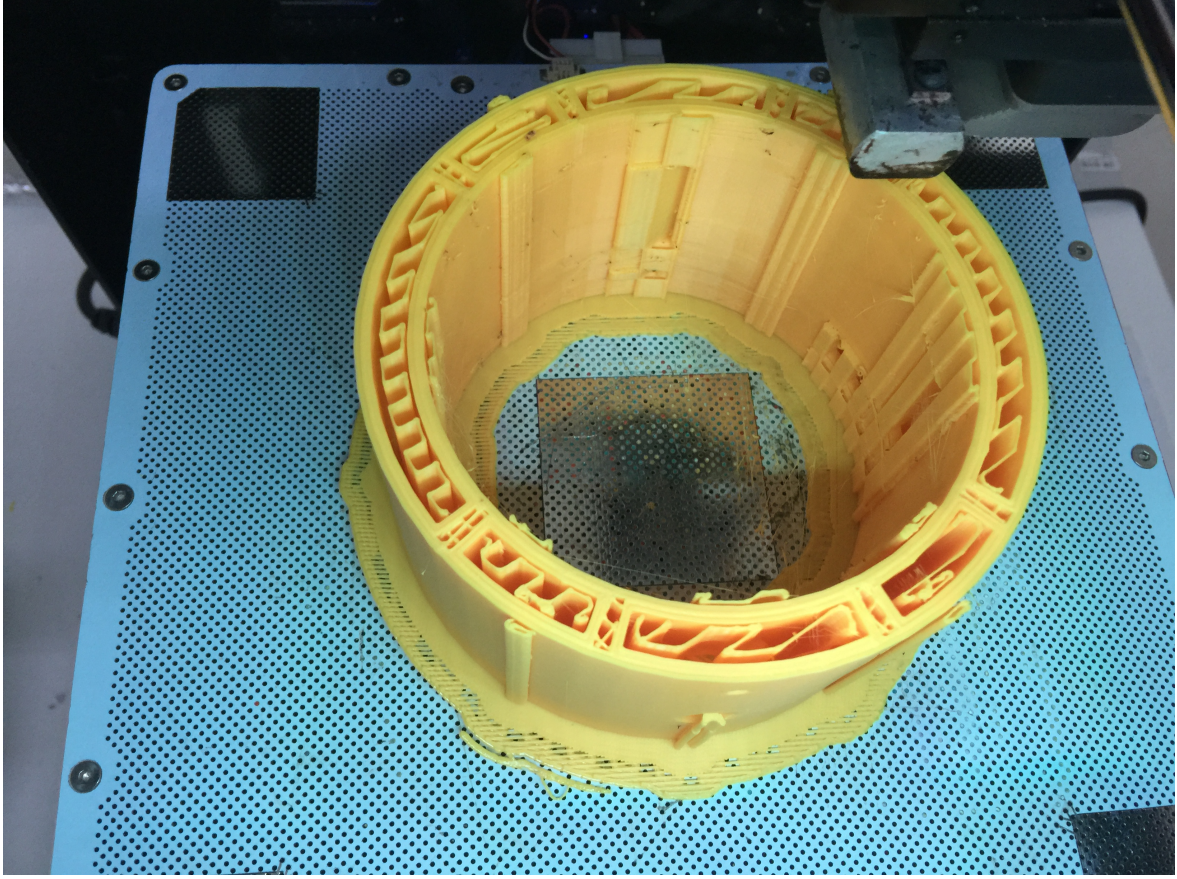
Elektrik Fan Motorlu Havadan Karaya Roket tasarımının prototip çizimi Solidworks 3 Boyutlu çizim programı ile yapılmaktadır. Çizim esnasında en sık kullanılan yöntemler, Ekstrüzyon ile katı oluşturma, Ekstrüzyon ile kesme, Loft ile katılaştırma, Sarma yöntemi, kütlesek ağırlık araçları vb. dir. Güncel tarih itibari ile Motor bloğunun çizimi tamamlanmıştır. Güç ve Kontrol bloğuna ait çizimlere başlanmıştır. Faydalı yük burnu ve finler için henüz çizim aşamasına geçilmemiştir.

4.8. 3 Boyutlu Üretim Aşaması

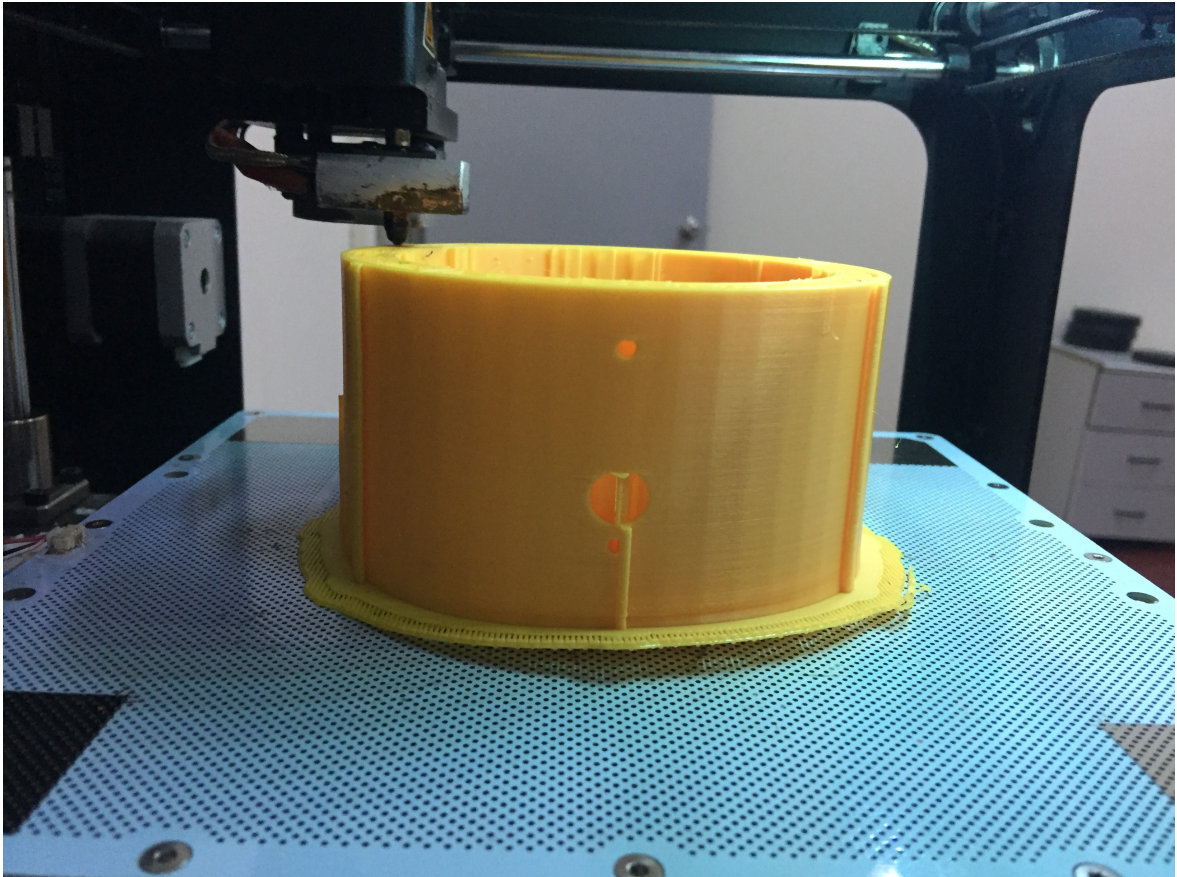
Çizimleri bitirilen parçalar 3 boyutlu yazıcıda basılmaktadır. Ürünlerin çizime uygun ve sağlam olarak çıkması için destek kalibrasyonları yapılmaktadır. Maaliyet ve istenilen sağlamlık göz önünde bulundurularak ABS ve PLA kaynak malzemeleri kullanılmaktadır. Her bir blok projenin daha iyi anlaşılabilmesi için farklı renklerde basılmaktadır. Şu anda sadece motor bloğu 3 boyutlu yazıcıda basılmıştır.



