

T.C.
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

DÖNER KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI

BİTİRME PROJESİ

ESRA AVŞAR

MUHAMMET YALÇIN

NURDAN BORAN

ZEHRA AY

OCAK 2021

TRABZON

T.C.
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

DÖNER KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI

ESRA AVŞAR
MUHAMMET YALÇIN
NURDAN BORAN
ZEHRA AY

Danışman: Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL

Bölüm Başkanı: Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU

OCAK 2021
TRABZON

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasıyla birlikte ülkemizde gelişmekte olan havacılık sanayisine bir adım atarak ülkemizin ihtiyaç duyduğu gerek sivil alanlarda gözlem yapma gerekse askeri, arama kurtarma, ürün teslimi gibi farklı görevlerde kullanılmak üzere çok amaçlı insansız hava aracı tasarlanması amaçlanmıştır.

Mühendislik Tasarımı çalışmamızın oluşumunda ve sürdürülmesinde ilgi ve alakasını bizlere gösterip destek veren, deneyimlerinden faydalandığımız Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Teorisi ve Dinamiği Anabilim Dalı Öğretim Üyesi değerli hocamız Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL' e sonsuz saygı ve teşekkürlerimizi sunarız. Çok değerli katkılarından dolayı yazılım mühendisi Fırat ÇARDAK' a teşekkürlerimizi sunarız.

Maddi ve manevi her türlü desteklerini bizden esirgemeyen AİLELERİMİZE teşekkür ederiz.

ESRA AVŞAR

MUHAMMET YALÇIN

NURDAN BORAN

ZEHRA AY

ÖZET

Tüm dünyada ve ülkemizde son yıllarda havacılık alanında İnsansız Hava Araçlarına (İHA) olan ihtiyaç doğrultusunda çalışmalarda artış görülmekte gelişmesine yönelik faaliyetler artmaktadır.

Çağımızda İHA' lar uydu sistemleri veya kumanda ile kontrolü sağlanarak gerek askeri gerekse sivil alanlarda gözlem yapma, arama kurtarma, ürün teslimi veya taşınması, hedef tespit etme, haritalama ve takip gibi birçok farklı görevlerde kullanılmaktadır. Çünkü İHA' ların tehlike arz eden durumlarda havada uzun süre kalabilmeleri ve insan yaşamını riske atma durumu olmamakla birlikte maliyetleri de oldukça düşüktür. Bu sebeple ileri dönemlerde insanlı uçaklar yerine kullanılmaya başlayacakları çoğu insan tarafından ön görülmektedir. Özel sektör ya da kamunun gerçekleştirdiği çalışmalarda insansız hava aracı tasarımları döner kanatlı veya sabit kanatlı olmak üzere iki şekilde yaygın olarak yürütülmektedir. Döner kanat tipli dört rotorlu İHA' lar, elektronik hız denetleyiciler, fırçasız DC motorlar, farklı türde sensörler, güç sistemi, pervaneler, kamera ve iletişim sistemi olmak üzere birçok donanıma sahiptir. Bu parametrelerin ayarlamalarının doğru yapılması çok önemlidir.

Yapılan bu çalışmada döner kanatlı dört rotorlu insansız hava aracı için, sistemin dizaynı, donanımları ve çalışma şekli üzerine yoğunlaşmıştır. Dikey iniş ve kalkış yapabilen bir İHA' nın öncelikli mühendislik işlemleri ve kavramsal tasarımı yapılmıştır. Öncelikli tasarımı gerçekleştirilecek İHA' nın basit kompakt bir yapıda olmasına aynı zamanda en uygun performans verileriyle tasarımın gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Daha sonra ortaya çıkan yapıya uygun gövde, kanat ve kuyruk gibi gövde parçalarının performans verilerinin analizi, aerodinamik ve kararlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada farklı programlardan yararlanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı, Döner kanatlı dört rotorlu, Tasarım

SUMMARY

In recent years, UAV (Unmanned Aerial Vehicle) are increasing to use day by day, In the aviation field, the demand for and studies conducted on Unmanned Aerial Vehicles (UAV) increases all around the world and in our country each day.

In our age, UAVs are used in many different tasks such as observation, search and rescue, product delivery or transportation, target detection, mapping and tracking in both military and civilian areas by being controlled by satellite systems or control. Because although UAVs can stay in the air for a long time in dangerous situations and do not put human life at risk, their costs are also very low. For this reason, it is predicted by most people that they will be used instead of manned aircraft in the future. In studies carried out by the private sector or the public, unmanned aerial vehicle designs are widely carried out in two forms, rotary wing or fixed wing. Rotary-wing type four-rotor UAVs have many equipment including electronic speed controllers, brushless DC motors, different types of sensors, power system, propellers, camera and communication system. It is very important to set these parameters correctly.

This study focuses on the design, equipment and operation of the system for a rotary wing four-rotor unmanned aerial vehicle. Priority engineering procedures and conceptual design of a UAV capable of vertical landing and take-off have been made. It has been decided that the UAV to be designed with priority has a simple compact structure and at the same time to realize the design with the most appropriate performance data. Then, analysis of performance data, aerodynamic and stability analysis of body parts such as body, wing and tail in accordance with the emerging structure were performed. At this stage, different programs were used.

Key Words: Unmanned Aerial Vehicle, Rotary-wing four-rotor, Design

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	III
ÖZET	IV
SUMMARY	V
İÇİNDEKİLER	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1.AMAÇ VE KAPSAM.....	1
1.1. Giriş	2
1.1.1 Döner Kanat İHA Tarihçesi.....	4
1.1.2.Eski Döner Kanat İHA Tasarımları.....	5
1.1.2.1.Brequet Richet Hava Aracı.....	5
1.1.2.2.De Borthezat Hava Aracı.....	8
1.1.2.3. Convertawings Model A 1956.....	9
1.1.2.4.Curtis-Wright VZ-7.....	11
1.2.Günümüzde İHA' ların Kullanım Alanları.....	13
1.3.Dört Rotorlu Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracı.....	14
1.3.1 Dört Rotorlu Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracı Tanımı	14
1.4. Dört Rotorlu Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracında Kullanılan Malzemeler.....	17

1.5. Dört Rotorlu Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracının Parçaları.....	19
1.5.1.Gövde	19
1.5.2. Fırçasız DC Motorlar.....	22
1.5.3. Pervaneler.....	27
1.5.4. Elektronik Hız Kontrolcüsü (ESC).....	29
1.5.5.Uçuş Kontrol Kartı.....	31
1.5.6. Li-Po Piller.....	33
1.5.7.Kumanda.....	39
1.5.8. Sensörler	40
1.6.Sistemin Temel Hareketleri.....	43
1.6.1.Yalpalama Hareketi.....	43
1.6.2.Yunuslama Hareketi.....	43
1.6.3. Dönme Hareketi.....	44
1.7.Literatür Araştırması.....	44
1.9. Kısıtlar Ve Koşullar	49
1.9.Karşılayabileceği Gereksinimler.....	49
2.YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	50
2.1. Dört Rotorlu Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracının Tasarımı.....	50
2.2. Maaliyet Analizi	50
2.3. Dört Rotorlu Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracının Montajı.....	50

3.MÜHENDİSLİK HESAPLARI VE ANALİZLERİ.....	57
3.1. İHA' yı Etkileyen Temel Kuvvetler.....	57
3.2.İtki Kuvveti.....	59
3.3.Yapılan Tasarım Çalışması.....	61
4.ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ.....	64
5. MALİYET HESABI.....	65
6.TARTIŞMA.....	66
7. SONUÇ.....	67
8.ÖNERİLER.....	68
9. KAYNAKLAR	69
10. EKLER	71
10.1. Tasarım Çizimleri.....	71
10.2. C _T Tablosu	75
10.3 Tasarımın Teknik Resim.....	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1. Breguet-Ricket Gyroplane No.1	7
Şekil 2. Breguet-Richet Gyroplane (Aviastar)	7
Şekil 3. De Bothezat Helikopterinin Üstten Görünüşü.....	9
Şekil 4. Convertawings (Model A 1956)	11
Şekil 5. Curtiss -Wright VZ-7	12
Şekil 6. Döngüsel Kontrol Tanımları.....	15
Şekil 7. Gövde SolidWorks Çizimi.....	21
Şekil 8. Gövde Malzemesinin Özellikleri.....	21
Şekil 9. Gövdenin Kütleli Özellikleri.....	22
Şekil 10. Fırçasız DC Motor İç Yapısı	24
Şekil 11. Fırçasız DC Motor.....	26
Şekil 12. Pervaneler.....	28
Şekil 13. ESC.....	30
Şekil 14. Uçuş Kontrol Kartı.....	33
Şekil 15. Lipo-Pil.....	38
Şekil 16. Kumanda.....	40
Şekil 17. Ooکلand Üniversitesi Hava ve Su Altı Ortamlarında Çalışan Looncopter.....	48
Şekil 18. Malzemelerin Tedarik Edilmesi.....	51
Şekil 19. Gövde Parçalarının Montajı ve Prototipin Elde Edilmesi.....	51
Şekil 20. Motorun Gövdeye Monte Edilmesi.....	52

Şekil 21. Esc Bağlantılarının Yapılması	52
Şekil 22. Lipo pil ve Uçuş Kontrol Kartının Gövdeye Montajı	54
Şekil 23. Pervanelerin Montajı	55
Şekil 24. Montajı Tamamlanmış İnsansız Hava Aracının Görüntüleri	56
Şekil 25. Pervanede Oluşan Kuvvetler.....	58
Şekil 26. Tasarımı Tamamlanmış İnsansız Hava Aracı.....	62
Şekil 27. Tasarımı Tamamlanmış İnsansız Hava Aracı Önden Görünüm.....	63
Şekil 28. Tasarımı Tamamlanmış İnsansız Hava Aracı Üstten Görünüm.....	63

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 1. Fırçasız DC Motor Test Verileri	26
Tablo 2. Fırçasız DC Motor Özellikleri.....	27
Tablo 3. Pervane Özellikleri.....	29
Tablo 4. ESC Özellikleri.....	31
Tablo 5. Batarya Özellikleri.....	37

SEMBOLLER DİZİNİ

ρ : Havanın Yoğunluğu

V : Volt

A : Amper

m : Kütle

g : Yer Çekim İvmesi

W : Ağırlık

v : Hız

r : Pervane Yarıçapı

V : Hacim

ω : Pervanenin Açısal Hızı

C_T : Pervane İtke Sabiti

F_n : Sürüklenme kuvveti

1.AMAÇ VE KAPSAM

İnsansız hava araçları, farklı amaç ve görevleri gerçekleştirmek amacı ile tasarlanmış olup, kullanılan batarya tiplerine bağlı olarak uçuş zamanı değişen cihazlardır.

Günümüzde birçok örneğine rastlayabileceğimiz çeşitli insansız hava araçları modelleri bulunmaktadır. Bu modeller amaca ve bulunan koşullara göre değişmektedir. Bu projede dört rotorlu döner kanatlı İHA tasarımı gerçekleştirilecektir. İHA' lar özellikler askeri alanda oldukça önemli yer kaplamaktadır. İçerisinde yaşadığımız dönem için her anlamda üstünlük sağlayan İHA' ların sağladığı kolaylıklar oldukça fazladır. İHA' lar sadece hedef belirleme değil insansız taksi, kargo, silahsız insan aracı olarak çeşitli alanlarda fayda sağlamaktadır.

Bu proje ile birlikte meraklıların kolaylıkla ulaşabileceği, amacına uygun, hayatımızı kolaylaştıracak ve geliştirilmeye açık Dört Rotorlu Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracı üretilmesi hedeflenilmektedir.

1.1.GİRİŞ

Son yıllarda robotlara ve otonom sistemlere olan ilgi giderek artmakta ve bu cihazların kullanımı insan hayatını oldukça kolaylaştırıp daha pratik çözümler sağlar. Endüstriyel kullanım alanlarında tehlikeli veya zorlu görevlerde oldukça fayda sağlayan robotik cihazlar günümüzde oldukça önemli bir yer kaplamaktadır.

Günümüzün popüler araçlarından olan insansız hava araçları (drone) da bu kapsamda değerlendirilmektedir. İnsansız hava araçlarında üç eksenle hareket elde edebilmek için çeşitli konfigürasyonlar kullanılmıştır. Bunlara örnek olarak balon yapılar, sabit kanatlı uçaklar, tek rotorlu helikopterler verilebilir. Bu yapıların avantajları olduğu gibi birçok dezavantajları da mevcuttur. Fakat döner kanat yapısının dikey iniş kalkış yapabilme, havada askıda kalabilme ve düşük hızda uçuş yapabilme, küçük boyutları ve daha iyi manevra kabiliyeti olması nedeniyle rakiplerine göre birçok avantajları vardır.

İnsansız hava aracı (İHA), uzaktan kumanda edilen bir tür uçaktır. İHA' lar iki sınıfa ayrılır: İlki uzaktan kumanda edilerek uçan, diğeri ise kendiliğinden belli bir uçuş planı üzerinden otomatik olarak hareket edebilen uçaklardır. İHA' lar çok geniş bir yelpazede kullanılır. Bunlardan bazıları uzaktan algılama, keşif ve nakliye için kullanılır. Uzaktan algılama amaçlı üretilen İHA' lar elektromanyetik, biyolojik ve kimyasal sensörlerden oluşur. Biyolojik algılayıcılar havada bulunan çeşitli mikroorganizma ve biyolojik etkileri araştırmaya yarar. Kimyasal algılayıcılar ise havada bulunan elementleri inceler. Keşif amaçlı üretilen İHA' lar günümüzde birçok saldırı görevinde de kullanılmaktadır. Nakliye amaçlı üretilen İHA' lar ise sahip oldukları özelliklere göre yük taşıma kapasitesine sahiptirler. Yükler en fazla ana gövde içerisinde bırakılan boşlukta taşınır. Helikopter şeklindeki bazı İHA' larda ise gövde altına takılarak taşınır. Uçak gövdeli İHA' lar da gövde dışında yük taşıyabilir ancak bu sırada uçağın aerodinamik yapısının bozulmamasına özen gösterilmelidir. Bu gibi durumlarda genellikle gövde dışına takılan aerodinamik tüpler içerisinde yük taşınır.

Bunların dışında iletim hatları denetiminde, sınır devriyelerinde, arama-kurtarma faaliyetlerinde, petrol ve doğalgaz aramalarında, yangın izlemede, topoğrafya ve tarımda kullanımları görülmektedir. Dört rotorlu döner kanat İHA çapraz şekilde yerleştirilmiş uçlarında bulunan dört adet motorla hareketi sağlanan bir insansız hava aracıdır ve bu motorlara enerji verilmesiyle motorlara bağlı bulunan pervaneler hareket ederek dönme eksenleri doğrultusunda kaldırma kuvvetleri oluşturur.

Pervanelerin eşit hızda döndüğü durumda İHA merkezinde oluşan tork dengelenir ve kendi ekseni etrafında dönme açısı olan yönelme açısı sabit kalır. Sağ ve sol pervanelerin hızları birbirinden farklı olduğu durumda kaldırma kuvvetleri arasında bir fark oluşur ve yalpalama açısı değişir. Aynı şekilde ön ve arka pervanelerin hızlarının birbirinden farklı olduğu durumda da yunuslama açısı değişir. Aynı yönde hareket eden pervanelerin hızlarının, diğer yönde dönen iki pervanelerin hızlarına göre değiştirilmesi ise döner kanat İHA' nın kendi ekseni etrafında dönmesini sağlar.

Bir dört rotorlu döner kanatlı İHA' nın diğer farklı gövdelere oranla maliyeti, stabil özelliği, kontrolü daha kolaydır. Bu gövdenin dezavantajı ise motorun herhangi birinin arızalanması durumunda düşme ihtimalinin yüksek olmasıdır.

Aynı şekilde bir diğer dezavantaj durumu uçuş parametrelerinin iyi bir şekilde ayarlanmadığı durumlarda uçuş sırasında istenmeyen kazalar meydana gelebilmektedir. İHA' lar ana çerçeveye ek olarak motorlar, elektronik hız denetleyicileri, sensörler (barometre, ivmeölçer, GPS, ultrasonik, vb.), pervaneler, güç sistemi, kamera ve iletişim sistemleri gibi İHA' lar için gerekli olan donanımsal birimleri içermektedirler. İHA' ların donanımsal özellikleri bütçeye ve amaca uygun şekilde geliştirilmeye uygundur. Bu tasarım projesi kapsamında, bir dört rotorlu döner kanatlı İHA tasarımı yapılacaktır. Bu sayede günümüzde çok önemli bir yeri olan havacılık sektörüne yeni kullanışlı bir ürün sunmaya çalışılmaktadır.

1.1.1.Döner Kanat İHA Tarihçesi

İnsansız hava araçları, uçuş sırasında pilot taşımayan, uçuş için bir ya da birden fazla rotor tarafından desteklenen, uzaktan kontrolle ya da kendi taşıdıkları denetleyicilerle kontrol edilebilen uçan robotlar olarak tanımlanabilir. İHA' lar birden çok amaç için kullanılabilir. Bu da kullanım amacına göre farklı İHA modelleri ortaya çıkarmıştır. Farklı modeller ortaya çıkmasında en önemli etkenler kullanım amacı ve maliyete yönelik gereksinimlerdir.

İnsansız hava araçları konusunda yapılan ilk çalışma 1916 yılında A. M Low tarafından yapıldığı bilinmektedir. Takip eden yıllarda ise sınırlı sayıda üretilen Hewitt- Sperry adlı otomatik uçak I. Dünya Savaşı sırasında kullanılmıştır. 1935 yılında film yıldızı ve uçak modeli tasarımcısı Reginald Deny tarafından ilk uzaktan kumandalı İHA modeli geliştirilmiştir. II. Dünya Savaşı süresi boyunca çok fazla miktarda uçak üretilir. Bunlar trenleri koruma amacıyla uçaksavar ve saldırı görevlerinde kullanılmıştır.

1951 yılında jet motoru bulunan ilk model Teledyne Ryan firması tarafından geliştirilen Firebee' dir. 1955 yılında ise Beechcraft firması ABD Deniz Kuvvetleri için Model 1001 modelini üretmiştir. 1960 yılına kadar üretilen modeller, modern İHA tanımına tam olarak uymadığından dolayı uzaktan kumandalı uçak olmaktan daha öteye gidememişlerdir. 1980-1990' lı yılların başında geliştirilen ve küçültülen bu araçlar ABD askerleri çevresinde büyük ilgi görmüştür. Bunun en büyük nedenleri uçaklar kadar maliyetli olmaması ve tehlikeli yerlerde daha kolay ulaşım sağlaması ve güvenli olmasıdır. Herhangi bir riskli görevde mürettebat kaybının yaşanmaması da oldukça önem taşımaktadır. İnsanlı uçakların manevra ve operasyon kabiliyetinin insan kabiliyetleriyle sınırlanması (yorgunluk, çalışma saati, G kuvveti vb.) gibi operasyon el kabiliyetle ilgili kelimeler, insansız hava araçlarında teknolojinin verdiği imkânlar sayesinde ortadan kaldırılmaya ve azaltılmaya çalışılmaktadır. İHA' ların maliyetlerinin giderek düşmesi ve otonom kontrol sistemleri ile ilgili önemli gelişmeler kat edilmesi sonucunda sel, deprem, heyelan, orman yangınları gibi afetler sonucu oluşan olumsuz koşullarda arama kurtarma ve hasar tespit çalışmalarının yapılmasında kullanılır. Ayrıca sinema, televizyon ve

fotoğrafçılık sektörü, kaçak yapılaşmayla mücadele, sınır gözetleme gibi birçok farklı kullanım alanları ortaya çıktı.

Bu bölümde tarihte yer edinmiş ve kayıtlara geçmiş ilk İHA tasarımları ve yapıları, bilim adamlarının çalışmaları doğrultusunda ve uçuş denemeleri derlenerek açıklanmaya çalışılır.

1.1.2. ESKİ DÖNER KANAT İHA TASARIMLARI

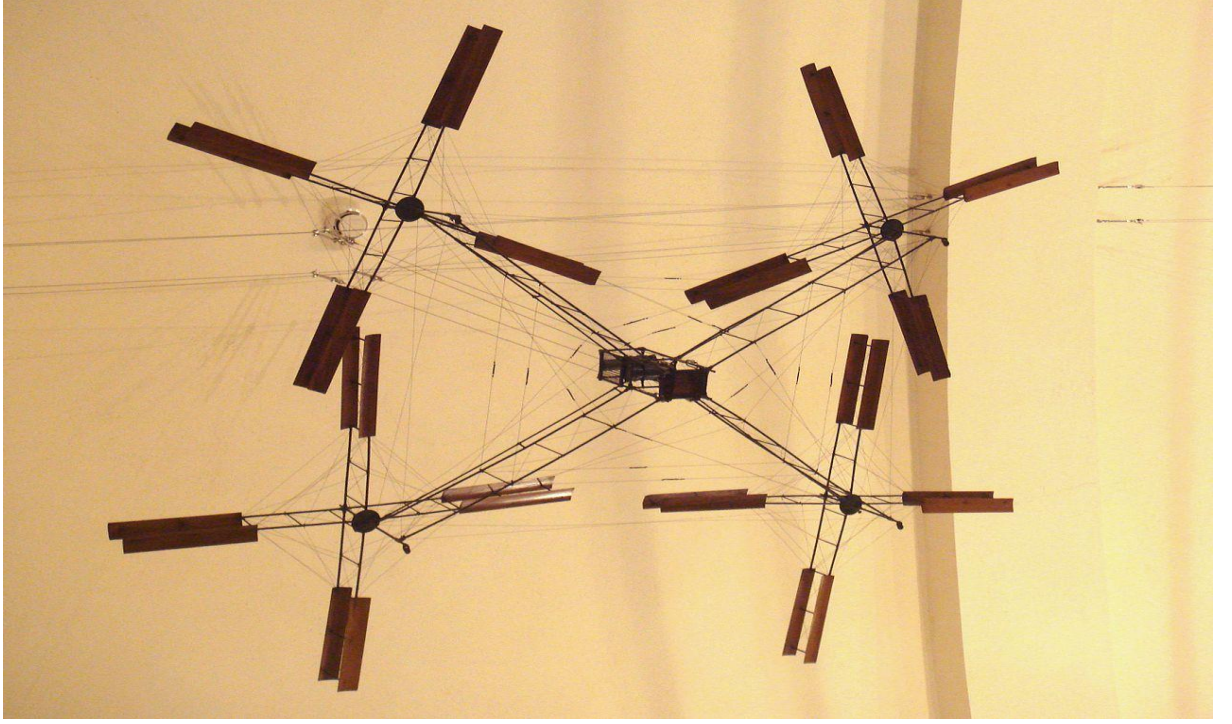
Döner kanatlı İHA' lar 20. Yüzyıl ve sonrasında oldukça ilgi görüp geliştirilmiştir. Bu zaman sürecin de çok farklı tasarımlar da döner kanatlı İHA' lar tasarlanmıştır. Eski dönemlerde gerek kontrol teknolojisi gerekse elektronik alanda gelişmediğinden insansız bir hava aracı düşüncesi ortaya çıkamamıştır. Elektronik ve kontrol teknolojisindeki gelişmelerden sonra birçok cihaz gibi döner kanatlı hava araçlarının boyutları da giderek küçülmüştür. Gerekli özellikleri tam karşılayamadığından ve yeterli donanıma sahip olmadığından zaman içinde gelişimlerini sürdürmüşlerdir.

