



T.C.
DÜMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
SİMAV TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MÜHENDİSLİK PROJESİ
İnsansız Hava Aracı - Döner Kanat

Hazırlayan
Aydanur AKKUT

Ders Yürütücüsü
Dr. Hakan Mumcu

Kütahya-2021

GİRİŞ

Bu raporda, mühendislik projesi dersi kapsamında, insansız hava araçları (İHA) hakkında temel bilgilere yer verilmiştir. Ayrıca insansız hava araçlarından biri olan döner kanatlı İHA tasarımı yapılmış, drone kolu (spider arm), analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar rapora eklenmiştir. Tüm tasarım ve analizler SOLIDWORKS 2021 programı kullanılarak yapılmıştır.

Son yıllarda robotlara olan ilgi giderek artmakta olup, bu cihazların kullanımı, insan hayatını oldukça kolaylaştırmaktadır. Endüstriyel kullanım alanlarında tehlikeli ve zorlu işlerde insan yerine genellikle robotlar kullanılmaktadır. Günümüzün popüler araçlarından olan insansız hava araçları (drone) da bu kapsamda değerlendirilmektedir. Üç eksenli hareketi elde edebilmek için balon yapılar, sabit kanatlı uçaklar, tek rotorlu helikopterler, kuş benzeri konfigürasyonlar kullanılmaktadır. 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. Farklı rotorlu döner kanatlar günümüzde daha çok askeri amaçlarla kullanılmaktadır. Askeri amaçların dışında farklı amaçlar nedeniyle de insansız hava araçlarına yatırımlar yapılmaktadır. Bunların başında iletim hatları denetiminde, sınır devriyelerinde, arama-kurtarma faaliyetlerinde, petrol ve doğalgaz aramalarında, yangın izlemede, topoğrafya ve tarımda kullanımı gelmektedir.

İHA'lar ana gövdeye ek olarak motorlar, elektronik hız denetleyicileri, sensörler (barometre, ivmeölçer, jiroskop, magnometre, GPS, ultrasonik, vb.), pervaneler, güç sistemi, kamera ve iletişim sistemleri gibi İHA'lar için gerekli olan donanımsal birimleri içermektedirler. Uçuş parametrelerinin iyi bir şekilde ayarlanmadığı durumlarda uçuş sırasında istenmeyen kazalar meydana gelebilmektedir. Kullanılan donanımsal birimlerin ücretlerinin yüksek olması ve elde edilmesinin uzun sürmesi sebebiyle İHA kullanımında denetleyici ve parametre ayarlarının doğru yapılması gerekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, öncelikle dört rotorlu insansız hava araçları için kontrol algoritmalarının ve uçuş parametrelerinin test edilebileceği bir düzenek tasarlanacaktır. Bu test düzeneği sayesinde farklı rotor sayısındaki İHA'lar için üç eksen kontrollü uçuş test ve senaryoları hazırlanıp, uçuş kontrolleri yapılacaktır. Oluşturulacak düzenekler ile İHA sisteminin x, y ve z eksenlerindeki kontrolleri ve otonom uçuş senaryoları gerçekleştirilecektir.

İÇİNDEKİLER

DRONE (İNSANSIZ HAVA ARACI - İHA) NEDİR?	4
Drone Hangi Parçalardan Oluşur?	4
GÖVDE (Frame)	5
İniş Takımı (Landing Gear)	7
Motorlar (Engines)	8
Esc (Electronic Speed Controller)	9
Pervaneler (Propellers)	10
Uçuş Kontrolcüsü (Flight Controller – Autopilot)	11
Otopilot Sisteminin Bileşenleri	11
GPS Alıcısı (GPS Receiver)	13
Kumanda ve Alıcı (Controller and Receiver)	13
Görüntü Aktarım Sistemi (FPV)	14
Pil (Battery)	14
Diğer Drone Bileşenleri	15
Mesafe Sensörleri	15
Optik Akış	15
Güç modülü	15
Yer İstasyonu	15
Telemetri Modülleri	15
SABİT KANATLI İHA	16
DÖNER KANATLI İHA	19
İHA BOYUTLARI	20
İHA Genel Karşılaştırma	21
Drone Tasarımı	22
Drone Tasarımında Kullanılan Bileşenler	23
Analiz Sonuçları	30
Kaynakça	31

1. DRONE (İNSANSIZ HAVA ARACI - İHA) NEDİR?

Havacılıkta ve uzayda, bir drone pilotsuz bir uçak veya uzay aracını ifade eder. Kısacası yerden kumanda edilebilen ve canlı olarak yere görüntü aktaran insansız hava araçlarıdır. İnsansız hava araçları genellikle askeri amaçlarla kullanılıyor. Amacı ise savaş bölgelerinde bir pilotun hayatını riske atmamak. Ek olarak, insansız hava araçları dinlenmeye ihtiyaç duymaz, bu da araçta yakıt olduğu ve mekanik zorluklar olmadığı sürece uçmalarını sağlar.

Reklam-film yapımcılığı, açık-kapalı alan çekimleri, inşaat sektörü, emlak sektörü, turizm sektörü gibi daha sayamayacağımız birçok alanda aktif olarak kullanılıyor. Teknik bilgiler kullanılarak yapılabileceği gibi, piyasada hazır olarak satan birçok markadan satın da alınabilir.

2. Drone Hangi Parçalardan Oluşur?

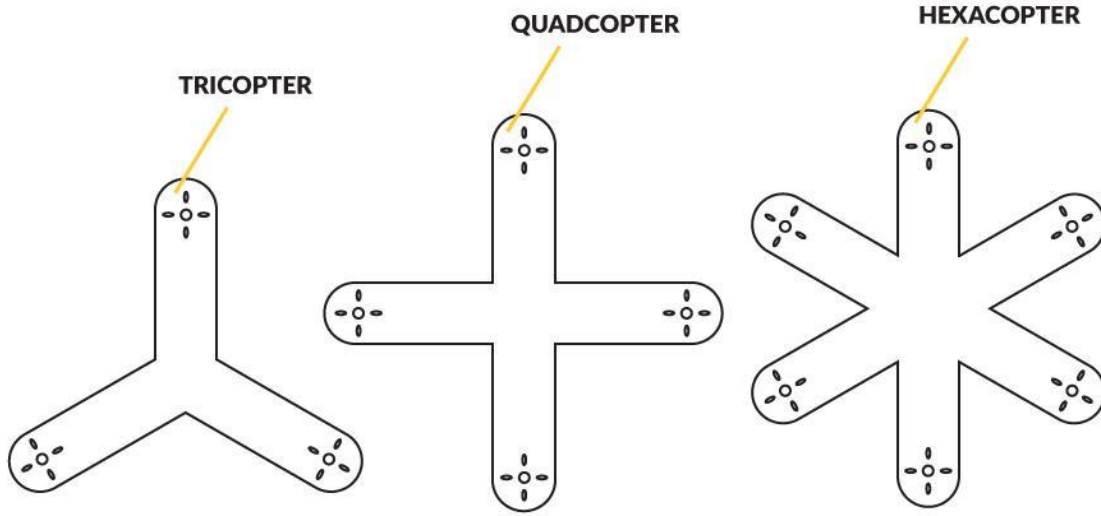
- 1) Gövde (Frame)
- 2) İniş Takımı (Landing Gear)
- 3) Motorlar (Engines)
- 4) Esc (Electronic Speed Controller)
- 5) Pervaneler (Propellers)
- 6) Uçuş Kontrolcüsü (Flight Controller – Autopilot)
- 7) GPS Alıcısı (GPS Receiver)
- 8) Kumanda ve Alıcı (Controller and Receiver)
- 9) Görüntü Aktarım Sistemi (FPV)
- 10) Pil (Battery)