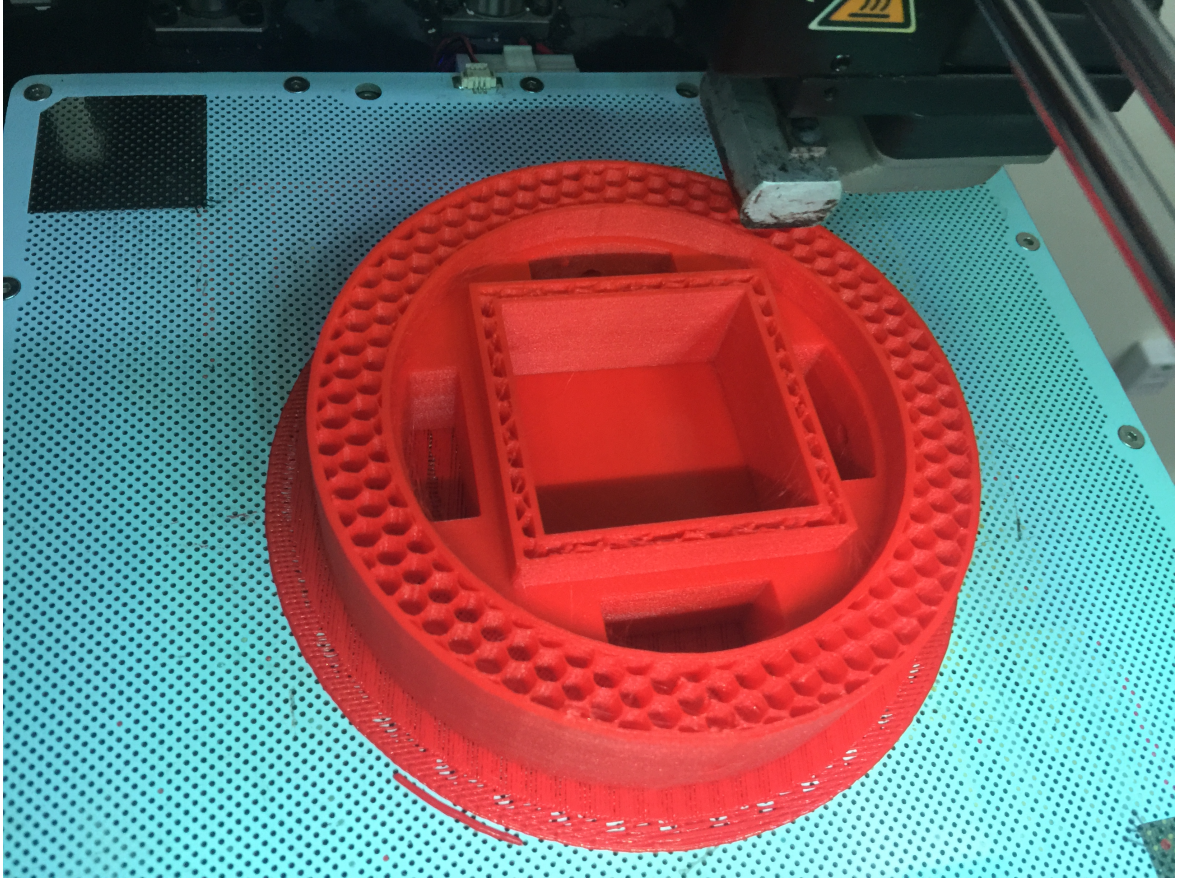
Resim 4.32: Motor bloğunun 3B yazıcı ile üretim aşaması



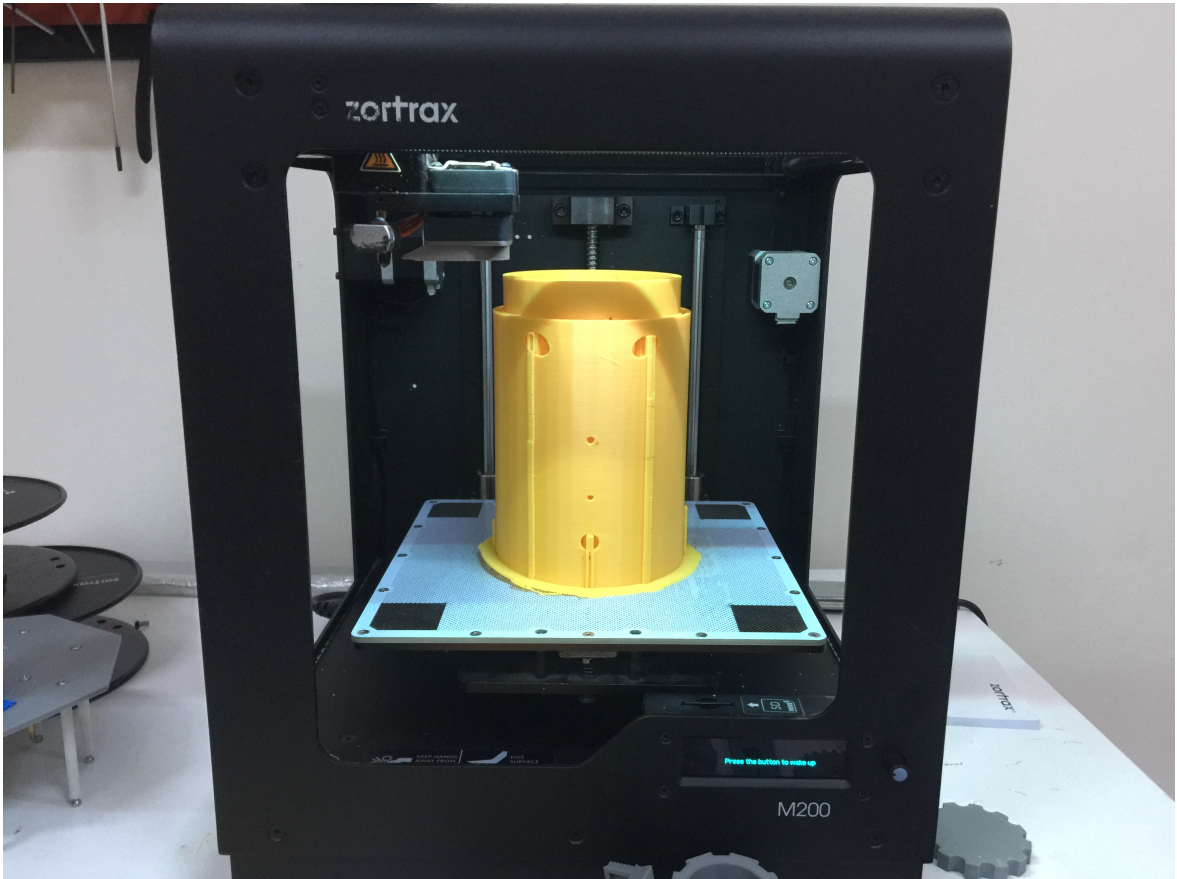
Resim 4.33: Motor bloğunun üretim aşaması sırasında atılan iç destekler



