

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

SABİT KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI PROJESİ

BİTİRME PROJESİ

Sami Cem KANDAZ

Dilan AKINCI

Kadircan KARAGÖZ

İsmet MALKOÇ

HAZİRAN 2021

TRABZON

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

SABİT KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI PROJESİ

Sami Cem KANDAZ

Dilan AKINCI

Kadircan KARAGÖZ

İsmet MALKOÇ

Danışman: Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL

Bölüm Başkanı: Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU

HAZİRAN 2021

TRABZON

ÖNSÖZ

Ulu önder Mustafa Kemal Atatürk'ün ‘‘Türk mühendislerinin alnında cumhuriyetin istikbalini aydınlatan ışık parıldar.’’ sözünü ilke edinerek, lisans eğitimimiz boyunca aldığımız teorik eğitimin yanı sıra katıldığımız etkinlikler, kendimizi geliştirmek adına araştırmalar ve çalışmalar yaparak ülkesini seven, bilgili ve bilinçli birer mühendis olmayı amaçlamaktayız.

Özellikle son yıllarda gelişen teknolojiyle beraber çeşitli amaçlar doğrultusunda kullanılmak üzere insansız hava araçlarına yoğun bir talep olmaktadır. Bu bitirme çalışmasında da ihtiyaç doğrultusunda farklı görevler ve amaçlar için kullanılması planlanan temel bir sabit kanatlı insansız hava aracının tasarımı ve üretimi amaçlanmıştır.

Tez çalışmamız sürecinde bizlere rehberlik eden ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL'e projenin biçimlenmesine sağladığı değerli katkılarından dolayı teşekkürü bir borç biliriz.

Sami Cem KANDAZ

Dilan AKINCI

Kadircan KARAGÖZ

İsmet MALKOÇ

Trabzon 2021

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER	VI
ÖZET	VI
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	IX
SEMBOLLER DİZİNİ	X
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. İHA Nedir?	2
1.3. Geçmişten Günümüze İHA	2
1.4. İHA Kullanım Alanları	3
1.5. Kanat Tipi Belirlenmesi	3
1.5.1. Kanat Tasarımı	4
1.6. Gövde	4
1.6.1. İHA Malzemeleri	5
1.6.2. Gövde ile İlgili Ek Hususlar	7
1.7. İtki Sistemi	8
1.7.1. Motor.....	8
1.7.2. Pervane	10

1.7.3. ESC (Elektronik Hız Kontrol Ünitesi)	13
1.8. Batarya	14
1.8.1. Batarya Emniyeti	15
1.8.2. Batarya Şarj	15
1.9. Montaj İşlemleri	16
1.10. Kısıtlama ve Koşullar	16
1.10.1. Güvenlik Hususları	19
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	20
2.1. Seçim Kriteri	20
2.2. Hesaplamalar	21
2.2.1. Aerodinamik Kuvvetler	21
2.2.2. İtki (Thrust) Hesabı	25
2.3. Tasarım ve Üretim Süreci	26
2.4. Maliyet Analizi	29
3. BULGULAR	30
3.1. Kuyruk Seçimi	30
3.2. Grafikler	32
4. TARTIŞMA	36
5. SONUÇLAR	37
6. ÖNERİLER	38
7. KAYNAKÇA	39
8. EKLER	42

8.1. Katı Modelleme Programında Çizimler	42
8.2. Terminoloji	44

ÖZET

SABİT KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI

Özellikle son yıllarda talep gören insansız hava araçları, günümüzde daha çok askeri alanda takip, gözetleme, aktif silahlı görevler veya en basit manada veri toplama amacıyla kullanılmaktadır. İnsanlı sistemlere göre düşük üretim ve işletme maliyeti, müşteri ihtiyaçlarına göre uçağın düzenlenebilme esnekliği, zor görevlerde pilotu kaybetme riskinin olmaması ve aynı zamanda ticari anlamda da insansız hava araçlarına talep doğmaktadır.

Hazırlanmış olduğumuz bitirme çalışmasında yukarıda bahsedilen veya farklı amaçlar için de kullanılması planlanan temel bir sabit kanatlı insansız hava aracının tasarımı ve üretimi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız hava aracı. İHA, Sabit kanat, Drone, Uçuş, Uçuş kontrolü.

SUMMARY

FIXED-WING UNMANNED AERIAL VEHICLE

Unmanned air vehicles, which have been in demand especially in recent years, are mostly used in the military field for tracking, surveillance, active armed missions or simply data collection. Low production and operating costs compared to manned systems, flexibility to arrange the aircraft according to customer needs, no risk of losing the pilot in difficult missions and at the same time, there is a demand for unmanned aerial vehicles in commercial terms.

In the finishing work we have prepared, it is aimed to design and manufacture a basic fixed wing unmanned aerial vehicle that is mentioned above or is planned to be used for different purposes.

Keywords: Unmanned air vehicles, UAV, Fixed wing, Drone, Flight, Flight control.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1: Bayraktar TB2 İnsansız Hava Aracı	1
Şekil 2: AG 35 kanat profil tipi	4
Şekil 3: AG 35 kanat tipinin katı modelleme programında çizilmiş görseli	4
Şekil 4: Bir İHA'da kullanılan gimbal	7
Şekil 5: Fırçasız DC motor	10
Şekil 6: ESC (Elektronik hız kontrol cihazı)	14
Şekil 7: İnsansız hava aracına etki eden Aerodinamik kuvvetler	21
Şekil 8: Bileşke Aerodinamik kuvvet ve bileşenleri	22
Şekil 9: Kanat profilin geometrik özellikleri	23
Şekil 10: Profil kanadın üzerinde oluşan moment	24
Şekil 11: Temel pervane yapısı	25
Şekil 12-13: Ana gövdenin 3D printer kullanılarak üretilmesi	26
Şekil 14-15: Parça kesim işlemlerinin yapılması	27
Şekil 16-17: Parça montaj işlemlerinin yapılması	27
Şekil 18-19: Motor, pervane ve ESC montajı yapılması	28
Şekil 20-21: Kanatların montajının yapılması	28
Şekil 22: Sabit Kanatlı İHA Prototipi	29
Şekil 23: Konvansiyonel kuyruk tipi	30
Şekil 24: Ağırlık merkezi etrafındaki moment (negatif)	31
Şekil 25: Denge halinde kanat ve kuyruk üzerindeki kaldırma kuvvetleri	31
Şekil 26: AG35, AG36, AG37 kanat profillerinin taşıma katsayısı(c_l), sürüklenme katsayısı(c_d) ve moment katsayısının(c_m) karşılaştırma grafiği	32

Şekil 27: AG35 kanat profilinin $Re=1848798$ ve $Ma=0.030$ daki profil katsayılar	33
Şekil 28: AG35 kanat profilinin $Re=1848798$ ve $Ma=0.050$ daki profil katsayıları ...	33
Şekil 29: Farklı Reynolds sayılarında AG35 kanat profilinin profil katsayıları	34
Şekil 30: AG35 kanat profilinin taşıma katsayısı ve sürüklenme katsayısının hücum açısıyla değişim grafiği	34
Şekil 31: AG35 kanat profilinin moment katsayısı ve taşıma ve sürüklenme katsayı oranlarının hücum açısıyla değişim grafiği	35
Şekil 32: AG35 kanat profili üzerindeki basınç dağılımı	35
Şekil 33: Sabit Kanatlı İHA Teknik Resmi	42
Şekil 34: Katı Modelleme Programında Çizilmiş İHA	42
Şekil 35: Katı Modelleme Programında Çizilmiş İHA (Alt Çapraz)	43
Şekil 36: Sabit Kanatlı İHA Gövdesi Teknik Resmi	43

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1: Kanat karşılaştırmaları	3
Tablo 2: Temel uçak gövdesi konfigürasyonunun karşılaştırılması	5
Tablo 3: İhtiyaçlar	20
Tablo 4: Maliyet Analizi	29

SEMBOLLER DİZİNİ

- A** : Eksenel kuvvet
- A'** : Profil eksenel kuvvet
- AR** : Açıklık oranı
- a** : Kanat için taşıma eğrisi eğimi
- a₀** : Profil için taşıma eğrisi eğimi
- b** : Kanat açıklığı
- c** : veter(cord) uzunluğu
- c_L** : Taşıma(Lift) katsayısı
- c_D** : Sürüklenme(Drag) katsayısı
- c_M** : Moment katsayısı
- c_N** : Normal kuvvet katsayısı
- c_A** : Eksenel kuvvet katsayısı
- c_l** : Profil taşıma katsayısı
- c_d** : Profil sürüklenme katsayısı
- c_m** : Profil moment katsayısı'
- c_t** : Uç veter uzunluğu
- c_r** : Kök veter uzunluğu
- D** : Sürüklenme(Drag) kuvveti
- D'** : Profil sürüklenme kuvveti
- D** : Pervane çapı
- L** : Taşıma(Lift) kuvveti
- L'** : Profil taşıma kuvveti
- M** : Moment
- M'** : Profil moment
- Ma** : Mach sayısı
- N** : Normal kuvvet
- N'** : Profil normal kuvveti
- Pitch** : Pervanenin bir turda kat ettiği yol

- R** : Gaz sabiti
- RPM** : Pervane turu/dak
- s** : Kanat alanı
- T** : İtme(Thrust) kuvveti
- T_a** : Sıcaklık
- T** : Kanat profili kalınlığı
- V_∞** : Serbest akım hızı
- V₀** : İleri yönlü pervane hızı
- W** : Ağırlık kuvveti
- λ** : Sivrilme oranı
- ρ_∞** : Uçuş şartlarında havanın yoğunluğu(Hava için 1,225 kg/m³)
- q_∞** : Dinamik basınç
- α** : Hücüm açısı
- α_a** : Yerel ses hızı
- μ_∞** :Uçuş şartlarında havanın dinamik viskozitesi(1,789x10⁻⁵ kg/ms)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde teknolojinin hızla ilerlemesiyle hayatımıza yeni kavramlar ve teknolojiler girmektedir. Bunlardan bir tanesi de İHA'lardır (insansız hava araçları).

Elektrik motorların ve devre kartlarının teknolojinin ilerlemesiyle daha da küçülmesi İHA teknolojisinin doğmasına ön ayak 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.

Bu çalışmada, standart bir sabit kanat İHA için kanat tasarımının, İHA'nın uçuş özellikleri üzerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, açık kaynak kodlu yazılım desteği ile kanat tasarımı yapılmış ve uçuş özellikleri yönünden tasarımın etkinliği analizlerle ortaya konulmuştur. Sabit kanatlı İHA'ların havada kalma süresinin arttırılması, özellikle büyük alanların haritalandırılmasında kullanıcılara büyük kolaylık sağlayacağı, batarya değiştirmeden ve iniş kalkış yapılmadan görevlerin tamamlanmasında etkinlik oluşturacağı öngörülmektedir.



Şekil 1: Bayraktar TB2 İnsansız Hava Aracı

1.2. İHA Nedir?

İnsansız hava aracı (veya bazen İngilizce kökenli ismiyle drone, fiziksel olarak içinde insan bulunmayan bir tür uçan araçtır. İHA'ların en önemli ve olmazsa olmaz bileşeni, yer tabanlı bir kontrolör ile uçak arasında bir iletişim sistemidir.

İHA'lar iki sınıfa ayrılırlar: uzaktan kumanda edilerek uçanlar ve kendiliğinden belli bir uçuş planı üzerinden otomatik olarak hareket edebilenler.

Özellikle son yıllarda talep gören insansız hava araçları, günümüzde daha çok askeri alanda takip, gözetleme, aktif silahlı görevler veya en basit manada veri toplama amacıyla kullanılmaktadır. İnsanlı sistemlere göre düşük üretim ve işletme maliyeti, müşteri ihtiyaçlarına göre uçağın düzenlenebilme esnekliği, zor görevlerde pilotu kaybetme riskinin olmaması ve aynı zamanda ticari anlamda da insansız hava araçlarına talep doğmaktadır.

1.3. Geçmişten Günümüze İHA

İnsansız hava araçları (İHA) ilk çıkış amacı olarak keşif ve taarruz amaçlı olarak karşımıza çıkmaktadır. İlk İHA sistemleri A.M.Low tarafından 1916 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada kullanılmış ve üretilen sınırlı sayıda İHA, 1.Dünya Savaşı yıllarında askeri amaçlı olarak kullanılmıştır.

İlk İHA'lar A. M. Low tarafından 1916 yılında geliştirilmiştir. Takip eden yıllarda ise sınırlı sayıda üretilen Hewitt-Sperry otomatik uçak I. Dünya Savaşı sırasında kullanılmıştır. 1935 yılında ise film yıldızı ve model uçak tasarımcısı Reginald Denny ilk ölçekli RPV (İngilizce Remote Piloted Vehicle, Türkçe Uzaktan Komutalı Araç) modelini geliştirmiştir. II. Dünya Savaşı süresince çok fazla miktarda uçak üretilmiş, bunlar trenleri korumak amacıyla uçaksavar ve saldırı görevlerinde kullanılmıştır. Jet motoru bulunan ilk model 1951 yılında Teledyne Ryan firması tarafından geliştirilen Firebee I'dir. 1955 yılında ise başka bir firma Beechcraft ABD Deniz Kuvvetleri için Model 1001 modelini üretmiştir. Bununla beraber bu araçlar Vietnam Savaşı süresince birer uzaktan kumandalı uçak olmaktan daha ileriye gidemediler.

Askeri kısıtlardan dolayı, sivil amaçlı kullanıma (uygulamalara) yansması uzun sürmüştür. Bununla beraber teknolojinin gelişmesine paralel olarak gerek profesyonel gerekse hobi amaçlı İHA sistemlerinin gelişimi son yıllarda hız kazanmıştır.

1.4. İHA Kullanım Alanları




İHA'ları kullanım alanlarına göre altı farklı başlık altında sınıflandırabiliriz.

- Hedef ve Yem: Düşman hava savunma veya savaş uçaklarına karşı yem olarak kullanılarak hedef belirlemede yardımcı olan araçlar
- Keşif ve Gözetleme: Düşmana ait cephe bilgilerini toplayan araçlar
- Çatışma: Yüksek riskli görevlerde kullanılan saldırı kapasitesine sahip araçlar
- Lojistik: Kargo ve lojistik destek amaçlı araçlar
- Araştırma ve geliştirme: Gelecekte kullanılmak amacıyla farklı İHA teknolojilerinin denendiği araçlar
- Sivil ve Ticari Sivil ve ticari amaçlar için kullanılan araçlar

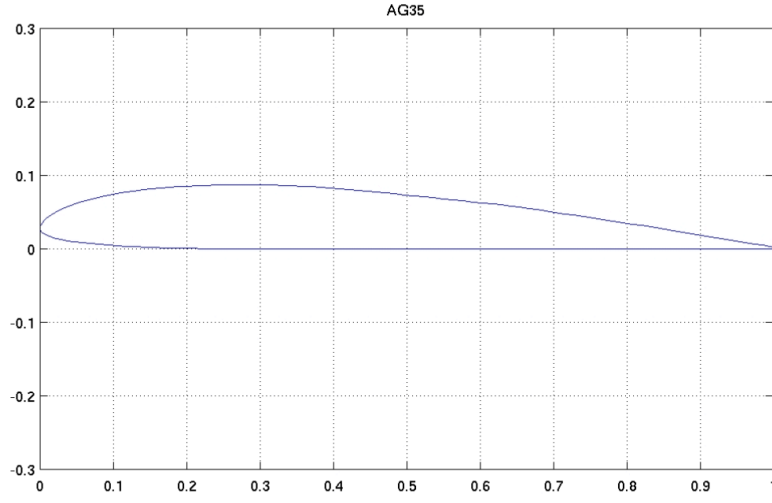
1.5. Kanat Tipi Belirlenmesi

Aşağıdaki tabloda da belirtildiği üzere kanat tipi belirlenirken; üretim kolaylığı, yapının sağlamlığı ve aerodinamik performansı göz önünde bulundurulur. Yapılan araştırmalar sonucunda en uygun kanat, dikdörtgen kanat belirlenmiştir.