2.1. GÖVDE (Frame)

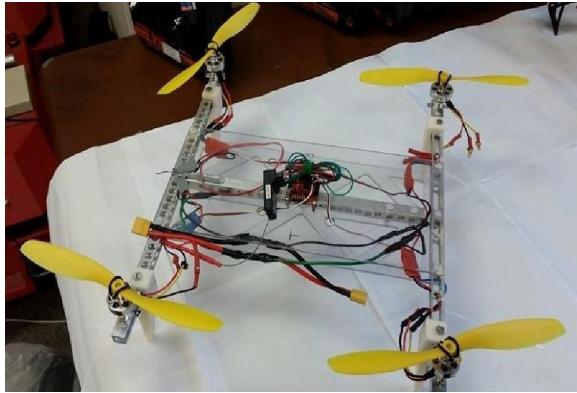
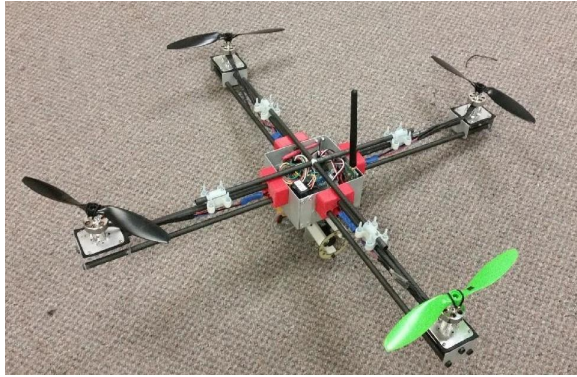
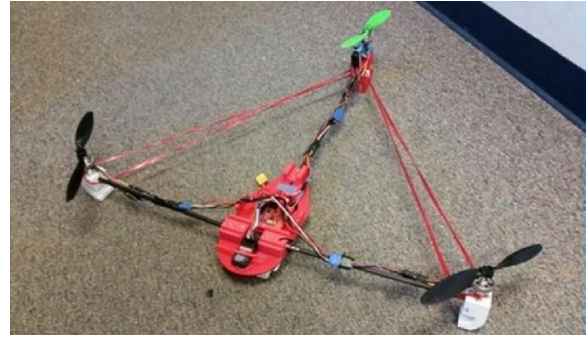
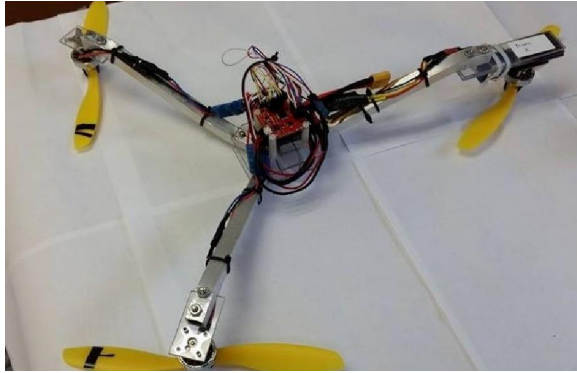
Diğer tüm parçaları bir arada tutan ana parça. Kullanılan malzemeler tercihe göre değişmesine rağmen kullanışlı ve maliyetinin düşük olması sebebiyle G10 malzemesi kullanılır. (G10 malzemesi, cam elyafı ve epoksi reçineleri içerir. Kendi içinde, madde, sadece bu reçineler, birbirine lehimlenmiş katmanlı bir yapıya sahiptir.)

İyi bir gövdenin özellikleri:

- Dayanıklı
- Sert (Esnek Değil)
- Hafif
- Erişilebilir



Şekil 1. Bazı gövde çeşitleri



Şekil 2. Döner Kanatlı Drone Örnekleri

2.2. İniş Takımı (Landing Gear)

Bir İHA için iniş takımları pek çok açıdan faydalıdır. Bazı İHA'ların alt plakalarında (normalde ağırlığı korumak için) hazır olarak gelir.

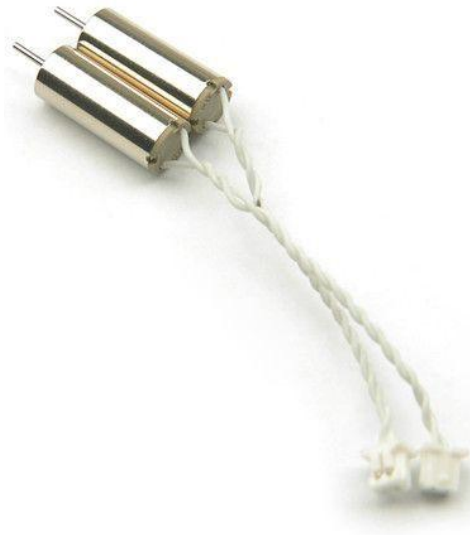
- İHA tabanıyla düz olmayan bir yüzey arasında açıklık sağlar.
- Pil takımı/gimbal ve zemin arasında açıklık sağlar.
- Sert iniş halinde şase veya gövde yerine kırılan ve değiştirilecek olan iniş takımıdır.
- Doğru iniş takımı her zemin için uygundur.



Şekil 3. İniş takımları

2.3. Motorlar (Engines)

Dronelerde kullanılan motorlar, fırçasız DC motor olarak bilinen motorlardır. Bu tipte motor kullanılmasının sebebi, fırçasız motorların fırçalı motorlara göre çok daha verimli olması ve aşınan parça sayısının az olmasındandır. Farklı büyüklükteki gövdelerde farklı boyda motorlar kullanılır.



Şekil 4. Fırçalı drone motoru

Fırçalı motorların aksine, fırçasız motorları sadece gerilimi değiştirerek sürmek mümkün değildir.

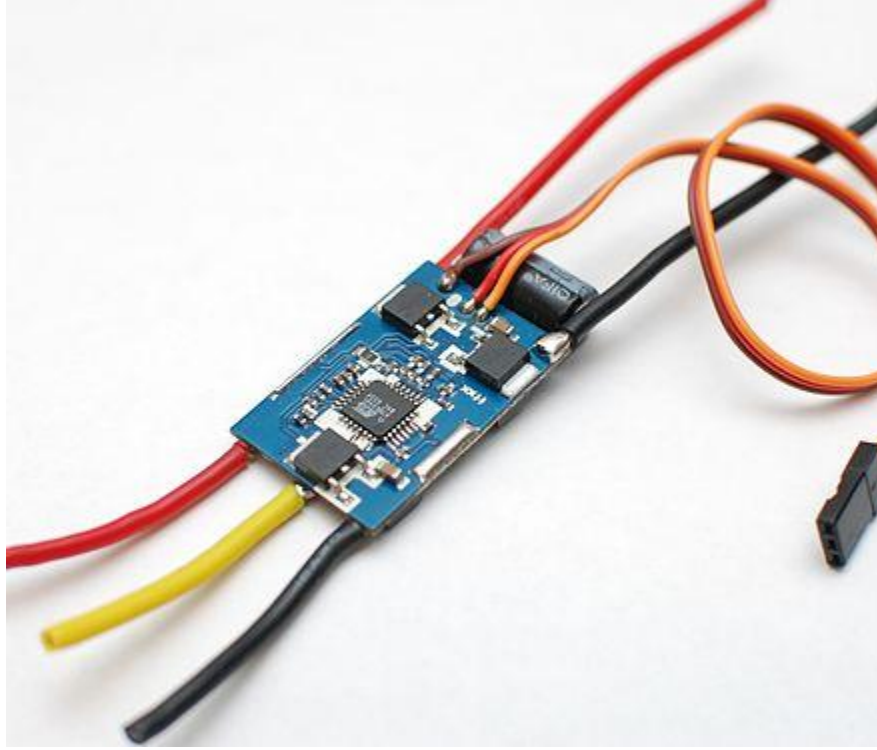
Fırçasız motorların 3 adet kablosu bulunmaktadır. Bu kabloların herhangi ikisini doğrudan bir gerilim kaynağına (örneğin bir pil) bağlarsak, gerilim kaynağını kısa devre yapmış oluruz. Fırçasız motorların kullanımı için mutlaka sürücüye ihtiyaçları vardır. RC model dünyasında bu sürücüye Electronic Speed Control ya da kısaca ESC denilmektedir.