Resim 4.33: Motor bloğunun üretim süreci sırasında tablaya yapışmama problemi



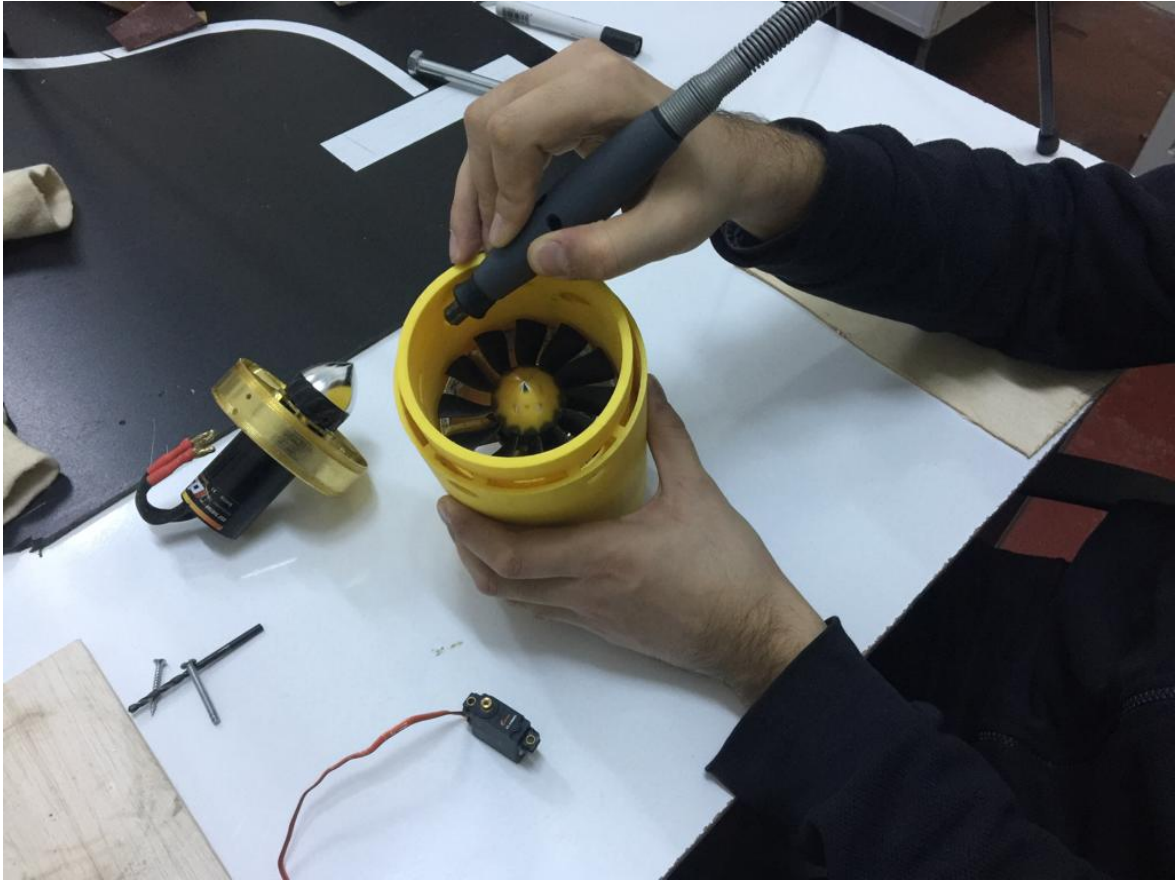
Resim 4.34: Güç bloğunun 3B yazıcı ile üretim süreci



Resim 4.35: Motor bloğunun 3B yazıcıda üretimi bitmiş hali

4.9. Montaj Aşaması

3 boyutlu yazıcıda üretilen bloklar ve finler elektronik parçalar ile uyumlu bir şekilde montajı gerçekleştirilmiştir. Yazıcıdan çıkan parçalarda oluşabilecek ölçü hataları zımpara yöntemi ile talaş kaldırılarak çözülmüştür. Montaj sırasında herhangi bir kısa devreye mahal vermemek adına kabloların zarar görmemesine özen gösterilmiştir. Tüm kablolar silikon veya makaron ile yalıtkanlaştırılmıştır. Tüm parçalar daha sonra sökülebilecek şekilde monte edilmiştir.



Resim 4:36: Motor bloğunun montaj edilebilmesini için talaş kaldırma işlemi



Resim 4.37: Montaj aşamasında ağırlık kontrolü

5. Projeyi Oluşturan Hazır Malzemelere Ait Teknik Rapor

Bu bölümde projede kullanılmak üzere hazır satın alınan bileşenlerin tanımları, açıklamaları ve daha kolay anlaşılabilmesi adına resimleri ilişkilendirilmiştir.

5.1. Elektrikli Fan Motoru (TP Power- TP4040)

DC Brushless inrunner özelliktedir. 4200W gücünde ve azami 6 hücreli Lipo batarya ile beslenebilmektedir. 90mm 11 palli pervaneye sahiptir. Azami devri 60.000 D/D' dır. 396 gr. Ağırlığa sahiptir.

Motorun miline bağlı pervanenin yaklaşık 60.000 d/d dönmesiyle beraber 35N'luk bit hava itkisi oluşmaktadır. Bu itki roket hareket vermek için kullanılmaktadır.



Resim 5.38: TP Power- TP4040 EDF motor

5.2. Servolar (Corona CS238MG)

22gr. ağırlığına sahiptir. Tork değeri 4kg.cm ve hızı 0.15sn./60°' dir. (Uçuş kontrolcüsü) numaralı bileşenden gelen elektrik beslemesi ve sinyal verileri doğrudusunda 180 derece sağa veya sola hareket edebilir. 14 (Finler) numaralı bileşenler servolara bağlıdır. Bu sayede roketin yönünü uçuş sırasında tayin edebilmektedir.



Resim 5.39: Corona CS238MG servo

5.3. Ana Güç Li-Po Batarya (Gens Ace- 6s 5000mAh 45C)

22.2V 5000mah kapasitede lityum bataryadır. 45C devamlı deşarj değeri vardır. EC5 soket ile beraber kullanılmıştır. 6s 5000mAh özelliklerindeki bu batarya 1 numaralı bileşene güç sağlamakla görevlidir.