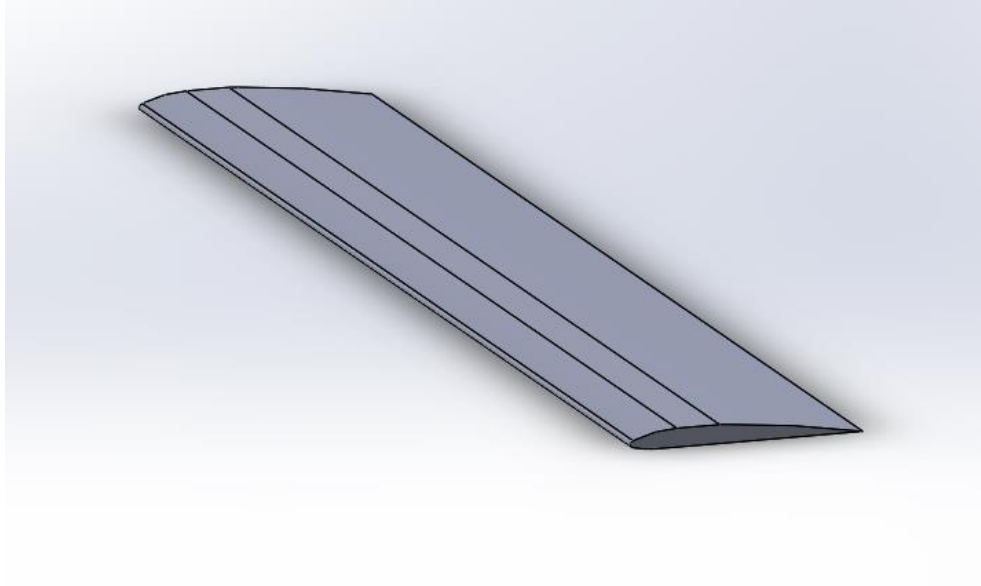
Tablo 1: Kanat Karşılaştırmaları

Design Parameters	Weight	Rectangular	Tapered	Prismatic Mid-Section
				
Ease of manufacturing process	0,6	5	3	4
Strength of structure	0,2	4	5	5
Aerodynamic performance	0,2	3	5	4
Total Σ (weight x value)	1	4,4	3,8	4,2

1.5.1 Kanat Tasarımı



Şekil 2: AG 35 kanat profil tipi

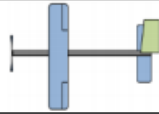
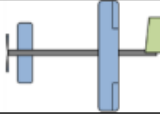



Şekil 3: AG 35 kanat tipinin katı modelleme programında çizilmiş görseli

1.6. Gövde

Tablo 2 de göz önünde bulundurularak konvansiyonel gövde tipi seçilmiştir. Konvansiyonel gövde stili; üretim kolaylığı, işlem, ağırlık, kararlılık ve elle fırlatma kolaylığı bakımından aracımız için en uygun gövde stildir.

Tablo 2: Temel uçak gövdesi konfigürasyonunun karşılaştırılması

Design Parameters	Weight	Conventional	Canard	Flying Wing
				
Ease of manufacturing process	0,3	4	3	5
Stability	0,3	5	4	2
Ease of hand launch	0,2	5	5	4
Mass	0,2	4	4	5
Total Σ (weight x value)	1	4,5	3,9	3,9

1.6.1. İHA Malzemeleri

Ahşap

Gövdenizin mümkün olduğunca ucuz olmasını istiyorsanız, ahşap mükemmel bir seçenektir ve kurulum süresini ve gerekli ek parçaları büyük ölçüde düşürecektir. Ahşap oldukça sağlam ve kanıtlanmış bir malzemedir. Estetik açıdan kötü olsa da bir kazadan sonra bozuk bir kolun değiştirilmesi nispeten kolay ve ucuzdur. Ahşap olduğu gerçeğini gizlemek için boyanabilir.

Köpük

Köpük, gövde nadiren kullanılır ve iç iskelet veya takviye yapısı biçimindedir. Köpük stratejik olarak pervaneli muhafazalar, iniş takımı veya sönümlenme gibi amaçlar için kullanılabilir. Ayrıca birçok farklı köpük türü vardır ve bazı varyasyonlar diğerlerinden daha güçlüdür.

Plastik

Çoğu kullanıcı, yalnızca plastik plakalara (3D plastik şekiller veya nesnelere yerine) erişebilir ve bunlarla çalışabilir. Plastik bükülme eğilimi gösterir ve ideal değildir. Stratejik olarak (kapak veya iniş takımı gibi) kullanıldığında, plastik mükemmel bir seçenek olabilir. Şaseyi ve gövde parçalarını 3D olarak yazdırmayı düşünüyorsanız, parçayı basmak için gereken zamanı (plastik gövde kiti satın almak yerine) ve parçanın havada ne kadar sert olacağını düşünün. 3D yazdırma parçaları (veya tüm şase) şimdiye kadar daha küçük quadcopterlerde daha başarılı olmuştur. Plastik ekstrüzyonların kullanılması, küçük ve orta boy drone'lar için de bir seçenek olabilir.

Alüminyum

Alüminyum, çeşitli şekil ve boyutlara sahiptir; gövde plakaları için sac alüminyum veya destek kolları için haddelenmiş alüminyum kullanabilirsiniz. Alüminyum, karbon fiber veya G10 kadar hafif olmayabilir, ancak fiyat ve dayanıklılık oldukça çekici olabilir. Alüminyum çatlama yerine, esneme eğilimi gösterir.

G10

G10 (fiberglas çeşidi), karbon fiberden daha ucuz bir seçenek olarak kullanılır, ancak görünüm ve temel özellikler hemen hemen aynıdır. G10 çoğunlukla tabaka formatında bulunur, üst ve alt plakalar için büyük oranda kullanılırken, karbon fiber (G10 ile karşılaştırıldığında) boru döşenmesi genellikle çok daha pahalı değildir ve kollar için sıklıkla kullanılır. Karbon fiberden farklı olarak, G10 RF sinyallerini engellemez.

Karbon fiber

Hafifliği ve yüksek mukavemeti nedeniyle karbon fiber halen 1 numaralı aranan yapı malzemesidir. Normalde düz saclar ve tüpler gibi basit şekiller kitlesel olarak üretilirken, karbon fiberin üretilme süreci oldukça karmaşıktır. Karbon fiber, RF sinyallerini engellediğinden, elektronik montajında (özellikle antenlerde) bunu göz önüne aldığınızdan emin olun.

Pervane Malzemeleri:

Pervanelerin yapımında kullanılan malzemeler, uçuş özellikleri üzerinde orta derecede bir etkiye sahip olabilir, ancak özellikle yeni ve deneyimsizseniz, güvenlik önemlidir.

Plastik

Enjeksiyonlu plastik (ABS / Naylon vb.) Çok rotorlu uçaklarda en popüler seçenektir. Bunun nedeni, düşük maliyetleri, iyi uçuş özellikleri ve kayda değer dayanıklılığı olmasıdır. Normalde bir çarpışmada, en az bir pervane kırılır. Uçağı kalibre ederken ve uçmayı öğrenirken bir sürü kırık pervane bulacaksınız. Yüksek sağlamlık ve düşük maliyet nedeniyle, karbon fiber ile takviye edilmiş plastik bir pervane tartışmasız en iyi genel seçimdir.

Fiberle Güçlendirilmiş Polimer

Fiber takviyeli polimer pervanesi (karbon fiber, naylon takviyeli karbon vb.) "cutting edge " teknolojisinden çok daha fazla yol taşır. Karbon fiber parçaları hala üretmek çok kolay değildir ve aynı özelliklere sahip bir plastik pervane üzerinde onlara çok fazla prim ödersiniz. Bir kaza durumunda, bir karbon fiber pervanenin kırılması ve esnemesi daha zordur ve temas ettiği her ne olursa olsun daha fazla hasara neden olacaktır. Fiber takviyeli bir pervaneyi düşünmek isterseniz, iyi yapılmış, nadiren dengeleme gerektirir, daha serttir (bükülme vb. nedeniyle verimlilikte çok daha az kayıp olur) ve diğer malzemelerden daha hafiftir. Bu yüksek performanslı pervaneleri yalnızca rahat uçtuktan sonra düşünmeyi öneriyoruz.

Doğal Malzemeler (Ahşap vs.)

Kereste gibi doğal malzemeler, işlemek için zaman gerektiren ve dolayısıyla plastikten daha pahalı olan multirotorlar için pervane yapmak tercih edilmez. Temel avantaj, ahşabın oldukça güçlü olması ve eğilmemesidir. Ahşap pervaneler hala RC uçaklar için kullanılmaktadır.

1.6.2. Gövde İle İlgili Ek Hususlar

Gimbal

Gimbal bir kamerayı dengelemek için sıklıkla kullanılır (FPV veya video için). Kameranın doğrudan İHA'nın gövdesine bağlanması, iyi bir video deneyimi sağlamaz. Çoğu gimbal, İHA'nın ağırlık merkezine göre gövde altına monte edilir. Gimballer doğrudan bir İHA tabanına bağlanır. Bu nedenle, gimbal sistemi, İHA'nın daha uzun iniş takımına ihtiyacı olduğu anlamına gelir. Gimbal veya kameranın İHA'nın önüne monte edilmesi de yapılabilir ve ağırlık, ana pilin uçağa daha da arkaya yerleştirilmesiyle telafi edilebilir.



Şekil 4: Bir İHA'da kullanılan gimbal

Taşıma kapasitesi

Herhangi bir ilave ağırlık, uçuş süresini azaltır. Gerçekten bir yük yüklemeyi planlıyorsanız, montajın mümkün olduğunca hafif olduğundan ve yükün kendisinin uçuş esnasında kaymadığından emin olun.

İniş takımı

Bir İHA için iniş takımı pek çok açıdan yardımcı olur ve bazı drone'lar doğrudan alt plakalarına (normalde ağırlığı korumak için) gelir, iniş takımı kullanmak birçok bakımdan faydalı olur:

- İHA'nın tabanı ile çimen (veya küçük kayalar) gibi düz olmayan bir yüzey arasında açıklık sağlanması,
- Pil takımı / Gimbal ve zemin arasında açıklık sağlama
- Sert iniş halinde şase veya gövde yerine kırılan ve değiştirilecek olan iniş takımıdır
- Doğru iniş takımı, yüzdürme (havuz vb.) sağlayabilir.

1.7. İtici Sistemi

1.7.1. Motor

Kullandığınız motorların, İHA'nızın destekleyebileceği yük (veya maksimum yük) ve uçuş saati üzerinde büyük etkisi olacaktır. Her yerde aynı itici motoru kullanmanızı öneririz. Bir çift motor aynı marka ve modelden ve aynı üretim serisinden olsa bile, hızları biraz değişebilir; bu da uçuş denetleyicisinin ilgileneceği bir şeydir.

Fırçalı ve Fırçasız Motorlar

Fırçalı DC Motorlar: En temel çeşit DC motor tipidir. Redüktör ile beraber veya redüktörsüz şekilde birçok projede kullanılırlar.

Avantajları kolay bir şekilde sürülebilmeleri, dezavantajları ise fırça ya da kömür ismi verilen aşınan parçalarının periyodik olarak değiştirilmesi gerekliliğidir.

Fırçasız DC Motorlar: Fırçalı DC motorların yerini almaları için tasarlanmıştır. Çalışmaları için ESC ismi verilen özel sürücü devreleri kullanılır.

Avantajları, sürtünmenin en az düzeyde olması sayesinde verimliliklerinin çok yüksek olması ve fırça gibi aşınan parça olmaması sayesinde yüksek performans ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılır. Dezavantajları ise sürücü ile sürülmek zorunda olmasıdır.

Fırçasız DC motorlar, hobi RC sektöründe, helikopterler ve uçaklardan RC otomobilleri ve teknelerdeki itici güç sistemlerine kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır.

"Pancake" fırçasız motorlar daha büyük bir çapa sahiptir ve aslında daha düz olup, çoğu zaman daha yüksek tork ve daha düşük KV'ye izin verir. Fırçasız motorlar farklı boyut ve spesifikasyonlara sahip olmakla birlikte, daha küçük bir fırçasız motor seçilmesi nadiren daha ucuza mal olacak demektir.

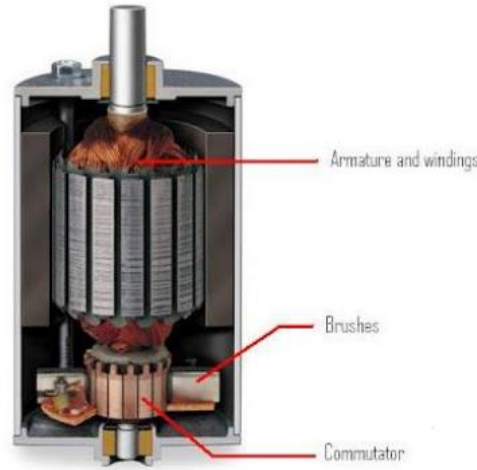
Inrunner vs Outrunner

Fırçasız DC motorların birkaç türü vardır:

- Inrunner - dış mahfazaya sabit sargılar monte edilmiştir ve mıknatıslar gövde içinde dönen rotor miline monte edilmiştir (yüksek Kv nedeniyle RC araçlarında kullanılmaya eğilimlidir)
- Outrunner - motor gövdesinin ortasındaki sabit bobinler etrafında dönen mıknatıslar dış kasaya monte edilmiştir (motorun alt montajı sabittir).
- Hibrit outrunner - teknik açıdan üstündür, ancak çevrelerinde statik bir dış kabuk var.

Fırçasız DC motorlar, yüksek KV'lerinden dolayı RC araçlarında, uçaklarda ve helikopterlerde kullanılmaya meyillidir. Ayrıca, torku arttırmak için redüktör takılabilir. Outrunners daha fazla tork eğilimi için kullanılır.

KV :Volt başına devir sayısı demektir.



Şekil 5: Fırçasız DC motor

1.7.2. Pervane

Pervane, motordan iletilen dönüyü itme kuvvetine çeviren sistemdir. Dönme hareketini doğrusal harekete çevirir. İki veya daha fazla palden meydana gelir. Her bir pali aslında birer uçak kanatı olarak düşünebiliriz. Aynı uçak kanadında olduğu gibi kanat profiline sahiptir. Pallerde kaldırma kuvveti, Bernoulli Prensibi ile oluşur (Merak edenler için bkz: Bernoulli Prensibi).

Pervaneler merkezinden motorun miline bağlıdırlar. Mil dönünce pervaneler de döner. Deniz araçlarında kullanılanlar kısa ve geniş, uçakta kullanılanlar ise kısa ve dardır. Pervanenin dönmesi sağlandıktan sonra, dönmeden doğan enerji, pervanenin içinde bulunduğu akışkanı harekete geçirir. Vasıtaya önden bağlanan pervane çekici, arkadan bağlanan pervane itici görev görür.

Pervanenin Temelleri – Ölçüler

Pervanemizde, iki tür ölçü vardır: uzunluk ve hatve.

- Uzunluk, pervanenin dönerken oluşturduğu diskin çapıdır.
- Hatve ise, pervanenin 1 tam turdaki seyahat mesafesi olarak tanımlanabilir. Pervanede her iki ölçü de arttığı zaman, döndürmek için gereken enerji de o derece artar.
- Pervane ölçülerinin etkileri

Pervaneler itmeyi dönerek ve havaya hareket ettirerek sağlar. Daha hızlı döndüğünde, daha çok havayı hareket ettirmiş olur. Sonuç olarak, daha fazla itme üretilmiş olur. Pervanenin hatvesini ve uzunluğunu arttırarak, daha fazla itme elde edebiliriz fakat bunu yapmak, yüksek akımı tüketimi olarak karşımıza çıkacaktır. Doğal olarak pallerin yüzey alanı artacak ve sürüklenme (drag) de artacaktır. Özetlersek, daha yüksek uzunluk veya hatvede quadkopterimizin hızı artacak fakat aracımız bir o kadar da fazla enerjiye ihtiyaç duyacaktır.