Şekil 5. Fırçasız motor

2.4. Esc (Electronic Speed Controller)

ESC uzun anlamı ile Electronic Speed Control (Elektronik hız kontrol) şeklinde karşılık bulunmaktadır. Farklı alanlarda özel bir kumanda alıcısına bağlı olarak çalışma prensibine sahiptir. Kumanda üzerinden gelen tepkileri değerlendirmek suretiyle, aracın hareket etmesine ya da durmasına imkan tanımaktadır.

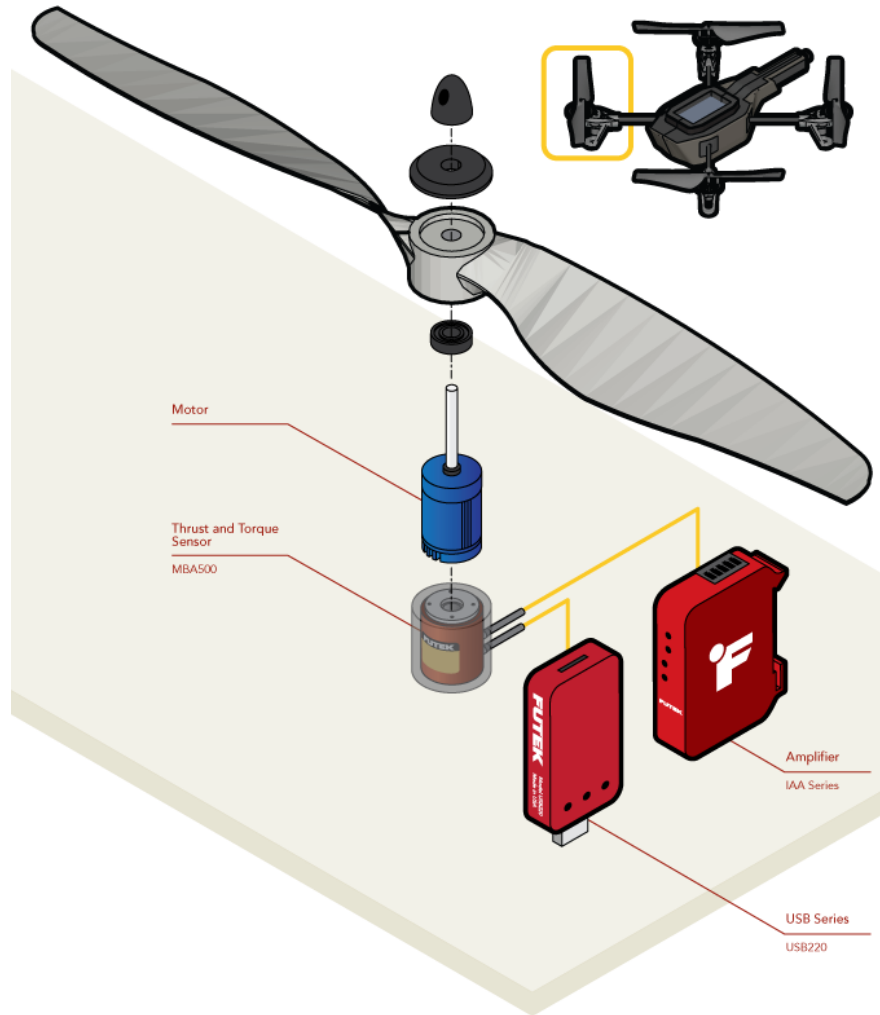


Şekil 6. ESC

2.5. Pervaneler (Propellers)

Her motorun, özellikler listesinde en uygun çalışacağı pervaneler belirtilir. Multikopterlerde pervaneler çoğunlukla saat yönü (CW) ve saat yönünün tersi (CCW) dönecek şekilde birlikte bulunur.

Multikopterin ön ve arka kısımlarına farklı renkte pervaneler takmak, drone'un yönünü karıştırmamak için doğru bir tercih olacaktır.



Şekil 7. Pervane

2.6. Uçuş Kontrolcüsü (Flight Controller – Autopilot)



Uçuş kontrolörü, drone uzaktan kumandasından gelen bilgileri eyleme dönüştüren devre kartıdır. Tüm sensör verilerini okur ve uçabilmesi için drone'a gönderilecek en iyi komutları hesaplar.

Şekil 8. Uçuş Kontrolcüsü

2.6.1. Otopilot Sisteminin Bileşenleri

1) İşlemci

Bu, otopilot ürün yazılımını çalıştıran ve tüm hesaplamaları yapan merkezi birimdir. Çoğu uçuş kontrol cihazı, 8 bit sistemlerden daha güçlü olan 32 bit işlemcilere sahiptir, ancak hala çevrimiçi olarak çok ucuza bulunabilen ardupilot mega gibi birkaç popüler 8 bit otomatik pilot platformu vardır.

2) İvmeölçer ve Jiroskop

Bunlar dronunuzdaki intertiyal sensörlerdir. İvmeölçer, ivme kuvvetlerini ölçer ve gyro, dönme kuvvetlerini ölçer. Bu ölçümleri birleştirerek uçuş kontrolörü, drone'ların mevcut durumunu (uçuşu açısı) hesaplayabilir ve gerekli düzeltmeleri yapabilir.

3) Pusula (magnetometer)

Pusula sensörü veya hoş bir ses istiyorsanız manyetometre, tıpkı bir pusula gibi manyetik kuvveti ölçer. Bu sensör, çok rotorlu dronlar için önemlidir, çünkü ivmeölçer ve jiroskop sensörleri, uçuş kontrolörünün dronun hangi yöne baktığını bilmesini sağlamak için yeterli değildir. Sabit kanatlı dronlarda sadece tek yönde uçabildiğinden bu kadar kolaydır.

4) Barometre

Drone irtifasını ölçmek için kullandığınız bir basınç sensörüdür. Bu basınç sensörleri o kadar hassastır ki, drone birkaç santimetre hareket ettiğinde hava basıncındaki değişikliği algılayabilirler.

5) Hava hızı sensörü

Bu sensör, yalnızca sabit kanatlı dronlarda kullanılır. Bir hava hızı sensörü, bir basınç sensörünün başka bir şeklidir, ancak bu, irtifa ölçmek yerine, havanın uçağın üzerinden geçtiğini hızlı bir şekilde ölçer. Bunu bir pitot tüpü aracılığıyla dinamik ve statik basıncı karşılaştırarak yapar.

6) Veri Kaydı (Kara Kutu)

Bazı uçuş kontrolörleri, tıpkı bir uçaktaki kara kutu gibi, otomatik pilotun yaptığı her şeyin bir günlüğünü saklayan yerleşik veri kaydı içerir. Bu, özellikle bir şey düzgün çalışmıyorsa yararlıdır.