Resim 5.40: Gens Ace- 6s 5000mAh 45C Li-Po batarya

5.4. Motor Sürücüsü (AeroStar Advance 150A HV)

Azami 12S Li-Po batarya ile çalışır. Sürekli olarak 150A akım çekebilmektedir. Ağırlığı 123gr. dir. (Li-Po Batarya) numaralı bileşenden güç, 5 (Radyo Alıcısı) numaralı bileşenden sinyal olarak, 1 (Elektrik Fan Motoru) numaralı bileşene güç vermektedir. Görevi roketin motorunu kontrollü bir biçimde çalışmasını sağlamaktır.



Resim 5.41: AeroStar Advance 150A HV motor sürücüsü

5.5. Ana Güç Anahtarı (Team Whyachi MS-2 Switch)

Sürekli olarak 160A akım geçirebilmektedir. 48V'a kadar gerilim ile çalışabilmektedir. Üstündeki alyan civatayı saat yönünün tersi yönde 4 tur çevrildiğinde kapalı devre konumuna geçmektedir. Ağırlığı 141 gr. dır. (Li-Po batarya) numaralı bileşen ile 3 (Motor sürücüsü) numaralı bileşen arasında elektrik kablolarıyla bağlı bulunur. Üzerinde bulunan alyanlı civatanın sağa veya sola dönmesine bağlı olarak elektriğin geçip, geçmemesini sağlar.



Resim 5.42: Team Whyachi MS-2 Switch anahtar

5.6. Elektronik Sistem Anahtarı

2 kademeli mekanik switch anahtar. Ağırlık 12 gr. (Elektronik sistem bataryası) numaralı bileşen ile 7 (radyo alıcısı) numaralı bileşen arasından kablolar ile bağlıdır. Üzerinde bulunan, sağa veya sola kayabilen düğmenin pozisyonuna bağlı olarak elektriğin geçip, geçmemesini sağlar.



Resim 5.43: 2 konumlu elektronik anahtarı

5.7. Elektronik Sistem Besleme NiMh Batarya (Hitec TX for Aurora 9X)

166 gr. ağırlığındadır. 6 hücreli NiMh hücreden oluşmaktadır. 7.2V ve 2000mAh kapasitedir. 5 (Elektronik sistem anahtarı) numaralı bileşen aracılığı ile 7 (Radyo alıcısı) numaralı bileşene bağlıdır. Ana görevi radyo alıcısını beslemektedir. Bu sayede radyo alıcısına bağlı bulunan 8 (Uçuş kontrolcüsü) numaralı bileşene ve 9 (servo motorlara) numaralı bileşenlere elektrik enerjisi vermiş olur. Elektronik sistem için ayrı bir batarya kullanılmasının sebebi, yüksek güç tüketen elektrikli fan motoruna bağlı olan Li-Po bataryanın bitmesi durumunda roketin kontrolünü kaybetmemektir.



Resim 5.44: Hitec TX for Aurora 9X batarya

5.8. Radyo Alıcısı (Hitec optima 6 Kanal)

6 kanalı bağımsız olarak kontrol eder. 2.4Ghz radyo sinyali ile çalışır. 7.2 V ile beslenir. 15gr. ağırlığa sahiptir. Dışarıdan veri gönderiminde bulunmak amacıyla 2.4GHZ bandındaki radyo sinyali ile kurulan bağlantıyı almak için kullanılmaktadır. Dışarıdan verilen sinyal verilerini, soketlerine bağlı bulunan **3** (Motor sürücüsü) numaralı bileşen, **8** (Uçuş kontrolcüsü) numaralı bileşen ile **9** (servo motorlar) numaralı bileşenlere iletir.



Resim 5.45: Hitec optima 6 Kanal radyo alıcı

5.9. Uçuş Kontrolcüsü (PRM Thunder P1)

3 eksen gyro özelliğine sahiptir. 3 farklı mekanik gain ayarı mevcuttur. 7 (Radyo alıcısı) numaralı bileşen den gelen sinyal verileri ile kendi devresindeki 3 adet gyro' dan gelen verileri analiz ederek 9 (Servo motorlara) numaralı bileşene komut gönderir ve elektrik beslemesini yapar.



Resim 5.46: PRM Thunder P1 uçuş kontrolcüsü

5.10. Güç Kabloları (Amass 10AWG)

5.5mm çapında siyah ve kırmızı renklere sahip yüksek akım taşıyabilen yumuşak silikon kablo.

Amass®

**10 AWG
Red**



Resim 5.47: Amass 10AWG güç kablosu

5.11. Sinyal Kabloları (Amass 22AWG)

0.8mm çapında siyah, beyaz ve kırmızı ve kahverengi renklerden oluşan yumşak silikon kablo.



Resim 5.48: Amass 22AWG sinyal kablosu

5.12. Kablo Soketleri (Amass EC5)

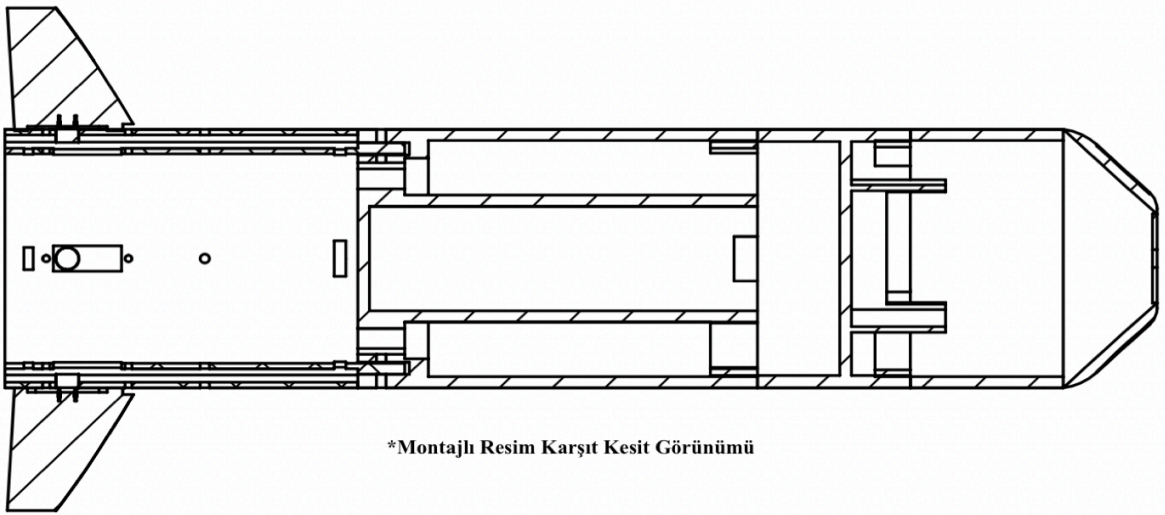
Dişi ve erkek çiftten oluşan, ters voltaj korumalı mavi renkli kablo soketleri.