Bıçak (Pal) ve Çap

Çok rotorlu uçakların çoğunda iki ya da üç rotor kanadı vardır, en yaygın olanı iki'dir. Daha fazla bıçak takmanın otomatik olarak daha fazla itme anlamına geleceğini düşünmeyin; her bıçak önündeki bıçağın içinden geçmelidir, bu nedenle bıçaklar ne kadar çok olursa, o zaman daha iyi olur. Daha küçük çaplı bir pervanenin atalet oranı azdır ve bu nedenle akrobatik uçuşta yardımcı olan hızlanma ve yavaşlama daha kolaydır.

Yükselme / Atış Açısı / Verimlilik / İtme Gücü(Pitch / Angle of Attack / Efficiency / Thrust)

Pervane tarafından üretilen itme, havanın yoğunluğuna, pervanenin RPM'sine, çapına, bıçakların şekline, alanına ve yükselme açısına bağlıdır. Bir pervanenin verimliliği, pal aralığı, eksi helezon açısı (elde edilen rölatif hız ile pal dönüş yönü arasındaki açı) olarak tanımlanan saldırı açısı ile ilgilidir. Verimliliğin kendisi, çıkış gücünün giriş gücüne oranıdır. En iyi tasarlanmış pervanelerin%80'lik bir verimliliği vardır. Saldırı açısı göreceli hızdan etkilenir, bu nedenle bir pervanenin farklı motor hızlarında farklı verimlilikleri olacaktır. Verimlilik pervane palının ön kenarından da büyük ölçüde etkilenir ve olabildiğince düzgün olması çok önemlidir. Değişken bir adım tasarımı en iyisi olsa da, çoklu bir devrenin kendine özgü basitliği ile karşılaştırıldığında gereken eklenen karmaşıklık, değişken pervanenin hemen hemen hiç kullanılmadığı anlamına gelir.

Dönme (Rotation)

Pervaneler saat yönünde (CW) veya saat yönünün tersine (CCW) dönecek şekilde tasarlanmıştır. Pervanenin hangi kısmının yukarı bakacak şekilde tasarlanmasını bilmek önemlidir (üst yüzey dışa doğru kavislidir). Multirotorunuzun tasarımı bazı motorları tersyüz ederse (V kuyruk, Y6, X8 gibi) pervanelerin yönünü değiştirdiğinizden emin olun,

böylece itme hala aşağıya gelecektir. Pervanenin üstü daima gökyüzüne bakmalıdır. Uçuş kontrolörü ile ilgili belgelendirme, her pervanenin desteklediği çoklu rotor için hangi yönde dönüş yapması gerektiğini gösterir.

Katlama (Folding)

Katlanır pervanelerin, iki döner bıçağa bağlanan merkezi bir kısmı vardır. Merkez (motorun çıkış miline bağlıdır) döndüğünde, bıçakları santrifüj kuvvetleri etkiler ve dışarı doğru iter ve sabit bir pervane ile aynı etkiyle pervane sert hale gelir. Düşük talep ve daha fazla sayıda parça olması nedeniyle, katlanır pervaneler sabit pervanelere göre daha az yaygındır. Beklendiği gibi, katlanır bir pervane, uçakları biraz daha kolay taşımayı ve katlanabilen bir gövde ile kombine edilmiş olarak İHA'nın boyutu çok daha küçük olabiliyor. Katlanır pervanelerin bir çarpışma durumunda yalnızca bir bıçağı değiştirmek zorunda oldukları güzel bir avantaja da sahiptir.

Kanat Koruyucu (Prop savers)

Koruyucu (Prop savers) motorun normal pervane flanşının yerini alıyor ve pervaneyi yerinde tutan küçük bir parçaya sahip. Bir çarpışma durumunda, pervanenin dönmesi engellenir (örn. Bir cisimle temas halindedir) ve motor hala devir ve yüksek devir saydığından, O-ring'in kopmasına neden olur ve iki motor ve pervane hasar görür. Bu kadar büyük birkaç dezavantaj vardır:

- Pervane mil üzerinde daha yüksek oturur
- Pervanenin tasarımı kapalıysa veya düzgün ortalanmış bir merkez değilse, titreşime neden olabilir
- O-ringleri periyodik olarak kontrol edin, çünkü bunlar kırılabilir.

Kanat Koturucu (Prop guards)

Pervane muhafazaları ana gövdeye bağlanır ve pervanenin çevresinde sabit bir halka / yastık sağlar. İHA bir nesneyle temas ederse, pervaneler öncelikle nesneyle temas edecek ve etkiye dayanacak şekilde pervanelere dokunulmaması ideal olacaktır. Küçük oyuncaklı çok rotorlu İHA'lar genellikle çıkarılabilir plastik pervane korumalarına sahiptir. Her zaman olduğu gibi, pervanelerin kullanımında bazı problemler vardır. Bunlar;

- Yüksek bir titreşim kaynağı olabilirler
- Sadece düşük enerjili çarpışmalar için kullanışlıdır
- Pervane hava akışının altında doğrudan çok fazla destek varsa itmeyi düşürebilir

Dengeleme

Çoğu ucuz pervane dengeli değildir, bu da kalem üzerindeki merkezi dengeleyerek görülebilir (bir taraf diğerinden daha ağır olacaktır). Bu nedenle, pervaneleri motorlara takmadan önce dengelemek her zaman iyi bir uygulamadır. Pervanenin dengelenmesi çok önemlidir, çünkü dengesiz bir pervanenin neden olduğu titreşim sıklıkla uçuş kontrolörüne yayılır, düzensiz uçuşa neden olur. Bir pervane çeşitli şekillerde dengelenebilir, ancak kendi İHA'nızı imal ediyorsanız, o zaman ucuz bir pervane dengeleyici idealdir. Pervane dengeleyici, pervanede bir ağırlık dengesizliğinin nerede olduğunu kolayca görmenizi sağlar. Ağırlığı ayarlamak için daha ağır kısımları zımparalayabilirsiniz (pervanenin orta kısmını sadece ön veya arka kenarlara karşı eşit şekilde zımparalayın ve pervaneyi asla kesmeyin) veya net maskeleme bandını (çok incedir) hafif olan tarafa kullanabilirsiniz (dengeleninceye kadar bant uzunluğunu eşit olarak eklemeye devam edin). Modelden uzaklaştıkça (zımpara veya bant ekleme) tork prensibine dayalı olarak daha fazla etki yaratacağına dikkat edin.

1.7.3. ESC (Elektronik Hız Kontrol Ünitesi)

Bir ESC ("Elektronik Hız Kontrol Cihazı"), uçuş denetimcisinin bir motorun hızını ve yönünü kontrol etmesini sağlar. ESC, motorun tüketebileceği maksimum akımı idare edebilmeli ve doğru voltajda sunabilmelidir. Hobi endüstrisinde kullanılan çoğu ESC, motorun bir yönde döndürülmesine izin verir, ancak doğru ürün yazılımıyla her iki yönde de çalışabilirler.



Şekil 6: ESC (Elektronik hız kontrol cihazı)

1.8. Batarya

Pil Kimyası

İHA'larda kullanılan piller, neredeyse tamamen Lityum polimer (LiPo) olup , daha egzotik olanlar Lityum-Manganez veya diğer Lityum varyasyonlarıdır. Kurşun asit bir seçenek değildir ve NiMh / NiCd kapasiteleri için çok ağırdır ve çoğu zaman yüksek deşarj oranlarını sağlayamaz. LiPo, düşük ağırlık ve yüksek deşarj oranlarıyla yüksek kapasite sunar. Dezavantajları; daha yüksek maliyet ve devam eden emniyet sorunlarıdır.

Voltaj

Sadece İHA için bir tane pil takımını düşünmelisiniz. Bu akünün voltajı, seçtiğiniz motorlara karşılık gelmelidir. Günümüzde kullanılan neredeyse tüm piller lityum esaslı ve 3.7V hücrelerin birçoğunu içermektedir; burada 3.7V = 1S'dir. Bu nedenle, 4S olarak işaretlenmiş bir pil muhtemelen $4 \times 3.7V = 14.8V$ nominal olacaktır. Bununla birlikte, hücrenin sayısını sağlamak, hangi şarj cihazını kullanacağınızı belirlemenize yardımcı olacaktır. Tek hücreli yüksek kapasiteli bir pil, fiziksel olarak çok düşük kapasiteli çok hücreli bir pil gibi görünebilir.

Kapasite

Bir pil takımının kapasitesi Amp-saat olarak ölçülür (Ah). Küçük boyutlu piller, 0.1Ah (100mAh) aralığında olabilir, ancak orta büyüklükte dronlar için pil paketleri 2-3Ah'dir (2000mAh-3000mAh). Kapasite yükseldikçe uçuş süresi de o kadar uzun olur, ancak paket de o kadar ağır olur. Normal bir İHA'nın uçuş süresinin 10-20 dakikalık bir sürede olmasını bekleyebilirsiniz; bu, uzun zaman gibi görünmeyebilir, ancak bunun yerçekimine karşı her zaman savaştığı düşünülmalıdır.

Deşarj oranı

Bir lityum pilin deşarj oranı C cinsinden ölçülür, burada 1C pilin kapasitesidir. Çoğu LiPo pilin boşalma hızı en az 5C'dir (kapasitenin beş katı), ancak çoklu rotorlarda kullanılan çoğu motor yüksek akım tükettiği için, akünün genellikle 30A derecesinde olan inanılmaz derecede yüksek akımla deşarj olması gerekir (ya da daha fazla).

1.8.1. Batarya Emniyeti

LiPo piller, basınçlı hidrojen gazı içerdiklerinden ve bir şeylerin yanlış olması durumunda yanması ve / veya patlaması eğiliminden dolayı tamamen güvenli değildir. Bu nedenle, elinizde bulunan pil takımıyla ilgili herhangi bir şüphemiz varsa İHA'ya veya şarj cihazına takmayın. Bir LiPo pilini şarj ederken, LiPo'nun güvenli bir torbasında saklamak en iyisidir. Pili saklama işlemi ideal bir LiPo torbasında da yapılır. Bir kaza durumunda, yapmanız gereken ilk şey fişini çekin ve aküyü kontrol edin. Bataryayı tamamen kapalı bir kasaya koymak ağırlığa neden olabilir, ancak bataryanızı bir kazada güvenli bir yerde tutmaya yardımcı olabilir. Pil üreticileri, pili, sert kutuyla veya kutusuz satarlar.

1.8.2. Batarya Şarj

Çoğu LiPo pilin iki konektörü vardır: biri yüksek akımla çalışabilen ana deşarj telleri olarak tasarlanmıştır, diğeri daha küçük ve daha kısa olan şarj konektörüdür. Bu şarj konektörü, daima beyaz bir JST konektörü olup, paketi oluşturmak için kullanılan aynı sayıda hücrenin ardından bir topraklama pini vardır. Bu, LiPo şarj cihazına bağladığınız şeydir ve bu da her dahili hücrenin şarj edilmesini ve dengelenmesini sağlar. Şarj cihazı, şarj işlemi tamamlandığında pili ve şarj cihazını çıkarmanın en iyi yol olduğunu belirtmelidir.

1.9. Montaj İşlemleri

Bir İHA'yı tasarlamak ve imal etmek, normal bir helikoptere göre çok daha basit olmasına rağmen, parçaların nasıl monte edileceği tasarım sürecinin başında düşünülmelidir. Montajla ilgili olarak dikkate alınması gereken bazı genel hususlar, büyük ölçüde deneyime dayanmaktadır:

- Özel bir şase veya gövde oluşturulduğu için, montaj deliklerinin hassas bir şekilde yerleştirilmesi / delinmesi gerekir. Daha zor montaj alanlarından bir tanesi motorlar ile şase veya gövde arasındadır. 400-600mm'lik gövdelerdeki çoğu motor aynı montaj deliği modeline sahiptir, bu da bir üreticiden gövdeyi ve diğerlerinden motorları kullanmayı mümkün kılmaktadır.

- Tüm ilave bileşenlerin yerleştirilmesi, bir eksen etrafında simetrik olmalıdır, bu da uçağın kütle merkezinin konumlandırılmasını ve ayarlanmasını kolaylaştırır.

Uçuş kontrolörü, tüm motorları birbirine bağlayan (kütle merkezinde olduğu gibi) çemberin merkezinde ideal bir biçimde bulunmalıdır.

Uçuş kontrolörü, dayanma noktaları, lastik sönümleyiciler veya çift taraflı bant kullanarak gövdeye sabitlenir.

1.10. Kısıtlama ve Koşullar

İHA'ların gerek profesyonel mesleki gerekse hobi amaçlı olarak günlük yaşantımıza bu kadar çok girmiş olması bazı yasal sorunları da beraberinde getirmektedir. Henüz birçok ülkede bu konuda gerekli mevzuat ya hiç yoktur veya taslak halinde sürekli geliştirilmektedir. Diğer taraftan, İHA'ların kullanımındaki bazı potansiyel olumsuzluklardan dolayı, özellikle ABD Ulaştırma Bakanlığına bağlı Federal Havacılık Kurulu (FAA: Federal Aviation Administration), Birleşmiş Milletler'e bağlı Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (ICAO: International Civil Aviation Organization) ve Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü (EUROCONTROL) tarafından İHA kullanımının yasal çerçevesi konusunda kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır. Türkiye'de ise bu konularla ilgili olarak Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı'na bağlı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından bazı çalışmalar yürütülmektedir.

Türkiye’de İHA’larla ilgili hususlar, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından 22 Şubat 2016 tarihinde hazırlanıp, değişiklik yapılmış son hali 22 Nisan 2016 tarihinde yayımlanmış olan “İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı-SHT-İHA” ile düzenlenmiştir, (SHGM, 2013). Söz konusu talimat; 10/11/2005 tarihli ve 5431 sayılı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanunu ile 14/10/1983 tarihli 2920 sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu'na dayanılarak hazırlanmıştır. Söz konusu talimatın kapsamı 2’nci maddesinde “Türk Hava Sahası’nda uçacak İHA’ları, ilgili sistemleri, bunları ithal edecek, satışını yapacak, işletecek ya da kullanacak gerçek ve tüzel kişileri, bu kapsamda görev alacak personeli, İHA ekibini ve hava sahası kullanımı ile verilecek hava trafik hizmetlerini kapsar” ifadesi ile belirlenmiştir. Söz konusu Talimat incelendiğinde, içinde yer alan kuralların genel olarak uluslararası olarak yürürlükte olan birçok devlet ve kurumun (örn. ABD, Kanada, ICAO, FAA, EASA, vb.) İHA mevzuatının birlikte yorumlanması ile hazırlandığı anlaşılmaktadır.

SHT-İHA Talimatının Üçüncü Bölümü’nde 10.-16. maddeler arasında sorumluluk, sigorta, kayıt, tescil, uçuş operasyon el kitabı ve pilot lisansları düzenlenmiş olup, bazı önemli maddeler aşağıda verilmiştir:

a. Tüm İHA ve sistemlerinin işleticileri/sahipleri üçüncü şahıslara verecekleri zararlardan sorumludur (Md.10).

b. 25 kg üstü İHA ile ağırlığına bakılmaksızın ticari faaliyet gerçekleştiren İHA için, 15/11/2005 tarihli İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada Ve Türkiye'deki Yasal Durumu 529 ve 25994 sayılı Türk Hava Sahasında Uçuş Yapan Türk ve Yabancı Sivil Hava Araçlarının Yaptırması Gereken Üçüncü Şahıs Mali Mesuliyet Sigortası Yönetmeliği'ne göre sigorta yaptırılır ve sigortasız uçuş yapılmaz (Md.10).

c. İHA0 ve İHA1 kategorisindeki hava araçlarının kayıtları Genel Müdürlük tarafından elektronik ortamda oluşturulan “Kayıt Sistemi” üzerinden yapılacaktır (Md.11).

d. İHA0 ve İHA1 sınıfındaki İHA’lar için tescil işlemi yapılmaz. Uzaktan kumanda edilen İHA2 ve İHA3 sınıfındaki İHA’lar, Genel Müdürlük tarafından hava aracı siciline kaydedilerek tescil işareti atanır (Md.12).

e. İHA0 ve İHA1 uçuracak kişiler için Genel Müdürlükçe herhangi bir lisans düzenlenmez. Ancak söz konusu kişiler oluşturulan internet tabanlı Kayıt Sistemi'ne aşağıdaki bilgi ve belgeleri girerek kaydolmak zorundadırlar (Md. 14).