1.1.2.1. Brequet Richet Hava Aracı

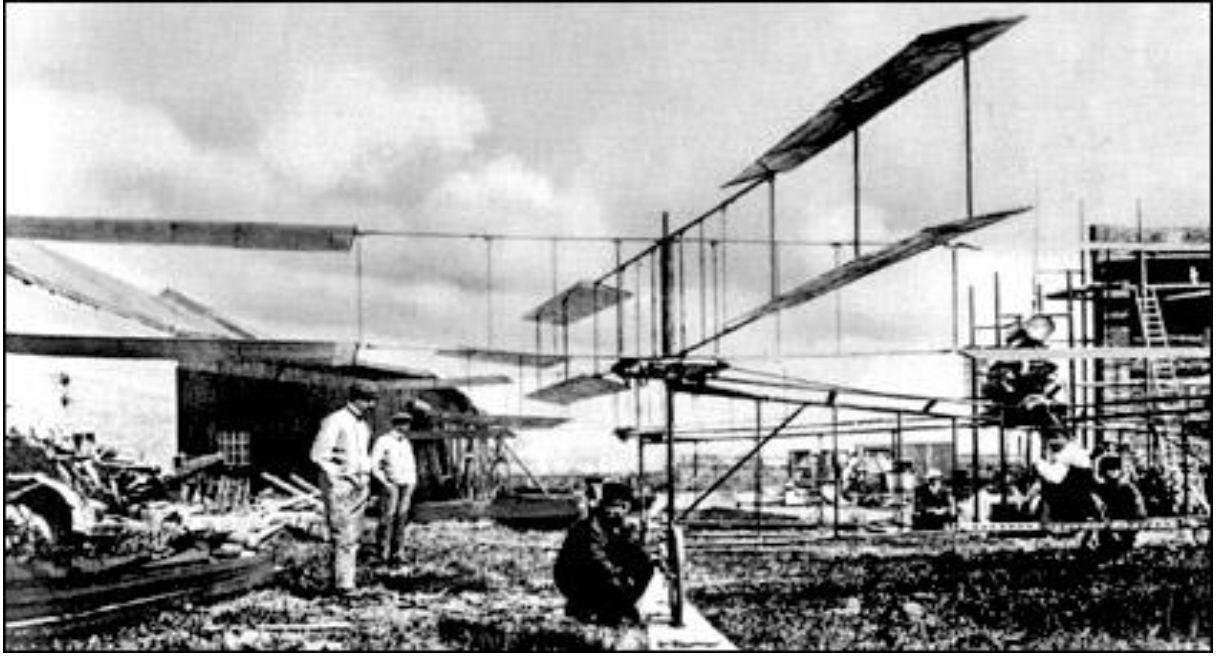
Bilim adamı ve akademisyen olan Charles Richet 20. yy' ın başlarında küçük insansız bir helikopter yaptı. Bu insansız hava aracı pek başarılı olamamasına rağmen Richet' in öğrencilerinden biri olan Louis Breguet' a fikirler verdi. Daha sonra Aviastar' a (2016 a) göre, Louis ve Jacques Breguet kardeşler, Profesör Richet rehberliğinde helikopterle ilgili deneylerine başlamışlardır. Louis ilerleyen zamanlarda havacılık tarihinin öncü isimlerinden biri haline gelmiştir.

Breguet kardeşler ilk kez insan taşıyan helikopteri yaptılar. Bir dört rotorlu hava aracı olan Breguet-Richet Gyroplane No.1 olarak bilinir. Helikopterin tasarımında denge sorunu göz

önünde bulundurulmuştur. Fakat ana amacı kendisini ve taşıdığı pilotu kendi kuvvetiyle yerden havalandırabilmektir. Breguet-Richet hava aracı dört adet uzun kirişten meydana gelmiştir. Çapraz olarak yerleştirilen bu yatay kirişler çelik borudan yapılmıştı ve kaynak yapılarak sabitlenmmişti. Her rotor dört adet hafif, kumaş kaplı çift yönlü kanatlardan oluşmaktaydı. Rotorlar kirişlerin uçlarına yerleştirilmişti. Karşılıklı pervaneler bir yöne dönerken diğer ikisi ters yöne dönmektedir. Pilot, yapının merkezinde, 8- silindirli içten yanmalı bir motorun altında oturmaktaydı. Motor 40 hp civarı bir güce sahip olup, rotorları basit bir kayış kaskak mekanizmasıyla sürmekteydi. Uçağın, pilot için bir koltuk ve merkezde bir elektrik santrali bulunan, üstü açık bir çelik iskeleti vardı. Merkezi yapıdan yayılan, her biri üst üste binmiş bir çift dört kanatlı rotor taşıyan dört telle çaprazlanmış çelik boru koldu. Tork etkisini ortadan kaldırmak için, iki rotor seti saat yönünde ve ikisi saat yönünün tersine sürüldü. 29 Eylül 1907'de, yalnızca 0,6 metre (2,0 ft) yüksekliğe sahip olsa da, Gyroplane No.I ilk kez uçtu. Yapıyı sabitlemek için dört adam kullanıldığından, bu serbest bir uçuş değildi. Ne kontrol edilebilir ne de yönlendirilebilirdi, ancak ilk kez döner kanatlı bir cihaz kendisini ve bir pilotu havaya kaldırdı. Daha sonra yerden 1.52 m (4.99 ft) yüksekliğe kadar uçtu. Tasarım iyileştirildi ve Gyroplane No.II ertesi yıl çıktı. No.II, 7,85 m (25,75 ft) çapında iki kanatlı rotora ve sabit kanatlara sahipti. 41 kW (55 hp) Renault motorla güçlendirilen motorun, 1908' de birden fazla kez başarıyla uçtuğu bildirildi. No.II, ağır bir iniş sırasında hasar gördü ve No.II olarak yeniden inşa edildi. Şirketin işleri şiddetli bir fırtınada ağır hasar gördüğü zaman Nisan 1909' da en az bir kez uçtu. Aşağıda şekil 1' de Breguet firmasında üretilen Louin Breguet' in tasarladığı Gyroplane No.1 1907 model test aracıdır ve Şekil 2' de Breguet-Ricket Gyroplane No.1 fotoğrafı gösterilmiştir [1].



Şekil 1. Breguet-Ricket Gyroplane No.1



Şekil 2. Breguet-Ricket Gyroplane No.1 Fotoğrafi (Aviastar)

1.1.2.2. De Bothezat Hava Aracı

Ocak 1921'de, ABD ordusu hava kuvvetleri dikey uçabilen bir araç geliştirmeleri için Dr. George de Bothezat ve Ivan Jerome ile bir sözleşme imzalamışlardı. Nisan 1909' da bir kez uçuştu. De bothezat helikopter olarak da bilinen, Bothezat Jerome-de Uçan Ahtapot, deneysel kullanılacak bir helikopter oldu. Dört rotorlu helikopter için inşa edilen Birleşik Devletleri Ordusu Hava Servisi tarafından George de Bothezat 1920'lerin başında ilk başarılı helikopter olarak söyleniyordu. Bothezat hava aracı, 1678 kg ağırlığında olan çapraz şeklindeki yapısı, her biri 9 metrelik kolların ucuna yerleştirilmiş olan 8.1 metre uzunluğundaki altı kanatlı dört adet rotordan oluşmaktaydı. Yanal kolların sonlarında değişken açılı iki adet küçük pervane itmeyi ve sapma açısını kontrol etmek için kullanılmaktaydı. Küçük bir kaldırma rotoru da ek olarak hava aracı iskeletinin birleşme noktasında olan 180 hp'lik Le Rhone radyal motorun üstüne yerleştirilmişti ancak daha sonra gereksiz olduğu için kaldırıldı. Her pervanenin kontrol edilebilen eğilme açıları vardı, bu sayede pervaneler değişik itme kuvveti oluşturmakta ve aracın hareketi sağlanmaktaydı.

Hava aracı kalkışta 1700 kg'dı ve ilk uçuşunu Ekim 1922'de yaptı. Motoru daha sonra 220 hp'lik bir motora yükseltti. 1923'ün sonuna kadar üç tane yolcunun hava aracına oturtularak yaptığı yaklaşık 100 deneme uçuşu yapılmıştı. Yapılan denemelere göre aracın yerden 100 m yükselmesi gerekirken, en fazla 5 m yükselebilmışti. Dört büyük altı kanatlı pervanesi uçağın başarılı bir şekilde uçmasına izin vermesine rağmen, karmaşıklıktan, kontrol zorluklarından ve yüksek pilot iş yükünden muzdaripti ve bilindiğine göre sadece uygun bir rüzgarda ileri uçuş yapabilirdi. Ordu 1924'te programı iptal etti ve uçak hurdaya çıkarıldı. Şekil 3' de De Bothezat helikopterinin üstten görünüşü verilmiştir.

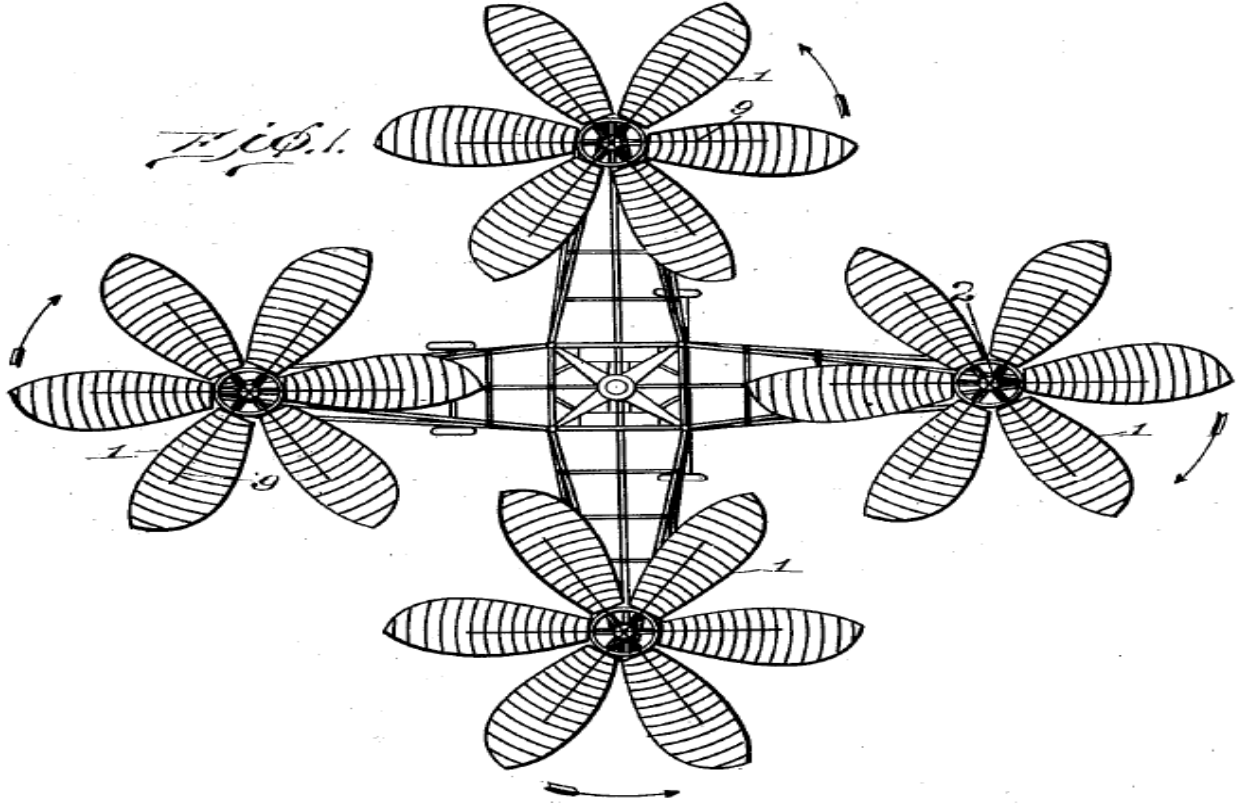
March 4, 1930.

G. DE BOTHEZAT
HELICOPTER

1,749,471

Filed March 29, 1924

5 Sheets-Sheet 1



Şekil 3. De Bothezat Helikopterinin Üstten Görünüşü

1.1.2.3. Convertawings Model A 1956

Convertawings, 1922'de Fransa'da Oemichen ve Amerika Birleşik Devletleri'nde G. de Bothezat tarafından dört rotorlu helikopter konseptiyle Birleşik Devletler Ordusu tarafından sipariş edilen ve 1923'te uçan ilk helikoptertir.

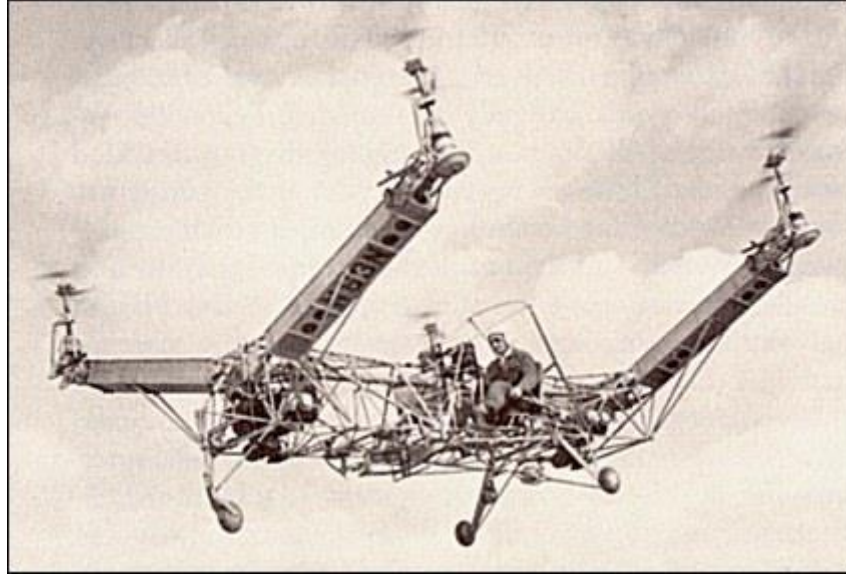
Convertawings' in bu konfigürasyon üzerinde daha fazla geliştirme çalışması sonucunda, ilk prototip 1955'te tamamlanmıştır ve o zamandan beri başarıyla uçmaktadır. Benzer hatlarda iki helikopter daha öngörülür.

Bu helikopterin dört rotoru, iki çift halinde payandalar üzerine yanal olarak monte edilmiştir. Kontrol mekanizması son derece basitleştirilmiştir ve rotorlar arasındaki farklı itme kuvveti değişimi ile elde edilmiştir. Döngüsel kontrol yoktur, sadece kolektif kontrol vardır. Deneysel prototipte gövde çelik boru şeklindedir. Güç, rotor tahrik sistemine çoklu v kayışları ile bağlanan iki motor tarafından sağlanmaktadır. Şaft tertibatı ve şanzıman muhafazaları, dört rotor arasında ara bağlantıyı sağlar, böylece ihtiyaç duyulduğunda her iki motor da hepsini çalıştırabilir. Arka bölümde iki tekerlekli ve dönebilen burun tekerleği olan üç tekerlekli bir alt takım bulunmaktadır.

İlk uçuşlar Mart 1956'da gerçekleştirildi. Amerika Birleşik Devletleri'nde, önemli birçok rotorlu tasarım, tasarımcısı ve test pilotu D.H. Kaplan tarafından 1956'da Long Island' da uçulan dört rotorlu Quadrotor' du. Dört rotor bir "H" konfigürasyonunda konumlandırılmıştır ve tasarım "menteşesiz" rotor formu olan kayışa monte kanatlı basitleştirilmiş göbekler içermektedir. Çok rotorlu uçakların cazibesinin bir kısmı, karmaşık döngüsel aralık kontrol sistemlerini ortadan kaldırmak için tasarlanabilmeleridir. Eğim ve yuvarlanma kontrolü, rotorlar arasındaki diferansiyel kolektif aralık ile elde edilebilir ve bu sistem Quadrotor' da belirgin bir başarıyla kullanılmıştır (benzer bir düzenleme, üç rotorlu "Air Horse" da da kullanılmıştır). Sistem, dört rotora hemen hemen her türlü toplu adım değişikliği kombinasyonunun uygulanabilmesi böylece rotorun itme kuvvetini değiştirmesi ve güçlü bir kontrol sağlaması için tasarlanmıştır. Örneğin, Quadrotor' u bir tarafa döndürmek için, o taraftaki her iki rotorun eğimi artırılırken diğer taraftaki iki rotorun eğimi azaltılır. Yön kontrolünü elde etmek için (gemiyi sağa veya sola çevirmek), dört rotor direkleri dikeyden hafifçe içe doğru eğimli olacak, iki ön rotor arka tarafa ve iki arka rotor öne doğru eğilecektir. Rotor itme kuvvetini değiştirerek, uçağı dikey eksenini etrafında saptıracak kuvvetler üretilebilir.

Başarılı test ve geliştirmeye rağmen Quadrotor için askeri destek, savunma harcamalarındaki kesintilerden sonra kesildi. Bununla birlikte tasarım, özellikle kontrol sistemi, tandem kanatları veya dört fan, kanal veya jetlerden oluşan bir kare konfigürasyonu içeren

mevcut deneysel dikey yükselen uçak tasarımlarının bir öncüsüydü. Ancak, tasarımı ve özellikle kontrol sistemi, kendisinden sonra gelecek olan VTOL araçlarının habercisi olmuştur. Şekil 4' Convertawings de gösterilmiştir [2].



Şekil 4. Convertawings (Model A 1956)

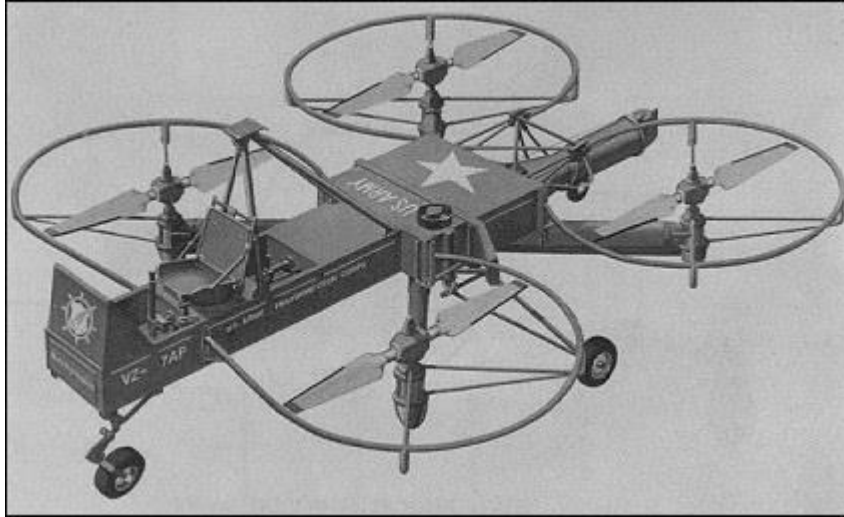
1.1.2.4. Curtiss – Wright VZ-7

Curtiss -Wright VZ-7' a 'uçan cip ' deniyordu bir ordunun ulaşım kolordu ihtiyacına cevap olarak geliştirilmiştir. Curtiss-Wright'ın Santa Barbara Bölümü (eski adıyla Aerophysics Development Corporation), 1957'de iki prototip uçağın geliştirilmesi ve ilk uçuş testi için bir Ordu sözleşmesi ile ödüllendirildi.

VZ-7 esas olarak dört bir kare desende bağlanmıştır pervaneler dikey olarak monte edilmiş olan bir dikdörtgen orta uçak gövdesin de oluşan son derece basit bir tasarım oldu. Merkezi gövde, pilot koltuğunu, uçuş kontrollerini, yakıt ve yağ tanklarını ve uçağın tek 425 shp

Turbomeca Artouste IIB şaft türbin motorunu taşıdı. Her iki prototip de başlangıçta kanallı fanlara sahipti, ancak her iki motor da sonunda örtüsüz pervanelerle çalışacak şekilde değiştirildi. VZ-7 kontrol sistemi, aynı zamanda çok basit yönlü bir hareket her bir pervanenin itme kuvvetini değiştirerek kontrol edildi ve motor egzozu üzerine sabitlenmiş hareketli kanatlar tarafından sağlanan ilave sapma kontrolü de bulunurdu.

Her iki VZ-7 örneği de inşaatçının ilk uçuş testi programı sırasında yeterince performans gösterdi ve Ordu tarafından değerlendirildiğinde her ikisi de oldukça iyi performans gösterdi. Tekne havada asılı ve ileri uçuş yeteneğine sahipti ve nispeten dengeli ve kullanımı kolay olduğunu kanıtladı. Bununla birlikte, tasarım ordu tarafından belirlenen irtifa ve hız gereksinimlerini sürekli olarak karşılayamadığını kanıtladı ve her iki örnek daha sonra hizmetten çekildi ve 1960 ortalarında üreticiye iade edildi. Şekil 5’ de örneği gösterilmiştir [3].



Şekil 5. Curtiss – Wright VZ-7

1.2. Günümüzde İHA' ların Kullanım Alanları

Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle hayatımıza yeni kavramlar ve teknolojiler girmektedir. Bunlardan biri de İHA' lardır. Elektrik motorların ve devre kartlarının teknolojinin ilerlemesiyle daha da küçülmesi İHA Teknolojisinin doğmasına neden olmuştur. İHA' lar günümüzde kargo, askerî, uzaktan algılama, ulaşım, gözlem ve sinema gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu ve buna benzer alanların İHA' ların kullanım amaçları farklı farklı olabildiği gibi benzerlik de göstermektedir. Bu amaçlar kullanılan İHA' nın tasarım, yazılım, donanım, ağırlık, yük taşıma kapasitesi, hızı, havada kalış süresi ve manevra kabiliyeti gibi özelliklerini değiştirmekle birlikte birbirinden farklı çok sayıda İHA sınıfı ve tasarımı ortaya çıkmaktadır. İHA' ların hizmet edeceği amaca yönelik özel olarak tasarlanması İHA' ların işlevselliği ve görev ihtiyaçlarını yerine getirebilmesi açısından önemli bir duruma gelmiştir.

Askeri İHA' lar; askeri alandaki ihtiyaçları karşılamak, hedef belirlemek, düz mana yem olarak kullanmak ve hedef belirleme gibi alanlarda kullanılır. Askeri olarak İHA' ların kullanılması mürettebat kaybının olmamasından dolayı önemli bir tutar. Ayrıyetten düşmana ait cephe bilgileri toplanır bulunan ortamı keşfedebilir ve yüksek riski bölgeler de çatışma kapasitesine sahip olduklarından savaşmak için kullanılır.