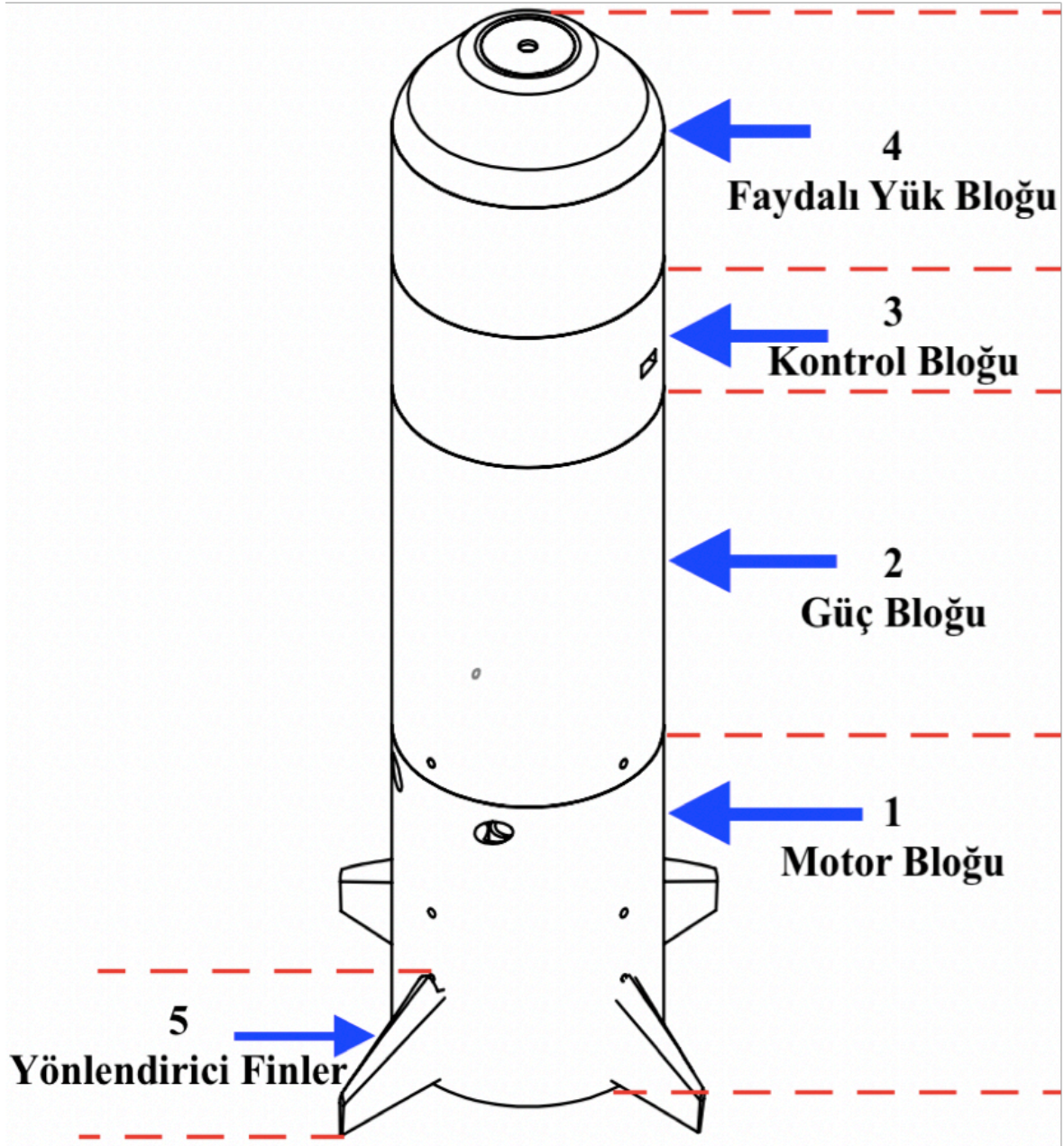
Resim 5.49: Amass EC5 soket

6. Teknik Resimlerle Proje Anlatımı

Roketin gövdesini oluşturan tüm mekanik parçalar (Motor bloğu, güç bloğu, kontrol bloğu, faydalı yük bloğu ve yönlendirici finler) tamamen özgün bir biçimde çizilmiş ve 3 boyutlu yazıcıda üretilmiş ardından roketin gövdesini oluşturacak bir bütün olarak birbirlerine sıkı geçme olarak geçirilmiştir. (İstenildiğinde elle herhangi bir birleştirici eleman olmadan sökölüp takılabilmektedir.) Bu blokların her biri özgün bir tasarım olmakla birlikte, bir bütün olduğunda da yine özgün bir roket tasarımı oluşturmaktadır. Projeyi bir bütün olarak ele aldığımızda elektrik fan motorundan tahrik alan bir roket tasarımı olmadığı gözlenmektedir.



Şekil 6.50: Seyir füznesinin kesit

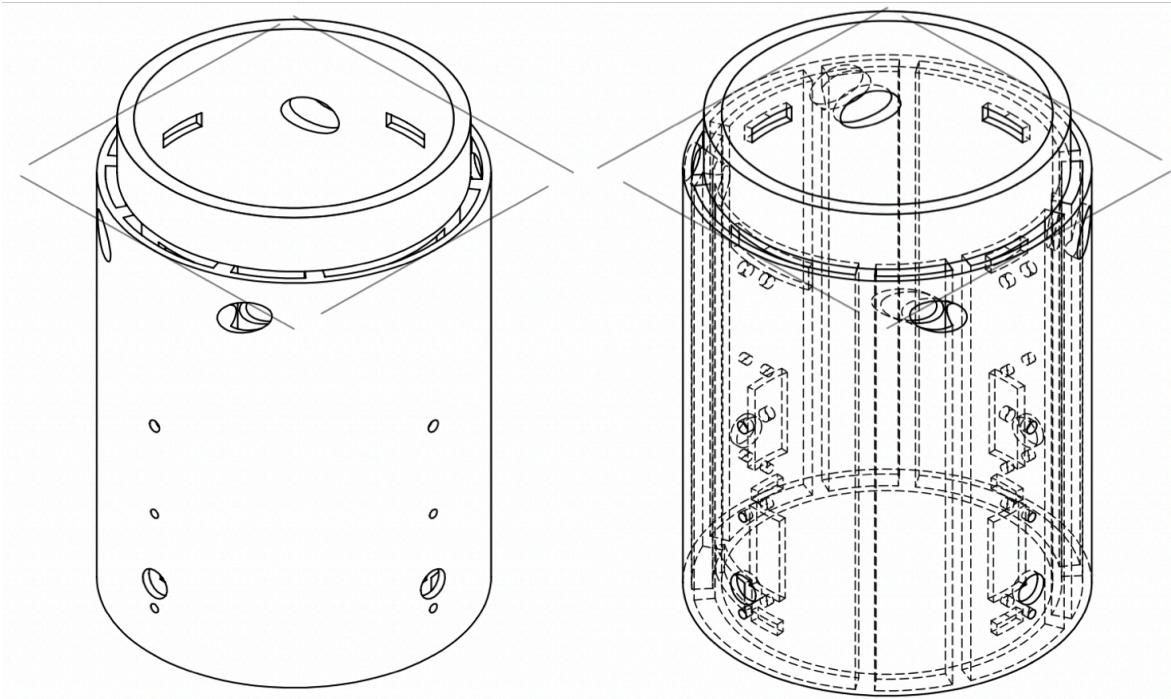


Şekil 6.51: Seyir füzесinin montaj resminin bileşenlerinin numaralandırılması

6.1 Motor Bloğu

Üretim hammaddesi ABS, dış çapı 116mm, iç çapı 98mm, yükseklik 200mm'dir. Ağırlığı 310gr. Elektrik fan motoru ve 4 adet yönlendirici finler ile finleri kontrol eden 4 adet servo bu blokta bulunur. Kabloların motor fanına temas etmemesi için kablo kanalları mevcuttur. Elektrikli fan motorunun dışarıdaki havayı çekebilmesi için 4 adet oval delik açılmıştır.