(a) T.C. Kimlik Numarası.

(b) Adı-Soyadı ve ikametgâh bilgileri.

(c) Telefon, e-posta, vb. İletişim bilgileri.

(ç) Nüfus Cüzdanı sureti.

(d) 18 yaşından büyükler için arşiv kayıtlı adli sicil belgesi.

(e) 18 yaşından küçükler için ileride doğabilecek hukuki ve cezai sorumlulukları kabul ettiklerine dair kanuni mümessillerince noterde tanzim ve tasdik edilmiş taahhütname.

f. İHA0 sınıfı pilotlar en az 12 yaşında ve İHA1 sınıfı pilotlar en az 15 yaşında olmalıdır (Md. 14).

g. 18 yaşın altındaki İHA pilotlarının üçüncü şahıslara verdikleri zararlardan hukuki ve cezai sorumluluk kanuni mümessiline aittir (Md. 14).

h. İHA pilotu, uçuşun güvenli yürütülmesinden ve uçuşla ilgili idari, mali ve teknik kuralların yerine getirilmesinden sorumludur (Md. 15)

i. İHA pilotu, faydalı yüklerin yasal çerçevede kullanılmasından sorumludur (Md. 15)

j. Ticari faaliyetler dışında sportif ve amatör amaçla gerçekleştirilecek uçuşlarda, Talimatta belirtilen kurallara uyulmak kaydı ile, 18'inci Maddede yer alan bölgeler hariç Genel Müdürlükten uçuş izni alınması gerekmez. Bu sınıflar için mahallin en büyük mülki idare amiri tarafından yasaklanan yer ve zamanlarda uçuş yapmak yasaktır (Md. 17.a).

k. Meskun mahal, kalabalık veya çok kalabalık bölgeler dışında kalan bölgelerde, 18inci ve 19 uncu Maddelerde belirtilen gerekliliklere uyulması kaydıyla ticari amaçlı uçuş yapılması halinde uçuş izni alınmasına gerek yoktur Md. 17b).

l. İHA0 ve İHA1 sınıfındaki İHA'lar ile NOTAM alınmadan, uçuşa yasak olmayan bölgelerde ve mahallin en büyük mülki idare amiri tarafından yasaklanmayan yer ve zamanlarda uçulması durumunda (Md. 19):

- (a) Sadece görerek meteorolojik koşulların sağlandığı durumlarda, gündoğumu-günbatımı saatleri arasında ve en az 2 km görüşe açık havalarda uçuş gerçekleştirilebilir,
- (b) İHA, yatayda 500 metreyi geçmeyecek şekilde pilotun görüş alanında olmalıdır,
- (c) Yerden 400 feet (120 metre) yüksekliğin üzerine çıkılmamalıdır,
- (ç) İnsan ve yapılardan en az 50 metre uzaklıkta uçuş gerçekleştirilmelidir.

1.10.1 Güvenlik Hususları

İHA'ların kullanımı bir havacılık faaliyeti olarak kabul edildiğinden bunların; yerdeki ve/veya havadaki başka uçağa, insana, malzemeye, mülkiyete veya herhangi bir şeye zarar vermemesi için ülkelerin ulusal havacılık kurumları tarafından uyulması zorunlu güvenlik kuralları getirilmiştir. Bu gibi kurallar özellikle eğlence amaçlı uçurulan İHA'lar için konulmuştur. Bu kurallar ülkeden ülkeye değişiklik göstermekle birlikte genel olarak aşağıdaki kısıtlamaları içermektedir:

- a. İHA'nın belirli bir yüksekliğin altında uçurulması,
- b. Uçuşların insanlardan belirli bir mesafede yapılması,
- c. İHA ile pilotu arasındaki göz temasının asla kaybedilmemesi,
- d. İHA'ların ilgili kuruma kaydının yaptırılması,
- e. İHA'ların yasaklanmış olan alanlar (yerleşim alanları, havaalanları, stadyumlar, vb.) üzerinde ve yakınında uçurulmaması,
- f. İHA'ların gece uçurulmaması,
- g. İHA'ların kötü hava koşullarında uçurulmaması.

Yukarıda çok genel olarak verilmiş olan kurallara uyulmaması halinde meydana gelecek olumsuz durumlarda ciddi yasal yaptırımların söz konusu olacağı açıktır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Seçim Kriterleri

Proje tasarımı yapılırken piyasada bulunan birçok sabit kanatlı insansız hava aracı(İHA) tasarımları incelendi. İHA tasarımında en önemli seçim kistası olarak kanat profilidir. Literatürde birçok kanat profilinden bazı kanat profili tasarımları geometrik özelliklerinden dolayı incelendi. Bu kanat profilini etkileyen karakteristik özellikler;

- Sıfır taşıma hücum açısı,
- Taşıma eğrisi eğimi,
- Tutunma kaybı (stall) bölgesindeki tabiatı,
- Aerodinamik merkezi, etrafındaki yunuslama momenti,
- Parazit sürüklenme,

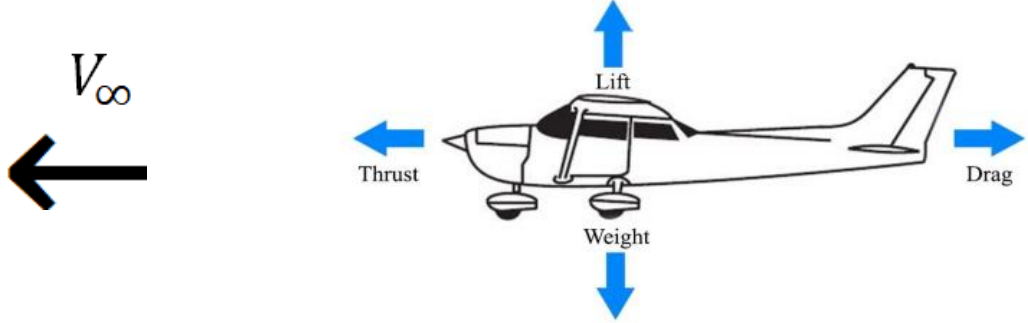
gibi karakteristikler kanat profilini şeklini önemli ölçüde etkiler. Bazı kanat profillerin yukarıdaki özelliklere göre olumlu yönleri, olumsuz yönleri, kullanım kolaylığı yönünden incelendi. Gerekli araştırmalar yapıldıktan sonra İHA tasarımı için gerekli olan ihtiyaç listesi hazırlandı.

Tablo 3: İhtiyaçlar

Geometri	Büyükölük, yükseklik, genişlik, uzunluk
Kuvvetler	Kuvvet yönü, kuvvet büyükölüğü, ağırlık, moment
Kinematik	Hareket çeşidi, hız, ivme
Enerji	Elektrik motoru kullanılacak, basınç farkı
Malzeme	Fiziki ve kimyasal özellikler
Üretim	Olası maksimum boyutlar, standart kanat profili
Kalite kontrol	Test ve ölçüm olanakları, standarda uygun
Montaj	Parçalar hafif olmalı, toleranslı, kolay montaj
Geri dönüşüm	Tekrar kullanım, tekrar işlemden geçirme
Maliyetler	Minimum maliyetle üretilmeli

2.2. Hesaplamalar

İHA ya etkiyen kuvvetler (seyir uçuş hali):



Şekil 7: İnsansız hava aracına etki eden Aerodinamik kuvvetler

2.2.1. Aerodinamik Kuvvetler

Taşıma (Lift) kuvveti: Kaldırma kuvveti, nesnenin (İHA) hareketine dik açılarında etkiyen aerodinamik kuvvettir ve hareket eden nesne akışkanın etkileşimiyle meydana gelir. Bu etkileşim tipik olarak, nesnenin alt ve üst yüzeyleri arasında oluşan bir basınç farkına neden olur. Alttaki yüksek basınç ile üstteki düşük basıncın net etkisi, yerçekimine karşı bir kuvvet üretecektir. V_∞ doğrultusuna dik etkiyen toplam aerodinamik kuvvettir.

İtme (Thrust) kuvveti: Hareket doğrultusunda meydana gelen aerodinamik kuvvettir ve sürükleme kuvvetini yenmek için ve böylece nesnenin ileri doğru uçuşunu sürdürmesi için gereklidir. Bu kuvvet, artan akışkan momentumu şeklinde, efektif olarak enerjiyi akışkana transfer eden mekanik araçlarla üretilir.

Sürükleme (Drag) kuvveti: Akışkan içerisindeki nesnenin hareketine direnç gösteren aerodinamik kuvvettir. V_∞ doğrultusuna ters yönde etkiyen toplam aerodinamik kuvvettir.

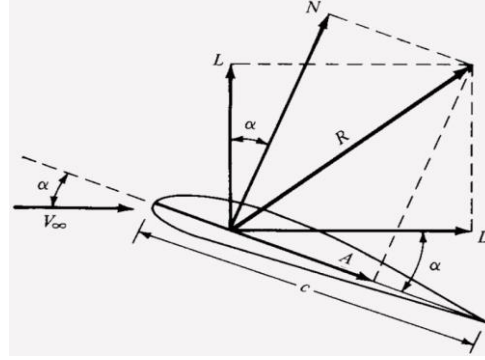
Ağırlık (Weight) kuvveti: Nesnenin yerçekiminden dolayı etki eden kuvvettir.

Lift ve drag katsayıları bir İHA' nın ilk tasarımında ve performans analizinde önemli bir role sahiptir. Kararlı ve yatay uçuşta bir İHA' yı göz önüne aldığımızda Şekilde de görüldüğü gibi W ağırlığı dikey olarak aşağı doğru etki eder. Lift L, izafi rüzgâr hızına dik, düşey olarak yukarı doğru etki eder. Uçağı yatay uçuşta tutmak için;

$$L=W$$

Tahrik edici (tepki) mekanizmalarından kaynaklanan itme T ve drag D' nin her ikisi de V_∞ hızına paraleldir. Kararlı uçuş için;

T=D şartlarını sağlanması gerekir.



Şekil 8: Bileşke Aerodinamik kuvvet ve bileşenleri

Taşıma kuvveti: $L = \frac{1}{2} \rho_\infty V^2 S C_L$

Sürükleme kuvveti: $D = \frac{1}{2} \rho_\infty V^2 S C_D$

Moment: $M = \frac{1}{2} \rho_\infty V^2 S C_M$

Aerodinamik kuvvet ve momentleri hesaplayabilmek için öncelikle kanat profil için hesaplamalar yapılır. Daha sonra gerekli bağıntılar kullanılarak profilden kanat geometrisine geçiş yapılarak hesaplamalar tamamlanacaktır.

Profil		Kanat	
Taşıma katsayısı:	$C_l = \frac{L'}{q_\infty c}$	Taşıma katsayısı:	$C_L = \frac{L}{q_\infty c}$
Sürükleme katsayısı:	$C_d = \frac{D'}{q_\infty c}$	Sürükleme katsayısı:	$C_D = \frac{D}{q_\infty c}$
Moment katsayısı:	$C_m = \frac{M'}{q_\infty c^2}$	Moment katsayısı:	$C_M = \frac{M}{q_\infty c^2}$
		Dinamik basınç:	$q_\infty =$
			$\frac{1}{2} V_\infty q_\infty^2$

Bu katsayıların XFOIL (Kanat profil analiz programı) kullanılarak grafikler elde edilir. Bu grafiklerden elde edilen eğrilerden katsayılar bulunur. XFOIL programından bu grafikleri elde etmek için öncelikle Reynolds sayısı ve Mach sayısı hesaplanır.

Aerodinamik katsayılar hücum açısına, geometriye (profil geometrisi, kanat geometrisi, uçak konfigürasyonu, ıslak alan, vs.), Reynolds sayısına ve Mach sayısına bağlıdır.

Reynolds sayısı: $Re = \frac{\rho_{\infty} V_{\infty} C}{\mu_{\infty}}$ $Re = \frac{(1,125 \text{ kg/m}^3)(15 \text{ m/s})(0,18 \text{ m})}{1,789 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}}$

$$Re = 169787,59$$

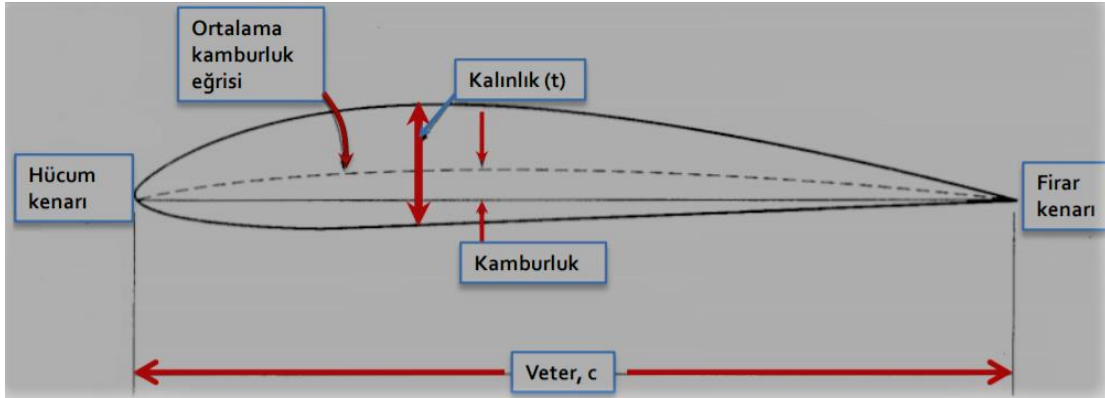
ρ_{∞} : Uçuş şartlarında havanın yoğunluğu

V_{∞} : Uçuş hızı

μ_{∞} : Uçuş şartlarında havanın dinamik viskozitesi

Mach sayısı: $Ma = \frac{v}{\alpha}$ $Ma = \frac{15 \text{ m/s}}{343,11 \text{ m/s}} \rightarrow Ma = 0,043$

Local ses hızı: $\alpha = \sqrt{\gamma RT}$ $\alpha = \sqrt{(1,4)(287 \text{ J/kgK})(293 \text{ K})}$ $\alpha = 343,11 \text{ m/s}$



Şekil 9: Kanat profilin geometrik özellikleri

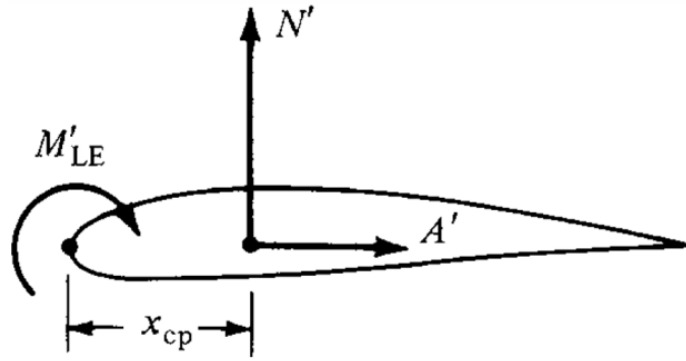
- **Veter hattı:** Hücum kenarı ile fırar kenarını birleştiren doğru.
- **Ortalama kamburluk eğrisi:** Profil alt ve üst yüzeyleri arasındaki uzaklıkların orta noktalarını birleştiren eğri.
- **Kamburluk:** Profil veteri ile kamburluk eğrisi arasındaki maksimum mesafe (vetera dik ölçülür.)

- **Kalınlık:** Profil üst ve alt noktaları arasında vetere dik olarak ölçülen mesafe.
- **Hücum kenarı:** Profilin hava akımını karşılayan dairesel kenarıdır.
- **Fırar kenarı:** Hava akımının profili terk ettiği sivri kenardır.

Açıklık oranı: $AR = \frac{b^2}{S}$

Sivrilme oranı: $\lambda = \frac{c_t}{c_r}$

Profil moment katsayısı: Profilin taşıma ve sürüklenme katsayılarının yanında profil moment katsayısı da önemli bir parametredir. Daha sonra da profil kanat analiz grafiklerinde de görüleceği gibi moment katsayısı negatif olduğu görülür. Bu momentin negatif olması kanadı oluşturan profilin burun aşağı bir moment uygulanması ve bu momenti dengelemek için İHA'nın arka ucuna bu momenti dengeleyici kuyruk kanadın konulması gerektiğini gösterir.