Sivil İHA' lar; birden çok kullanım alanları vardır. Yangın, deprem, sel gibi doğal afetlerde, olay yerinin tespit edilerek, yardım ulaştırılması gibi konularda, gerçek zamanlı veri transferi ile destek sağlanması, denizlerde, kırsal alanlarda yaşanan çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla, çevresel temizlik faaliyetlerini gerçekleştirmek üzere, acil ilaç ulaştırmak üzere, trafik gibi ulaşım problemlerine takılmadan hızlı ve etkili bir şekilde müdahale edilmesi, balıkçılık, doğa fotoğrafçılığı, vahşi yaşamın gözlenmesi gibi hobi faaliyetlerinde kullanılmasında türü yok olma tehlikesiyle karşı karşıya olan canlıların korunması amacıyla, kaçak avcılığın tespit edilmesi ve önlenmesi için, elde edilen verilerin ilgili birimlerle paylaşılması, mitinglerde, konserlerde, geniş katılımlı açık hava toplantıları gibi organizasyonlarda, güvenliğin sağlanması amacıyla kullanılması mümkündür [4].

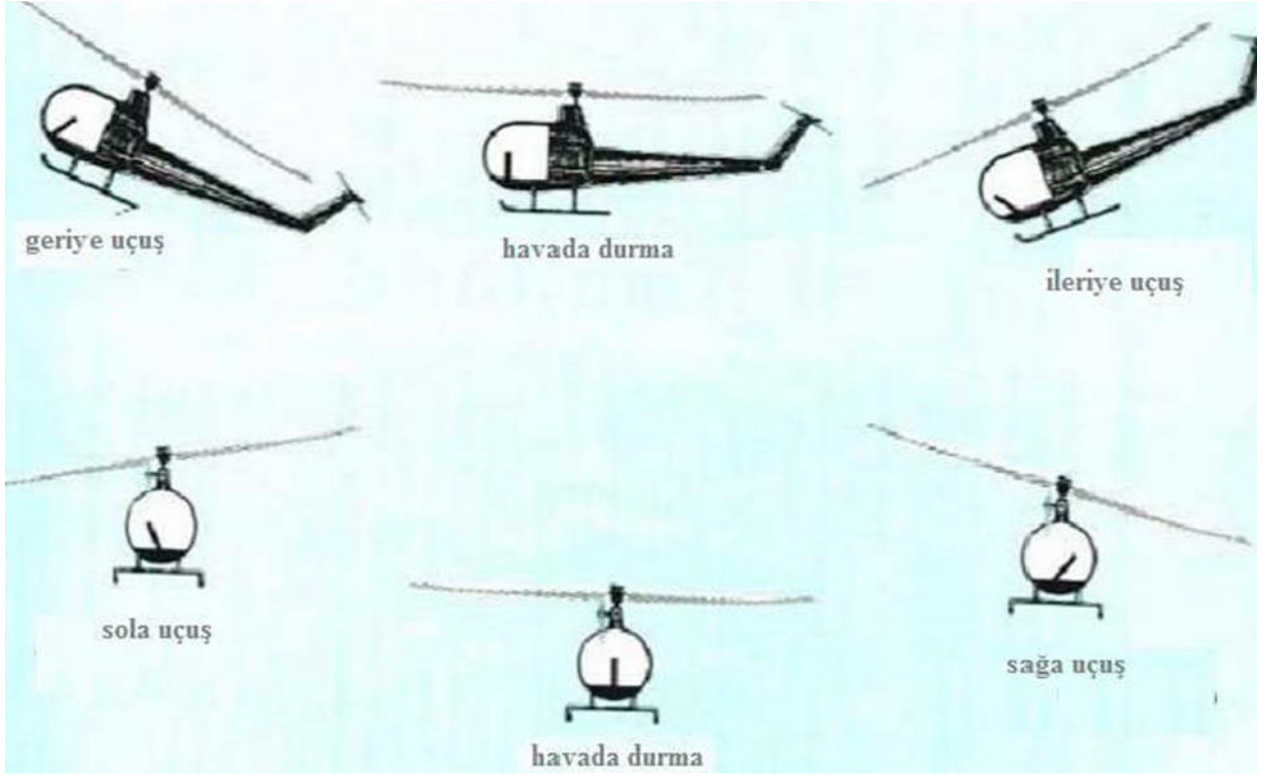
1.3. DÖRT ROTORLU DÖNER KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI

1.3.1.Dört Rotorlu Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracının Tanımı

Döner kanat ya da döner kanatlı uçaklar, dikey bir şafta bağlı olarak dönen kanatların ürettiği kaldırma kuvvetiyle yerçekimini yenen ve uçuşunu gerçekleştiren hava araçlarıdır. Tek bir şafta bağlı pallerden oluşan sistem de rotor olarak adlandırılır. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü tarafından yapılan döner kanat tanımı, "uçuş için bir ya da birden fazla rotor tarafından desteklenen hava aracı" şeklindedir [5].

Aynı zamanda quadrotor helikopter, quadcopter, quadrocopter ve quadraopter adları verilen döner kanatlı dört rotorlu, rotorlar tarafından kaldırılan ve yürütülen bir İHA' dir. Bazı melez (hibrit) döner kanatlı hava araçları ise motorlarıyla tahrik ettikleri ana rotorlarına ek olarak, fazladan itki sağlayan ek motorlar, pervaneler ve sabit taşıma yüzeylerine de sahip olabilirler Dört rotorlular sabit kanatlı hava araçlarının tersine kaldırma kuvvetini dönen kirislerden aldığı için rotorcraft grubuna girmektedir. Dört rotorlu' ların aksine genel olarak simetrik şekilde yerleştirilmiş pervaneler kullanılır. Birbirine uyumlu olarak ayarlanır fakat helikopterdeki gibi döngüsel (cyclic) değildir.

Cihazın kontrolü rotorların dönüş hızını değiştirerek, tork yükünde ve itme/kaldırma özelliklerinde farklılık meydana getirir. Şekil 6' da İHA' ların döngüsel kontrol tanımları gösterilmiştir.



Şekil 6. Döngüsel Kontrol Tanımları

Döner kanat dört rotora sahip İHA yapılandırmaları uçuş tarihinde sürekli görülen torca dayalı kontrol sorunlarını ve kuyruk motorundan kaynaklı verim kaybını yok etmek amacıyla ortaya çıkmıştır. 1920 ve 1930 yıllarında insan bulunan uçuş için tasarımlar yapılmaya başlanmıştır. Bu araçlar havadan ağır olmakla birlikte dikey kalkış ve iniş yapabilen cihazların önde gelenlerinden meydana gelmiştir. Fakat ilk örneklerin performansları düşük olması sebebiyle daha sonrakilerin ise düşük kararlılık, pilota düşen iş yükü ve sınırlı kontrol imkânları sebebiyle kullanılmamıştır. Çağımızda İHA olarak dört rotorlu tasarımlar popüler hale gelmiş bulunmaktadır. Manevra kabiliyeti ve küçük tasarımları ile kapalı ve açık alanda uçurulabilmektedirler.

İHA ' ların boyut olarak kendilerine benzeyen helikoptere karşı birtakım üstünlükleri bulunmaktadır. İlk olarak, dört rotorlular pervane açısını değiştirmek için kullanılan mekanik bağlantılara ihtiyaç duymamaktadır. Böylece dört rotorluların bakımı ve tasarımı kolaylaşmış olur. İkinci olarak ise, dört motor kullanılması sebebiyle motor çaplarının küçük olması,

böylelikle de uçuş esnasında daha az kinetik enerjiye sahip olmaları ve dolayısıyla çarpışma gerçekleşmesi dahilinde motorların daha az hasar görmeleridir. Kontrolü ve yapım kolaylığı sebebiyle amatör model uçuş projelerinde İHA şaseleri sıkça kullanılır. Dönerkanatların rotor sayıları, araçtan beklenen gerekliliklere göre farklılık gösterebilir. İstisnai örnekler mevcut olsa da bu sayı genelde 2 ila 7 arasında değişmektedir. Dönerkanatlı bir hava aracı, bir ya da birden fazla rotora sahip olabilir. Bu kullanım şekilleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- **Tek rotor:** İlave bir ana rotor bulunmadığından dolayı, antitork kuvveti oluşturacak bir kaynağa ihtiyaç duyarlar. Tipjet gibi istisnalar, bu tanımın dışında tutulabilir. Günümüzde en çok kullanılan tek rotorlu döner kanatlar, helikopterlerdir.
- **Çift rotor:** Bu tip dönerkanatlı hava araçları, antitork kuvveti oluşturmak için ilave bir kaynağa ihtiyaç duymazlar. Bir ana rotorun tahrik edilmesi sırasında oluşan tork kuvveti, diğer rotorun ters yönde tahrik edilmesiyle oluşan tork tarafından dengelenir. Böylece antitork kuvveti sağlanmış olur. Aynı şekilde rotorlardan kaynaklanan kuvvetler birbirini dengelediği için, aracın yatay ekseninde dönmesini engelleyecek dikey stabilizeye de (dikey dengeleyici) ihtiyaç yoktur. Çift rotorlu döner kanat tipleri, aşağıdaki gibi sıralanabilir.
- **Üç rotorlu:** Yaygın olmayan bu konfigürasyona örnek olarak sadece, 1948 yılında geliştirilen Cierva Air Horse modeli gösterilebilir. Bu büyüklükteki bir hava aracı için tek rotorun yeterli olmayacağı düşünülerek üç rotorlu olarak tasarlanmıştır. Birden fazla ana rotora sahip döner kanatların aksine tüm rotolar aynı yönde dönmektedir. Hem antitork kuvveti oluşturmak hem de aracın yatay ekseninde dönmesini engellemek için tüm rotoların eksenleri birbirlerine göre açılıdır. Bu sayede oluşan yatay kuvvetler, antitork görevi görürler.
- **Dört rotorlu:** Quadroptor ya da quadcopter olarak da adlandırılan bu döner kanatlar, istisnai tasarımlar haricinde ikisi saat yönünde diğer ikisi de saat yönünün tersine dönen dört adet rotora sahiptir.

- **Beş ve üzeri rotorlu:** Bu tip döner kanatlar genelde multi rotor olarak adlandırılırlar ancak yaygın olarak altı rotorlu modellere hexacopter, sekiz rotorlu modellere de octocopter denir. Bu modellerde karşılıklı rotorlardan biri saat yönünde dönerken diğeri de saat yönünün tersine dönmektedir. Genel olarak insansız hava aracı uygulamalarında karşımıza çıksalar da son dönemlerde insanlı multicopter çalışmaları da hız kazanmış ve bazı prototipler başarılı uçuşlar gerçekleştirmiştir.

1.4. Dört Rotorlu Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracında Kullanılan Malzemeler

Kompozit malzemeler; farklı fiziksel veya kimyasal özelliklere sahip iki (bir matris veya bir bağlayıcı ve bir güçlendirici) veya daha fazla bileşenlerden yapılmış malzemelerdir. Bu malzemeler bir araya getirildiğinde, yeni malzeme bireysel bileşenlerden farklı özelliklere sahiptir. Buradaki amaç, birinin diğerinin avantajlarıyla birlikte dezavantajlarına karşı koymak ve tersini yapmaktır. İnsansız hava araçlarda, fonksiyonel mühendislik hedefi en temel olarak, iletişim/sensör frekanslarına şeffaflık, üretim/bakım maliyeti ve dayanıklılık gibi diğer faktörlere karşı dengelenmiş en az ağırlık için mümkün olan en iyi mekanik özellikleri elde etmektir.

Bu hedeflere ulaşmak için kompozitlerin kullanımı, çoğu zaman üstün özel özellikler sağladığı için doğal bir çözümdür. Yani, malzemenin birim ağırlığı başına mukavemeti veya sertliği kompozit olmayanlar ile karşılaştırıldığında daha iyidir. Bununla birlikte, kompozitlerle çalışırken göz önünde bulundurulması gereken en önemli özelliklerden biri, mukavemet gibi mekanik özelliklerinin genellikle uygulanan yükün yönüne bağlı olmasıdır.

İnsansız araçlarda kullanılan kompozitler iki ana gruba ayrılabilir - metal matrikskompozitleri (MMC' ler) veya polimer matrikskompozitleri (PMC' ler) - bunlar daha sonra genellikle daha kırılğan fakat çok daha güçlü ve daha sert olan başka bir malzemenin lifleri veya parçacıkları ile takviye edilirler. Bu tür bir kombinasyon da, takviye malzemesi yüklemeyi taşır, yumuşak matris ise lifleri korumaya ve yükü etkin bir şekilde transfer etmenin yanı sıra gerekli geometriyi tutmaya yarar. PMC' ler, mukavemet-ağırlık özelliklerine ve belki

de MMC'lerden daha kolay üretimlerine dayanarak, insansız sistemlerde daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Polimer kompozitleri; En yaygın olarak bilinen PMC, tabii ki karbon fiber ya da daha uygun bir şekilde karbon fiber takviyeli polimerdir (CFRP). Bununla birlikte, birçok alternatif takviye elyafı mevcuttur ve her biri uygulamaya bağlı olarak kendi avantajlarına sahiptir.

İnsansız hava araçlarında tercih edilen alüminyum ve magnezyum alaşımı gibi hafif metallerin tokluğunun ve ağırlığı sayesinde tasarım açısından yüksek mukavemetli, kuvvetli hava şartlarına karşı dirençli ve istikrarlı bir İHA üretilebilir. Kullanılan bu hafif metallerin kullanımı sayesinde İHA' nın alıcı ile verici arasındaki radyo frekans sisteminde parazite sebep olunmasının önüne geçilebilmektedir.

Multikopterler dışardan gelen etkilere karşı çok hassastırlar. Bunun sebebi, havada hareketini sağlayan bileşenlerin (motor, pervane vb.) kollara ve ayaklara hareket iletme kabiliyeti ve rüzgâr yöneliminin bilinmemesidir. Bu koşullar sonucunda titreşim ve salınım hareketleri meydana gelmektedir. Oluşan titreşimin etkileri İHA' nın kollarının içi dolu kare profil olarak imal edilmesiyle giderilecektir. Titreşimin engellenmesinde bir diğer çözüm yolu ise magnezyum alaşımlı hafif metal malzemelerin çok yüksek sönümlenme kapasitesine sahip olmasıdır. Kompozit malzemelerin metal malzemelere göre daha hafif olması İHA' larda kullanımını arttırmakla birlikte metal malzemelerin de İHA' ların kullanım alanlarına göre artmaktadır.

1.5. Dört Rotorlu Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracında Kullanılan Parçalar

İHA havacılıkta uçak ve yer kontrol noktasından oluşmaktadır. Bu sistemlerde tek bir İHA kullanılabildiği gibi, çok sayıda İHA' da kullanılabilmektedir. İHA' lar arasındaki iletişim geliştirilen yazılımlar aracılığı ile sağlanmaktadır. İHA havacılık kompleksi aşağıdaki unsurlardan oluşmaktadır [6].

- Fırçasız Motor
- ESC (Electronic Speed Controller)
- Pervaneler
- Uçuş Kontrol Kartı
- Batarya
- Kumanda (alıcı-verici)
- Sensörler

1.5.1.Gövde

Gövde insansız hava aracının iskeletidir. Genellikle karbon fiber, plastik ve alüminyum malzemeler tercih edilerek üretilmektedir. Gövde tasarımında dikkat edilecek konular, devre koruması mevcut olup olmaması, iniş takımının yerden yüksekliği ve yeri kavraması, kolların titreşim oluşturmayacak şekilde üretilmiş olması, eksenlerde eğrilik ve kayıklık olmamasıdır. Tasarlamış olduğumuz İHA F450 standartlarına uygun şekildedir. Seçtiğimiz gövde malzemesi ABS'dir. Düşük yoğunluklu olması ve yüksek çarpma dayanımına sahip olması yapacağımız insansız hava aracı gövdesi için uygun bir malzemedir. Kimya da adı Akrilonitril Bütadiyen Stiren olan ABS, petrol bazlı bir termoplastiktir. Mekanik özellikleri değişik uygulamalar için ayarlanabilen ABS, hafif ağırlıklı bir malzemedir. Bu nedenle ABS

otomotiv parçaları, oyuncaklar, küçük ev aletleri, çanta aksesuarları, spor malzemeleri ve aklınıza gelebilecek birçok benzer sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tasarladığımız gövde elemanlarının teknik resimleri EK-1 ‘ de verilmiş olup tasarlanan gövdenin teknik resmi ise EK 1.6 ‘ da verilmiştir. Şekil 7’ de gövdenin Solidworks çizimi gösterilmiştir. Ancak Covid-19 pandemi sebebiyle uygun ortam ve maddi gelir oluşturulamadığından hazır F450 gövde tasarımı kullanılmıştır. Tasarladığımız gövdeyle boyut ve diğer özellikler bakımından aynıdır. Tek fark tasarım biçimidir.

Ana Özellikler:

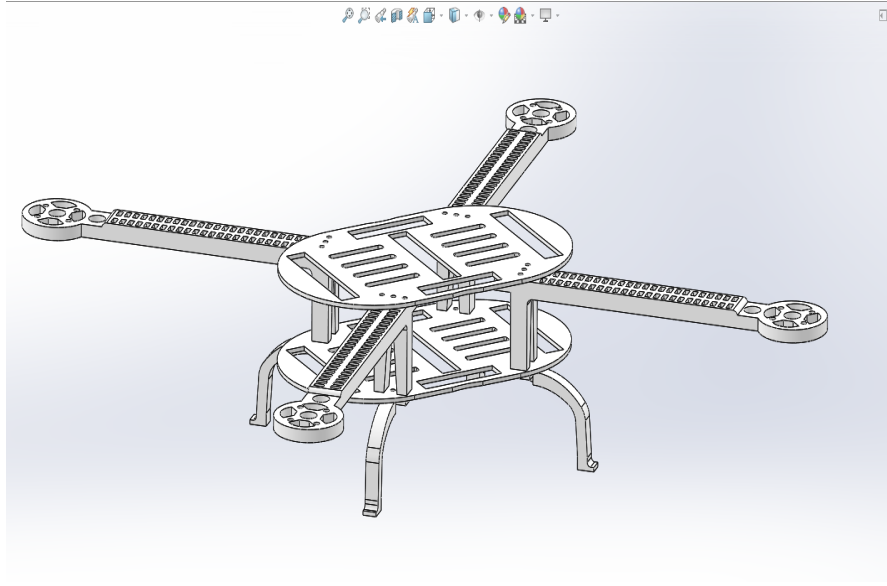
- Yüksek çarpma dayanımına sahiptir.
- Ardıl işleme uygundur.
- Yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir.
- UV ışınlarına dayanıklıdır.

Dezavantajları:

- Soğuma sırasında çarpılma eğilimi vardır. Kontrollü masaüstü cihazlarda yapılan baskılarda daha iyi sonuç alınır.
- Üretim sırasında koku oluşturur.
- Soğuma sonrası çekebilir.

Uygulamalar:

- Endüstriyel ve fonksiyonel prototipleme
- Bağlantı testleri
- Dış mekan dayanıklı tüketim ürünleri
- Elektrikli cihazlar
- Oyuncaklar
- Montajlı parçalar gibi uygulamalara son derece uygundur.



Şekil 7. Gövde Solidworks Çizimi

Malzeme

solidworks materials

- > Çelik
- > Demir
- > Alüminyum Alaşımaları
- > Bakır Alaşımaları
- > Titanyum Alaşımaları
- > Çinko Alaşımaları
- > Diğer Alaşımalar
- ▼ Plastikler
 - ABS
 - ABS PC
 - Akrilik (Orta-yüksek etki)
 - CA
 - Delrin 2700 NC10, Düşük Viskozite Asetal Kopolim
 - Epoksi, Doymamış
 - EPDM
 - Melamin reçinesi
 - Naylon 101
 - Naylon 6/10
 - PA Tip 6
 - PBT Genel Kullanım
 - PC Yüksek Viskozite
 - PE Yüksek Yoğunluk
 - PE Düşük/Orta Yoğunluk
 - Perspex (TM) GS Akrilik Dökme Levha
 - PF
 - Polibütadien (PB)
 - PBTP
 - PEI

Özellikler Görünüm Çapraz Çizgi Deseni Özel Uygulama Verisi Sık Kullanılanlar

Malzeme özellikleri

Varsayılan arşivdeki malzemeler düzenlenemez. Düzenlemek için malzemeyi önce özel bir arşive kopyalamalısınız.

Model Tipi:

Birimler:

Kategori:

Ad:

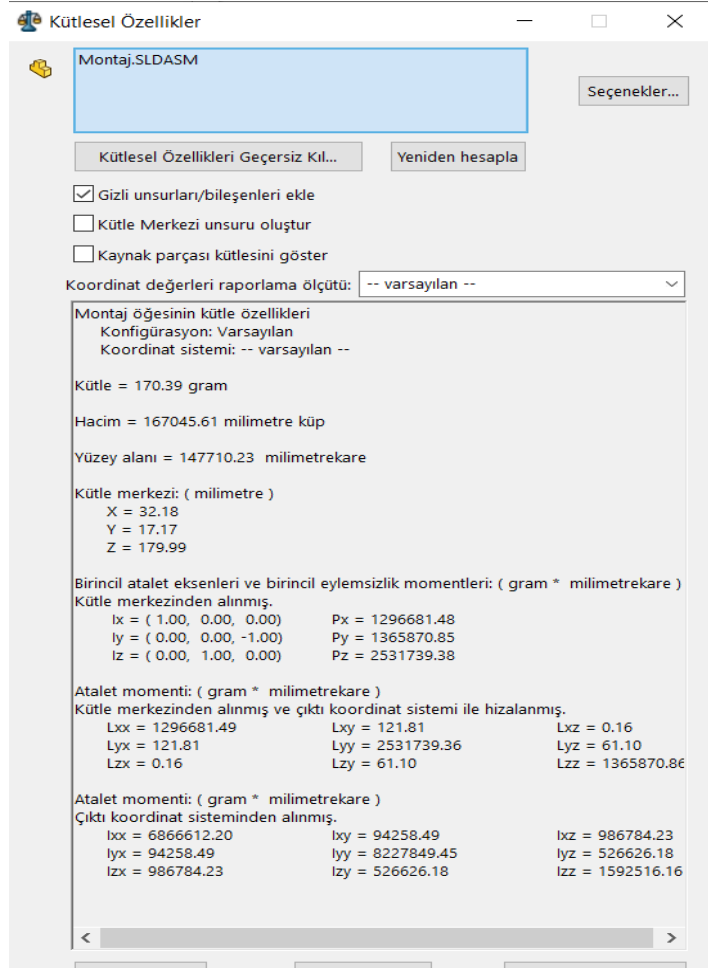
Tanım:

Kaynak:

Sürdürülebilirlik:

Özellik	Değer	Birimler
Elastikyet Modülü	2000	N/mm ²
Poisson Oranı	0.394	Yok
Yırtılma Modülü	318.9	N/mm ²
Kütle Yoğunluğu	1020	kg/m ³
Gerilme Mukavemeti	30	N/mm ²
Sıkıştırma Mukavemeti		N/mm ²
Akma mukavemeti		N/mm ²
Termal Genişleme Katsayısı		/K
Termal İletkenlik	0.2256	W/(m-K)

Şekil 8. Gövde Malzemesinin Özellikleri



Şekil 9. Gövdenin Kütlesel Özellikleri

1.5.2.Fırçasız DC Motorlar

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürürken elektriğin manyetik alan özelliğini kullanan makinelere elektrik motorları adı verilir. Fırça bulunmaksızın elektronik aksamlar bulunduran motorlar ise fırçasız motorlar olmaktadır. Akım çeviricilerin fırça yerine elektronik olması onları fırçalı motorlardan ayıran özelliğidir. Fırçalı motorlara göre, çok daha sessiz çalışabilmeleri, fırçalardan kaynaklı sürüklenmenin ve ısıdan kaynaklı kayıpların bulunmaması, yine fırçaların kıvılcıma sebep olmaması, kolayca soğutulabilmeleri gibi avantajları bulunmaktadır.