7) Sensör Füzyonu

Drone'u kontrol etmek için tek bir sensör yeterince iyi değildir, bu yüzden birkaç sensör kullanılır. Otomatik pilot, drone'daki tüm sensörlerden gelen ölçümleri birleştirerek ve bazı matematiksel hesapları uygulayarak uçağınızı çok etkili bir şekilde sabit tutabilir.

2.7. GPS Alıcısı (GPS Receiver)

Bir İHA'daki çoğu navigasyon sisteminin merkezi bir bileşeni olan GPS , aracın konumunu belirlemek için kullanılır. Aracın göreceli konumu ve hızı da genellikle İHA GPS tarafından belirlenir.

Gökyüzünü görmesi gerektiğinden, genellikle drone'un üstüne monte edilir. Çok rotorlu bir uçakta uçarken, çoğu drone üreticisi, sağlam bir GPS sinyali almasını sağlamak için GPS modülünü diğer tüm elektronik aksamlardan yüksek bir yere monte etmek için bir GPS direği kullanır.



Şekil 9. GPS

2.8. Kumanda ve Alıcı (Controller and Receiver)



Drone' u uçurabilmek için bir kumandaya ihtiyaç duyulur. Alıcı yerleşik olduğu antenlerinden radyo sinyallerini almak için drone üzerinde elektronik cihaz bulunur. Bu bilgiler daha sonra, orjinal radyo sinyalleriyle belirtildiği gibi drone'u kontrol ederek bilgileri harekete geçiren uçuş kontrol panosuna veya uçuş kontrolörüne gönderilir.

Şekil 10. Kumanda

2.9. Görüntü Aktarım Sistemi (FPV)



Piyasadaki dronların kontrolörlerinin çoğunda, drone kontrolörüne bağlı ekranlar yoktur.

Şekil 11. FPV

Ekranı olmayan bir drone uzaktan kumandası ile, FPV'yi (First Person View) uçurmak için genellikle akıllı telefonlar veya tabletler ekran olarak kullanılabilir.

2.10. Pil (Battery)



Dronelarda kullanılan piller, lityum polimer tipteki pillerdir. Kısaca lipo batarya da denir. Bu piller ağırlık ve boyutlarına oranla oldukça fazla enerji verebilme yeteneğine sahiptir.

Şekil 12. Piller

Lityum polimer pillerin her bir hücresi, nominal olarak 3,7V, tam dolu olduklarında ise 4,2V gerilime sahiptir. Bu hücreler, birbirine paralel ve seri bağlanarak bataryanın kapasitesinin veya geriliminin artışı sağlanır.

3. Diğer Drone Bileşenleri

- Mesafe Sensörleri

Birçok drone ayrıca mesafe sensörlerini entegre etme yeteneğine de sahiptir. Bunlar, ultrasonik bir ping gönderen ve önündeki nesnelerin geri sıçramasının ne kadar sürdüğünü ölçen ultrasonik mesafe sensörlerinden farklı olabilir.

- Optik Akış

İç mekanlarda veya kalın ağaç örtüsünde uçarken, güvenilir bir GPS sinyali elde etmek her zaman mümkün değildir. Aşağıya bakan bir optik akış sensörü kullanarak, uygun dokulu bir ortam üzerinde uçuş yapıyorsa konumu korumaya yardımcı olabilir.

- Güç modülü

Otopilot hassas bir elektronik cihaz olduğundan, temiz bir güç kaynağı alması önemlidir. Drone pilindeki pil voltajını otomatik pilotun kullandığı düşük voltaja (genellikle 5v) dönüştürmek için bir güç modülü kullanılır.

- Yer İstasyonu

Yer istasyonu, drone'un nereye uçtuğunu izlemek, yeni ara noktalar belirlemek veya drone'un takip etmesini sağlamak gibi diğer komutları yapmasını sağlayan PC'nizde veya tabletinizde çalışan bir yazılımdır. Çoğu drone pilotu, yer kontrol istasyonu olarak bir akıllı telefon veya tablet kullanır.

- Telemetri Modülleri

Telemetri modülleri, verileri ileten ve alan gerçek radyo cihazlarıdır. Drone'da bir tane ve yer istasyonu cihazına takılı yerde bir tane olacak şekilde yerleştirilir. Belirli bir otomatik pilot için telemetri modüllerini kullanırken en önemli şey, iletişim kurabilmeleri için doğru eşleştirme yapılmasıdır.

4. SABİT KANATLI İHA

Sabit kanatlı bir drone, öndeki hava hızı sayesinde kanat altında yükseltme oluşturan sabit bir yapıya sahiptir. Bu, dahili bir motor veya elektrik motoru kontrollü bir pervane tarafından üretilir. Elde taşımaya veya pistten kalkışa ihtiyaç duyar ve uzun mesafelerde sürekli olarak uçabilirler.

Kullanım Alanı

Daha düne kadar hükümet orduları tarafından savaştan zarar görmüş alanları hızlı ve verimli bir şekilde taramak için kullanılan sabit kanatlı İHA şu anda tarım, meteoroloji, madencilik ve çevre endüstrileri tarafından da sıkça kullanılmaya başlandı.

Avantajları

- Daha uzun uçuş süresi: Sabit kanatlı uçaklar, tek bir pil döngüsünde çok rotorlu İHA'dan daha uzun süre uçabilir. Bu, pilleri değiştirmek / şarj etmek için sık sık üsse dönmeleri gerekmediğinden, geniş alanların haritalanması için idealdir.
- Daha kısa sürede geniş alanları kapsar: Sabit kanatlı bir İHA, tek bir uçuşla yüzeyleri (10 km²'ye kadar) araştırmanıza olanak tanır.
- Mükemmel stabilite: Sabit kanatlı uçaklar, yüksek rüzgarlı bölgelerde hayati önem taşıyan bir gövde tasarımına sahiptir. Bu deformasyona karşı daha fazla direnme kabiliyeti sağlar.
- Görüntü kalitesinin daha iyi kontrolü: Resimlerinizin kalitesini otomatik ve gerçek zamanlı olarak izleyebilirsiniz.
- Motordaki güç kaybı durumunda güvenli kurtarma: Teorik olarak, sabit kanatlı insansız hava araçları, bir güç kaybı durumunda güvenli bir şekilde yere kayabilir. Bu süreç ona çok daha iyi bir hayatta kalma şansı veriyor.

Dezavantajları

Sabit kanatlı İHA'nın en büyük dezavantajlarından biri, kalkış için bir piste veya fırlatıcıya ihtiyaç duymasındır. Ayrıca sabit kanatlı uçaklar, yükselme oluşturmak için kanatlarının üzerinde onu iten, harekete teşvik eden bir havaya ihtiyaç duyar. Motorlu dronların aksine havada asılı kalamazlar. Bu, sabit kanatlı İHA'ların denetim çalışmaları gibi sabit uygulamalar için çok da uygun olmadığı anlamına gelir.