Şekil 10: Profil kanadın üzerinde oluşan moment

Kanat taşıma katsayısı: Seçilmiş olan AG35 kanat profilin yapılan analizler sonucu kanat taşıma katsayısı, profil taşıma katsayısından daha azdır. Bunun başlıca sebebi; kanadın altındaki yüksek basınç ve kanadın üstündeki düşük basınçtan dolayı kanadın uçlarında alttan yukarıya doğru hız indüklenir. Bu indüklenen hız profilin algılamış olduğu kanat açısını düşürür. Sonuç olarak kanat aynı hücum açısında profile göre daha küçük bir taşıma katsayısına sahip olur. Bu durumun bazı bağıntılar kullanılarak kanadın hücum açısı dolayısıyla kanat taşıma katsayısı bulunur. Yüksek AR, okaçsız durumunda kullanılacak bağıntı;

$$a = \frac{a_0}{\sqrt{1 + \left[\frac{a_0}{\pi AR}\right]^2}} a_0 + (\pi AR)$$

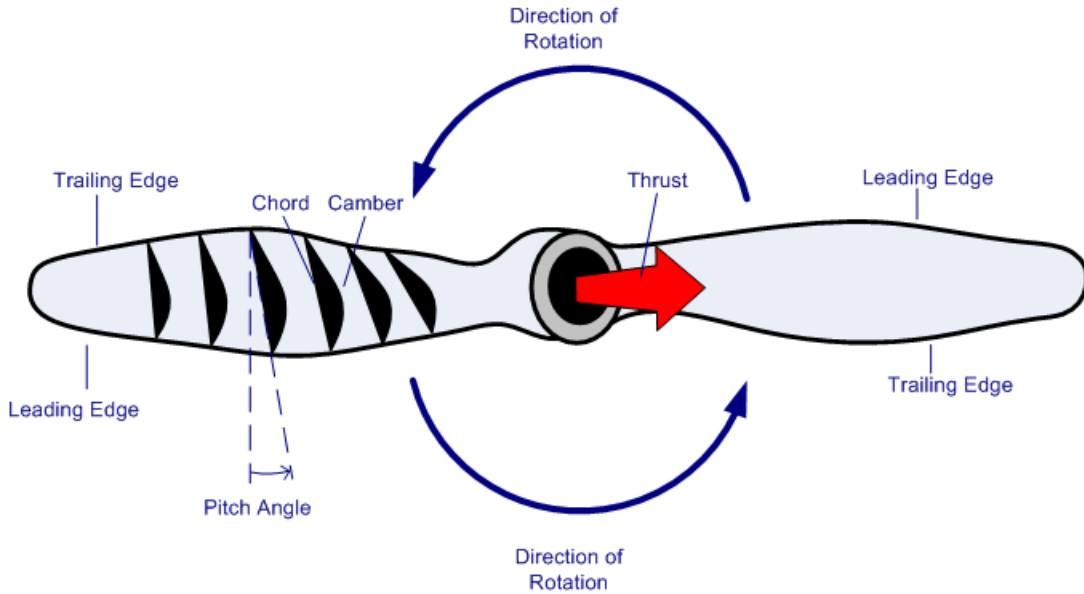
Profil için taşıma eğrisi eğimi: $a_0 = \frac{dC_l}{d\alpha}$

Profil için taşıma eğrisi eğimi: $a_0 = \frac{dC_l}{d\alpha}$

Kanat için taşıma eğrisi eğimi: $a = \frac{dC_L}{d\alpha}$

2.2.2. İtki (Thrust) Hesabı

Sabit kanatlı İHA tasarımında itki kuvvetini oluşturabilmek için itki sistemleri kullanılır. İtki sisteminde bulunan pervane ve elektrik motor bileşimi ile itki kuvveti oluşturulur. Bundan dolayı pervane itki kuvveti oluşturmak için önemli bir elemandır. Pervanenin amacı; motorun oluşturduğu beygir gücünü itme(thrust) kuvvetine dönüştürerek İHA'nın havada kararlı bir şekilde seyrini sağlamaktır. Tıpkı kanatlar gibi, pervaneler kavisli yüzeylerin üzerindeki hava akışını hızlandırır. Havanın yüksek hızı, pervanenin önünde daha düşük bir statik basınca yol açarak, kanat profilini öne doğru çeker.



Şekil 11: Temel pervane yapısı

Bir İHA'yı hızlandırmak için, itme kuvvetinin sürüklenme(drag) kuvvetinden daha büyük olması gerekir. Motor gücü ve pervane devirlerinin(RPM) artırarak, bıçaklar boyunca hava giderek hızlandırılır ve uçağı öne doğru çekerek daha güçlü bir basınç farkı

oluşturulur. Bu, uçağı hızlandırır, ancak motorun itme kuvveti ile sınırlıdır. L/D_{max} 'dan daha hızlı uçuşunuzda, artan parazite dragı telafi etmek için daha fazla güç gerekir.

Pervane yapısında, pervane çapı önemli bir parametre olarak karşımıza çıkar. Değişken çaplı bir pervane, düşük hava hızları için büyük bir çap ve yüksek hava hızları için daha küçük bir çap ile verimli olur. Yapısal, kontrol ve ağırlık sorunları nedeniyle değişken çaplı pervaneler pratik değildir. Bunun yerine, çoğu pervanenin çapı, yavaş ve hızlı hava hareketi arasında "happy-medium" bir açı oluşturacak şekilde boyutlandırılır.

Sonuç olarak; pervaneler, havayı hızlandırarak ve pervanenin önünde düşük basınç farkı oluşturarak motor beygir gücünü itme kuvvetine dönüştürürler. Hava doğal olarak yüksek basınçtan düşük basınca doğru hareket ettiğinde, pervane dönerken ileri doğru itiş sağlar.

Dinamik itki hesabı:

$$T = 1,225 \frac{\pi(0,0254 \cdot d)^2}{4} \cdot \left[\left(RPM \cdot 0,0254 \cdot pitch \cdot \frac{1}{60} \right)^2 - \left(RPM \cdot 0,0254 \cdot pitch \cdot \frac{1}{60} \right) V_0 \right] \cdot \left(\frac{d}{3,29546 \cdot pitch} \right)^{1,5}$$

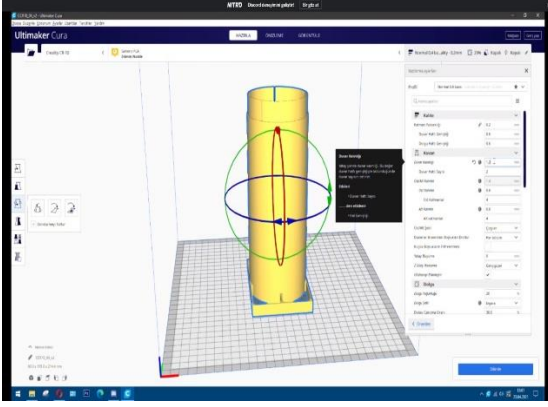
$$T = 4,392399 \times 10^8 \cdot RPM \cdot \frac{d^{3,5}}{\sqrt{pitch}} \cdot (4,233333 \times 10^{-4} \cdot RPM \cdot pitch - V_0)$$

Bu denklem RC araçlardaki farklı motor pervane devrelerinde denenerek belirli katsayılarla düzeltme yapılmıştır. Pervane verimi ve hava yoğunluğu gibi değerlerde yapılan kabuller ile bir değer sunmaktadır.

2.3. Tasarım ve Üretim Süreci

- Yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda uygun kanat tip belirlenmiştir.
- Kanat tipi seçildikten sonra gerekli hesaplamalar yapılmıştır.
- 3 boyutlu katı modelleme programı olan SolidWorks'te ihamızın özgün bir biçimde tasarımı yapılmıştır.
- Tasarım işlemi tamamlandıktan sonra üretim çalışmalarına geçmek üzere gerekli malzemeler belirlenip, malzeme siparişi verilmiştir.
- Malzeme tedarikinin ardından üretime geçilmiştir

Aşağıda üretim aşamalarının fotoğraflarını gösterilmektedir.



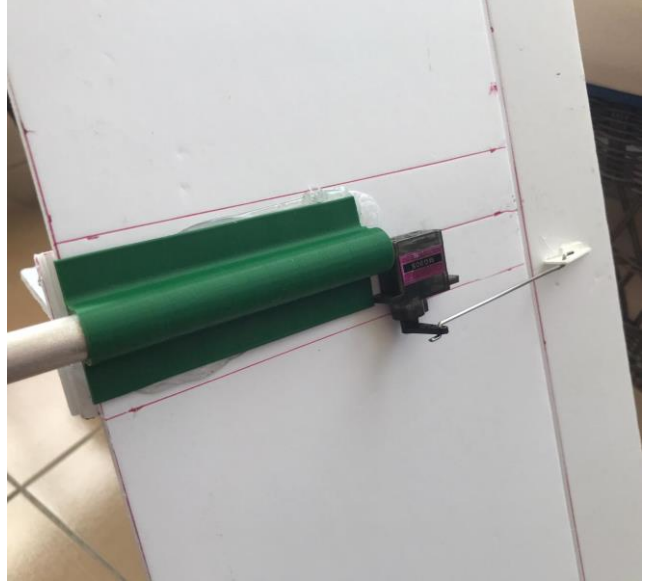
Şekil 12-13: Ana gövdenin 3D printer kullanılarak üretilmesi



Şekil 14-15: Parça kesim işlemlerinin yapılması



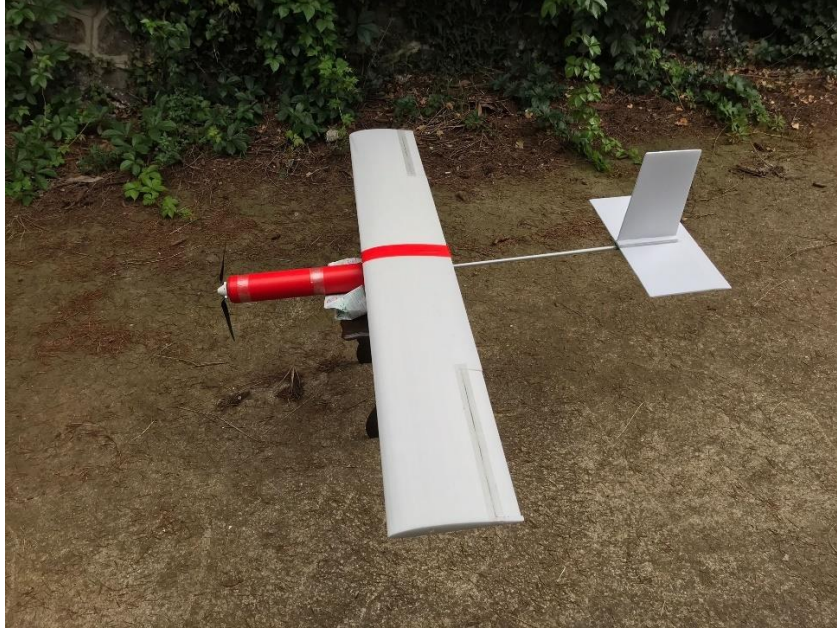
Şekil 16-17: Parça montaj işlemlerinin yapılması



Şekil 18-19: Motor, pervane ve ESC montajı yapılması



Şekil 20-21: Kanatların montajının yapılması



Şekil 22: Sabit Kanatlı İHA Prototipi

2.4. Maliyet Analizi

Tablo 4: Maliyet Analizi

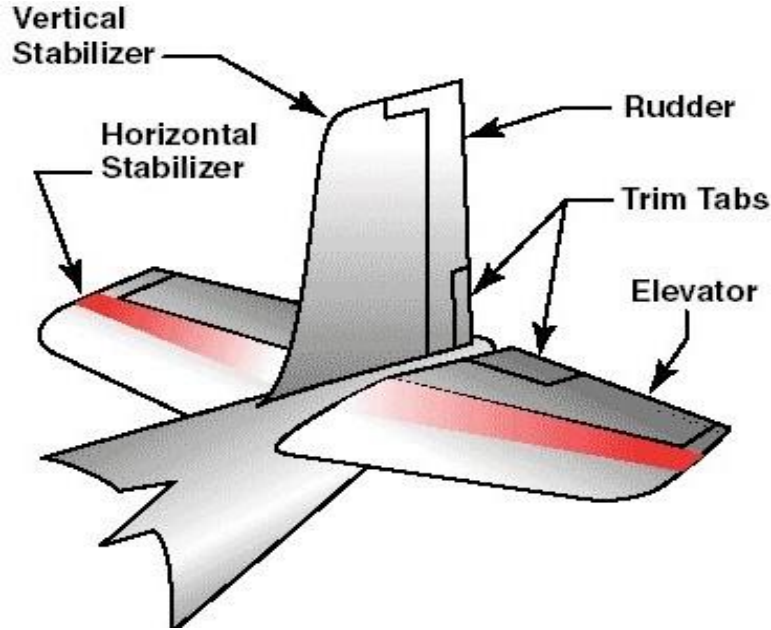
Parça	Adet	Fiyat (₺)
Motor	1	330
ESC	1	150
Servo	4	100
Pushrod teli	4	40
Kanat	2	125
Kumanda	1	500
Batarya	1	250
Alüminyum boru	1	20
Fotoblok	2	40
Filament	1	100
Toplam Fiyat		1655

3. BULGULAR

3.1. Kuyruk Seçimi

İHA yapı elemanlarının arasında kanattan sonra diğer önemli bir paya sahip olan yapısal bölge kuyruktur. Kuyruk genellikle iki yüzeye sahip olup, bu yüzeyler klasik olarak yatay ve dikey kuyruk yüzeyleridir. Kuyruğun başlıca iki görevi bulunur; uçağın kararlılığını sağlamak, istenilen kontrolü verebilmektir.

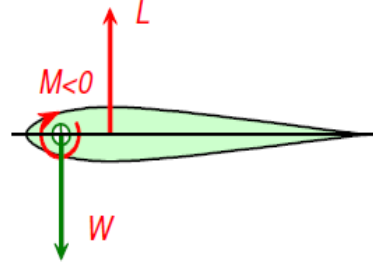
Daha önce bahsettiğim gibi kanat etrafında oluşan basınç ve kayma gerilmeleri yanıl eksen etrafında şöyle ki; kanadın burnunu aşağı doğru bir moment(yunuslama momenti) oluşur. İHA nın düz ve kararlı bir uçuş sağlayabilmesi için kanada ait olan bu momentin etkisini kaldırmak gerekir. Bundan dolayı kanattan belli bir mesafe uzağa yerleştirilen yatay kuyruk yüzeyi ters yönde moment oluşturarak İHA nın kararlı uçmasını sağlar.



Şekil 23: Konvansiyonel kuyruk tipi

Şekil 13'te görüldüğü gibi ağırlık merkezi aerodinamik merkezin önünde olduğunda taşıma kuvveti ağırlık merkezi etrafında bir burun aşağı(negatif) moment oluşturacaktır. Bu moment başka bir momentle dengelenmediği için hücum açısının azalmasına, azalan hücum açısı da taşımanın azalmasına neden olacak, bu durum kuvvetlerin dengesi bozulacak, yani taşıma kuvveti ağırlığı karşılamayacaktır. Bu kanadın yalnız başına kararlı

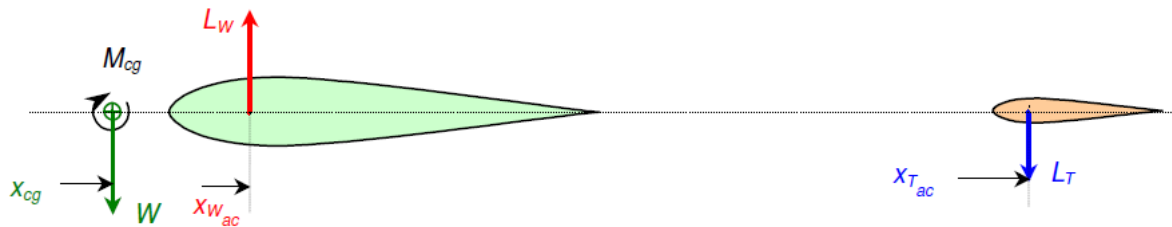
uçuşu mümkün değildir. Böyle bir kanadın kararlı bir şekilde uçuşabilmesini sağlamak için yatay kuyruk(horizontal stabilizer) adı verilen yatay bir ilave taşıyıcıdan yararlanılır.