Fırçasız motorların DC motorlar gibi doğrudan bataryaya bağlanarak çalıştırılabilme gibi bir özelliği yoktur. Bu yanlışlığın yapılması dahilinde motor yanar. Bundan dolayı, fırçasız motorların çalışabilmeleri için ESC'lerin kullanılması gerekir. Inrunner ve outrunner kelime iki gruba ayrılırlar. Inrunner adlı motorlar, motorun merkez kısmında klasik rotoru bulunan sabit sargıları ise dış kısımda olan motorlardır. Kısacası motorun iç kısmı hareket ederken dış çeperi sabit olmaktadır. Outrunner motorlarda ise motorun merkez kısmında ve sabit halde motor sargıları bulunur. Rotor ise üzerinde mıknatısları da bulunduran motorun dış kısmıdır. Kısacası motorun iç kısmı sabit olup dış kısım hareket etmektedir. Döner kanatlılarda kullanılan fırçasız motorlar genel olarak outrunner tipte olmaktadır.

Motorların özelliklerini içeren birtakım değişkenler vardır. İlki kısaltması V olarak bilinen potansiyel farktır. Kısaltma gerilim değerini göstermektedir. Modelcilikte kullanılmakta olan motorlar üzerinde ya da özellik tablosunda genel olarak voltaj değerleri Li-Po (Lityum-Polimer) pil hücre sayısına göre belirlenir. İkinci değişken ise akım değeridir. Kısaltması A olarak bilinen amper bir kaynaktan birim sürede akan elektrik yüküdür. Kısacası akım birim zamandaki yük miktarı olarak tanımlanır. Bu değişkene bağlı olarak pil ve ESC ye karar verilir. Üçüncü değişken ise güç değeridir. Kısaltması W olarak bilinen watt motorun pervanesinin motor tarafından çevrilebilmesi için ihtiyacı olan gücü belirtir. Gerilim ve akım değerlerinin çarpımıyla bulunur.

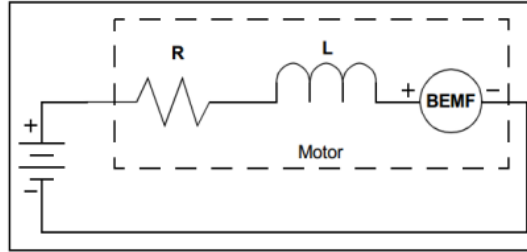
Devir Katsayısı (Kv) değeri fırçasız elektrik motorlarına ait devir katsayısını gösterir. Devir sayısının voltaja bağlı olarak hesaplanmasına yarar. Kısacası motorun dakikada V başına çevireceği devir sayısını belirten değişkendir. Örnek olarak 24 V ile çalışmakta olan motorun Kv değeri 2000 ise dakikada bu motorun devir sayısı= $24 \times 2000 = 48000$ devir/dakika' dır. Çoğunlukla dev/dakika yerine RPM (revolution per minute) yer almaktadır.

$$\text{RPM} = K_v \times \text{Volt}$$

Motor akım çektikçe ve iç dirençten kaynaklanan bir kayıp oluşacaktır. Bu kayıp dikkate alınarak daha gerçekçi RPM değeri hesaplanabilir. Şekil 10' da fırçasız DC motorun iç yapısı gösterilmiştir.

$$V_{\text{kayıp}} = I_{\text{giriş}} \times R_{\text{iç}}$$

$$\text{RPM} = K_v \times (V - V_{\text{kayıp}})$$



Şekil 10. Fırçasız DC Motor İç Yapısı

Rotor hareketsizken elektromagnetik sargıların empedansı akıma karşı oluşmuş tek dirençtir. Bu empedans ise endüktans ve sargıların direncinden meydana gelmektedir. Motor dönmekteyken devamlı olan stator sargılarının önünden geçen mıknatıslı rotor sargılarda “Back Electromotive Force” isimli bir elektriksel potansiyel endükler. BEMF direkt olarak motor hızıyla orantılıdır, RPM ve K_v bilgileriyle bulunabilir [7].

$$\text{BEMF} = \text{RPM} / K_v$$

Başka bir değişken Tork Katsayısıdır (K_t). Motorun çektiği akım değeri ve motor tork sabiti ile motorun torku hesaplanabilmektedir. Bu değer motorun amper başına iletacağı tork değerini ounce-inch olarak ifade eder. K_t ve K_v değerleri arasında zıt oran bulunmaktadır. K_v değeri düşük olan bir motorun amper başına iletacağı tork değeri yüksek olur. Dolayısıyla tork değerinin artırılması için yüksek K_v değerli motorlarda küçük pervaneler veya ek dişli

sistemlerin kullanılması gerekir. K_t ve K_v ilişkin ilgi çekici bir durum vardır ki bu da sabitlerin çarpımının tüm motorlar için aynı olmasıdır. Sabitlerin çarpımı 1'dir.

$$K_v \times K_t = 1$$

Motor sabitinin hesaplanmasından sonra motor tarafından çekilen akım bilindiği için motorun sağlayabileceği en yüksek tork miktarını verilen formül kullanılarak kolaylıkla bulabiliriz.

$$\text{Tork} = K_t \times \text{Amper}$$

Fırçasız DC motorlar için K_v -RPM sabitinden de bahsedilmesi gerekmektedir. Bu sabit yardımıyla motorun diğer türevlerine ait özellikler elde edilebilir. Motor sabiti adı verilen bu katsayı altta verilen formül ile bulunur.

$$\text{Motor sabiti} = K_v \times \text{sargı sayısı}$$

Motor seçiminde motorun itiş gücü önemli bir faktördür. Seçilen motorun itiş gücüne karar verebilmek için bilmesi gereken en önemli husus, bitmiş haldeki insansız hava aracının, uçuş sırasındaki toplam ağırlığının ne olacağıdır. Gövde, pervaneler, piller, kartlar, ESC 'ler, kablolar, motorlar dâhil uçuş sırasındaki toplam ağırlık, AUW (All-Up-Weight) olarak adlandırılır. AUW (toplam ağırlık) hesaplanır ve daha sonra gerekli itiş gücü hesaplanır. İnsansız hava araçları uçaklar gibi kanatların taşınması sonucu değil saf olarak pervanelerin itiş sayesinde havalanabilirler. Eğer itiş gücü, İHA' nın ağırlığına eşit olursa İHA havalanamaz ya da sadece olduğu yerde durur. İHA havalanabilmesi için yerçekimini yenebilmesi ve bunun üstüne hala itiş kuvveti uygulayabiliyor olması gerekmektedir. Bu toplam itiş gücü değerini belirlemek için ise motorların tam gazda verebildiği itiş gücü temel alınır.

Motor seçiminde ilk olarak pervane uyumu dikkate alınır. Sportif tarzı uçuş için az devirli motor ve büyük pervane, akrobasi tarzı hızlı uçuş için yüksek devirli motor ve ufak pervane boyutu tercih edilir. Motor tek başına değil, seçilen pervane ile beraber itiş sağlamaktadır. Pervane gövdeye uygun şekilde seçilmelidir. Tasarladığımız gövdeye uygun olarak öngörülen

pervane 10 x 4.5 inç' tir. Bu verilere göre motor gücü ve buna bağlı olarak her bir motorun kaldırma kuvveti dikkate alınır. Seçtiğimiz motorlardan her biri 52g olup 885 g kaldırma kuvvetine sahiptir ve 5,1 g/w bir verime sahiptir . Bu özellikler diğer motorlarla kıyaslandığında en uygun motor olarak seçilmiştir.

Döner kanatlı dört rotorlu İHA' ya Şekil 11' de gösterildiği gibi temel gövdenin kollarının uçlarına 4 adet motor yerleştirildi. Seçtiğimiz fırçasız motorun teknik resmi EK-1.7 ' de verilmiştir.



Şekil 11. Fırçasız DC Motor

Modeli	Voltaj	Prop	Yük Akımı (A)	Çekim (g)	Güç (W)	Verimlilik (g / w)
BR2212 1000KV	11.1	1047	15.6	885	173	5.1

Tablo 1. Fırçasız DC Motor Test Verileri

Marka Adı	Racerstar
Ürün Adı	BR2212 fırçasız motor
KV	1000KV
Çalışma Voltajı	2-4S
Ağırlık	52gr

Tablo 2. Fırçasız DC Motor Özellikleri

1.5.3. Pervaneler

Çeşitli stil ve ebatlarda pervaneler bulunmaktadır. Kullanılan malzemelere göre pervaneler ise plastik, ahşap, fiberglas-sertleştirilmiş plastik, fiberglas ve karbon fiber olabilir. Ahşap, fiberglas ve karbon fiber olan pervaneler maximum performans sağlayabilirler. Plastik pervanelerse esnek olmakla beraber ucuzdurlar aynı zamanda titreşim yaparak güç kaybına sebep olmaktadır. Pervanelere 2 numara ile birlikte ad verilir. Örnek olarak insansız hava aracımızda kullanmış olduğumuz 10x4.5' lik pervaneler de olduğu gibi 10 pervanenin çapı iken (inç olarak) 4.5 pitch katsayısı olmaktadır. Pervanenin ileriye doğru tam tur dönerek aldığı mesafe pitch olmaktadır. Kısacası kullanılan pervaneler teoride 360° dönerek 4.5 inç mesafe yol almaktadır (mükemmel bir akışkanın içinde). Pervanenin pitch değeri yüksek ise; yüksek hızlı uçuş, zayıf hızlanma, zayıf yükselme, iniş esnasında yavaşlama problemi gibi özelliklere sahiptir. Pervanenin pitch değeri düşük ise; düşük hızda uçuş, iyi hızlanma, iyi yükselme, özellikle düşük hız aralıklarında iyi bir hız kontrolü özelliklerine sahiptir.

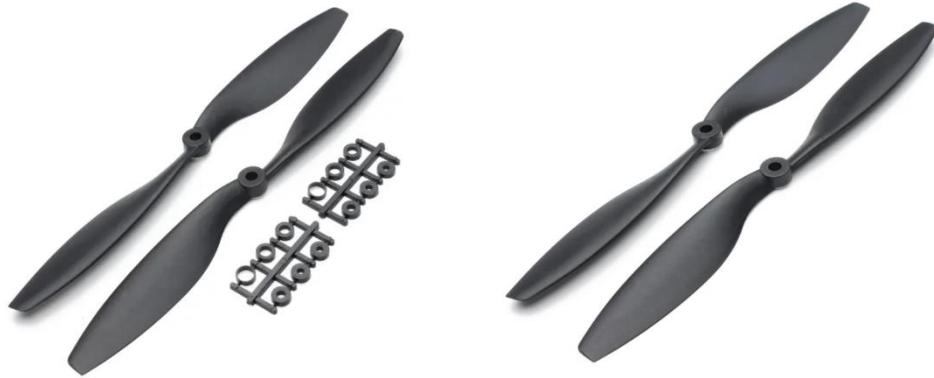
Ahşap pervaneler aynı ebatlardaki diğer malzemeler kullanılarak yapılan pervanelerden hafiflerdir. Motora uygulanan kuvvet daha düşük ve ağır pervanelerin aksine daha hızlı dönebilmektedirler. Aynı zamanda ahşap pervaneler kırılması en basit pervaneler olmaktadır.

Fiberglas-içerikli plastik pervaneler hem en ağır hem de en sağlam pervanelerdir. Yeni başlayanlar için bu tür uygundur sebebi çarpışma ve darbelere karşı dayanıklı olmasıdır. Bunların yanı sıra ahşap ve karbon fiber pervanelerden verimsiz olmaktadır.

Karbon fiber pervanelerin fiyatları çok yüksektir. Fakat en iyi ve en verimli sınıf içerisinde yer alırlar. Saf plastik pervaneler epeyce esnek olduklarından pitch değerleri değişim gösterir. Bunun sonucunda titreşim meydana gelir.

Diğer önemli bir husus kanat sayısıdır. Pervaneler bir, iki, üç veya dört kanattan oluşabilirler. Bir kanatlı olanları yaygın değildir. Verimi en fazla olan iki kanatlılardır. İki kanatlılara nispeten üç ve dört kanatlı olanların verimleri daha düşük olmaktadır [8].

Pervanenin boyutları ve hatvesi, motor hızı/gücü, birbiriyle ilişkilidirler. Zıt tork oluşturarak Z eksenini etrafında sürünmeyi önlemek amacıyla motorlar ikili takımlar halinde ters yönde hareket ederler. Buna ilişkin pervane seçimi yapılmaktadır. 2 pervane sola, 2 pervane sağa dönebilecek şekilde ayarlanmaları gerekir. Pervaneler CW&CCW şeklinde satılmaktadırlar. Pervaneleri ve motorları saat yönünde ABCD şeklinde kodlanırsa A: Saatin Yönünde (CW) B: Saatin tam tersi yönünde (CCW) C: Saatin Yönünde (CW) D: Saatin tam tersi yönünde (CCW) dönme gerçekleştirir. Çalışmamızda kullandığımız pervaneler Şekil 12' de verilmiştir.



Şekil 12. Pervaneler

Marka	Gemfan
Öge Adı	Carbon Nylon 1045 Propeller
Malzeme	karbon naylon
Boyut	10 x 4,5 "
Milin Çapı	6.0mm
Merkezin Kalınlığı	9,7mm
Ağırlık	22.66 gram / çift
Önerilen Dingil Mesafesi	550 mm - 700 mm
Önerilen Motor	800KV - 1100KV

Tablo 3. Pervane Özellikleri

1.5.4. Elektronik Hız Kontrolcüsü (ESC)

Bütün elektrikli RC modellerinde kullanmamız gereken ve motorların hızını, böylece modelin hızını fazlalaştırmamızı sağlayan üniteye denir. Fırçalı veya fırçasız olarak sınıflandırdığımız motor biçimlerine göre farklı akım değerlerini gösteren çeşitli boylarda ESC'ler bulunmaktadır. ESC'ler pilden almış olduğu enerjiyi, gaz kanalından alıcı tarafından aldığı sinyal ile sürdürerek motora hareket kazandırır. Fırçalı motorlar hem DC motorlar olup hem de ESC'den ki uç ile enerji alırlar. Böylelikle fırçalı motor için kullanılan ESC'ler genel olarak daha basit yapıdan oluşmaktadır. Motora gönderdikleri iki DC (doğru akım) ve pilden aldıkları iki giriş ve çıkışları bulunmaktadır. Motor uçlarının ters yönde bağlanması motorun ters tarafa dönmesine sebep olur. Hasar bu nedenle gerçekleşmez fakat ESC giriş uçlarının doğru bağlanmaması sonucu ESC hasar alabilir.

Fırçasız motorlar, "Tri faze" şeklinde isimlendirilen ve bilinmekte 3 fazlı motorlar olmaktadır. Bu motorlarda kullanılan ESC'ler karmaşık olmakla birlikte, pilden elde ettiği DC

gerilimini 3 kablo ile birlikte AC (Alternatif akım) şeklinde motora iletirler. Fakat motor zıt yönde dönüyorsa, motora giden 3 kablonun herhangi ikisinin ucunu değiştirerek motorun dönme yönünde değişiklik yapılır. ESC' nin üstünde birtakım giriş voltajları gösterilmiştir. Örnek verecek olursak 14V...20V aralığı gibi ya da bilhassa Li-Po piller için hücre sayısı da gösterilebilir. Örnek olarak hücre gerilimi 3.7V olarak bilinen 3...4 Cell gibi Li-Po piller aslında 4.2V' a kadar dolabilmektedir. Dolayısıyla ESC' lerin üstünde gösterilen değerler aşılmamak üzere dikkate alınmalıdır.

İHA' ya uygun seçilen ESC HGLRC 30A 30AMP 2-5S BLHeli_S 16.5 BB2 Fırçasız ESC' dir. Her motora bir ESC takılmalı ve ESC' ler direkt bataryaya bağlanmalıdır. Şekil 13' de gösterildiği gibi dört rotorlu insansız hava aracı için temel gövdenin kollarının üzerine takılır ve ESC' den çıkmakta olan üç kablo, motorun dönme yönünün istenilen şekilde olması için doğru şekilde bağlanılır. Seçtiğimiz ESC 'ye ait teknik resim EK- 1.8 'de verilmiştir. Seçtiğimiz ESC' nin özellikleri tablo 4' de verilmiştir.



Şekil 13. ESC

Marka Adı	HGLRC
Ürün adı	HGLRC 30A Dshot600 3-5S BLHeli_S ESC
Giriş Voltajı	3-5S Li-Po
Sabit Akım	30A
Tepe Akımı	40A
Boyut	26 * 14,5 mm
Ağırlık	5,4gr

Tablo 4. ESC Özellikleri

1.5.5.Uçuş Kontrol Kartı

Sistemdeki mikroişlemcilerin görevi kumandanın verici sinyallerinin ve sensörlerden gelen bilgilerin değerlendirilip istenilen verileri görevli motorlara göndererek hava aracının kullanıcının isteklerine göre ;

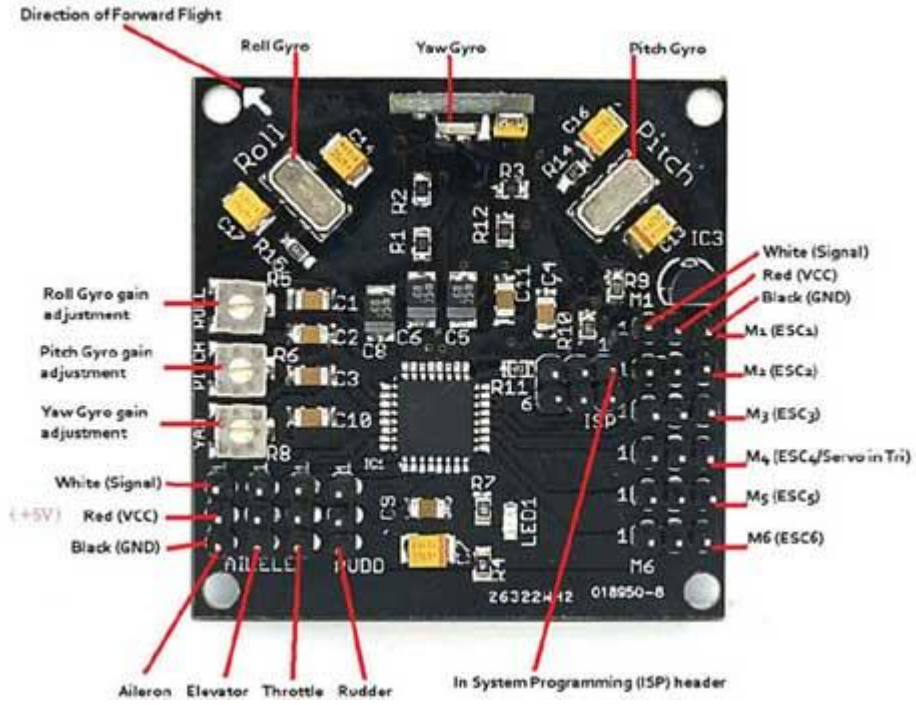
- Kartı ne tür bir uygulamada kullanacağımız
- Maliyeti
- Kurulum kolaylığı
- Yeteri kadar sensör portuna sahip olmalı
- Uçuş kontrol kartının güncel bir kart ve yazılım desteği olmalı
- Uçuş denetleyicinin desteklediği teknik ve yeteneklerin göz önünde bulundurulmalıdır.

Seçtiğimiz uçuş kartı Multirotor Uçuş Kontrol Kartıdır. Bu KK Multicopter denetleyicisi, 6 adet uçak rotoruna kadar denetleyebilen ve onların uçuş sırasında stabilize

çalışmasını sağlayan bir kontrol kartıdır. Bunu yapmak için daha sonra Atmega168PA IC sinyali geçirir ve jiroskop üzerine üç sinyal (rulo, z,ft ve yaw) gelir. Atmega168PA IC ünitesi daha sonra kullanıcıların yüklü yazılımına göre bu sinyali işler ve yüklü Elektronik Hız Kontrolörleri (EKH) kontrol sinyallerini işler. KK Uçuş Kontrol Devre Kartı için özelleştirilmiş USBasp programcısı, doğrudan KK Uçuş Kontrol Devre kartı ile bağlantılı olup DIY uçaklar için çok uygundur. Şekil 14' seçilen uçuş kartı gösterilmiştir.

Özellikleri;

- Basit yapı, kolay bakım ve hata ayıklama kontrolü
- 3 adet jiroskobun hassasiyetini potansiyometreler ile ayarı
- Tam servo sinyal çıkışı, normal Elektronik Hız Kontrolörünü /analog servo destekler.
- Tek eksen için destek / UFO, Y3 3 eksenli, Y3 tipi 3 eksenli, 4 eksenli, 6 eksenli ve V22 uçuş modu.
- 4-eksenli '+' ve 'X' uçuş modu, altı-eksenli 'HEXA6' ve 'Y6' uçuş modu için destek destekler.
- MK 4-eksenli PPM dekode kartına ihtiyacınız yok, alıcı-verici doğrudan bağlanabilir.



Şekil 14. Uçuş Kontrol Kartı

1.5.6. Li-Po Piller

Lityum polimer bataryaları polimer elektroliti kullanılan ve tekrar şarj edilebilen bir lityum iyon bataryasıdır. Li-Po piller genellikle uzaktan kumandalı araba, elektrikli uçak, elektrikli helikopter, robotik uygulamalarda kullanılmaktadır. RC Li-Po pillerin RC uçaklar ve helikopterler için NiMH ya da NiCad gibi bataryalar yerine kullanılır.

Gerçek Li-Po piller, kuru elektrolit polimerleri kullanırlar. İnce bir plastik film üzerine kaplanmış olan bu polimerler üst üste yığılmış bir şekilde tabaka oluştururlar. Li-Po pillerin yapısında; elektrotların birbirine direkt temas etmesini önlemek için, elektrot parçacıklarının değil, yalnızca iyonların bir taraftan diğerine geçmesine izin veren, mikro yapıda gözenekli bir ayırıcı bulunur.