1 (Elektrikli fan motoru) ve **9** (Servolar) numaralı bileşenler bu bloğun iç kısmında bulunmaktadır. Bu bileşenler motor bloğu içindeki yuvalara sıkı geçme bir şekilde takılmış ve ardından civatalar ile sabitlenmiştir. **14** (Finler) numaralı bileşenler bu bloğun dış kısmında durmaktadır.

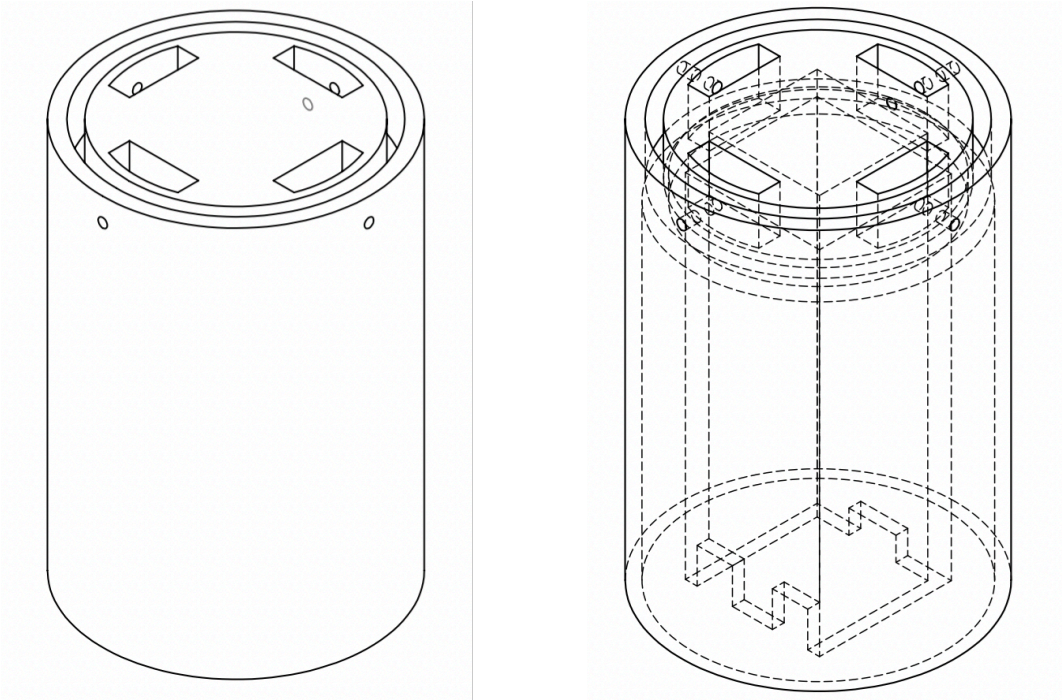


Şekil 6.52: Motor bloğuna ait teknik resimler

6.2. Güç Bloğu

Üretim hammaddesi PLA, dış çapı 116mm, et kalınlığı 3mm yükseklik 200mm'dir. Li-Po batarya, NiMh batarya ve motor sürücüsü bu blokta bulunur. Bir alt bloğa civatayla sabitlenebilmesi için 4 adet 4mm çapında delik açılmıştır.

2 (Li-Po batarya), **3** (Motor sürücüsü), **6** (Elektronik sistem bataryası) numaralı bileşenler bu bloğun iç kısmında bulunur. **2** (Li-Po batarya) numaralı bileşen için bir yatak mevcuttur, Li-Po batarya buraya sıkı geçme ile yerleştirilmiştir. Diğer bileşenler kalan boşluklara sıkıştırılmıştır.

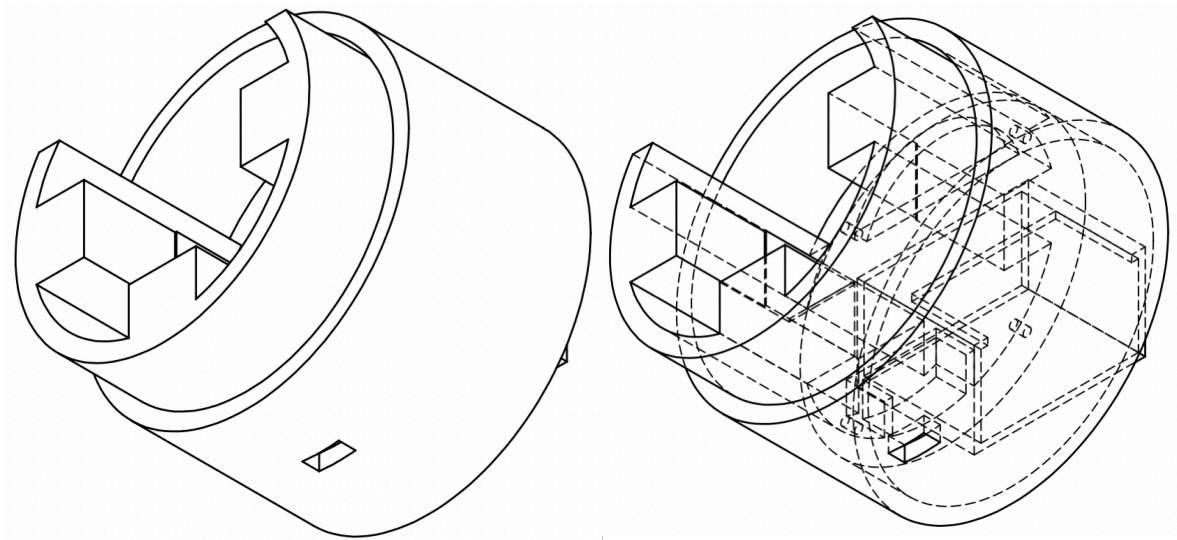


Şekil 6.53: Güç bloğuna ait teknik resimler

6.3. Kontrol Bloğu

Üretim hammaddesi PLA, dış çapı 116mm, et kalınlığı 3mm'dir. Ağırlığı 340gr. Ana güç anahtarı (motora bağlı), elektronik sistem anahtarı, uçuş kontrolcüsü ile radyo alıcısı bu blokta bulunur. Elektronik sistem anahtarının düğmesine erişim sağlanabilmesi için dış kısımda 12mm uzunluğunda 6mm yüksekliğinde delik açılmıştır.

4 (Ana güç anahtarı) ve **5** (Elektronik sistem anahtarı) numaralı bileşenler bu bloğun içinde yer alır. Her iki bileşen için de bu bloğun içerisinde iki adet yatak vardır. Bileşenler bu yataklara sıkı geçecek şekilde oturtulmuştur.