Şekil 24: Ağırlık merkezi etrafındaki moment (negatif)

Yatay kuyruk yüzeyi (Horizontal Stabilizer):

Yatay kuyruk yüzeyi İHA'nın ana kanadına benzeyen ikinci bir kanat olup ana kanattan küçüktür. Bu nedenle oluşturduğu taşıma kuvveti de ana kanada kıyasla oldukça küçüktür. Yatay kuyruğun konumu Şekil 14'te görüldüğü gibi sistemin ağırlık merkezinin normal şartlarda kanatla kuyruk yüzeyi arasında, kanada daha yakın bir konumda olması gerekir. Bu durumda İHA'nın ağırlığını taşıyacak biçimde yukarı doğru olması gereken kanat taşıma kuvvetinin(L_W) ağırlık merkezi etrafında oluşturacağı moment burun yukarı yönde olacağından bunun dengelenmesi için kuyruk yüzeyinin oluşturacağı momentin zıt yönde olması gerekir. Yani kuyruğun taşımasının(L_T) kanatla zıt yönde olması ve kuyruğun hücum açısının da kanatla aynı yönde olması gerekir.



Şekil 25: Denge halinde kanat ve kuyruk üzerindeki kaldırma kuvvetleri

Denge halinde;

$$W = L_W - L_T \quad \rightarrow \quad W + L_T = L_W$$

Ağırlık merkezi etrafındaki moment;

$$M_{cg} = -L_W(x_{Wac} - x_{cg}) + L_T(x_{Tac} - x_{cg}) = 0$$

momenti ile dengelenecektir.

Dikey kuyruk(Vertikal Stabilizer):

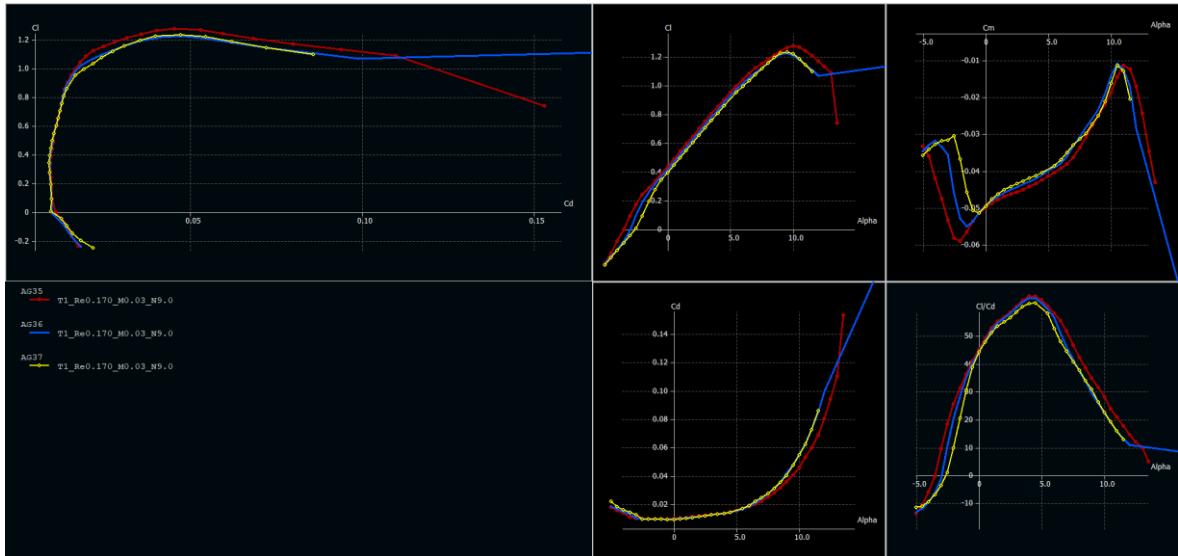
Dikey kuyruğu da hareketli ve sabit dikey yüzeyler şeklinde ikiye ayırabiliriz. Hareketli dikey yüzeye aynı zamanda istikamet dümeni olarak bilinir.

İstikamet dümeni tıpkı irtifa dümeninde olduğu gibi kontrol kolaylığı açısından küçük ebatlı trim tab yüzeyleri barındırabilir.

Kuyruk tipi:

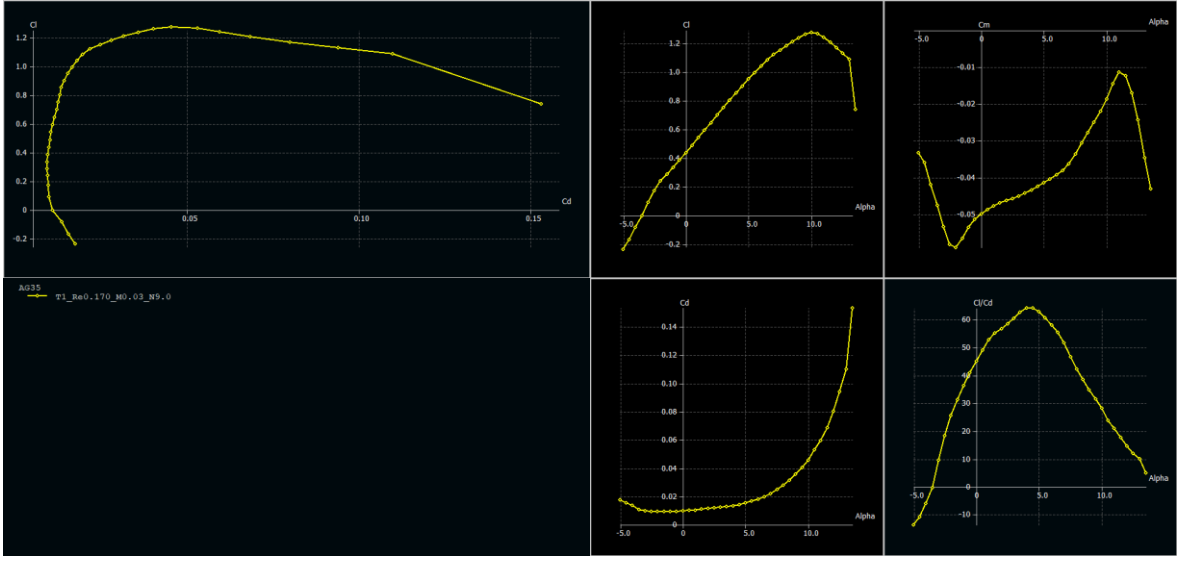
Kuyruğun tasarımında değişik uygulamaların olduğu birçok tasarımlar bulunur. Şekil 5' de görüldüğü üzere konvansiyonel kuyruk tipi kuyruk tasarımı olarak seçilmiştir. Kuyruk tasarımlarının bazı avantaj ve dezavantajları bulunur. Bu kuyruk tipinin seçilmesi pratikte en yaygın olarak kullanılan kuyruk tipi olmasıdır. Aynı zamanda kuyruk yapısal olarak sağlam, aerodinamik açıdan da iyi bir tasarımdır.

3.2. Grafikler

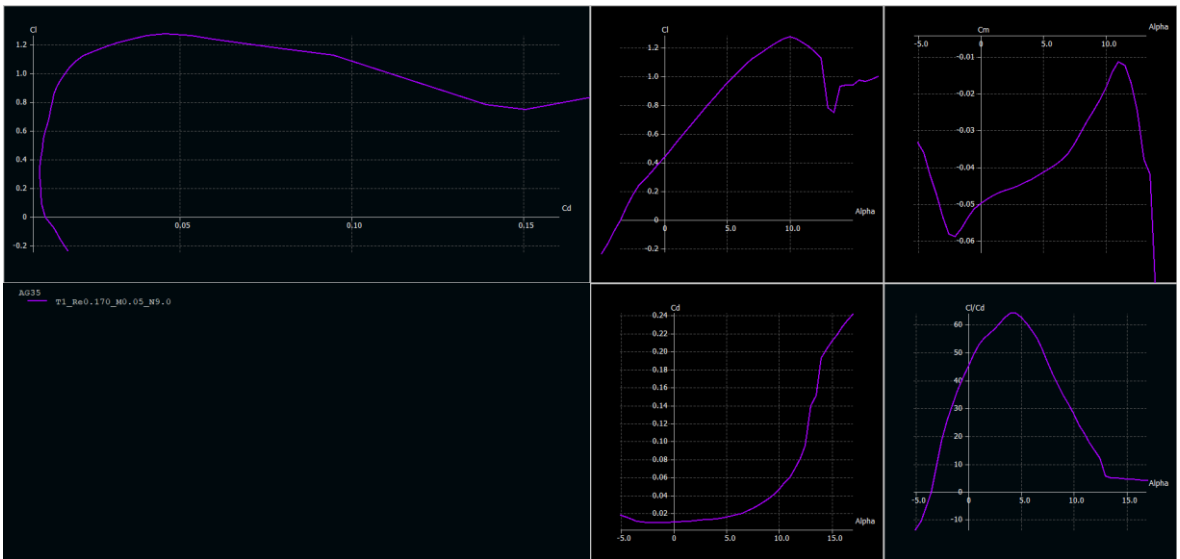


Şekil 26: AG35, AG36, AG37 kanat profillerinin taşıma katsayısı(c_l), sürüklenme katsayısı(c_d) ve moment katsayısının(c_m) karşılaştırma grafiği

AG kanat profili serisinin diğer kanat profillerine imalat açısından daha uygun olduğu görülmüştür. Bundan dolayı AG kanat profili serisindeki kanat profillerinin ise aerodinamik özelliklerine bakılarak seçim yapıldığı Şekil 26'daki grafiklerde de görülmektedir. Seçim kriteri olarak daha önce de açıklandığı gibi İHA yapımında ilk önceliğin profil taşıma kuvvetinin(L') büyük olması ve sürüklenme kuvvetinin(D') düşük olması için profil sürüklenme katsayısının küçük olması istenir. Şekil 26'da görüldüğü üzere AG35 kanat profili diğer kanat profillerine göre taşıma katsayısının daha yüksek ve sürüklenme katsayısının daha düşük olduğu görülür.

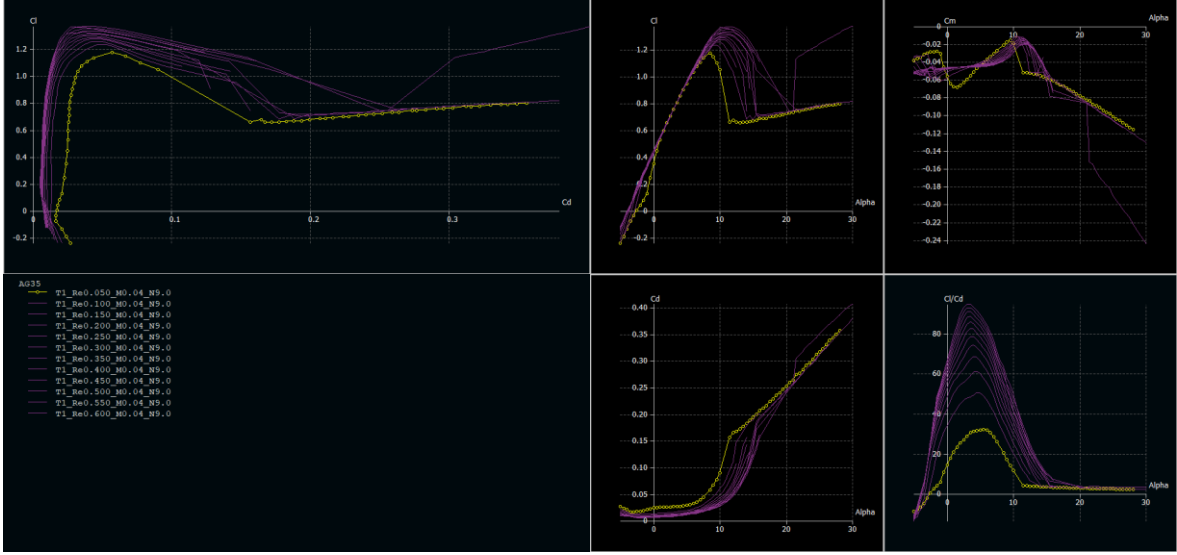


Şekil 27: AG35 kanat profilinin $Re=169787$ ve $Ma=0.030$ 'daki profil katsayılar



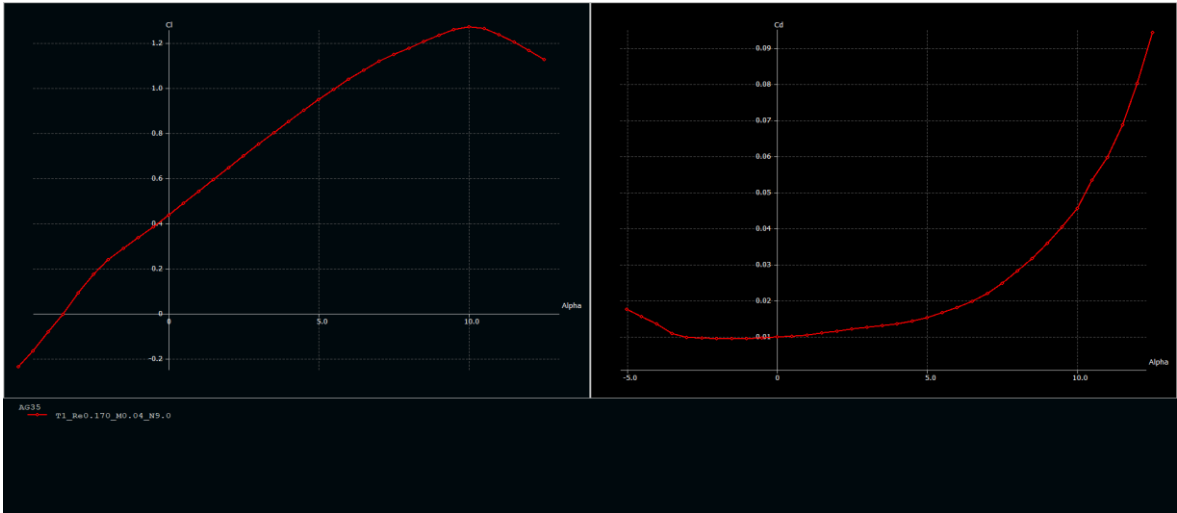
Şekil 28: AG35 kanat profilinin $Re=169787$ ve $Ma=0.050$ 'daki profil katsayıları

Şekil 26 ve Şekil 27’de görüldüğü gibi Ma sayılarının farklı olması etkilemeyecek kadar azdır. İHA nın serbest akış hızı(V_∞) 100 m/s nin altında olduğu için Mach sayısının etkisi göz ardı edilebilir. Çünkü akış sıkıştırılmaz olduğu için 100 m/s den sonra sıkıştırılabilirlik dolayısıyla Mach sayısı etkisini gösterir.