Li-Po piller, hücrelerden oluşurlar. Her bir hücrenin boş hali 3V, dolu hali ise 4.2V olmalıdır. Li-Po pillerin hücreleri; seri (S) ve paralel (P) bağlı olabilir. Li-Po piller bağlantı şekillerine göre adlandırılırlar. Örneğin; Li-Po pildeki 5 hücre seri bağlı ise '5S', 2 hücre paralel bağlı ise '2P', 4 hücre seri bağlı ve bunlara paralel bağlı 2 hücre daha var ise '4S2P' olarak adlandırılırlar. 'S' değeri arttıkça pilin voltaj değeri, 'P' değeri arttıkça da pilin kapasite değeri artıyor demektir. Bir pilin kapasitesi temelde pilin ne kadar güç tutabileceğinin bir ölçüsüdür. Numara ne kadar yüksek olursa çalışma süresi o kadar uzundur. Ancak kapasite ne kadar çok artarsa, pilin fiziksel boyutu ve ağırlığı artacağı için kullanılacağı elektronik cihaz için kapasitenin aşırı fazla olması dezavantaj sağlar.

Bir pilin kapasitesi, pilin ne kadar güç tutabileceğinin bir ölçüsüdür. Ölçme birimi miliamper saattir (mAh). Pilin bir saat içinde boşalması için geçen süreyi verir. Kapasite ne kadar büyük ise çalışma süresi o kadar uzun olur.

Li-Po (Lityum Polimer) pil, son zamanlarda pek çok elektronik cihazda kullanılmaktadır. Küçük, hafif olması özelliğinin avantajları yanında uzun çalışma süreleri ve yüksek güç arayan herkes için avantaj sağlar. Li-Po piller, radyo kontrollü uçaklarda, telsiz kontrollü araçlarda, büyük ölçekli model trenlerinde, cep telefonlarında, müzik çalarlarda ve daha birçok taşınabilir cihazda kullanılmaktadır [9].

Li-Po Pil;

İtki sisteminin talep ettiği enerjiyi sağlamak için itki sisteminin bileşenlerini destekleyecek şekilde batarya seçimi yapılmaktadır. Burada bahsi geçen itki sistemleri bileşenleri için yaygın şekilde kullanılan Li-Po bataryaları seçerken bazı hususlara dikkat edilmelidir.

1- S Değeri (Seri Bağlı H¼cre Sayısı):

- Bir Li-Po batarya h¼cre si 3.7 V nominal değerli gerilime sahiptir.
- Tam dolu bir h¼cre 4.2V değerine sahiptir.
- Hiçbir h¼cre 3V altında gerilim değerine d¼şmemelidir.
- Yaygın olarak 3S 11,1V veya 6S 22,2 nominal değerli piller İHA' larda kullanılmaktadır.
- ESC ve Motor gerilimlerinize bağlı olarak uygun S değerli bataryayı seçilir.

2- mAh Değeri (Batarya Akım/Saat Kapasitesi):

- Bataryanın 1 saatte kaç mili amper akım sağlayabildiği bilgisini verir.
- Bu değer bataryanızın direkt kapasitesini yansıtır.
- Uçuş süreniz bu değere bağlı olarak sınırlanmaktadır.

3- C katsayısı (Deşarj Oranı):

- Bataryanın ne kadar hızlı deşarj olabildiğini gösteren katsayıdır.
- Bataryanın kapasitesiyle birlikte değerlendirildiğinde bir anlam ifade eder.
- Bu katsayı doğru seğilmezse ESC ve motorunun anlık olarak talep ettiği akımı bataryada sağlayamaz ve araç istenen performans değerine çıkamayacaktır.

Li-Po Pillerin Avantajları;

- Her boyutta veya şekilde bulunabilir. Çok hafif bir pildir.
- Yüksek kapasitelidir. Küçük bir pil olmasına rağmen yoğun güç içerir.
- Yüksek hızda deşarj olabilme kabiliyetine sahiptir.

Li-Po Pillerinin Dezavantajları;

- Diğer bataryalara göre daha kısa ömürlüdürler.
- Pilin zarar görmesi halinde (delinmesi, parçalanması, vb.) hassas kimya yangınına neden olur.
- Şarj, depolama ve boşaltma için özellikle dikkat edilmesi gerekir. Tek hatada kullanılamaz hale gelebilir.
- Diğer bataryalara göre daha pahalıdır.

Bu kriterleri dikkate alarak uygun li-Po pil seçimi yapıldı. Seçtiğimiz motorun hangi uygun aralıkta Li-Po pil çalıştırdığına bakıldı 2-4S aralığı uygun görüldü. 3S pil seçimi yapıldı. Daha sonra pil için uygun ağırlık hesabı yapıldı bu hesaba göre pil için uygun ağırlık aralığı belirlendi.

Pil İçin Uygun Aralık Hesabı;

$$\text{motorların toplam gücü} = \text{toplam kalkış ağırlığı} \times 4$$

$$850\text{gr} \times 4 = (\text{pil} + \text{drone}) \times 4$$

$$3400 = (\text{pil} + 500) \times 4$$

$$\text{pil} = 350\text{gr}(\text{yaklaşık})$$

Bu değer yaklaşık olarak belirlenmiştir uygun pil ağırlığını seçerken bu değerden 80gr yukarı ya da aşağı ağırlık seçimi yapılabilir. Uygun aralık değeri 270-430gr aralığı olabilir.

Belirlediğimiz 3S ve 270-340gr aralığında Turnigy 3600mAh 3S 30C Li-Po Pack w/XT-60 pili tasarım aşaması için uygun görülürken teorikte Force up 3S 11.1V 3000mAh pilinin de yeterli işlevi göreceği düşüldüğünden pil seçimi olarak force up lipo pil uygun görülmüştür.

Minimum Kapasite	3000mAh
Yapılandırma	3S1P/11.1v/3Cell
Sabit Deşarj	30C
Pik Deşarj (10sn)	40C
Paket Ağırlığı	235g
Paket Boyutu	137×43× 24mm
Şarj Fişi	JST-XH
Boşaltma Fişi	XT60

Tablo 5. Bataryanın Özellikleri

Seçilen pile göre uçuş süresi hesabı yapılır. Uçuş süresi hesabı için pilin 1 dakika da verebildiği akımı motorların talep ettiği akıma bölünerek bulunur.

Pilin 1 dakika da verebildiği akım	/	motorların talep ettiği akım
3000mAh		500+235=375gr
3,0mh		%50 durum için 5A akım
$3,0 \times 60 \equiv 180A$		$5 \times 4 = 20A$
(1 dakika boyunca deposu 180A sunmaya yeter demektir.)		(20A anlık motorların talep ettiği akım)

Bu 180A' nın genellikle %80' ni kullanılır.

$$180 \frac{80}{100} = 144A/dk$$

Uçuş Süresi: Pilin 1 dakika' da verebildiği akım/ motorların talep ettiği akım

$$144/20=7,2 dk$$

Besleme Durumu;

%100 çalışma durumunda motor için 12.6A akım gerekir ve 4 motor olduğu için;

$$12,6 \times 4 = 50,4A$$

$$3000mAh = 3,0Ah$$

Sabit deşarj: 30C

$$3,0 \times 30 = 90A$$

4 tane motorun çalışması için gerekli amper 50.4A dır. Seçtiğimiz pil sabit deşarj da 90A karşılık akım verebilmektedir. Bu durumda uygun pil seçilmiştir.



Şekil 15. Li-Po pil

1.5.7.Kumanda

İHA' larda kumandalar uzaktan pek çok otomasyonu gerçekleştirmek için kullanılır. Kullanılan özelliklere göre farklı tip kumanda seçimi yapılır. Seçtiğimiz kumanda Flysky FS-CT6B 2.4Ghz 6 Kanal RC Alıcı-Verici Kumandadır. Flysky FS-CT6B kumandalar ile uyumlu olan her türlü helikopter, uçak, planör gibi RC araçlarınızı yönlendirilir. Şekil 16' da seçilen kumanda gösterilmiştir.

Ürün Özellikleri:

- Süper aktif ve pasif sıkışma önleme yetenekleri.
- Çok düşük güç tüketimi.
- Yüksek alım hassasiyeti.
- 8 model hafıza, dijital kontrol.
- Dahil edilen yazılım ile PC tarafından programlanabilir.
- Tam aralıklı 2.4GHz 6 kanallı radyo.
- 4 Tip (Uçak, Heli90, Heli120, Heli140).
- Entegre zamanlayıcı.
- USB Soketi.
- Anten bant genişliği aralığının tüm bant genişliğini kapsar.



Şekil16. Kumanda

1.5.8.Sensörler

Fiziksel ortam değişikliklerini (ısı, ışık, basınç, ses, vb.) algılayan elemanlara “sensör”, algıladığı bilgiyi elektrik enerjisine çeviren elemanlara “transdüser” denir. Günlük hayatımızda ısı, ışık, basınç ses gibi büyüklükler var olup bunların etkilerini duyu organlarımızla algılar, varlıklarından haberdar oluruz. Bu fiziksel büyüklükleri insanlar gibi algılayan ve bu algılama sonucunda gerekli ekipmanları devreye sokan ve çıkartan elemanlar sensörler ile transdüserlerdir [10].

En az iki motoru olan helikopterler gibi robotik projeler de sıcaklık, mesafe, ışık, yön, basınç gibi fiziksel büyüklükleri elektrik sinyallerine dönüştüren ve dönüştürdükleri bilgileri işleyerek karar mekanizması kurmak için sensörleri kullanılır. Besleme gerilimine göre sensörler iki farklı yapıda incelenirler. Bunlar, pasif sensörler ve aktif sensörlerdir.

Pasif Sensörler (Passive Sensors);

Sinyal üretebilmek için dışarıdan harici hiçbir güç kaynağına ihtiyaç duymayan fiziksel ya da kimyasal değerleri istenilen çıkış değişkenine dönüştürebilen sensörlerdir. Bu pasif sensör çeşitlerine en basit örnek ise buton ve anahtardır. Bunlardan farklı olarak potansiyometre, limit anahtarları, ısı sensörleri (PTC ve NTC), basınç sensörleri, LDR, fototransistörler, fotodiyotlar ve mikrofonlar örnek olarak söylenebilir. Bu sensörlerin çalışması için harici hiçbir enerjiye ihtiyaç yoktur. Bu sensörler sadece giriş değişkenlerini ölçerek tepki verirler.

Aktif Sensörler (Active Sensors);

Sinyal üretebilmesi için dışarıdan harici bir güç kaynağına ihtiyaç duyan sensörlere aktif sensör denilir. Bu sensörlerin en önemli özelliklerinden biri düşük sinyalli ölçmelerde kullanılmasıdır. Bundan dolayı oldukça hassas ölçüm yapabilirler. Aktif sensörler, ürettiği sinyal türüne göre; Analog veya Dijital sinyal çıkışı vermektedirler. Dijital olarak 0 ya da 1 çıkışını vermektedirler. Çıkış sinyali analog olan sensörler ise gerilimsel ya da akımsal çıkış verebilirler. Gerilim sinyali olarak genellikle 0-5V arasında bir gerilim vermektedirler. Akım sinyali olarak ise genellikle 4-20mA arası bir çıkış vermektedirler.

Analog Sensörler (Analogue Sensors);

Analog çıkış sinyali veren sensörlerdir. Örneğin termokuplun sıcaklığını arttırdıkça çıkışından elde edilen gerilim artmaktadır. Analog sensörlerin çıkışındaki sinyaller mikro-volt (uV) ve milli-volt (mV) çok küçük değerde olabilir. Bu sinyaller yükselteç devreleriyle artırılabilir. Mikrodenetleyicilerde analog sinyalleri işlemek için ADC(analogue-to-digital converters) modülü bulunur.

Dijital Sensörler ;

Dijital sensörler lojik “1” ve lojik “0” olmak üzere BINARY çıkış sinyali verirler. Dedektör çıkışından elde edilen dijital sinyal dijital sayıcıya verilerek displayde sayma işlemi gerçekleştirilir.

Sensör Çeşitleri:

- Jiroskop: Denge sensörüdür. Dışardan hiçbir kontrol mekanizmasına etkisi olmadığı zamanlarda araca gelen dış etkileri anlayarak aracın dengeye gelmesi için uçuş kontrol kartına sinyaller gönderir.
- İvmeölçer: Hava aracın ivmelenmesini ölçerek aracın yere paralel olmasını sağlar.
- Barometrik basınç sensörü: Havanın basıncını ölçerek havada ki aracın yüksekliğinin sabitlenmesini sağlar [11].

1.6. SİSTEMİN TEMEL HAREKETLERİ

İHA' nın gövdesi X veya + şeklindedir ve her bir ucunda bir motor kullanılmaktadır. İHA gibi araçların gövdesinin üzerinde bulunan pervanelerin karşılıklı olarak aynı yönde dönmesi ile uçuş hareketi gerçekleştirilir. Torkun dengelenmesi ve kaldırma kuvvetinin meydana gelmesi için karşılıklı iki pervanenin saat yönüne dönerken diğer iki pervanenin de saat yönünün tersi yönünde dönmesi gerekir. Kaldırma kuvvetinin desteği ile yunuslama (pitch), dönme (yaw), ve yalpalama (roll) hareketleri yapılmaktadır.

1.6.1.Yalpalama Hareketi

Döner kanadın x ekseninde dönme hareketine denir. Döner kanadın ön ve arka rotorlarının sahip olduğu hız değerlerinin sabit tutulup sol rotorun değeri artırılıyorsa ve sağ rotorun değeri azaltılıyorsa araç sağ tarafa doğru yalpalama hareketi yapar. Eğer sağ rotorun değeri artırılıyorsa ve sol rotorun değeri azalıyorsa araç sola doğru yalpalama hareketi yapar.

1.6.2.Yunuslama Hareketi

Döner kanadın y ekseninde dönme hareketine denir. Döner rotorlu, döner kanadın sol ve sağ rotorlarının sahip olduğu hızı sabit tutarak arka rotorun değeri artırılıyor ve ön rotorun değeri azaltılıyorsa araç ön tarafa doğru yalpalama hareketi yapar. Ya da ön rotorun hızının değeri artırılıyor ve arka rotorun değeri azaltılıyorsa araç arka tarafa doğru yalpalama hareketi yapar.

1.6.3.Dönme Hareketi

Döner rotorlu, döner kanadın dönme hareketinin sol ve sağ rotorlarının sahip olduğu sistemin havada askıda kalma hızının artırılması ve arka ve ön rotorlarının hızı azaltılırsa araç saat yönünün tersi yönde dönme hareketi yapar. Aracın saat yönünde dönme hareketi yapması için arka ve ön rotorlarının hızı artırılır ve sol ve sağ rotorlarının sahip olduğu hızı azaltılır.

1.7.Literatür Araştırması

Tez çalışması boyunca bu bölümde incelediğimiz olan bilimsel araştırmalar ile ilgili özet şeklinde bir bilgi verilecektir.

Widyanto S.A. ve arkadaşları tarafından değiştirilmiş bir quadcopter yapılandırması V- tailquadcopter' in açı ve konum kontrollerini, PID kontrolör ile açısal hız, manyetik ve yerçekimi sensörlerinden tarafından elde edilen geri besleme verilerinin kullanılarak yapmışlardır. V- tailquadrotor' un kontrolü geliştirilirken açısal hız ve yönlendirme kontrolleri de olmak üzere iki seviye kontrol sistemi yapılmıştır [12].

Barve J. ve Patel K. , dört-kanata sahip makinenin, referans-irtifa, rotor-itme, ağırlık-yük konumları gibi farklı değerleri ile gerçekleştirilebilir kapasite ve değer aralıklarını tespit etmek için bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Değer aralığı analizi şeklinde isimlendirilen çalışma dört rotora sahip quadcopterler için Matlab yazılımlı bir simülasyon ile gerçekleştirilmiştir [13].

Gavrilov A.I.ve Thuave K. M. Quadcopterin modellenmesi sırasında L1 Adaptif Kontrol sistemi ile tasarımını gerçekleştirmişlerdir. L1 uyarlamalı kontrol şeklinde isimlendirilen Model Referans Adaptif Kontrolün (MRAC) filtrelenmiş bir sürümü zaman gecikmesi durumunda gelişmesi sağlanmıştır. L1 Adaptif Kontrolör alçak geçiren filtre ve bir referans model

bulundurmaktadır. Sisteme gönderilmiş olan kontrol sinyalinin bant genişliğini alçak geçiren filtre ile birlikte sınırlama yapılmıştır. Bu çalışmayla birlikte gerçek uçuş kontrol uygulamaları sırasında L1 Uyarlamalı Geri Bildirim Kontrolünün kullanımı sebebiyle sistemli bir modelleme ve dizayn prosesinin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır [14].

Samır Z. , serbestlik derecesi altı olan quadcopterin kayma kipli kontrol sistemini doğrusal olmayan model için ilerletmiştir. İlk olarak sistemin matematiksel modelini tasarlayıp çalışma için açı ve konum kontrolünü sağlamış, istenilen yolun takip edilmesi istenmiştir [15].

Aye T.S. arkadaşları ile birlikte İHA için el ile uzaktan kumanda edilen sisteminin dizaynı ve uygulaması üzerinde çalışma yapmışlardır. Joystickler ile birlikte istenilen hedefe ulaşmak için aracın manuel kontrolü gerçekleştirilmiştir. UHF kablosuz alıcı ve verici çiftleri, aracın üzerinde bulunan alıcı ve yer istasyonu arasındaki veri iletişim bağlantısı sebebiyle kullanılmıştır. Kontrol sistemi mikroişlemci PIC16F877'e bağlı olmaktadır [16].

Maskana, gerçekleştirdiği çalışmada dört ana hareketi düzenlemek amacıyla PID denetleyicileri ile bir quadcopter stabilitesi üzerinde çalışma yapmışlardır. Öncelikle quadcopterin matematiksel modelini yapmış ve modelin doğrusal olması sağlanmıştır. Yunuslama, yalpalanma, sapma açıları ile birlikte yükseklik kontrolü ile ilgili çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bir quadcopter ile uçuş denemeleri gerçekleştirilmiştir. Uçuş esnasında kontrolörlerin ve quadcopterin performansını kontrol etmek ve kontrol cihazlarının kazanımlarıyla birlikte ihtiyaç olduğunda ayarlarını düzeltme sebebiyle bir ara yüz tasarımı gerçekleştirilmiştir [17].

Hystad A. V. , ve Lehn J. B. Projelerinde bulunan kontrolörlerin tasarımı için öncelikli anlaşılır sistem tanımları ile birlikte sensör modellerinin kullanıldığı eğitimi amaç edinen bir quadcopter yapmayı hedeflemişlerdir. Sistem gerekli sensörler bir Windows kullanıcı ara yüzü, radyo vericisi, ve bir Arduino mikroişlemcisinden meydana gelmektedir. Quadcopterin 3D yazıcı ile üretilmiştir [18].

Andreas, yapmış olduğu çalışmada guacopterin kontrolleri ve modellenmesine yoğunlaşmıştır. Sisteme ait matematiksel modeli oluşturarak denetleyicinin tasarımını gerçekleştirmiştir. Optimal kontrol algoritmalarından LQR kontrol yöntemi kullanmıştır [19].

Balans, “Draganflier Xproquadrotor’ un” pozisyonunun kontrol edilmesi ve sapma açısı nedeniyle kullanılmış olan değişik metotlar ile ilgili bilgiler vererek doğrusal olmayan matematiksel model ile MATLAB/Simulink ortamında benzetimler gerçekleştirmiştir. İlk gerçekleştirdiği yöntem içerisinde bir PID denetleyicisi kullanılarak $x, \dot{x}, \ddot{x}, y, \dot{y}, \ddot{y}, z, \dot{z}, \ddot{z}, \Psi, \dot{\Psi}$ değişkenleri geri beslenirler. İkinci yapılan yöntemde de bir PID denetleyicisi vardır, fakat $\dot{x}, \ddot{x}, \dot{y}, \ddot{y}$ olarak $\phi, \dot{\phi}, \theta, \dot{\theta}$ geri beslenirler. Üçüncü ile birlikte son yöntemde ise ikinci yöntemdekiyle aynı olan değişken değerlerini geri besleyip rotor dinamikleri için oldukça kolay bir model ile çalışmıştır. Mevcut modelde PID ve LQR teknikleri kullanılmıştır [20]

Bresciani, yaptığı çalışmada quadcopter kontrol algoritmasının değerlendirmesini ve sistem modellemesini gerçekleştirmiştir. Çalışmada karşılaştırılan PID kontrol algoritmaları elde edilen sonuçları kontrol etmek için bir MATLAB/Simulink simülâtör ve gerçek bir platformun geliştirilmesi sağlanmıştır. Newton-Euler formalizminin kullanımı dinamik sistemi modellemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. İlk yapılan testler simüle edilerek bir model üstünde yapılmıştır. Kontrol algoritmalarının sağlamlığı ve model ve yazılımın doğru olup olmadığının kontrolü sağlanmıştır. İkinci testleri quadcopter alanında gerçek sistem davranışını kontrolü amacıyla yapılmıştır [21].

Thomas R. , “Qball X4” quadcopter ile çalışma yapmıştır. Yapmış olduğu çalışma da, quadcopter dinamiği, quadcopter kinematiği, sistem modellemesi, ve doğrusallaştırılmış olan quadcopter dinamik denklemleri üzerinde çalışarak açıklamıştır. Kayma Kipli Kontrol matematiksel modeli türetilmiş, Simulink’te Kayma Kipli Kontrol modellenmesi oluşturulmuştur. Kayma Kipli Kontrol quadcopter dinamiklerine sistem cevabını tahlil etmek amacıyla uygulamıştır. Bu çalışma bir simülasyon çalışması olmaktadır [22].

Kurtoğlu S. , yaptığı çalışmada dört pervaneli uçuş aracı deney düzeneğini oluşturarak sistemin bilgisayar aracılığıyla MATLAB/Simulink kullanılarak modellenmeye çalışılmıştır. Donanım aslı olarak bir adet Texas DSC mikro denetleyici deney kartı, dört adet firasız motor, bir adet 12 V-40 A. güç kaynağı, bir adet USB seri çeviriciden elde edilmiştir. C compiler ve işlemci Code Composer ara yüzünden yararlanılarak programlanmış, kontrol yazılımıysa Visual Studio arabirimi Ansi C++ ile uyumlu C++\CLI kullanılarak oluşturulmuştur [23].

Bouabdallah S. , yaptığı çalışmada dikey kalkış-iniş (VTOL) yapan quadcopterleri dikkate alarak Minyatür Uçar Robotların modellenmesi, incelemesini ve tasarımını gerçekleştirmiştir. “OS4” olarak adlandırdığı bir quadcopter tasarımını yapmıştır. Matematiksel modeli baz alarak, bu çalışma boyunca türlü denetleyicileri simule etmek ve tasarlamak için doğrusal ve doğrusal olmayan kontrol metotları kullanılmıştır. Birbirinden farklı beş adet kontrolör’ in gelişimini sağlamıştır. Lyapunov kuramını baz alan ilk yaklaşım konum kontrolü için hayata geirilmifitir. İkinci ve nc kontrolörler PID ve LQ tekniklerini esas almaktadır. Bunlar konum kontrolü sebebiyle karşılaştırma yapılmıştır. Dört ve beş numaralı yaklaşımlar geri adım ve kayma kipi kontrol yaklaşımı olmaktadır. Bu yaklaşımlar OS4’te hayata geçirilen bir takım uçuş denemeleri ile doğruluğu kanıtlanmıştır [24].