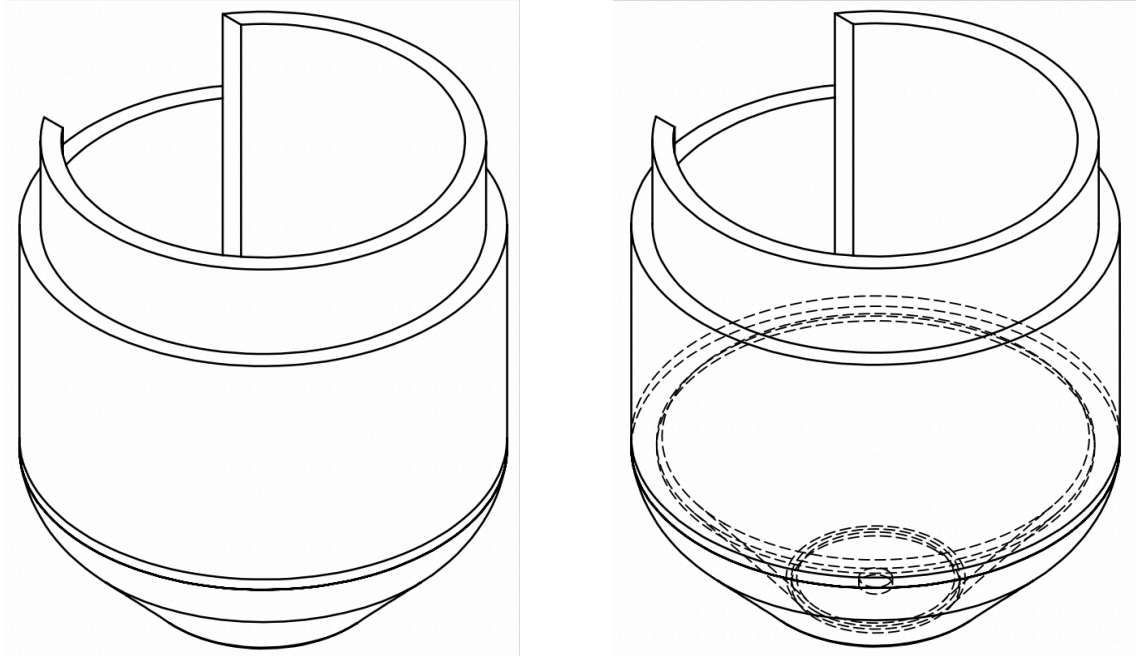


Şekil 6.54: Kontrol bloğuna ait teknik resimler

6.4. Faydalı Yük Bloğu

Üretim hammaddesi PLA, dış çap 116mm, et kalınlığı 3mm, yükseklik 180mm'dir. Ana güç anahtarının alyan vidasına erişilebilmesi için tepe burun kısmında 8mm çapında delik açılmıştır.

Bu bloğun içerisinde herhangi bir bileşen bulunmamaktadır. Faydalı yük taşımak için tasarlanmıştır ve iç kısmında boşluk mevcuttur. Ön kısmı açılı verilerek sivriltilmiş ve burun elde edilmiştir. Bu sayede seyir halinde iken hava sürtünmesini azaltması öngörülmüştür.

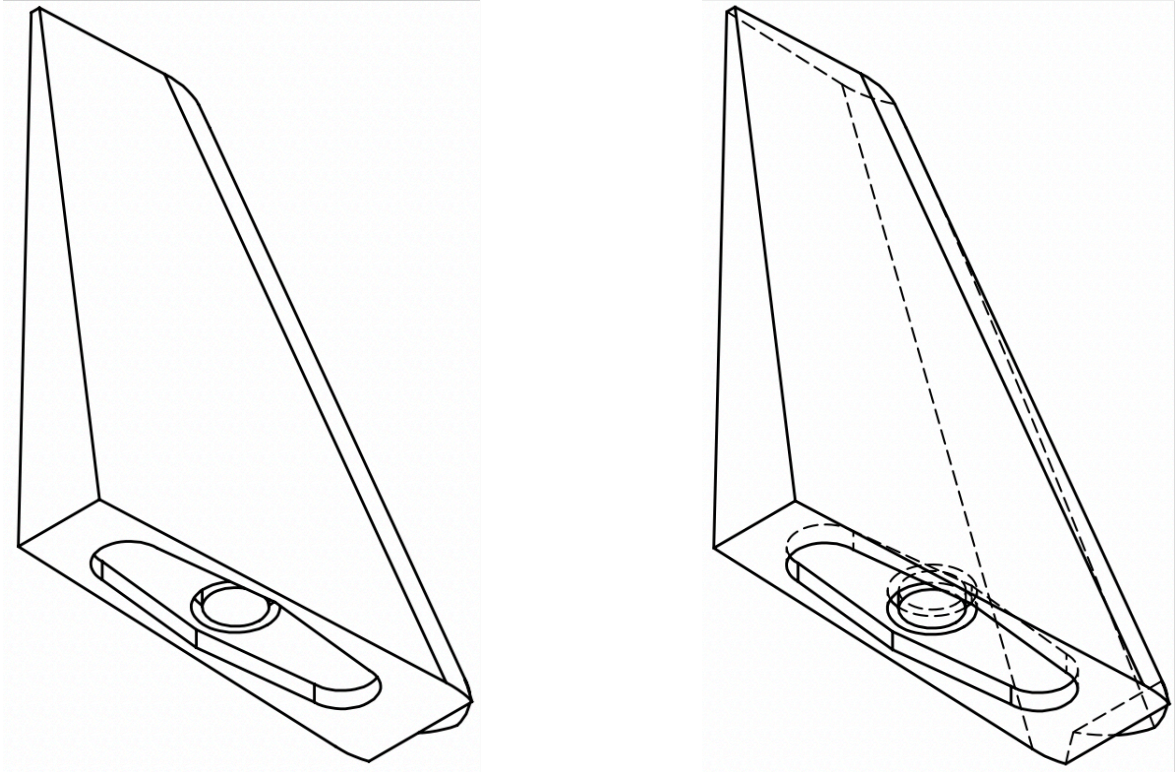


Şekil 6.55: Faydalı yük bloğuna ait teknik resimler

6.5. Yönlendirici Finler

Üretim hammaddesi ABS, genişlik 20mm, uzunluk 40mm, yükseklik 40mm ve ağırlık 12 gr.'dır. Servo motorlar ile beraber motor bloğuna takılıdır.

9 (Servolar) numaralı bileşenlere yapıştırıcı ile bağlıdır. Servonun hareketine göre konum almaktadır. Ayrıca bu finler **10 (Motor bloğu)** numaralı bileşenin dış kısmına konumlandırılmıştır



Şekil 6.57: Yönlendirici finlere ait teknik resimler

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan deneysel testler sonucunda projenin genel anlamda amacına ulaştığı söylenebilir. Tüm gövdeler düzgün bir şekilde birbirleriyle ile sıkı geçme olarak bağlanabilmektedir. Sistemin çalışmasında kayda değer bir yalpalama, titreşim ve bu titreşimlerden ötürü herhangi bir birleştirme elemanında gevşeme söz konusu olmamıştır. Motor ve bataryaların ısınması sistemin çalışması gereken ortam sıcaklığı ve süre göz alındığında herhangi bir tehlike arz etmemektedir. Güvenlik anahtarlarının ihmal edilmeden kullanılması ve batarya depolama şarjının yapılması koşulu ile uzun süre depolanmasında sıkıntı çıkarmamaktadır. Tekrar çalışması için herhangi bir yağlamaya ve ısıtma işlemine ihtiyaç duymaz.