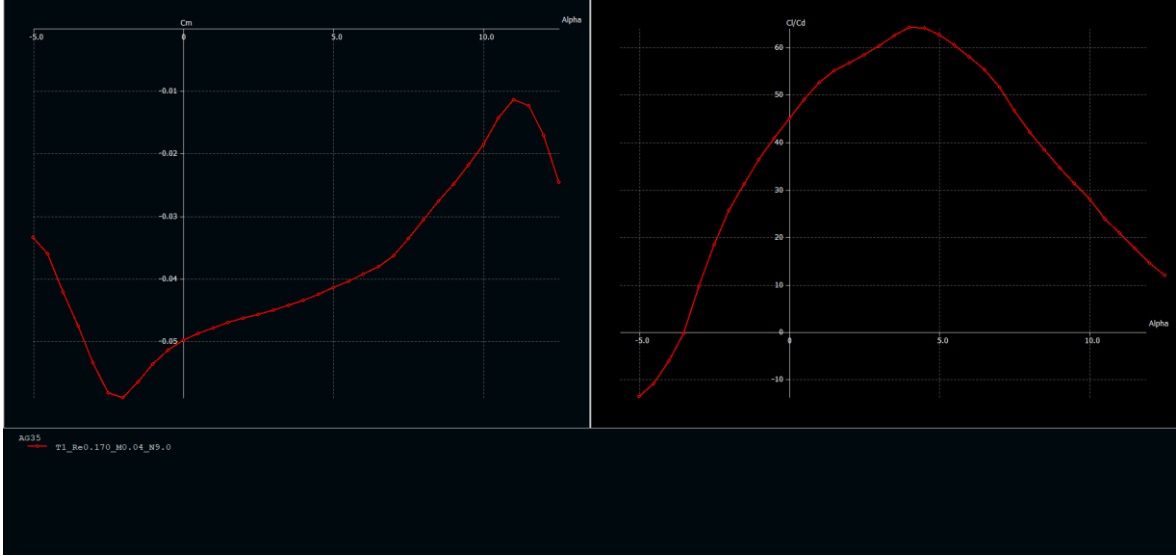


Şekil 29: Farklı Reynolds sayılarında AG35 kanat profilinin profil katsayıları

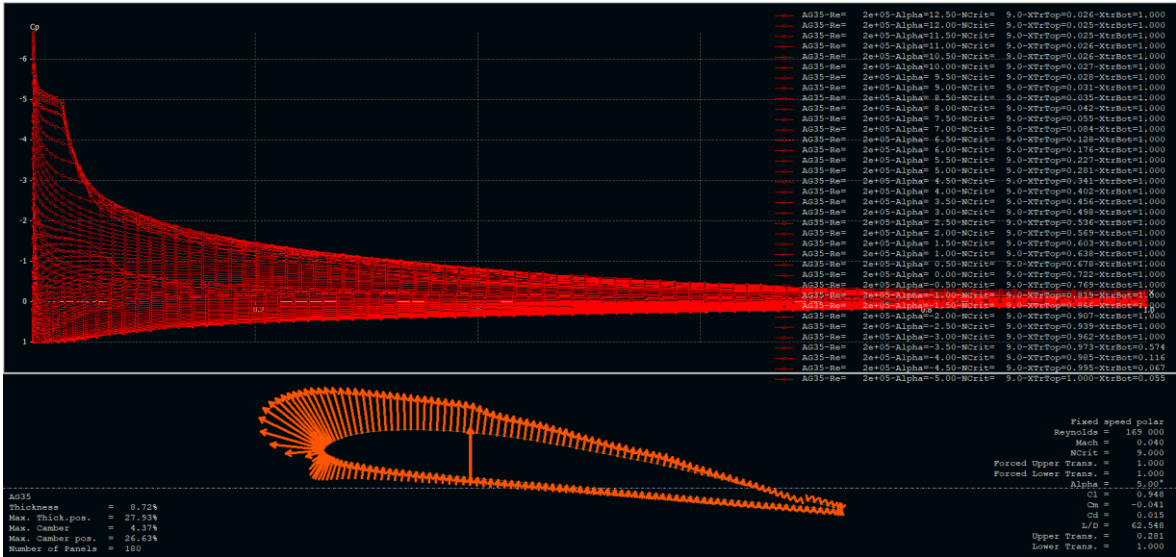
İHA tasarımında, daha önce de söylendiği gibi hücum açısı(α) ve Reynolds sayısı en önemli parametrelerdir. Şekil 18’ de görüldüğü gibi Reynolds sayısı aynı hücum açılarında profil katsayıları önemli ölçüde farklılık gösterir. Bundan dolayı da İHA tasarımında Reynolds sayısı hesaplanarak göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 30: AG35 kanat profilinin taşıma katsayısı ve sürüklenme katsayısının hücum açısıyla değişim grafiği



Şekil 31: AG35 kanat profilinin moment katsayısı ve taşıma ve sürüklenme katsayı oranlarının hücum açısıyla değişim grafiği



Şekil 32: AG35 kanat profili üzerindeki basınç dağılımı

4. TARTIŞMA

İHA'ların havada kalma süreleri ve menzilleri tartışma konusu olabilir. Bu konuya çözüm olarak, gerekli hesaplamalar yapıp uygun bir tasarım sonucunda motor- batarya grubunun seçilmesi gösterilebilir.

Yapılan çalışmalar sırasında da gözlemlendiği üzere proje başlangıcından bitişine kadar beklenmedik aksilikler olabilmektedir. Bu aksiliklerin oluşmaması ya da oluştuğu takdirde herhangi bir problem olmaksızın normal koşullara dönülebilmesi için proje başlangıcında düzenli bir planlanmanın yapılması gerekmektedir.

Üretim esnasında yaşanan sorunlar, tedarik sürecindeki aksamalar, olumsuz koşullar sonucunda ortaya çıkan sorunlar için önceden planlama yapılmalıdır.

Proje başlangıcından itibaren olumsuzlukların oluşabileceği öngörülüp teknik desteğe ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden deneyimli kişilerle iletişimde olmak önem arz etmektedir. Aksi halde, üretimden başlangıç tasarımına bir geri dönüş olabilir ve bu durum hem zaman hem de malzeme kaybına sebep olabilir.

Önemli diğer bir faktör ise bazı yerlerde işçiliğin veya montajın dikkatli bir şekilde yapılmasıdır. Parçaların ölçülerinin istenilen tolerans aralığından çıkmayarak düzgün bir şekilde kesilmesi, ardından montaj sırasında da herhangi bir olumsuzluk yaşanmaması açısından dikkat edilmesi gerekmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu projenin amacı, sabit kanatlı İHA platformlarının senaryo bazlı olarak göreve yönelik tasarım kabiliyetinin elde edilerek, uygulama gösteriminin doğrulanmasının sağlanması ve bu çerçevede çeşitli alanlarda etkin kullanılabilirliğini ortaya koymaktır.

Bu çalışmada İHA'larda kanat tasarımının İHA'nın kullanım amacına yönelik tasarlanmasının, İHA'nın kalkış hızı, uçuş süresi, manevra kabiliyeti üzerine nasıl etki ettiği ve sonuçları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar kanat tasarımının özellikle kalkış hızı, manevra kabiliyeti ve havada kalma süresine önemli oranda etki ettiği görülmektedir.

Bu projede yüksek verimli bir tasarım için aerodinamik konusunda ayrıntılı bir çalışma yapılması gerektiğinden Fluent gibi profesyonel bir program ile bilgisayar destekli akışkan analizlerinden yararlanılması gerektiği tespit edilmiştir.

Yapılan araştırmalar neticesinde tespit edilen bir başka husus ise insansız hava aracının ağırlık dağılımının oldukça dikkatle yapılmasıdır. İnsansız hava aracında kullanılacak malzeme ve motor gibi ekipmanların araç üzerindeki dağılımına olabildiğince dikkat edilmiştir ve gerekli analizler yapılarak çizim üzerinde gösterilmiştir.

Yapılan araştırmaların sonucunda ortaya konulan tasarım ve gerekli ekipmanların temini için maliyet hesabı yapılmış ve ayrıntılı bir şekilde ortaya konulmuştur. Yapılan araştırmalarda görülmüştür ki tasarlanan insansız hava araçlarının video kamera, ses kayıt cihazı, fotoğraf makinası, ses kayıt cihazı gibi ek donanımlar eklenmesi ile kabiliyetleri artırılabilir. Yapılan araştırmalar sonucunda görülmüştür ki İHA'larda kabiliyet artıkça maliyette artmaktadır.

6. ÖNERİLER

Bu çalışmanın gerçekleşip aktif bir biçimde kullanımda olabilmesi için makine mühendisliğinin yanı sıra diğer mühendislik bölümleriyle beraber(elektrik-elektronik, bilgisayar, metalürji ve malzeme, mekatronik, uçak vb.) etkin bir biçimde çalışmalar düzenlenmelidir. Bu doğrultuda bu proje için farklı mühendislik bölümlerinde olan kişilerle aktif bir çalışma ortamı oluşturulması gerektiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda öğrencilerden oluşan çalışma grubuna ek olarak yardımlarıyla çalışmaya yön verecek bu bölümlerden oluşan bir akıl grubu da oluşturulabilir.

Sabit kanatlı insansız hava aracımız dikey kalkış yapamadığı için bir uçağı andırabilir. Nasıl uçak kullanabilmek için pilotluk eğitimi almak gerekiyorsa, İHA kullanan kişinin de profesyonel anlamda eğitim alması gerekmektedir.

İHA pilotuna yardımcı olabilmek adına teknolojik desteklerden faydalanmak gerekmektedir. İHA'nın sapma açısının tam olarak belirlenmesi için donanıma dijital pusula eklenmesi, ayrıca noktalar arası seyrüsefer gibi özelliklerin entegre edilebilmesi için GBS entegrasyonunun yapılması gibi eklentilerin İHA'yı kullanacak pilotun uçuşunu daha kolay yapmasını sağlayacaktır.

İHA çalışmalarının düzenli bir planlamayla aktif bir şekilde yapılması ve gelişen teknolojiye ayak uydurarak sürekli bir biçimde kendini geliştirilebilmesi gerekmektedir.

7. KAYNAKÇA

1. Dalamagkidis K., Valavanis K. P. and Piegl L.A. (2012). Aviation History and Unmanned Flight, On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System.
2. A.Serkan AKGÜL Abdurrahman HACIOĞLU, İHA tasarımını etkileyen parametrelerin incelemesi.
3. VATANDAŞ, E. İHA Tasarımı Ders Notları, İTÜ, İstanbul.
4. İ. Koç, Termodinamik ve İtki Sistemleri Ders Notları, HHO Eğitim Portalı, İstanbul, 2010.
5. Anderson, J. D., 2016. Introduction to FLIGHT, Uçak ve Uzay Mühendisleri İçin Uçuş Başlangıç, (Çeviri: Adil Yükselen), Nobel Akademik Yayıncılık, ISBN: 9786053203803, 944s.
6. Boeing, 2016., Boeing İnsansız Hava Aracı Tasarım Eğitim ve Yarışması, Boeing-İTÜ-Lecture-note.pdf, 323 s.
7. Prisacariu, V. ve Luchian, A. 2014. The Aerodynamic Analysis Of High Lift Devices, International Conference of Scientific Paper Afases 2014, Brasov.
8. Raymer, D., P., 1992., Aircraft Design: A Conceptual Approach, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. 370 L'Enfant Promenade, S.W., Washington, D.C.
9. Virginia Tech. 2018. <http://www.dept.aoe.vt.edu/~lutze/AOE3104/takeoff&landing.pdf> [Erişim tarihi: 01.05.2018].
10. XFLR5, 2010, About Stability Analysis Using XFLR5, 70 s.
11. <https://www.robotshop.com/blog/en/make-uav-lesson-1-platform-rtf-arf-kit-custom-13989>
12. <https://www.robotshop.com/blog/en/make-uav-lesson-2-platform-14448>
13. http://ahmettaskingunlugu.blogspot.com.tr/2013/02/ubec-nedir-bec-ile-arasnda-ne-fark-varidr_19.html
14. <http://www.freepist.com/esc-electronic-speed-controller>

15. <http://www.rckolik.com/forum/konu/ubec-nedir-nerelerde-kullanilir.1333>
16. https://tr.wikipedia.org/wiki/Do%C4%9Fal_%C3%A7evre
17. https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87evre_kirlili%C4%9Fi
18. <https://open.metu.edu.tr/bitstream/handle/11511/49663/TVRVMk9EWTI.pdf>
19. http://uzalcbs.org/wp-content/uploads/bildiriler/2018/2018_6439.pdf
20. https://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html
21. FAA, 2015, State and Local Regulation of Unmanned Aircraft Systems (UAS), Fact Sheet Federal Aviation Administration Office of the Chief Counsel December 17, 2015.
22. UK CAA2, 2016, UK Civil Aviation Authority, Unmanned Aircraft and Drones, <http://www.caa.co.uk/Commercial-industry/Aircraft/Unmanned-aircraft/Large-unmanned-aircraft>
23. Wikipedia.org, 2016, https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_unmanned_aerial_vehicles#cite_note-2, Son bakılma tarihi 23 Şubat 2016.
24. E. Torenbeek. Synthesis of Subsonic Airplane Design. Springer Netherlands, (1982)
25. J. D. Setiawan, Y. D. Setiawan, M. Ariyanto, A. Mukhtar and A. Budiyo, Development of real-time flight simulator for quadrotor, 2012 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS), Depok, 59-64, (2012)
26. F. A. Warsi et al., Yaw, Pitch and Roll controller design for fixed-wing UAV under uncertainty and perturbed condition, 2014 IEEE 10th International Colloquium on Signal Processing and its Applications, Kuala Lumpur, 151-156, (2014)
27. Fundamentals of Aerodynamics 5th Edition, John D. Anderson Jr.
28. <http://flightacademy.info>
29. https://tr.wikipedia.org/wiki/İnsansız_hava_aracı
30. M. Akgül and H. Yurtseven, "İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi ve Ormancılık Çalışmalarında Kullanım Olanakları," IV. Orman İnşaatı-Transportu ve

Teknolojileri Çalıştay ve Üretim İşlerinde Hassas Ormancılık Sempozyumu , vol.2, Kastamonu, Turkey, pp.7, 2015.

31. <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=ag35-il>

32. Y. V. Pehlivanoglu, Havacılık ve Uzay Bilimlerine Giriş, Üçüncü Baskı, Hava Harp Okulu Yayınları, İstanbul, 2013.

33. Y. V. Pehlivanoglu, Havacılık Bilimlerine Giriş Ders Notları, HHO Eğitim Portalı, İstanbul, 2010.

34. J. D. Anderson Jr., Fundamentals of Aerodynamics, 3rd Edition, McGraw-Hill Inc., 2001.

35. Anderson, John D., Jr. Introduction to Flight, 3rd Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1989.

36. https://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html. 25 Kasım 2020.

37. <http://www.xflr5.com/xflr5.htm>. 25 Kasım 2020.

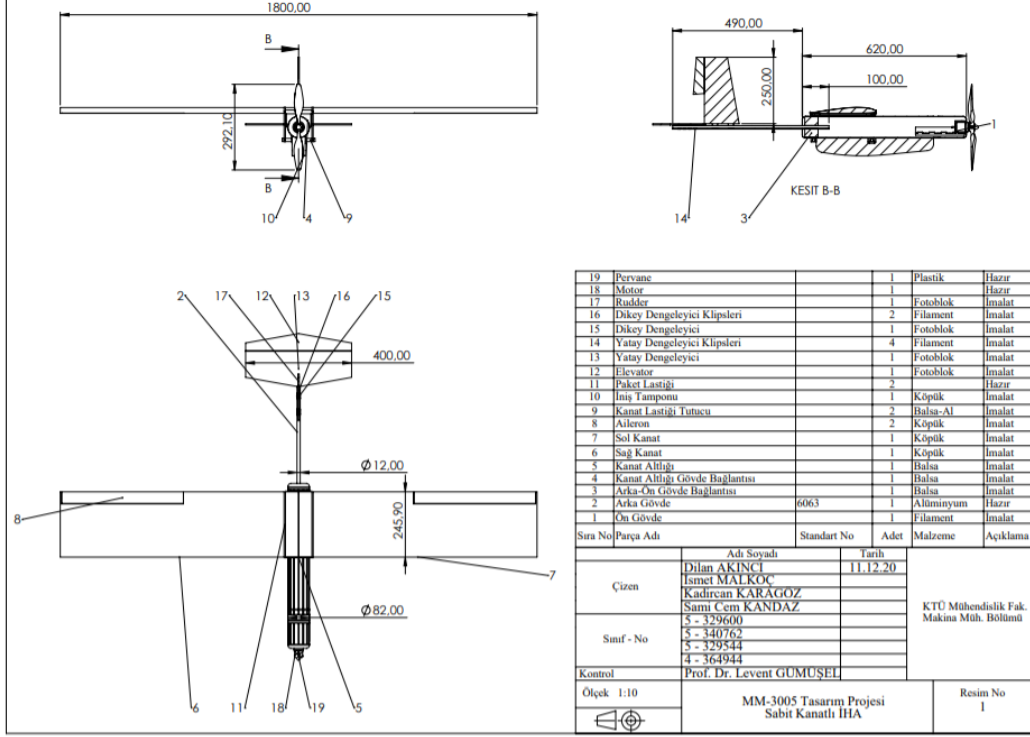
38. YÜKSELEN, M. Aerodinamik Ders Notları, İTÜ, İstanbul.