5. Sabit Kanatlı İHA Çeşitleri

Birkaç farklı düzen ve sabit kanatlı drone türü vardır:

1) Düz Kanat:

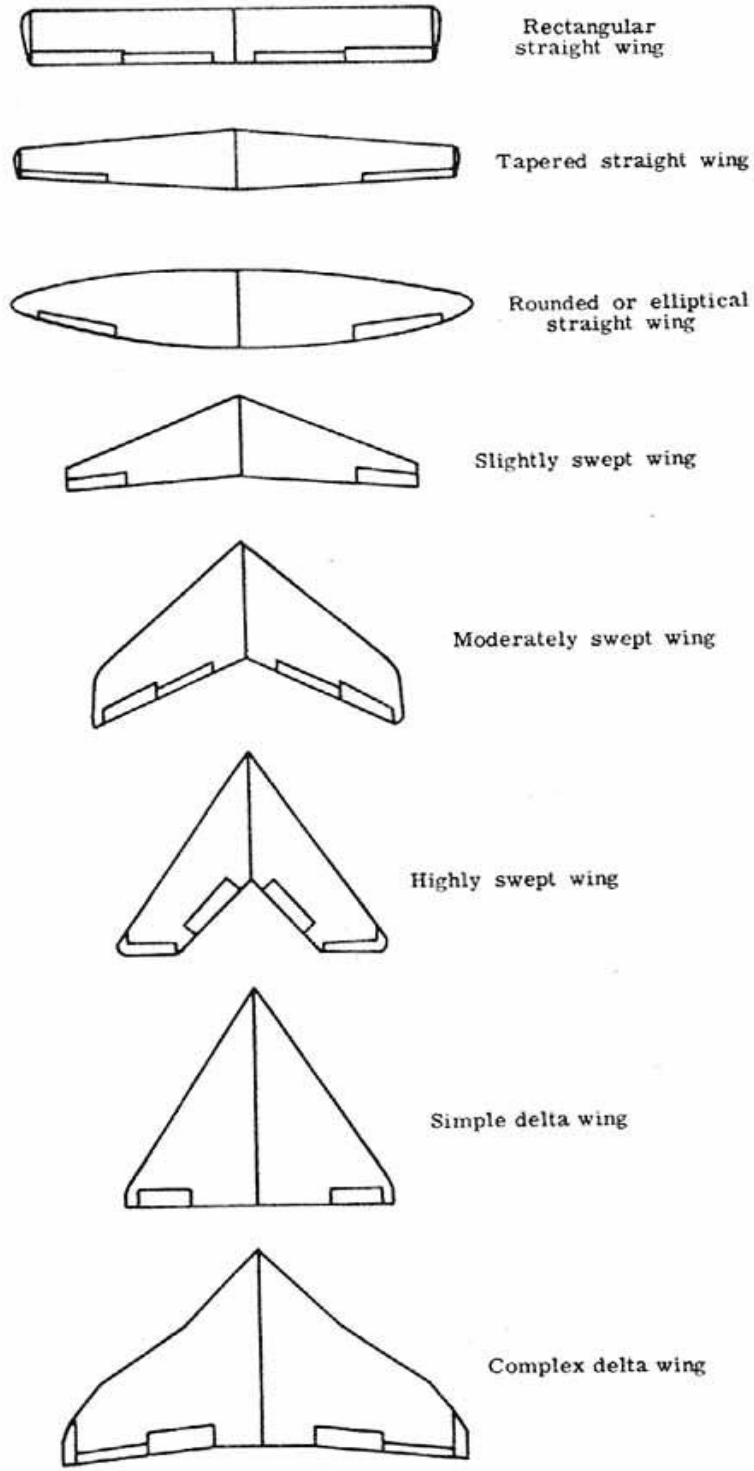
- Dikdörtgen düz kanat (Rectangular Straight Wing)
- Konik düz kanat (Tapered Straight Wing)
- Yuvarlak veya eliptik düz kanat (Rounded or Elliptical)

2) Ok Açılı Kanat:

- Hafif ok açılı kanat (Slightly Swept Wing)
- Orta derece ok açılı kanat (Moderately Swept Wing)
- Yüksek derece ok açılı kanat (Highly Swept Wing)

3) Delta kanat:

- Basit delta kanadı (Simple Delta Wing)
- Karmaşık delta kanadı (Complex Delta Wing)



Şekil 13. Kanat Çeşitleri

6. DÖNER KANATLI İHA

Çoklu motorlar, kaldırma oluşturan ikiden fazla rotor kullanan döner kanatlı İHA'lardır. Rotorların hızını, üretilen itme, uçağa etki eden yerçekimi ve sürüklenme kuvvetlerinden daha büyük, eşit veya daha az olacak şekilde değiştirerek, dronun yükselmesi, havada asılı kalması veya alçalması sağlanabilir. Belirli rotorların hızlarını değiştirerek, dronun yatay bir yönde dönmesi veya hareket etmesi de mümkündür.

Kullanım Alanı

Hava fotoğrafçılığı ve video havadan inceleme, eğlence, tarım, inşaat, güvenlik gibi alanlarda yaygın şekilde kullanılır. Ayrıca itfaiye veya balıkçı drone şeklinde de kullanımı bulunuyor.

Avantajları

- Kolay kontrol ve manevralar
- Gezinme yetenekleri var
- Dikey olarak inip kalkabilirler
- Çok kararlı, dengeli

Dezavantajları

- Çoklu rotorların sınırlı bir uçuş süresi vardır. (Genellikle 15-30 dakika)
- Sadece küçük yük kapasitesine sahipler
- Dronun enerjisinin çoğu yerçekimi ile savaşmak ve havada dengelemek için harcanmaktadır.

7. Döner Kanatlı İHA Çeşitleri

- **Tricopter:** Her biri bir motora bağlı olan üç kollu İHA. Önü iki kol arasında (Y3) olma eğilimindedir.
- **Quadcopter:** Her biri bir motora bağlı olan, dört kollu dört rotarlı İHA.
- **Hexacopter:** Her biri bir motora bağlı olan altı kollu İHA.
- **Hexacopter Y6 Tasarımı:** Y6 dizaynı bir hexacopter türüdür. Altı kol yerine üç desteği vardır. Kolun her iki yanına bir motor bağlıdır. Alt tarafa monte edilmiş pervanelerin itme kuvveti aşağı doğrudur.
- **Octocopter:** Her biri bir motora bağlı olan sekiz kollu İHA.

8. İHA BOYUTLARI

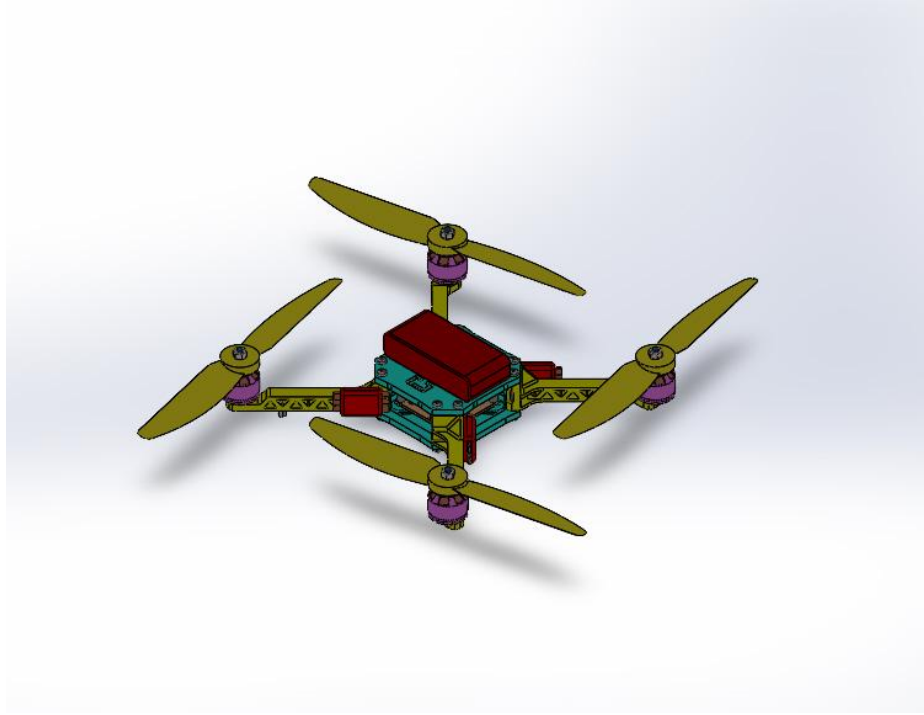
Boyut	Ağırlık
Mikro	250 g veya daha az
Çok küçük	250.01 g - 2 kg arası
Küçük	2.01 kg - 25 kg arası
Orta	25.01 kg - 150 kg arası
Büyük	150 kg'dan fazla