Ancak projede bazı sorunlar gözlenlenmiş ve bu sorunlara çözüm olabilecek yöntemler düşünülmüştür. İlk problem, elektrikli motor fanının hava emebilmesi için açılan hava kanallarının yetersiz olması. Öngörülen hava akışı gerçekleşmemiştir. Bu nedenden ötürü motor, beklenen ve hesaplanan itiş kuvvetini verememiştir. Ayrıca motorun hava çıkışına yerleştirilen servo motorda hava çıkışını engelleyen önemli faktörlerden bir tanesi olmuştur.

Bu problemler için önerilen çözüm yöntemleri ise, hava kanallarını büyütme motor bloğunu ve güç bloğunun arasında boşluk kalacak şekilde bağlamaktır. Bu sayede istenilen hava miktarı elektrik motorunun fanı tarafından çekilebilecektir. Diğer yandan ise fin kanatlarını tutan servo motorlarını roketin arka tarafına değil, güç bloğuna monte edilmesi gerekmektedir. Ancak finler yine motor bloğunun dışında olacaktır. Bu durumda finler servo motorlara doğrudan değil, bir tel vasıtasıyla bağlı olacaktır ve yön tayinini bu şekilde yapacaktır.

Belirtilen düzeltmelerin ardından seyir füzesi prototibinin çok daha verimli bir çalışma karakteristiği kazanmış olacağına inanıyorum. Bu düzeltmeleri yapmak hem maddi hemde işçilik olarak daha yüksek olacaktır. Ancak vermiş olacağı kazanımlar kesinlikle degecektir.

KAYNAKLAR

1. Pereira, Jason L. Hover and wind-tunnel testing of shrouded rotors for improved micro air vehicle design p147+p11. University of Maryland, 2008. Accessed: 28 August 2015.
3. <http://www.stefanv.com/electronics/escprimer.html> (Erişim Tarihi 03/06/2019)
4. <http://www.rcmodelswiz.co.uk/electronic-speed-controllers-esc/> (Erişim Tarihi 01/06/2019)
5. 6. <https://oscarliang.com/dshot/> (Erişim Tarihi 12/05/2019)
7. <http://electronics.stackexchange.com/questions/43105/control-differences-between-ac-induction-motor-and-brushless-dc-motor> (Erişim Tarihi 23/05/2019)
8. T.G. Wilson, P.H. Trickey, "D.C. Machine. With Solid State Commutation", AIEE paper I. CP62-1372, October 7, 1962
9. de Silva, Clarence W. (2009). Modeling and Control of Engineering Systems. CRC Press. pp. 632–633. ISBN 1420076876.
10. Moczala, Helmut (1998). Small Electric Motors. London: Institution of Electrical Engineers. pp. 165–166. ISBN 085296921X.
11. Xia, Chang-liang (2012). Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives and Controls. John Wiley and Sons. pp. 18–19. ISBN 1118188365.
12. M. Gopal. Control systems: principles and design. 2nd ed. Tata McGraw-Hill, 2002. Page 165.
13. Ohio Electric Motors. DC Motor Protection. Ohio Electric Motors. 2011. Archived November 28, 2011, at WebCite
14. Sabrie Soloman. Sensors handbook. 3rd ed. McGraw-Hill, 1999. Page 5-6.
15. Pter Campbel. Permanent Magnet Materials and their Application. Cambridge University Press, 1996. Page 172.

16. M. Gopal. Control systems: principles and design. 2nd ed. Tata McGraw-Hill, 2002. Page 159.
17. Shimon Y. Nof, Wilbert E. Wilhelm and Hans-Jürgen Warnecke. Industrial assembly. Springer, 1997. Page 174.
18. Peng Zhang. Industrial Control Technology: A Handbook for Engineers and Researchers. William Andrew, Inc., 2008. Page 91.
19. Ohio Electric Motors. Brushless DC Motors Used in Industrial Applications. Ohio Electric Motors. 2012. Archived November 8, 2012, at WebCite
20. Bruno Scrosati, K. M. Abraham, Walter A. van Schalkwijk, Jusef Hassoun (ed), *Lithium Batteries: Advanced Technologies and Applications*, John Wiley & Sons, 2013 ISBN 1118615395, page 44
21. M. B. Armand; J. M. Chabagno; M. Duclot (20–22 September 1978). "Extended Abstracts". Second International Meeting on Solid Electrolytes. St. Andrews, Scotland.
22. M. B. Armand, J. M. Chabagno & M. Duclot (1979). "Poly-ethers as solid electrolytes". In P. Vashitshta; J.N. Mundy & G.K. Shenoy (eds.). *Fast ion Transport in Solids. Electrodes and Electrolytes*. North Holland Publishers, Amsterdam.
23. Murata, Kazuo; Izuchi, Shuichi; Yoshihisa, Youetsu (3 January 2000). "An overview of the research and development of solid polymer electrolyte batteries". *Electrochimica Acta*. 45 (8–9): 1501–1508. doi:10.1016/S0013-4686(99)00365-5.
24. Yazami, Rachid (2009). "Chapter 5: Thermodynamics of Electrode Materials for Lithium-Ion Batteries". In Ozawa, Kazunori (ed.). *Lithium ion rechargeable batteries*. Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA. ISBN 978-3-527-31983-1.
25. a b Nagai, Aisaku (2009). "Chapter 6: Applications of Polyvinylidene Fluoride-Related Materials for Lithium-Ion Batteries". In Yoshio, Masaki; Brodd, Ralph J.; Kozawa, Akiya

(eds.). Lithium-ion batteries. Springer. doi:10.1007/978-0-387-34445-4. ISBN 978-0-387-34444-7.

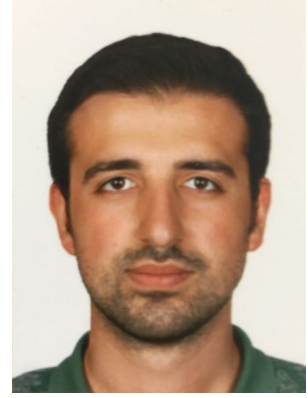
26. Vetter, J.; Novák, P.; Wagner, M.R.; Veit, C. (9 September 2005). "Ageing mechanisms in lithium-ion batteries". *Journal of Power Sources*. 147 (1–2): 269–281. Bibcode: 2005JPS...147..269V. doi:10.1016/j.jpowsour.2005.01.006.

27. Cannarella, John; Arnold, Craig B. (1 January 2014). "Stress evolution and capacity fade in constrained lithium-ion pouch cells". *Journal of Power Sources*. 245: 745–751. Bibcode:2014JPS...245..745C. doi:10.1016/j.jpowsour.2013.06.165.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Furkan YILMAZ
Uyruğu : T.C
Doğum tarihi ve yeri : KDZ. Ereğli 05/10/1995
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0531 208 75 21
Faks :
e-mail : furkan-yilmaz@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans		
Lisans	İGÜ Mekatronik Mühendisliği	2017
Lise	İstanbul A.İ.H.L	2013

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017	İstanbul Gelişim Üniversitesi TTO	Araştırmacı Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce - Orta
Fransızca- İyi

Hobiler

RC modelcilik, spor.



GELİŞİM GELİŞMEKTİR