Karahmetoğlu A. , yapmış olduğu çalışmada dört pervaneye sahip insansız hava aracı olan quadcopterin Doğrusal Kaskat Kontrol ve Durum Kestirimli LQG (Linear Quadratic

Gaussian) kontrol metotları ile yörünge denetiminin yapılması ve sonuçların tetkik edilerek kıyaslanması üzerine yoğun çalışmalar yapılmıştır. Çalışma teorik şekilde yapılmış olup simüle olarak test edilmiştir [25].

Akyüz S. , yaptığı çalışmada dört rotorlu VTOL (Vertical Take-Off and Landing; Dikey kalkış-iniş) hava aracının (Quadcopter) aı ve pozisyon incelemelerini gerçekleştirmiştir. Sistemin genel tanıtımı ve analiz edilmesi, kontrol evrelerinin uygulanması, matematiksel modelin oluşturulması, simülasyon çalışması ve kontrol sonuçlarının kıyaslanması çalışmadaki temel başlıklardır. Bu alışma simülasyon çalışması olmaktadır [26].

Oakland Üniversitesi çalışmalarında hava ve su altı ortamlarında çalışan araç tasarlanmıştır. Tasarlanan araca “LoonCopter” ismi verilmiştir. LoonCopter’ in resmi Şekil 17’ da verilmektedir.

LoonCopter, hava hareketleri ve su altı hareketleri için tek bir dizi motor ve pervaneden yararlanır. Aracın yüzdürme ve su altı derinliğinin kontrolünü sağlamak ve kesintisiz su-hava ve hava-su geçişlerini yapabilmek için balast sistemi tercih edilmiştir. Aracın su yüzeyi ve hava kararlılığı ve hareketleri için kapalı döngü kontrol algoritmasından yararlanılırken, su altı hareketleri için açık döngü kontrol algoritmasından yararlanılır [27].



Şekil 17. Ookland Üniversitesi Hava ve Su Altı Ortamlarında Çalışan Looncopter

1.8.Kısıtlar ve Koşullar

Bu çalışmada döner sabit kanatlı bir insansız hava aracı tasarımı ve aerodinamik hesapları istenmektedir. Sivil havacılık şartı gereği İHA 1 kategorisine girmemesi için 4 kilogramdan fazla olmaması gerekmektedir. Tasarım koşullarında çevresel ve iklim koşulları göz önüne alınarak İHA prototipin tasarımı gerçekleştirilmiştir. İHA teknolojisinde en yüksek performans ve en düşük fiyat baz alınarak tasarlanmıştır. Askeri ve savunma sanayi gibi sektörlerde havada uzun süre durması böylece istenen operasyonel görevleri gerekli şekilde sağlayabilmesi için verimlilik ilk sırada yer almaktadır.

1.9.Karşılatabileceği Gereksinimler

Bu çalışmadaki İHA 'nın en büyük üstünlüklerinden biride, istenilen göreve bağlı olarak arzu edilen irtifa seviyelerinde havada uzun süre kalabilmeleridir. İHA sistemlerinin insanlı hava araçlarının yerine kullanılmalarının üstünlükleri ve karşılabileceği ihtiyaçlar aşağıda verilmiştir:

- Hava aracı içinde pilota gerek duymaması sebebiyle daha fazla faydalı yük kaldırabilir. Pilot eğitim ve istihdam ücretleri insanlı hava araçlarından daha azdır.
- Kişiler için tehlike arz eden yerlerde görev alabilirler.
- Yer kontrol istasyonu ile iletişim kopsa bile öncesinde planlanma yeteneği sayesinde görevi gerçekleştirebilir.
- Alçak yükseklik ve düşük hızlarda güvenli şekilde uçabilirler.
- Havalanma sürecindeki kilometre başına yayılan CO2 daha düşüktür.
- Havalanma sürecindeki kilometre başına harcanılan yakıt daha düşüktür.

- Sahra ölü ve Kutup bölgeleri gibi zor koşulların bulunduğu yerlerde güvenli şekilde uçuşlarını gerçekleştirebilirler.

- İşletme giderleri uçaklara nispeten daha azdır.

Kısacası bu çalışmadaki İHA sistemlerinin sağladığı operasyonel kullanım üstünlükleri olarak; gözlem, keşif ve istihbarat amaçlı yapılan uçuş görevleri ile türlü savaş görevlerini pilot bulunan uçuş görevlerine oranla daha fazla güvenli bir şekilde sağlayabildikleri belirtilmektedir

2.YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Dört Rotorlu Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracının Tasarımı

Dört Rotorlu Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracının parçalarının tasarımı için Solidworks programı kullanılmıştır. Tasarımda belirlenen gövde malzemesi ABS malzemesi olarak uygun görülmüştü ancak Covid-19 pandemi sebebiyle uygun ortam ve maddi gelir oluşturulamadığından hazır F450 gövde tasarımı kullanılmıştır. Tasarladığımız gövdeyle boyut ve diğer özellikler bakımından aynıdır. Tek fark tasarım biçimidir.

2.2.Maaliyet Analizi

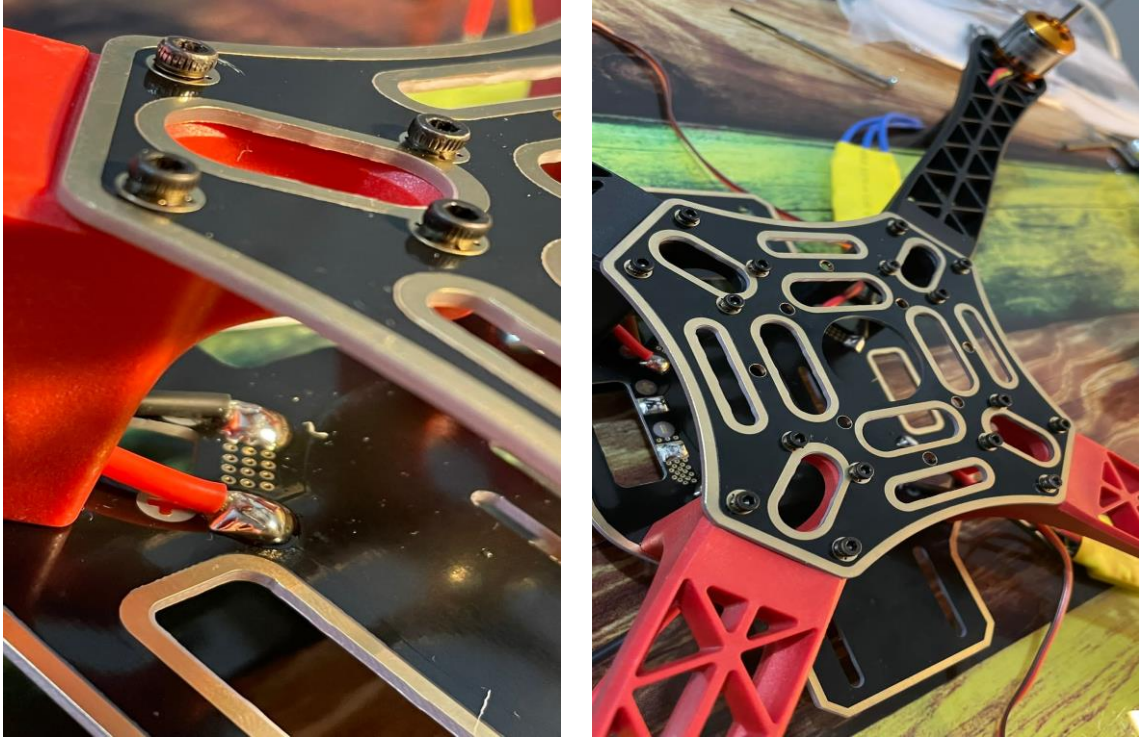
Bu projede kullanılan elemanların toplam maliyet analizi 5. Maddede gösterilmiştir.

2.3. Dört Rotorlu Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracının Montajı

Montajı yapılacak insansız hava aracı malzemeleri temin edilmiştir. İlk olarak gövdenin montajı yapılmıştır. Gövde montajı için 4 mm 'lik civatalar ve somunlar ile gövde ayakları birbirine monte edilmiştir. Daha sonra elde edilen gövde prototipine motor bağlantıları aynı şekilde civata ve somunlarla yapılmıştır.



Şekil 18. Malzemelerin Tedarik Edilmesi

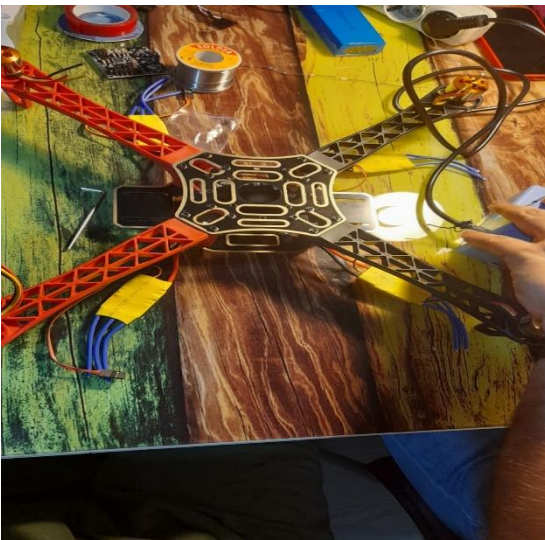


Şekil 19. Gövde Parçalarının Montajı ve Prototipin Elde Edilmesi



Şekil 20. Motorun Gövdeye Monte Edilmesi

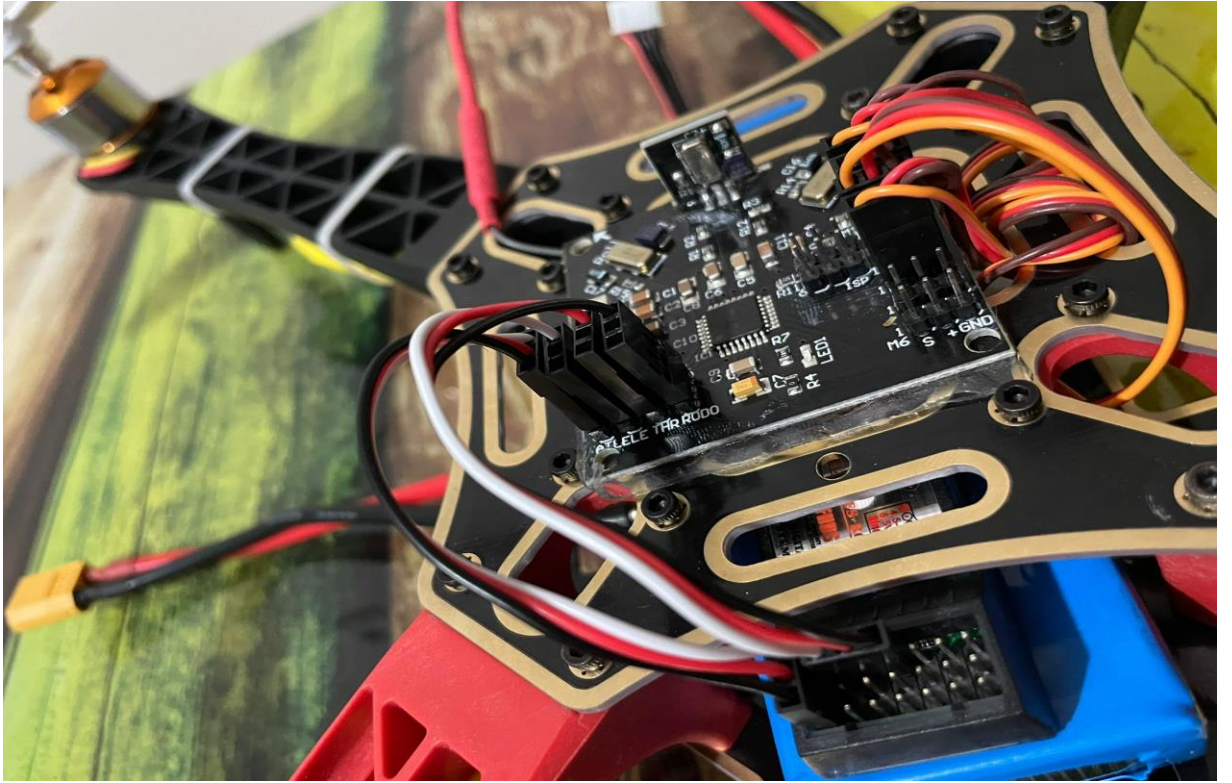
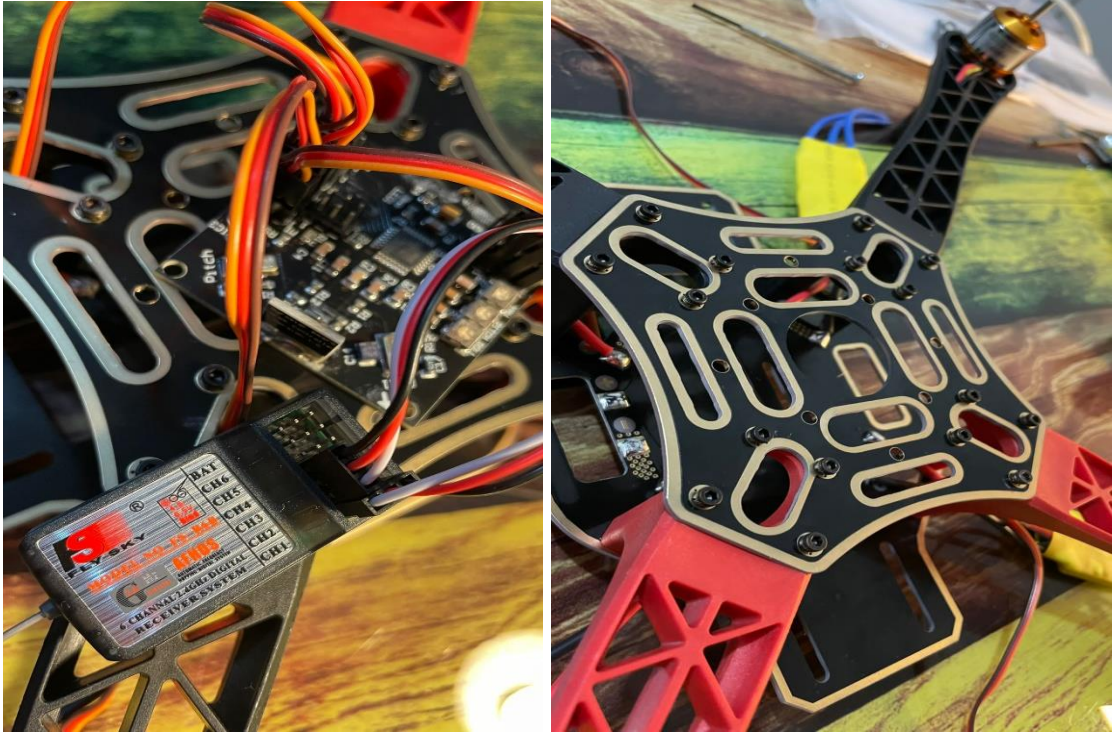
Motor ve gövde montajının ardından esc ile motor birbirine monte edilmiştir.



Şekil 21. Esc Bağlantılarının Yapılması

Esc ile motor montajının ardından Li-po pil ve uçuş kontrol kartı da gövdede bulunan uygun yerlere monte edilmiş ve bağlantıları yapılmıştır.





Şekil 22. Lipo Pil ve Uçuş Kontrol Kartının Gövdeye Montajı

Yapılan işlemlerin ardından kumanda ile İnsansız Hava Aracı arasındaki kalibrasyon ayarları yapılmıştır. Son olarak pervanelerin montajı gerçekleştirilerek İnsansız Hava Aracının montajı tamamlanmıştır.



Şekil 23. Pervanelerin Montajı

Montaj işlemi tamamlanmış İnsansız Hava Aracının fotoğrafları aşağıda verilmiştir.





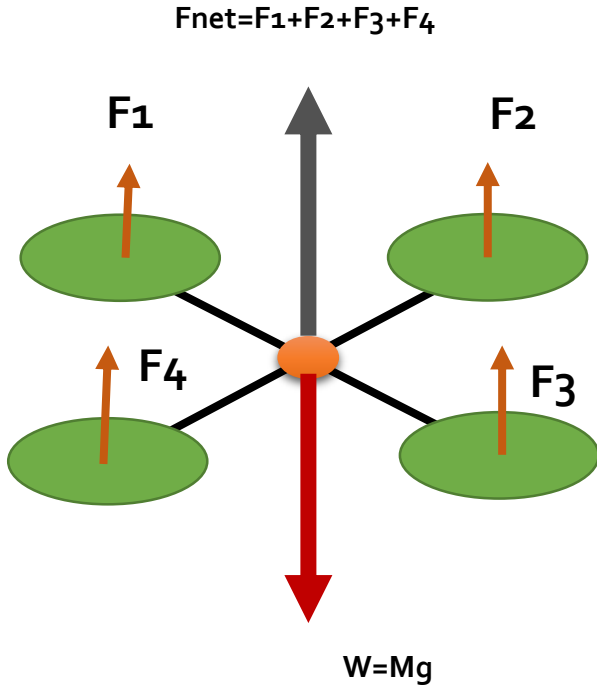
Şekil 24. Montajı Tamamlanmış İnsansız Hava Aracının Görüntüleri

3.MÜHENDİSLİK HESAP VE ANALİZLERİ

Hava araçlarında aracın havada kalması için gerekli taşıyıcılık döner kanatlarda ile pervanelerde sağlanmaktadır. Yapıda taşıyıcılığın sağlanabilmesi için bir itki kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır.

Hava taşıtlarında itki için çeşitli motor yapıları yer alsa da elektrikli itki sistemlerinin kullanılması gerekliliğinden İHA' larda yaygın kullanılan elektrikli itki sistemleriyle hesaplar yapılır.

3.1. İHA' yı Etkileyen Temel Kuvvetler



$F_{net}=W$ Denge Kalma

$F_{net}>W$ Yükselme

$F_{net}<W$ Alçalma

$F_4+F_3>F_1+F_2$ İleri Yunuslama

$F_1+F_2>F_4+F_3$ Geri Yunuslama

$F_1+F_2>F_2+F_3$ Sağa Yuvarlanma

$F_2+F_3>F_1+F_4$ Sola Yuvarlanma

$F_1+F_3>F_2+F_4$ Sağa Yalpa (Yaw)

$F_2+F_4>F_1+F_3$ Sola Yalpa (Yaw)

Pervane de bir kanattır. Pervanede aynı bir kanatta olduğu gibi üst yüzeyde havanın alt yüzeyden daha hızlı hareket etmesi sebebiyle alt yüzeyde oluşan basınç kaldırma kuvvetini oluşturur.



Şekil 25. Pervanede Oluşan Kuvvetler

Taşıma Kuvveti: Uçağa etkiyen bileşke aerodinamik kuvvetin serbest akıma dik doğrultuda, uçağın yukarısına doğru etki eden ve uçağı havada tutan kuvvettir.

Sürüklenme Kuvveti: Uçağın hareket doğrultusunda harekete zıt yönde oluşan kuvvettir. Hızın karesi ile doğru orantılıdır. Uçağın hızı arttıkça uçağa etki eden sürüklenme kuvveti de artmaktadır.

Hücüm açısı: Hareket doğrultusu ile veter çizgisi arasında kalan açıdır. Veter hattı, veter çizgisi veya kord hattı, bir kanat profilinin hücüm ve firar kenarlarından geçen doğrudur. Hücüm ve firar kenarı arasındaki uzaklığa ise veter uzunluğu denir. Kanat profiline bağlı olarak, veter hattının bir kısmı kanat üzerinde bulunmayabilir [28].

3.2.İtme Kuvvetleri

Uçaklarda ve uzay araçlarında itme, Newton'un üçüncü hareket yasası yoluyla üretilir. Motorun içerisindeki akışkan (hava vb. madde) motor tarafından hızlandırılır ve bu

ivmelendirilen akışkanın oluşturduğu tepki motor üzerinde bir kuvvet oluşturur. Oluşan itme miktarı, motor içerisindeki kütle akışına ve gazın çıkış hızına bağlıdır. Farklı tahrik sistemleri, itme kuvvetini farklı şekillerde üretebilir. Pervaneli, türbin (veya jet) motoru, ram jet ve iyon motorlarını içeren birkaç tahrik sistemini teknolojisi bulunur [29].

İtme Ağırlık Oranı (Thrust To Weight Ratio)

İdeal olarak İHA havada (Hover durumu) yaklaşık yarı gazda kalabilmelidir. Diğer bir deyişle %50 İtme oranı ile İHA' yı havaya kaldıracak şekilde tasarlanmalıdır. Böylelikle kontrol ve rüzgarda stabil kalabilmek için yeterli itme kuvveti olacaktır

Uçak motorlarının hepsi havayı motorun önünden içeri alır. Hızlandırır geriye doğru iterler ('etki'). Havanın bu şekilde hızlandırılarak arkaya atılmasına karşılık zıt yönde bir kuvvet ('tepki') oluşur. Bu kuvvete (itme) kuvveti denir. Bir itme (tahrik) sistemi, bir cisim ileri itmek için itme üreten bir makinedir [30].

$$T = C_T \frac{\rho^4}{\pi^2} W^2$$

C_T : Pervane itme sabiti

ρ : Havanın yoğunluğu (Deniz seviyesinde $1,225 \text{ Kg/m}^3$)

r : Pervane yarıçapı (m)

ω : pervane açısal hızı (rad/s)

$$\omega_v = \frac{2\pi \times Kv}{60} = \frac{2\pi \times 1000}{60} = 104,71 \text{ rad/s}$$

Burada hesaplanan devir yüksüz (pervane yokken) elde edilecek olan devir sayısıdır. Pervane takıldığında bu devir düşecektir.

Motorun yarı güçte hover durumun da olması istenir. Seçtiğimiz motor 1000 Kv gücündedir ve 3s bir pil kullanılmıştır.

$$w = w_v \times V$$

$$w = 104,71 \times \frac{12,6}{2} = 659,673 \text{ rad/s}$$

$$\text{Yarı güçte devir} = 1000 \times \frac{12,6}{2}$$

C_T değerini bulabilmek için grafiklerden yardım alınır grafikler eklerde gösterilmiştir. Grafikte 630 Prop RPM' de $V=0$ (moh)' ken değer seçilir. C_T burdan 0,1126 alınır. C_t tablosu EK-2' de verilmiştir.