9. İHA Genel Karşılaştırma

	DÖNER KANATLI İHA	SABİT KANATLI İHA
AVANTAJLARI	Uygulamalar - yüksek çözünürlüklü sensörler	Dayanıklılık - daha uzun uçuş
	Kullanım kolaylığı - iyi	Maliyet - daha ucuz
	Kapalı alanlara erişim, VTOL	Verimli enerji
	Görsel gözetim / denetim	
	Uzaktan robotik	
	Hızlı cevap	
DEZAVANTAJLARI	Dayanıklılık - daha az uçuş süresi	Kullanım zorluğu - çoklu motor kadar kolay değil
	Maliyet	Boyut - depolama / taşıma için daha fazla alan
	Karmaşıklık	İniş ve kalkış
		Uygulamalar - sensör seçimi
		Yük kapasitesi - daha az taşıma
		Kısa ömür: kontrolsüz inişler ve destekli kalkışlar

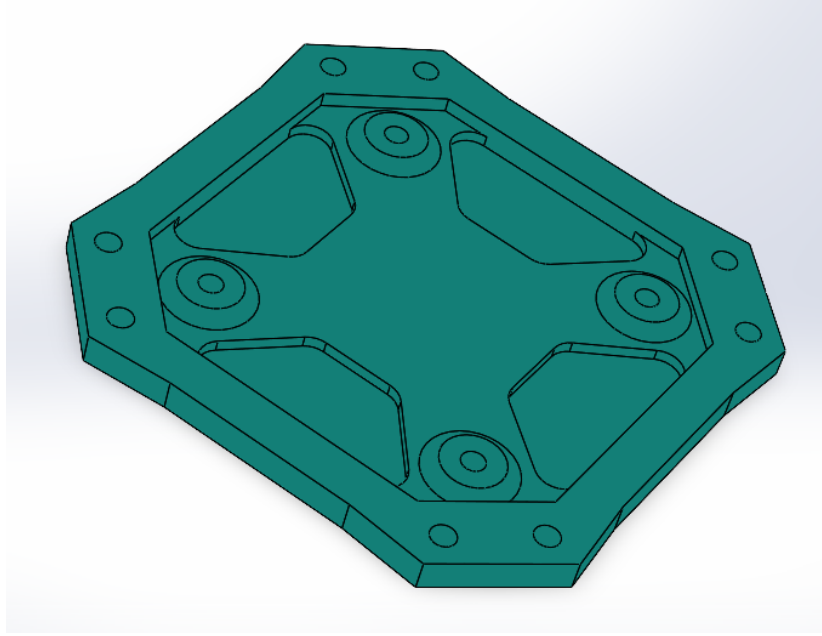
10. Drone Tasarımı

Aşağıdaki İHA, kaynak kısmında belirtilen video desteğiyle Solidworks programıyla çizilmiştir.

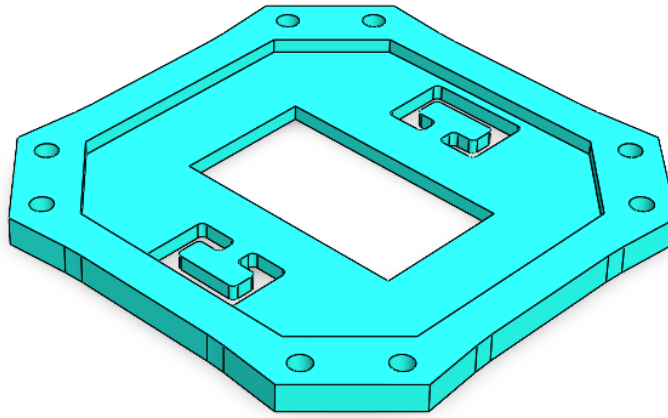


Şekil 14. Tasarlanan İHA

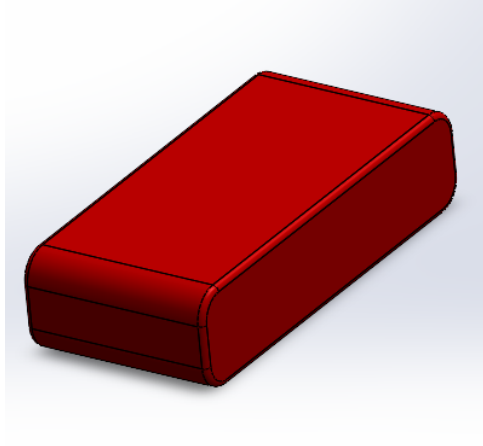
11. Drone Tasarımında Kullanılan Bileşenler



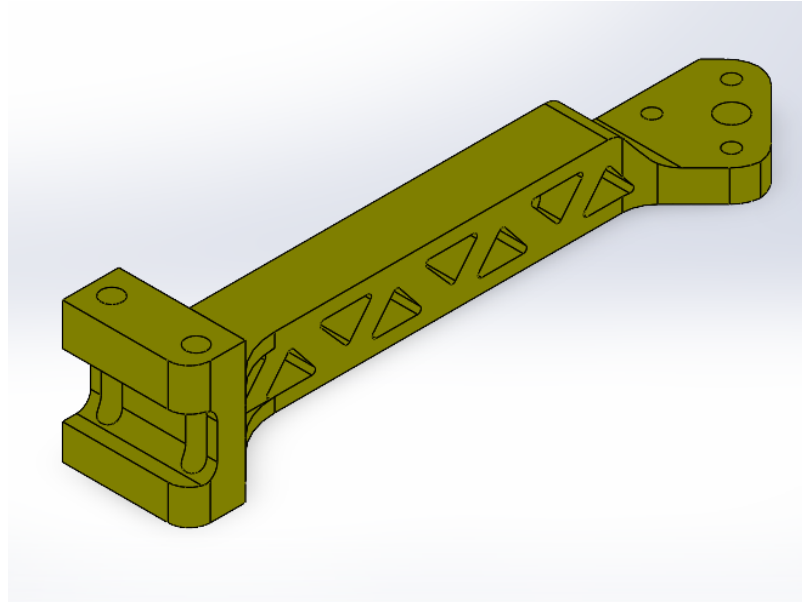
Şekil 15. Taban (Spider Base)



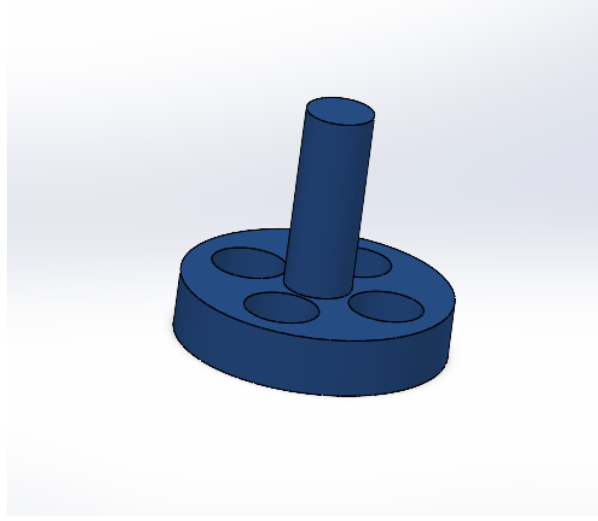
Şekil 16. Tavan (Spider Top)