39. F. İnce, Uzay Teknolojilerine Giriş Ders Notları, HUTEN HHO, 2006.

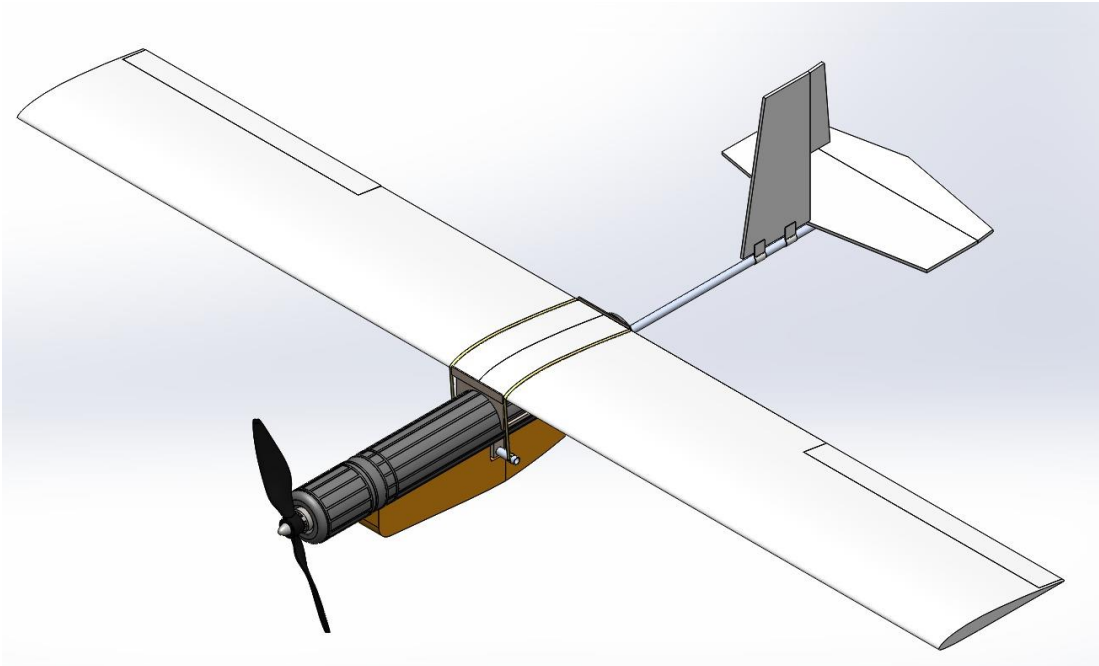
40. Mustafa Sarıoğlu, MM 3023 Aerodinamik Ders Notları.

8. EKLER

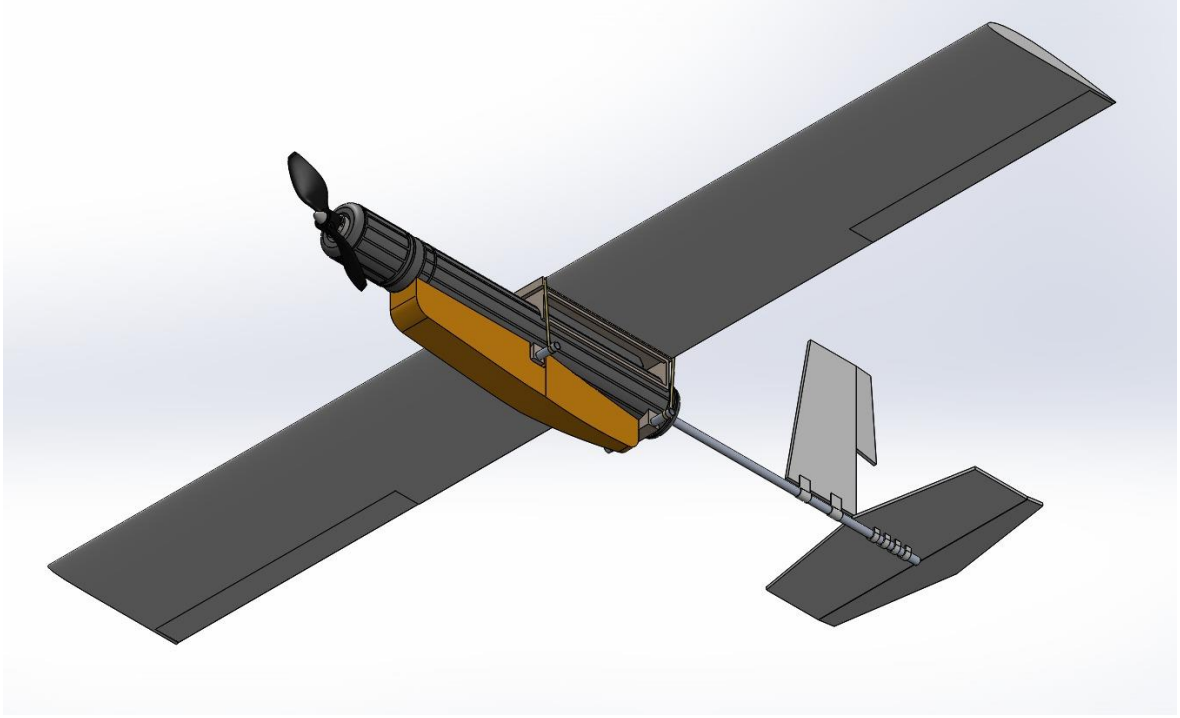
8.1. Katı Modelleme Programında Çizimler



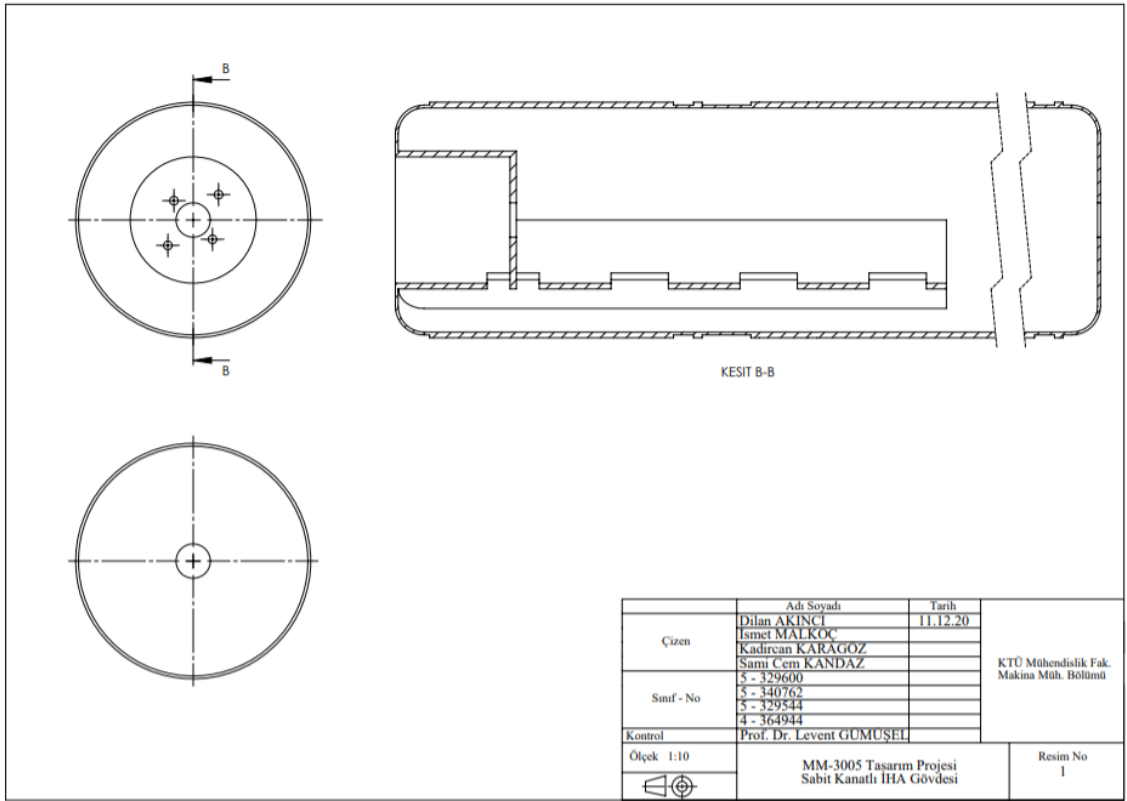
Şekil 33: Sabit Kanatlı İHA Teknik Resmi



Şekil 34: Katı Modelleme Programında Çizilmiş İHA



Şekil 35: Katı Modelleme Programında Çizilmiş İHA (Alt Çapraz)



Şekil 36: Sabit Kanatlı İHA Gövdesi Teknik Resmi

8.2. Terminoloji

İHA: UAV (Unmanned Aerial Vehicle) " İnsansız Hava Aracı "

ARF "Almost Ready to Fly ": " Neredeyse Uçmaya Hazır " Uçmak için gerekli tüm parçaları birleştirilmiş bir İHA'dır. Denetleyici ve alıcı gibi bileşenler dahil edilmez.

BNF " Bağla ve Uç ": İHA'nın tamamen monte edilmiş ve bir alıcı içeren halidir. Yalnızca uyumlu bir verici seçmeniz ve alıcıya "bağlamanız" gerekir.

Drone: Bu terim İHA ile eşanlamlıdır. "Drone" terimi askeri kullanım için daha yaygın olarak görülürken "İHA", hobi kullanımı için daha yaygındır.

RTF "Ready To Fly ": "Uçmaya Hazır " İHA'nın gerekli tüm parçalarının bir araya getirilmiş halidir.

Boyut(mm): Normalde milimetre cinsinden (örneğin 450mm) tanımlanır. İHA'da, iki motor arasındaki en büyük nokta-uzaklık mesafesini temsil eder. Ayrıca İHA sınıfını (mikro, mini vb.) belirleyebilir.

CG "Center of Gravity "(Ağırlık merkezi): ağırlığın, her iki tarafa da eşit olarak dağıtıldığı noktadır.

Kelepçe: Bir aygıtı, başka bir aygıtı bağlamak için kullanılan bir aygıttır. (motor bağlantısı veya İHA gövdesi gibi)

Konektörler: Kabloları takmak ve sökmek için tellerin uçlarında kullanılır.

Sönümleyici: İHA'nın kullanımı boyunca iletilen titreşimi en aza indirmek için kullanılan kalıplanmış kauçuk parçalardır.

Gövde: Uçağın iskeletine benzemekte ve parçaları bir arada tutmaktadır.

G10: Çok hafif ve sert olduğundan, İHA'nın gövdesini oluşturmak için karbon fiber yerine, yaygın olarak kullanılan bir malzemedir ve önemli derecede ucuzdur.

LED "Light Emitting Diode": " Işık Yayan Diyot " İHA'yı gece veya düşük ışık koşullarında görünür hale getirmek için kullanılır.

Pervane Koruması: Pervanenin diğer nesnelere temasını önlemek için, pervanenin çevresini saran bir malzemedir. İHA'nın hasarını en aza indirmek ve bir emniyet unsuru olarak kullanılır.

Kabuk: Elemanların direncini artırmak ve bazen de aerodinamiğini geliştirmek için kullanılan estetik / fonksiyonel bir kaplamadır.

BEC "Battery Eliminator Circuit": "Pil Ayırıcı Devresi" ESC'ye dahil edilen ve ona ihtiyaç duyan, herhangi bir elektronik cihaza düzenlenmiş 5V DC güç sağlayabilen, bir voltaj regülatörüdür.

Pervane Bıçakları (Blades): Pervaneler, kaldırma üreten aerodinamik yüzeylerdir. Bir pervane, sabitlenebilen veya katlanabilen olmak üzere, iki ila dört bıçağa sahiptir.

CW/CCW: CW, pervanenin saat yönünde döndüğünü, CCW ise saat yönünün tersine döndüğünü belirtir. Çok rotorlu bir uçakta, zıt dönen pervanelerin çiftleri kullanılır.

ESC "Electronic Speed Controller": "Elektronik Hız Denetleyicisi" Pil, motor ve uçuş kontrol cihazına bağlanan ve motorun dönme hızını kontrol eden cihazdır.

LiPo: "Lityum Polimer" hafifliği ve yüksek akım deşarj oranları nedeniyle İHA'larda kullanılan en yaygın pildir.

Motor: Pervaneleri döndürmek için kullanılır; küçük İHA'larda fırçalı motor kullanılırken, daha büyük İHA'larda fırçasız motor kullanmak daha uygundur.

Güç Dağıtımı: Bir İHA'da kullanılan pek çok farklı cihazı çalıştırmak için, pilin bölünmesi gerekir; burada güç dağıtımının (devre kartı veya kablo) devreye girmesi gerekir. Güç devresi; pilin, pozitif ve negatif terminallerini alır ve diğer cihazların (aynı voltajda çalışan) güç alabileceği farklı terminal / bağlantı noktaları sağlar.

Pervane: Pervaneler itme kuvveti sağlar.

Prop Flanşı: Pervaneyi motora bağlamak için kullanılan bir cihaz.

Prop Saver: Kaza durumunda, pervaneyi kurtarır.

Servo: Doğru sinyali sağladığı, belirli bir açısal konuma hareket edebilen, bir tür aktüatördür.

İtme, İtki: belirli bir motorun ve pervanesinin (belirli bir voltajda) sağlayabileceği kuvvettir. Genellikle kilogram (Kg) veya pound (Lbs) cinsinden ölçülür.

Kontrol İstasyonu: Elde taşınan verici yerine ya da ek olarak, bir İHA kontrol etmek için kullanılan gerekli bileşenleri barındıran, entegre bir istasyon kullanılır. Verici, anten, video alıcısı, monitör, pil, bilgisayar ve diğer cihazları içerebilir.

Kanal: Bir vericideki kanal sayısı, ayrı ayrı gönderebileceği sinyaller sayısı ile ilgilidir.

Uçuş Kontrolü: İHA'nın beyni olarak düşünülmüş ve tüm veri işlemeyi, hesaplamaları ve sinyalleri işlemektedir. Uçuş kontrolörünün çekirdeği, programlanabilir bir mikro denetleyicidir. Uçak denetleyicisi, bir ivmeölçer, jiroskop, barometre, pusula, GPS vb. de dahil olmak üzere birden fazla sensöre sahip olabilir. Uçuş denetleyicisi uçakları tek başına kontrol edebiliyorsa (örneğin, belirli GPS koordinatlarına gitmek için) bir "oto pilot" olarak kabul edilir.

Kablo Ağı: Alıcıyı uçuş kumandasına (ya da diğer cihazlara) bağlayan kablo demetine denilmektedir.

Alıcı: Kablosuz olarak alınan bilgileri işleyen cihazdır.

Kod: İHA'nın uçuş kontrol cihazına yüklenen programdır.

Verici/Radyo: Alıcıya kablosuz olarak kontrol sinyali (sinyalleri) üreten cihazdır.

Anten: Antenler İHA'ya sinyal alır veya gönderir. Yönlü ve çok yönlü olarak farklı türleri vardır. En güçlü sinyal tek yönlüde gönderilir.

Pusula: Manyetik bir pusula, yönünüzü (kuzey / güney / doğu / batı) ayarlayabilir.

Pitch: "Yükselme", burnun zemine göre kuyruk açısıdır, diğer bir deyişle uçağın bir kanadından diğer kanada dönüşüdür.

Roll: Uçağın ekseninden başlayarak burnuna kadar olan rotasyonudur.

Yaw: "Yalpa vurmak", bir uçağın, burun / kuyruk ve kanat uçları arasında oluşan düzleme dik (90 derece) bir eksen etrafında dönmesidir.