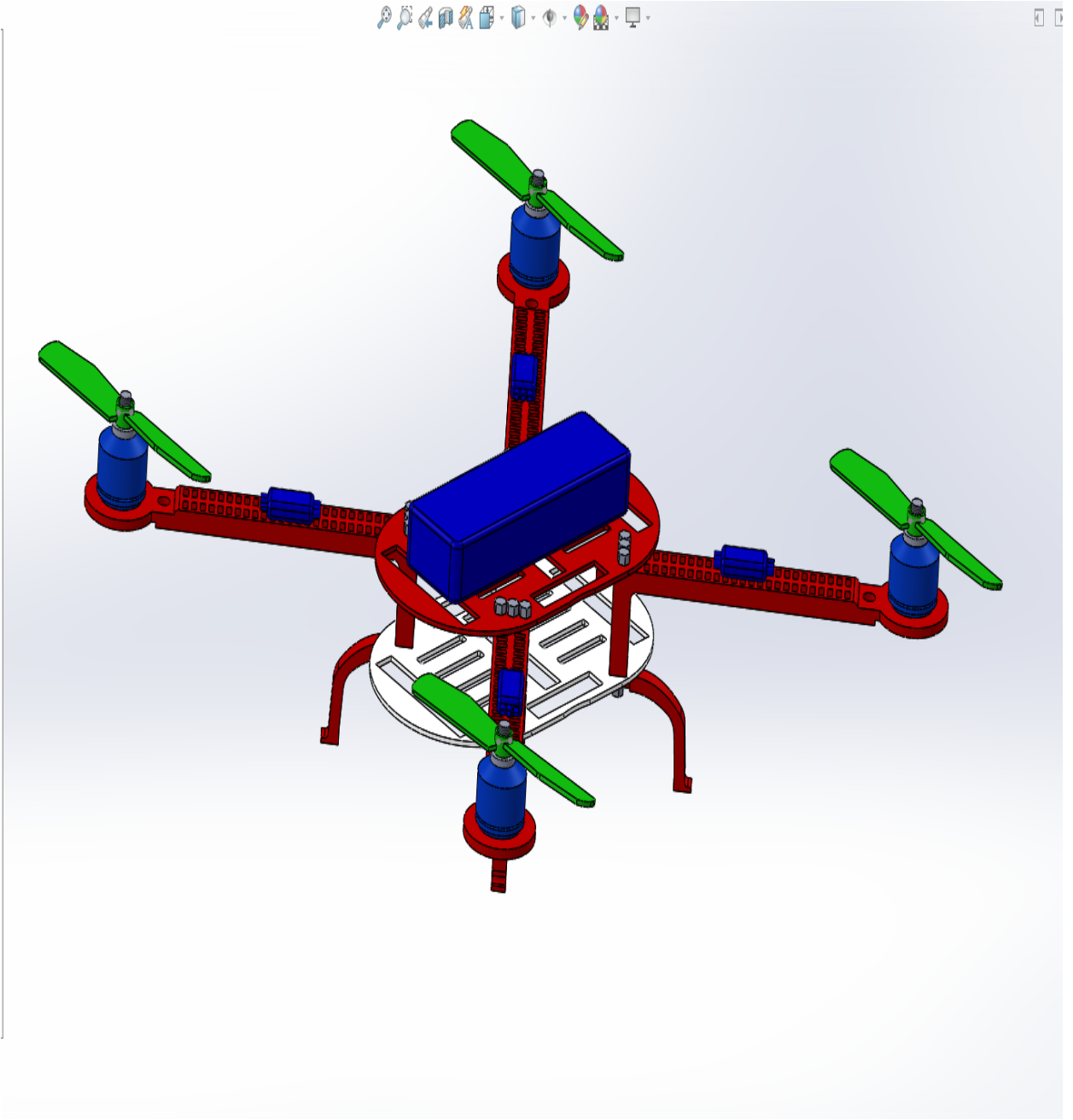
$$T = 0,1126 \frac{1,225 \times 0,127^4}{\pi^2} 659,673^2 = 6,32N$$

$$F_{\text{gereken}} = \frac{mg}{4} = \frac{0,850 \times 9,81}{4} = 2,08N$$

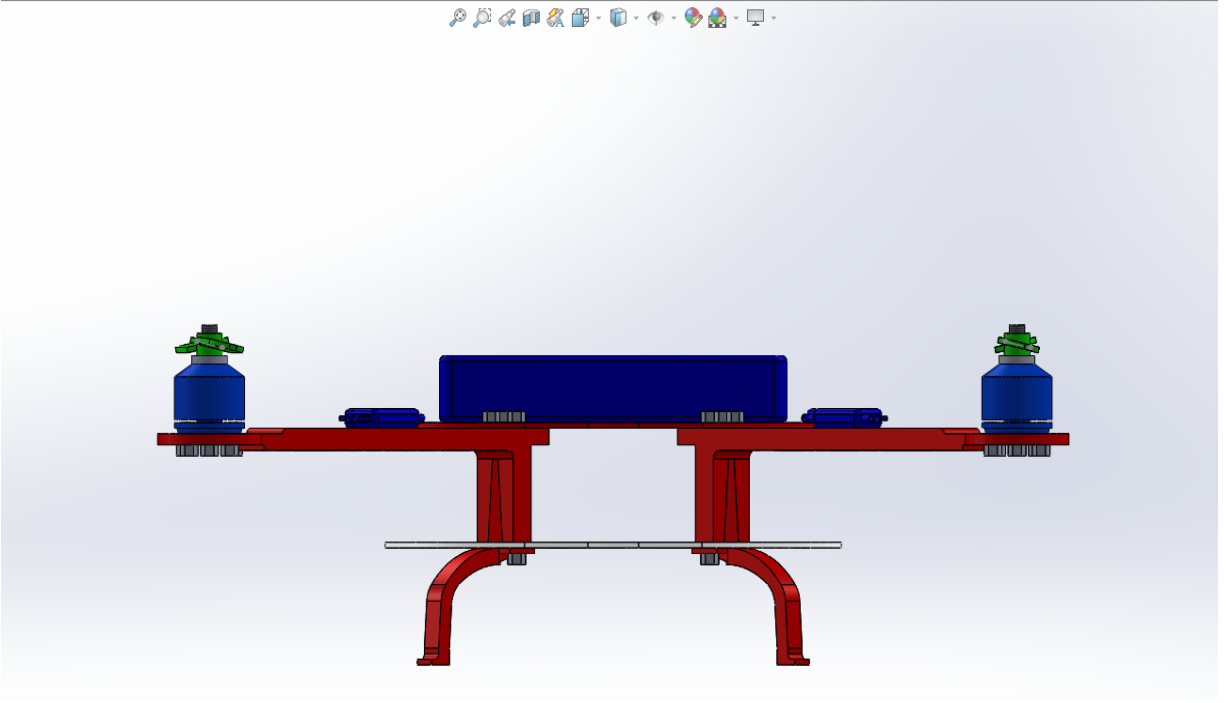
3.3.Yapılan Tasarım Çalışması

Dört rotorlu döner kanatlı insansız hava aracı tasarımına başlamadan önce geçmişte yapıлып başarılı olmuş insansız hava araç modellerinden yararlanıldı. Tasarıma ilk olarak gövde

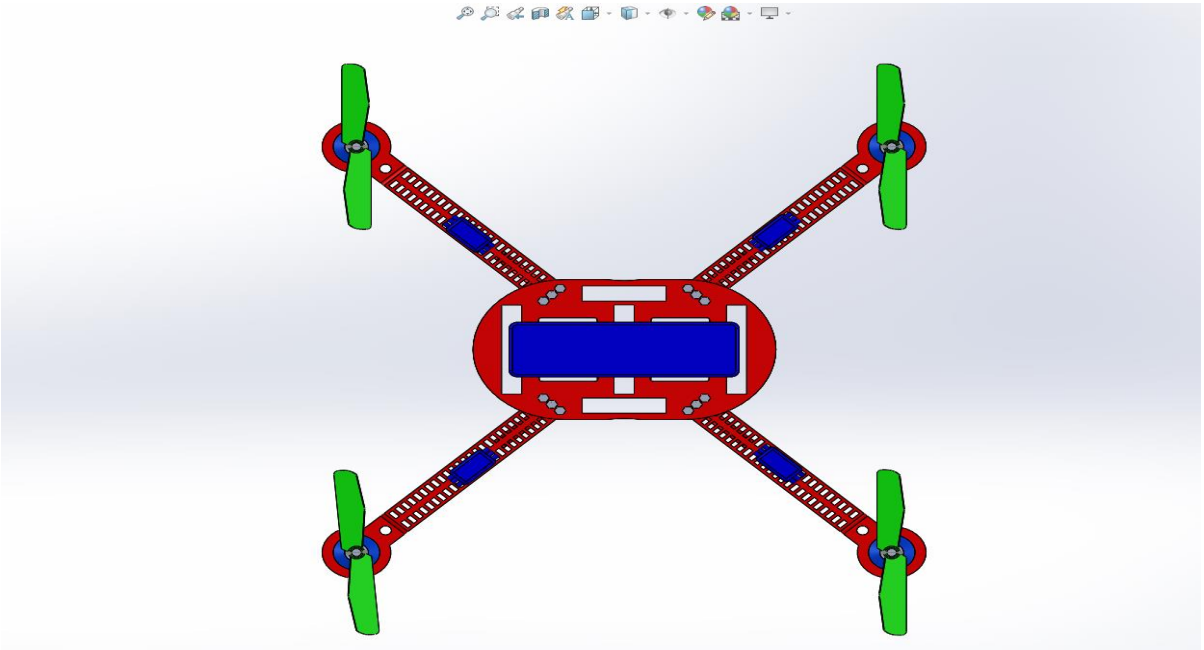
(frame) 'den başlandı. Gövde malzemesinin hafif olmasının yanı sıra yüksek dayanıma ve yüksek titreşim gerilmelerine sahip olması gerekir ve yaptığımız araştırmalar sonucu günümüz İHA tasarımlarında gövde için kullanılan malzemelerin karbon fiber alaşımları, plastikler ve alüminyum alaşımlarından meydana geldiği görülmüştür. Yapacağımız bu projede gövde elemanlarının 3-d yazıcıdan elde edilmesi amaçlanmıştır. Kullanmayı planladığımız malzeme ise hem hafiflik hem de yüksek dayanıma sahip olmasından dolayı ABS plastiğidir. Malzeme seçiminden sonra gövde elemanının tasarımı yapılmıştır. İnsansız hava aracımız F450 standartlarına göre boyutlandırılmış olup tasarımı bize aittir. Tasarım tamamlandıktan sonra kullanılacak insansız hava aracı parçaları araştırıldı. Yukarıda belirtildiği gibi ilk olarak F450 boyutlarındaki insansız hava araçları için geçmişte iyi sonuç vermiş parçalar araştırıldı ve uygun olarak kullanmayı planladığımız parçalar belirlendi. 10x4,5 inç standartlarında pervane tasarladığımız gövde için uygun olup ilk olarak pervane belirlendi. Daha sonra belirlenen pervane boyutuna uygun, maksimum verimliliğe sahip ve kaldırma kuvveti yüksek olan fırçasız motor seçildi. Tasarladığımız insansız hava aracı, kargo amaçlı olup kendi ağırlığının dört katı kadar yük taşıyabilecek kapasitede olması istenmektedir. Bu amaçla hem her bir motorun kaldırma kuvvetinin yüksek hem de diğer tüm elemanların hafif olmasını sağlanmaya çalışılmıştır. Bu işlemlerin ardından kullanılan motorun itki kuvveti hesaplanıp ESC seçimine geçildi. Motora gerekli Amper'i sağlayacak ESC için birçok kriter göz önüne alınarak seçildi. Bu işlemin ardından motora gerekli döndürme gücünü sağlayacak olan Li-Po pil seçimine geçildi. Pil seçiminde önemli husus olan pilin yeterliliğidir. Yaptığımız hesaplar sonucunda seçtiğimiz pilin yaklaşık 8,5 dakika boyunca insansız hava aracımızı havada tutabilecek güce sahiptir ve böylece uygun olan pil seçimi de tamamlanmış oldu. Daha sonra uçuş kartı, kumanda ve kullanılacak sensör seçimleri de yapılarak planlanan şekilde tasarımı tamamladık. Burada bahsettiğimiz insansız hava aracı tasarımının son hali Şekil 19 'te verilmiştir. Tasarımın teknik resmi ise EK-3 ' de verilmiştir.



Şekil 26. Tasarımı Tamamlanmış İnsansız Hava Aracı



Şekil 27. Tasarımı Tamamlanmış İnsansız Hava Aracı Önden Görünüm



Şekil 28. Tasarımı Tamamlanmış İnsansız Hava Aracı Üstten Görünüm

4.ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ

İnsansız hava araçları (İHA), gözetim yapma, mayın tespitinin gerçekleştirilmesi, sınır kontrolü, vb. askeri amaç taşıyan durumlarda veya orman yangını kontrolünün sağlanması, çevre korunması, yük taşınması, film çekimi sırasında olduğu gibi birçok sivil uygulamalarda kullanılmaktadır.

Kötü amaçlar, personeli gerekli olmadığı halde tehlikeli durumlara sokma potansiyeli bulunmaktadır. Örnek verecek olursak; biyolojik, kimyasal ve nükleer algılama gibi amaçlar bulunmaktadır. İnsansız araçlar ile birlikte, bu kötü amaçları operatörleri çok daha az riske sebebiyet vererek yapabilirsiniz.

İHA'ların satın alma ve üretim bedellerinin pilot olan uçaklara kıyasla daha çok düşük olması, yakıt ve uçuş fiyatlarının ucuz olması görev esnasında can kaybı riskinin yaşanmaması gibi avantajlara sahiptir. Fakat İHA'lar bir yandan da bazı dezavantajlara da sahip olmaktadır. Bunlardan birkaçı hava taarruzlarına ve savunma sistemlerine karşı yeterli savunmaya sahip olmamaları, araca doğru gelebilecek tehditleri sezme kabiliyeti gerçek yani canlı bir pilota göre oldukça düşüktür. İnsanlı hava araçlarında olduğu gibi ulusal ve uluslararası hava alanlarıyla ilgili sınırlandırmalara ve düzenlemelere tabi tutulmaktadır. Savaş uçaklarına kıyasla kaza kırım oranı oldukça fazladır. İHA'lar ile birlikte mekân kontrolü arasındaki bağın yok olması gibi bir durum anında araçlar yerde ki unsurlara karşı tehdit oluşturmaktadırlar.

İleri ki zamanlarda İHA'larla ilgili "ağırlık, boyut ve güç" vb. fiziksel büyüklükler; "sürdürülebilirlik, güvenilirlik ve kullanılabilirlik" gibi alanlar; "malzemenin yapısı, canlı kalabilme ve dayanıklılığı" gibi konuları da ele alarak özellikle çalışılmalar sürdürülmeye devam edilecektir.

5.MALİYET HESABI

Malzeme Adı	Birim Fiyatı	Adet	Fiyat(₺)
Racerstar BR2212 fırçasız motor	42.81TL	× 4	171.24TL
Gemfan Carbon Nylon 1045 Propeller	22.99TL	× 4	91.96TL
Force up 3S 11.1V 3000mAh lipopil	229.68TL	×1	229.68TL
Gövde	120TL	×1	120TL
HGLRC 30A 30AMP 2-5S BLHeli_S 16.5 BB2 Fırçasız ESC	68TL	× 4	272TL
Uçuş Kartı	132,02TL	×1	132,02TL
Kumanda	422,53TL	×1	422,43TL
		TOPLAM	1439,33TL

6.TARTIŞMA

Günümüzde birçok ülkenin ihtiyaç duyduğu ve oldukça yaygınlaşan İnsansız Hava Aracı üretimi ülkemizde de oldukça yüksektir. Havacılığın savunma sanayinde önemi oldukça önemlidir ve bu yüzden ülkemizde de İnsansız Hava Araçlarına olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Bitirme projesi olarak Döner Kanatlı Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracı tasarımının ardından prototip üretimini gerçekleştirdi. Yapılan bu proje ile Teknofest yarışmasına başvuru yapıldı ve Kavramsal Rapor Değerlendirme aşamasında baraj puanının altında kalarak devam edilemedi.

Tasarladığımız İnsansız Hava Aracı günümüz şartlarına uygun ve oldukça modern şekilde dizayn edilmiştir. Üzerinde yapılacak değişikliklere uygun ve eklenecek yeni ekipmanlarla çeşitli görevler yapabilecek kapasitedir.

Yapılan projeye benzer çeşitli projelerde bulunmaktadır. Fakat yaptığımız İnsansız Hava Aracı ile diğer İnsansız Hava Araçlarına kıyasla hem maliyet olarak daha ucuz hem de her bir motorun kaldırabileceği ağırlık ve buna bağlı her bir motorun efektif verimi oldukça yüksektir. Buna bağlı olarak rakiplere kıyasla hem daha iyi performans hem de daha az maliyetli bir ürün elde edilmiştir.

7.SONUÇLAR

Bu tasarım da uluslararası yarışmalardaki genel boyutlandırma ölçüleri referans alınarak tasarım başlatılmıştır. Alınan referans değerlerinden sonra yapılan hesaplar ve analizler sonucunda alınan referans değerlere yakın değerler elde edilmiştir. Yapılacak tasarım için ön plan yapılmıştır. Yapılan ön plana bağlı kalınıp hesap ve tasarımlar sonuçlanmıştır. Bu tasarım da gövde tasarımına uygun şekilde gerekli parçalar seçilmiş ve uygun hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda herhangi bir sorun belirlenmemiştir. Tasarımda sadece makine mühendisliği değil elektrik elektronik mühendisliği, bilgisayar mühendisliği gibi birçok farklı alanda tasarımcıya ihtiyaç duyulmaktadır.

8.ÖNERİLER

Tasarladığımız İnsansız Hava Aracı F450 standartlarına uygundur. Yaptığımız proje Covid-19 pandemi dönemine denk geldiği için birçok zorluklarla karşılaşıldı ve bu yüzden kısıtlı çalışma imkanı bulunuldu.

Yaptığımız projede İnsansız Hava Aracına görüntü işleme ekipmanları ve uygun sensörler ekleyerek İnsansız Hava Aracının daha farklı görevlerde kullanılması mümkün olabilir.

İnsansız Hava Aracının gövdesinde daha fazla boşaltma işlemi yapılarak gövdenin daha hafif olması gerçekleştirilebilir ve buna bağlı olarak daha hafif malzeme ile gövde tasarımı yapılabilir.

Gövdenin alt kısmına bir hazne tasarlayıp burada amacına uygun eşyalar taşınabilir veya GPS ve görüntü işleme ekipmanları monte edilerek kargo amacına uygun şekilde İnsansız Hava Aracı Tasarımı yapılabilir.

İtme kuvvetinin yüksek olması için seçilen motorların hem her birinin kaldırabileceği ağırlığın hem de efektif verimlerinin yüksek olması gerekir. Buna bağlı olarak ilgili İnsansız Hava Aracının kaldırabileceği yük miktarı da arttırılabilir.

Esc seçiminde esc-motor ile esc-batarya arasındaki ilişki oldukça önemlidir. Esc' nin talep ettiği akım bataryanın verebileceği akımdan daha büyük olmaması gerekmektedir. Aynı şekilde motorun da talep ettiği akım değerini karşılayabilmelidir.

9.Kaynaklar

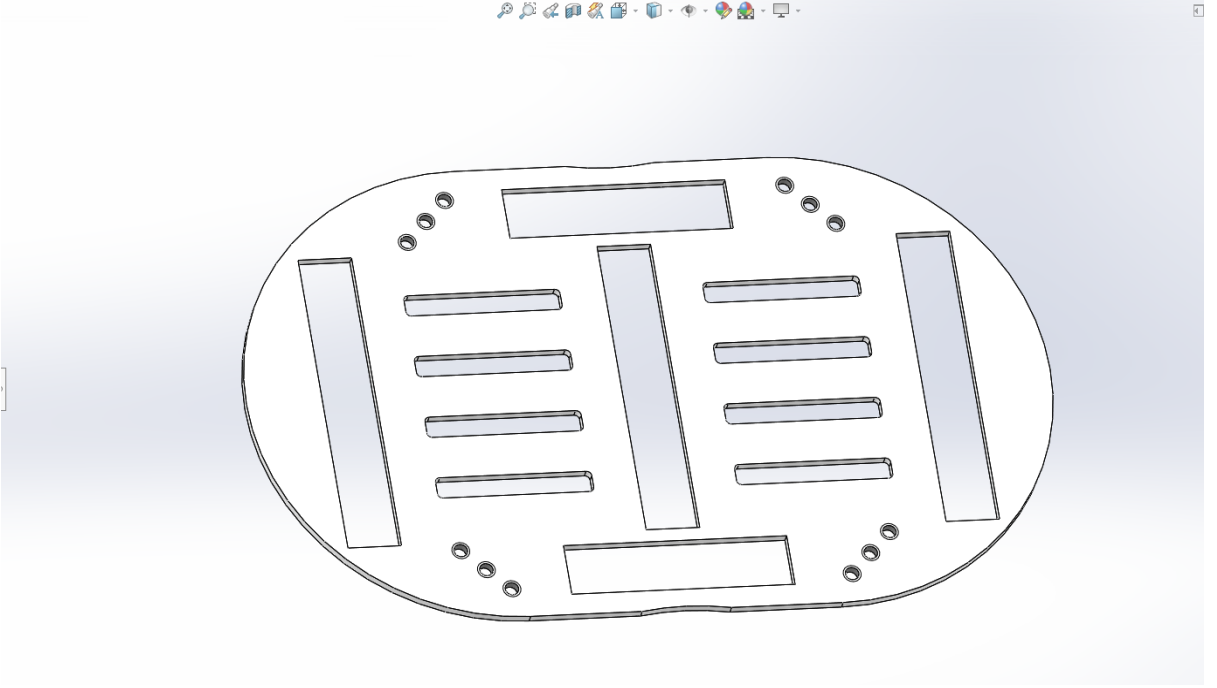
1. Young, Warren R. *The Helicopters* . "Uçuş Destanı". Chicago: Time-Life Books, 1982.
2. C. Gablehouse "Helikopterler ve Otoproplar", 1969
3. S. "1947'den beri ABD Ordusu Uçağı" ile mücadele, 1990
- 4.https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0nsans%C4%B1z_hava_arac%C4%B1
- 5.https://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%B6ner_kanatlı%C4%B1_hava_arac%C4%B1
6. SAÜ Fen Bil Der 20. Cilt, 2. Sayı, s. 103-109, 2016
7. 44. Brown, W. Brushless DC Motor Control Made Easy, syf. 6, Microchip Technology Incorporated, 2002.
8. http://www.airfieldmodels.com/information_source/model_aircraft_engines/propellers
- 9.<https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/lipo-piller-ve-ozellikleri/21430#ad-image-0>
- 10.<https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/atalayt/105498/Sensorler-a.pdf>
11. www.maker.robotiston.com/www.rmc.com.tr/www.devreyakan.com
12. "BellQTRQUADTGLTROTOR".http://www.aviastar.org/helicopterseng/bell_gtr.ph
[Erişim 20 Mayıs 2018]
13. S. A. Widyanto, A. Widodo, ve Y. A. Wijonarko, "Auto Level Control Systems of V-Tail Quadcopter", t.y. 6.,2014
14. B. Jayesh, ve K. Patel, "Modelling, Simulation and Altitude-Range-Analysis of Quad-Copter UAV". *IFAC Proceedings Volumes* 47, sy 1: 1126-30.
<https://doi.org/10.3182/20140313-3-IN-3024.00209> .,2014