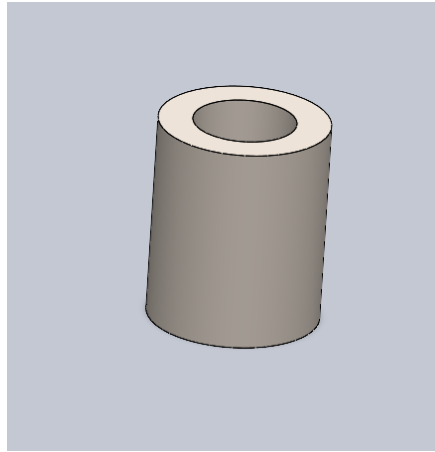
Şekil 17. Pil (Battery)



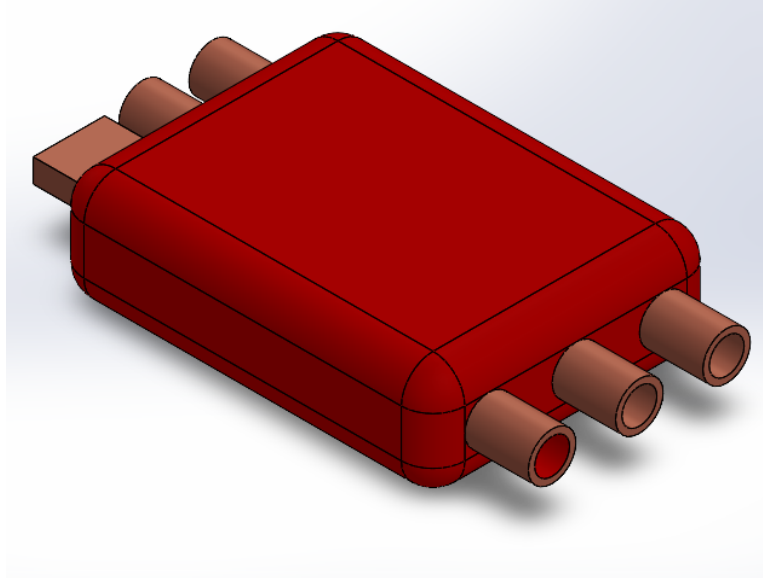
Şekil 18. Kol (Spider Arm)



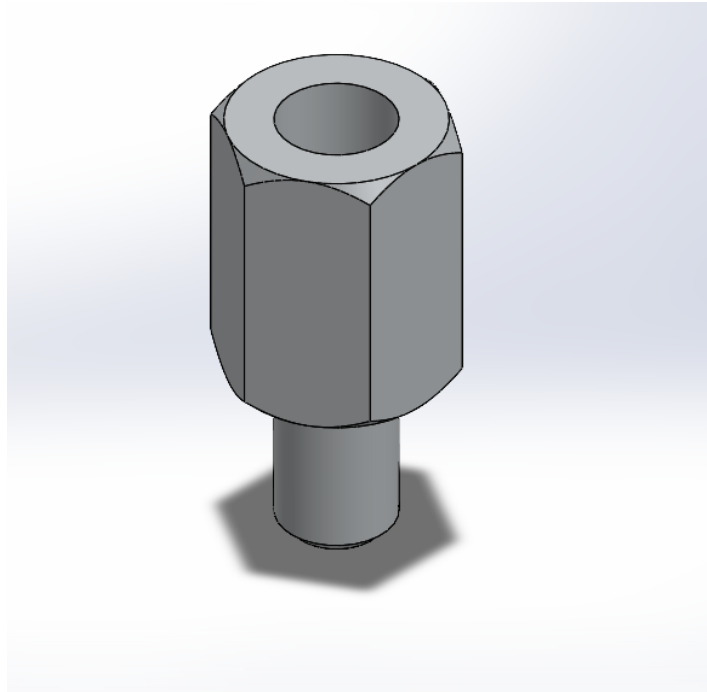
Şekil 19. Döndürücü (Spinner)



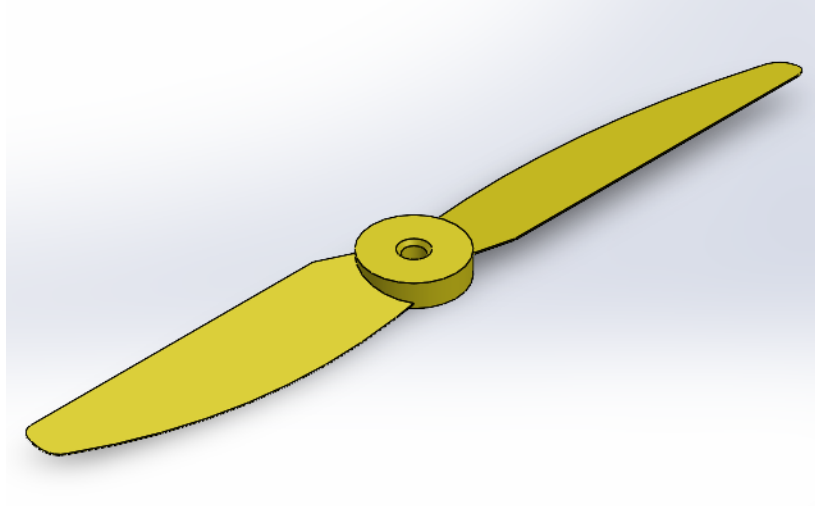
Şekil 20. Ara levha (Spacer)



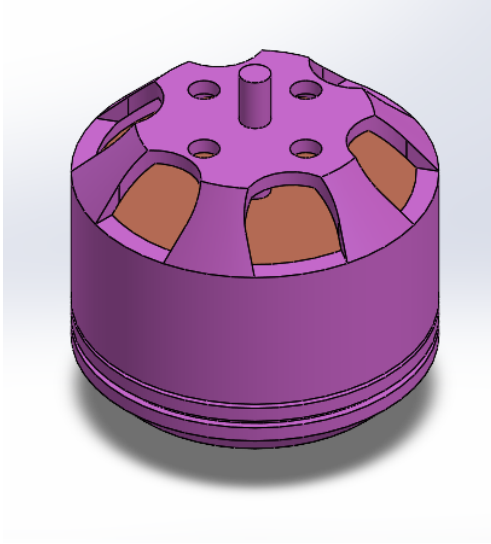
Şekil 21. Konnektör (Electrical Connector)



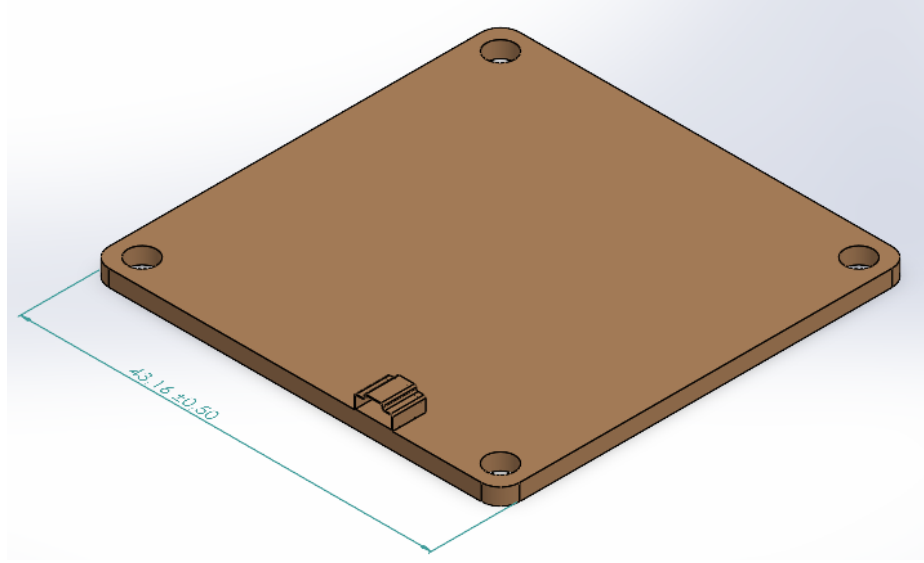
Şekil 22. Cıvata (Piller)