15. R. Konrad, M. Hua, G. Ducard, ve S. Bouabdallah, “A Robust Attitude Controller and Its Application to Quadrotor Helicopters”. *IFAC Proceedings Volumes 44*, sy 1 10379-84. <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.02377>. Ocak 2011:
16. Z. Samır, “Sliding Mode Control Strategy for a 6 DOF Quadrotor Helicopter”. *Journal of Electrical Engineering*, t.y., 7.
17. T. S. Aye, P. T. Tun, Z. M. Naing, ve Y. M. Myint, “Development of Unmanned Aerial Vehicle Manual Control System”, 2008,
18. L. E Romero, D.F. Pozo, ve J. A. Rosales, “Quadcopter Stabilization by Using PID Controllers”, 2014, 12.
19. A.V. Hystad. “Model, Design and Control of a Quadcopter”, t.y., 181.
20. R. Andreas, S. Roland, H. Christoph, N. Janosch, “Dynamics Identification & Validation, and Position Control for a Quadrotor”, t.y., 52.
21. C. Balas, “Modelling and Linear Control of a Quadrotor”, t.y., 150.
22. T. Bresciani, “Modelling, Identification and Control of a Quadrotor Helicopter .t.y. ,2008
23. R. Thomas, “Sliding Mode Controller For a Quadrotor”, t.y, 2010
24. S. Kurtoğlu, “Dört Pervaneli Uçuş Aracı Deney Düzeneği Donanım Ve Kontrol Algoritmalarının Tasarımı”, T.Y. , 81.
25. S. Bouabdallah, “Design And Control Of Quadrotors With Application To Autonomous Flaying, Swiss”, 129p 2007
26. A. Karaahmetoğlu, “Dört Rotorlu (Quadrotor) Hava Aracının Durum Kestirimine Dayalı LQR ile Yörünge Kontrolü”, 2011, 47.
27. S. Akyüz, . “Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracı (Quadrotor)“Nın PD ve Bulanık Kontrolcü Tasarımı Ve Benzetim Uygulaması”, t.y. , 102.
28. https://tr.wikipedia.org/wiki/Veter_hatt%C4%B1
29. <https://www.muhendisbeyinler.net/hava-araclarinda-itki-sistemleri/>
30. <https://evrimagaci.org/ucak-motoru-nasil-calisir-itki-kuvveti-nedir>

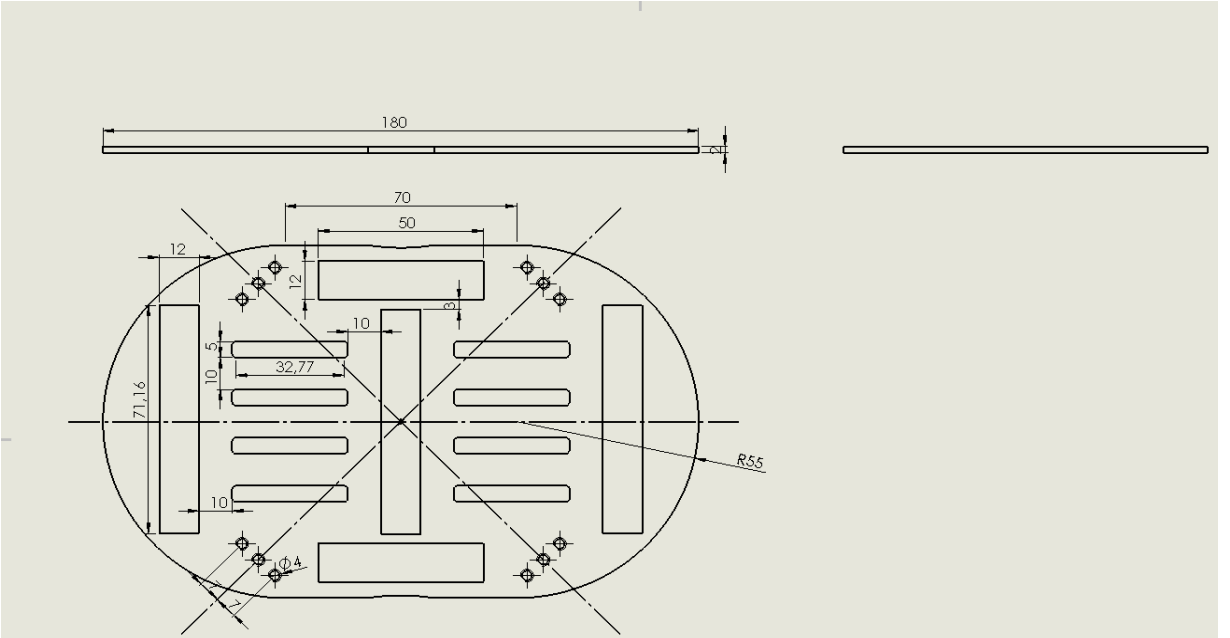
10. EKLER

EK-1 Tasarım Çizimleri

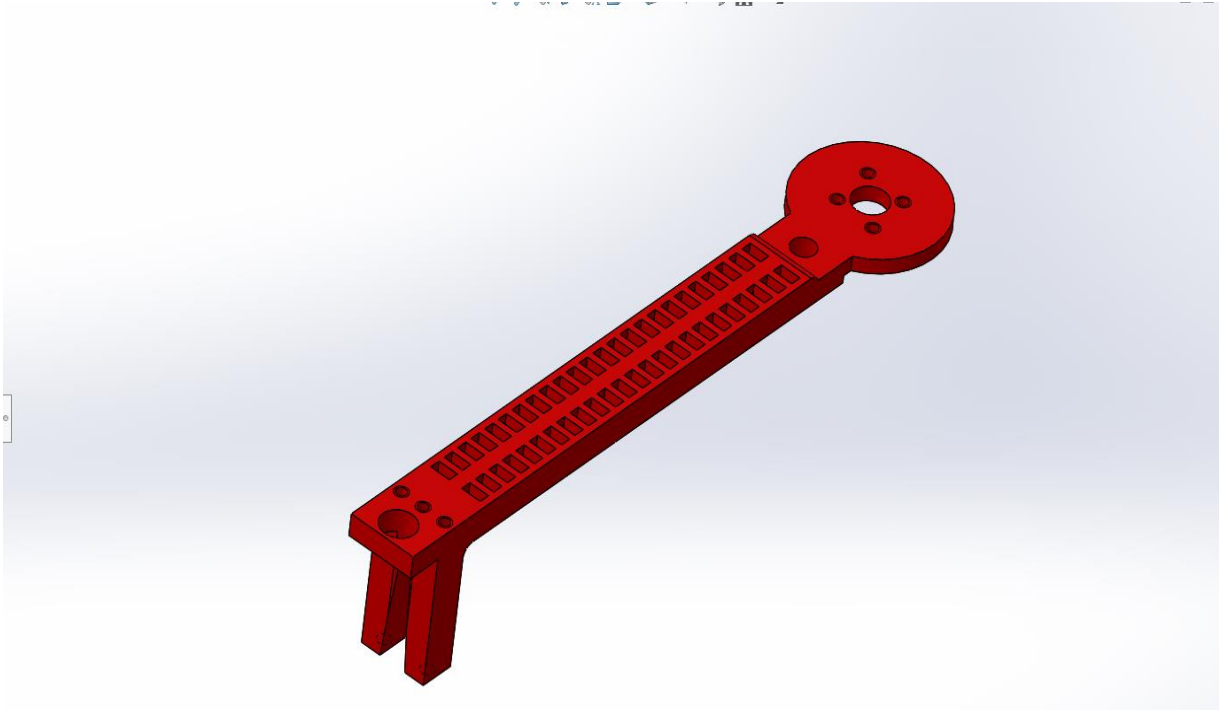
EK-1.1 – Gövde Üst ve Alt Tabakası



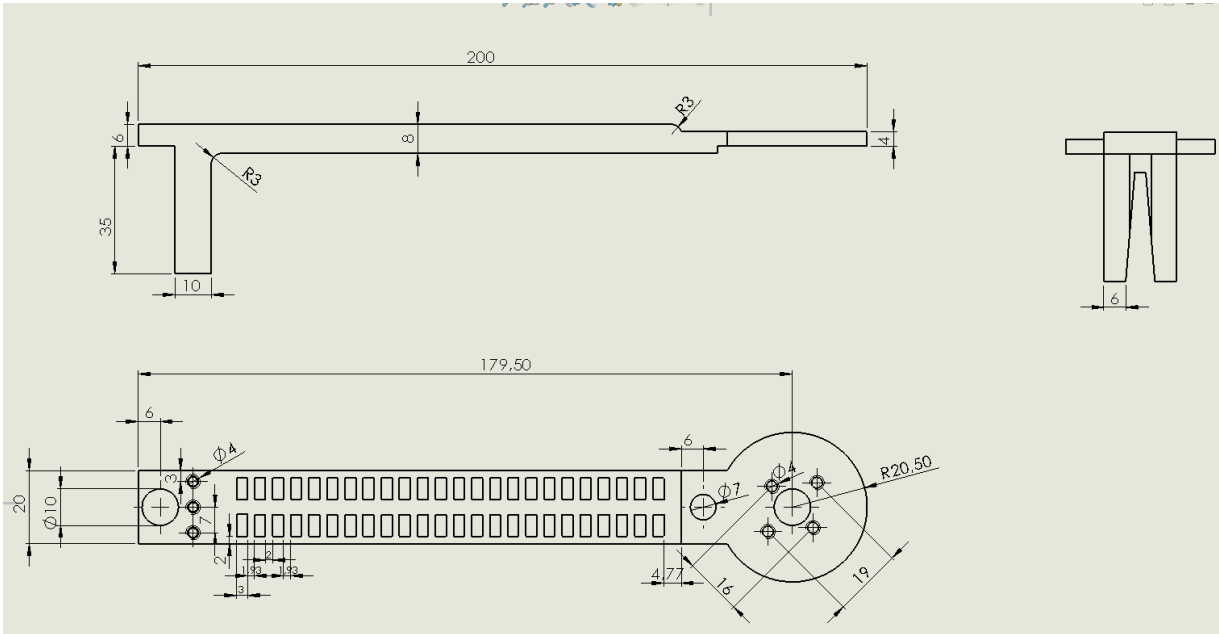
EK-1.2 – Gövde Üst ve Alt Tabakası Teknik Resmi



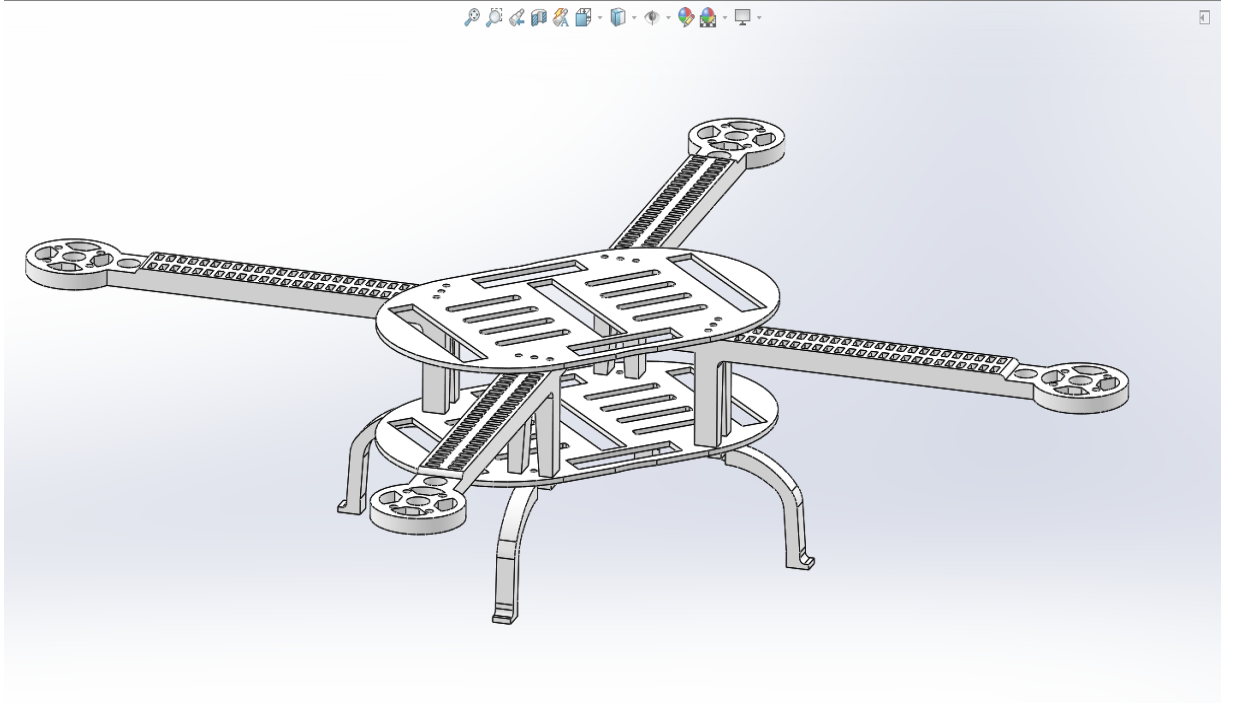
EK- 1.3- Gövde Kanat Kolu



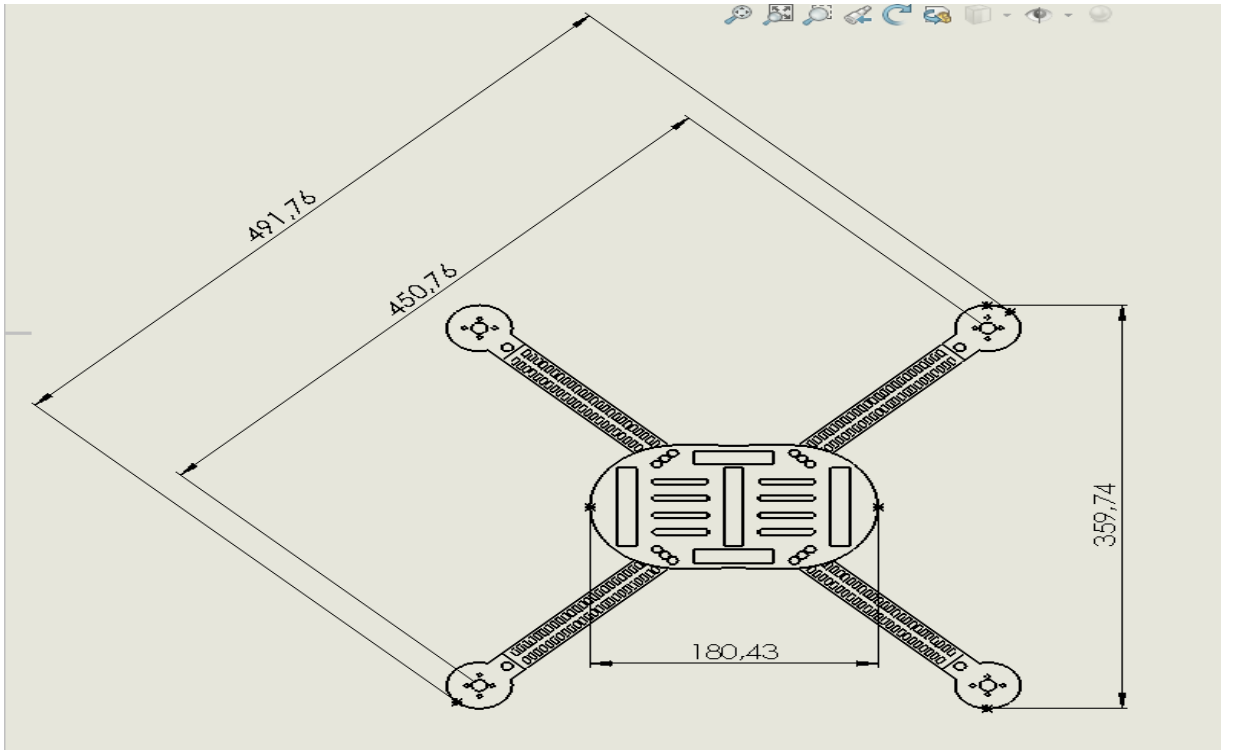
EK – 1.4 – Gövde Kanat Kolu Teknik Resmi



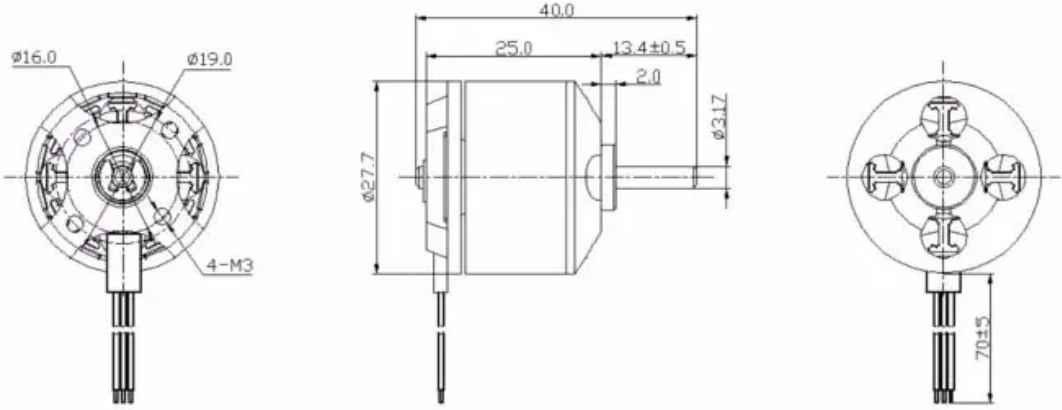
EK-1.5 – Gvde Montaj Resmi



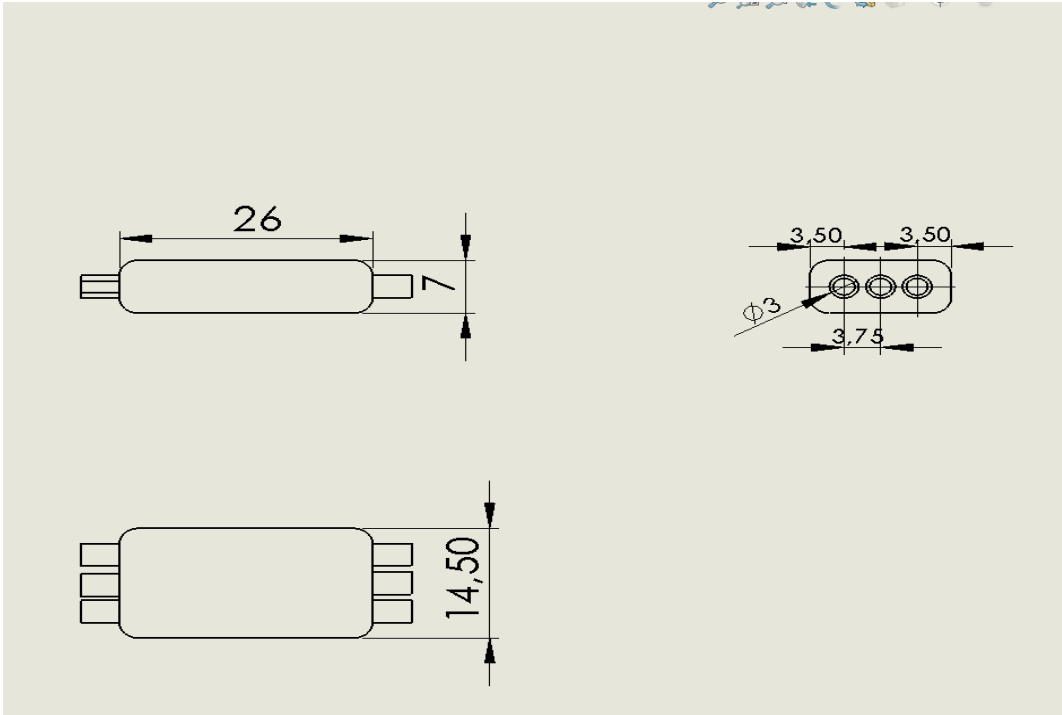
EK – 1.6- Gövde Montaj Teknik Resmi



EK-1.7-Motor Teknik Resmi



EK-1.8 – Esc Teknik Resmi



EK – 2 - Ct Tablosu

PROP RPM = 6000

V (mph)	J (Adv Ratio)	Pe	Ct	Cp	PWR (Hp)	Torque (In-Lbf)	Thrust (Lbf)
0.0	0.00	0.0000	0.1126	0.0432	0.075	0.789	1.292
1.3	0.02	0.0601	0.1112	0.0436	0.076	0.796	1.275
2.7	0.05	0.1174	0.1096	0.0440	0.076	0.803	1.257
4.0	0.07	0.1720	0.1078	0.0443	0.077	0.808	1.236
5.4	0.09	0.2240	0.1057	0.0445	0.077	0.812	1.213
6.7	0.12	0.2734	0.1035	0.0446	0.078	0.814	1.187
8.0	0.14	0.3201	0.1011	0.0446	0.078	0.815	1.159
9.4	0.16	0.3641	0.0984	0.0446	0.077	0.814	1.129
10.7	0.19	0.4055	0.0956	0.0444	0.077	0.811	1.096
12.1	0.21	0.4443	0.0925	0.0442	0.077	0.806	1.061
13.4	0.24	0.4804	0.0893	0.0438	0.076	0.799	1.024
14.7	0.26	0.5139	0.0858	0.0433	0.075	0.790	0.984
16.1	0.28	0.5448	0.0822	0.0427	0.074	0.779	0.943
17.4	0.31	0.5730	0.0784	0.0419	0.073	0.765	0.899
18.7	0.33	0.5986	0.0745	0.0411	0.071	0.750	0.854
20.1	0.35	0.6218	0.0705	0.0401	0.070	0.731	0.808
21.4	0.38	0.6425	0.0663	0.0389	0.068	0.710	0.760
22.8	0.40	0.6606	0.0620	0.0376	0.065	0.687	0.711
24.1	0.42	0.6762	0.0576	0.0362	0.063	0.660	0.661
25.4	0.45	0.6894	0.0531	0.0345	0.060	0.629	0.609
26.8	0.47	0.7001	0.0483	0.0326	0.057	0.594	0.554
28.1	0.49	0.7075	0.0435	0.0304	0.053	0.555	0.499
29.5	0.52	0.7110	0.0385	0.0281	0.049	0.512	0.441
30.8	0.54	0.7097	0.0333	0.0254	0.044	0.464	0.382
32.1	0.57	0.7011	0.0280	0.0226	0.039	0.412	0.321
33.5	0.59	0.6802	0.0226	0.0196	0.034	0.357	0.259
34.8	0.61	0.6382	0.0171	0.0164	0.028	0.299	0.196
36.2	0.64	0.5547	0.0115	0.0131	0.023	0.240	0.131
37.5	0.66	0.3835	0.0058	0.0099	0.017	0.181	0.066
38.8	0.68	-0.0012	0.0000	0.0069	0.012	0.126	0.000

EK – 3 -Tasarımın Teknik Resmi