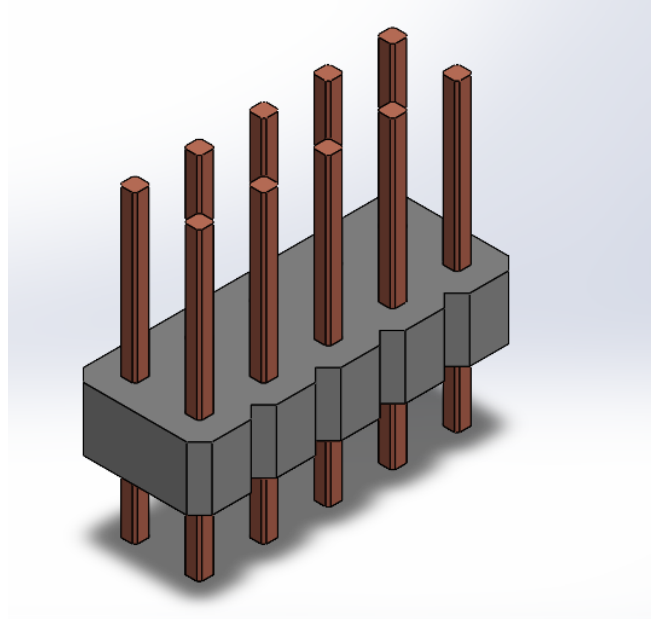
Şekil 23. Pervane (Propeller)



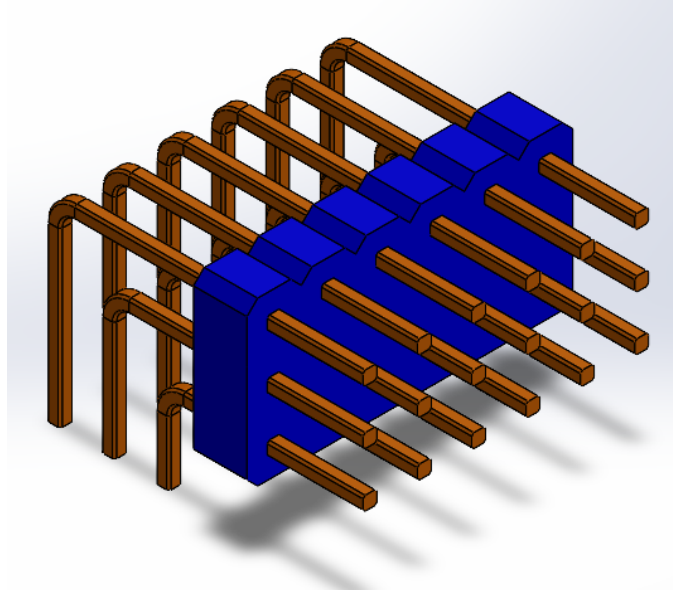
Şekil 24. Motor (Motor)



Şekil 25. Dağıtım panosu (Distribution board)



Şekil 26. Elektrik ünitesi (Electrical unit)

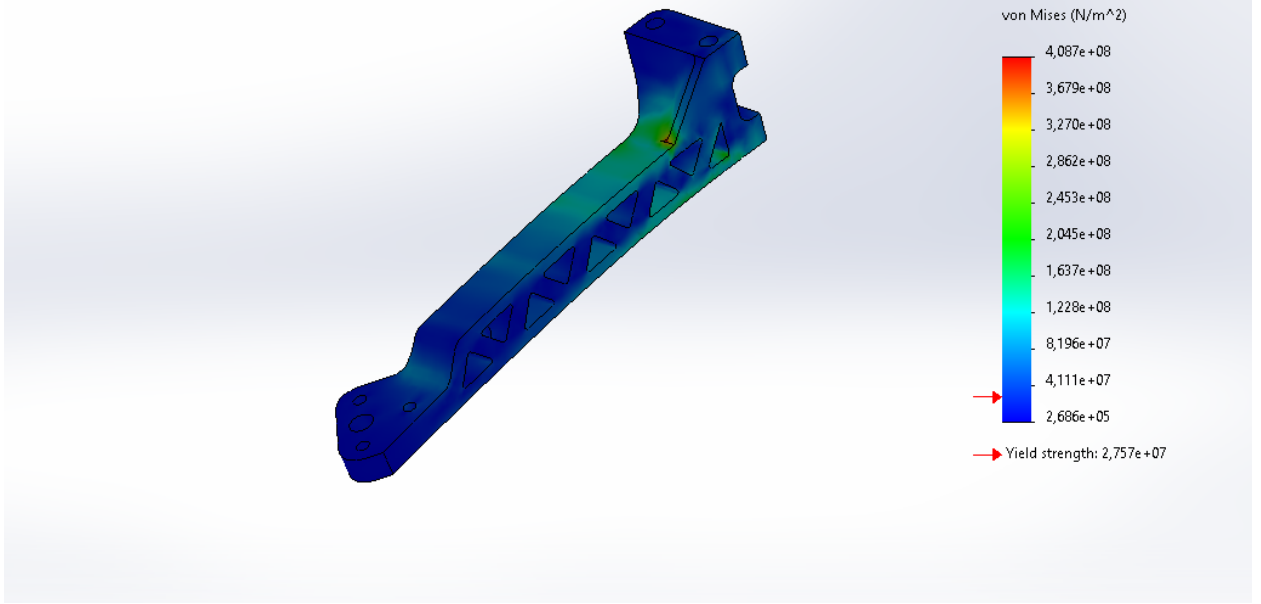


Şekil 27. Elektrik ünitesi (Electrical unit)

12. Analiz Sonuçları

Solidworks çelik yapı testi sonucunda, alüminyum malzemeden üretilen bir drone kolunun maruz kalacağı ortalama kuvvet hesaplanarak yapılan analiz ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Model name: SpiderArm
Study name: Steel Structure Test(-Default-)
Plot type: Static nodal stress Stress1
Deformation scale: 7,29678



Şekil 28. Drone kolu analiz sonuçları

13. Kaynakça

- *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, DÖRT ROTORLU DÖNER KANAT İNSANSIZ HAVA ARACI TEST DÜZENİĞİ GELİŞTİRİLMESİ, İrfan ÖKTEN, Yüksek Lisans Tezi, BİLECİK, 2016*
- <https://www.coptrz.com/>
- <https://history.nasa.gov/>
- <https://www.airbornedrones.co/>
- *Aerodynamic System Identification of Fixed-wing UAV, ,August 2013, Conference: AIAA Atmospheric Flight Mechanics, Boston, Massachusetts*
- <https://botlink.com/>
- <https://www.space.com/29544-what-is-a-drone.html>
- <https://maker.robotistan.com/drone-nedir/>
- <https://www.dronetrest.com/>
- <https://www.deltaquad.com/>
- <https://dronerush.com/>
- *Youtube Tutorial Video*
- *Tüm görsellerin kaynağı görselin altındaki “Şekil x.” formatındaki kısımlara linklenmiştir.*