

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

SABİT KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI

BİTİRME PROJESİ

313474 Muhammed Safa KARATAŞ

322254 Osman KEFELİOĞLU

HAZİRAN 2021

TRABZON

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

SABİT KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI

313474 Muhammed Safa KARATAŞ

322254 Osman KEFELİOĞLU

Danışman/lar: Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL

Bölüm Başkanı: Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU

HAZİRAN 2021
TRABZON

ÖNSÖZ

Günümüzde gelişen teknoloji ve yazılımla birlikte yaygınlaşan ve talep gören insansız hava araçlarını lisans seviyesinde aldığımız teorik bilgileri pratiğe dönüştürmemize ve gelecekte İHA sistemlerine ilişkin tasarım ve üretim alanlarındaki gelişmelere yardımcı olmak amacıyla bir kaynak oluşturulması hedeflenmiştir.

Mühendislik Tasarımı çalışmamızın yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini bizlerden esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığımız Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Teorisi ve Dinamiği Anabilim Dalı Başkanı değerli hocamız Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL'e saygı ve teşekkürlerimizi sunarız.

Muhammed Safa KARATAŞ
Osman KEFELİOĞLU

TRABZON 2021

ÖZET

SABİT KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI

Günümüzde insansız hava araçları gelişen teknoloji ve havacılığa olan ilgiyle birlikte günden güne rağbet görmektedir. Askeri ve sivil alanda insansız hava araçlarına olan ihtiyaç ve talebin artmasıyla bu sektör hızlı bir ivme kazanmıştır. Ülkemizde son zamanlarda yoğun bir şekilde insansız hava araçlarının üretim ve geliştirilmesine yönelik faaliyetler yürütülmektedir. Kamu ve özel sektör tarafından yürütülen bu çalışmalarda da yaygın olarak sabit kanatlı ve döner kanatlı insansız hava aracı tasarımları gerçekleştirilmektedir. Gelişen elektronik ve yazılım teknolojisi sayesinde gözetleme, keşif, saldırı ya da lojistik yükler taşımada yaygın olarak kullanılmaya başlanmış olan insansız hava araçları, birçok yönden avantajlı durumdadır. Bu avantajlı durum sayesinde insanlı uçakların yerini almaya başlamıştır. Çünkü insansız hava araçları herhangi bir görevde insan kaybı riski içermemesi ve uzun saatler uçuş imkanına sahip olmalarıyla birlikte oldukça da ekonomiktir. Bu çalışmada keşif, gözetleme ve bilgi aktarımı sağlayan mini sabit kanatlı insansız hava aracının tasarımı ve ön mühendislik hesaplamaları yapılmıştır. Tasarımın basit, kolay bakım ve tamir görebilen aynı zamanda da darbelere dayanıklı bir yapıya sahip olması düşünülmüş, optimum koşullarda maksimum verimi almak hedeflenmiştir. Tasarımda kanat ve gövde gibi yapıların aerodinamik analizler yapılmış ve bu süreçte çeşitli paket programlarda kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mini, Sabit kanatlı, İnsansız hava aracı, Taşınabilir, Aerodinamik

SUMMARY

FIXED-WING UNMANNED AERIAL VEHICLE DESIGN

Today, unmanned aerial vehicles are in demand day by day with the developing technology and interest in aviation. With the increasing need and demand for unmanned aerial vehicles in military and civil fields, this sector has gained a rapid development. In our country, activities for the production and development of unmanned aerial vehicles have been intensively carried out recently. Fixed-wing and rotary-wing unmanned aerial vehicles are widely used in these studies carried out by the public and private sectors. Unmanned aerial vehicles, which are widely used for surveillance, reconnaissance, attack or logistic loads, are advantageous in many ways thanks to the developing electronics and software technology. Thanks to this advantageous situation, it has started to replace manned aircraft. Because unmanned aerial vehicles are very economical as they do not contain the risk of human loss in any mission and have the opportunity to fly for long hours. In this study, the design and preliminary engineering calculations of the mini fixed wing unmanned aerial vehicle, which provides reconnaissance, surveillance and information transfer, have been made. It is considered to be simple in design, easy to maintain and repair, and at the same time resistant to impacts, and it is aimed to obtain the best efficiency in optimum conditions. Aerodynamic analysis of structures such as wing and body was made in the design and used in various package programs in this process.

Keywords: Mini, Fixed wing, Unmanned aerial vehicle, Portable, Aerodynamic

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	1
ÖZET	2
SUMMARY	3
İÇİNDEKİLER	4
TABLolar DİZİNİ.....Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
SEMBOLLER DİZİNİ.....	7
1. AMAÇ VE KAPSAM	9
1.1. Giriş.....	9
1.1.1. İnsansız Hava Aracı Nedir?	9
1.1.2. İnsansız Hava Aracı Tarihçesi.....	10
1.1.3. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması.....	14
1.1.4. İnsansız Hava Araçlarında Kullanılan Malzemeler	16
1.1.5. İnsansız Hava Araçlarının Avantajları.....	17
1.1.6. İnsansız Hava Araçlarının Dezavantajları.....	18
1.2. Literatür Taraması	19
1.2.1. Türkiye'nin İHA ve SİHA Süreci.....	20
1.3. Kısıtlar ve Koşullar.....	24
2. HAFTALIK ÇALIŞMA PROGRAMI.....	25
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	25
3.1. Hesaplamalar	25
3.1.1. Kanat Yapısının Aerodinamik Olarak İncelenmesi.....	25
3.1.1.1. Uçağa Etkiyen Kuvvetler	26
3.1.1.1.1. Aerodinamik Kuvvet ve Moment Katsayıları	28
3.1.1.1.2 Profil Geometrik Özellikleri	29
3.1.1.1.2.2 Maksimum Kalınlık Noktası Konumu.....	30

3.1.1.2.3 Kamburluk Oranı	30
3.1.1.2.4. Referans Kanat Geometrik Özellikleri	31
3.1.1.2.5. Açıklık Oranı	32
3.1.1.2.6. Sivrilme Oranı	32
3.1.1.2.7. Ortalama Aerodinamik Veter	32
3.1.1.2.8. Profil Taşıma Katsayısının Hücüm Açısı ile Değişim	33
3.1.1.2.9. Profil Sürüklenme Katsayısının Hücüm Açısı ile Değişimi	35
3.1.2 Aerodinamik Hesaplamalar	36
3.1.2.1. Ortalama Aerodinamik Veter	38
3.1.2.2. Maximum Kalınlık	38
3.1.2.3. Ok Açısı	39
3.1.2.4. İtke Kuvveti	39
3.1.2.5. Reynolds Sayısı	40
3.2. Yapılan Tasarım Çalışmaları	40
3.2.1. Kanat Profili Tasarımı	40
3.2.2. Kanadın Geometrik Tasarımı	41
3.2.3. Gövde ve Kuyruk Tasarımı	42
4. BULGULAR	42
4.1. Güç ve İtke Sistemi	43
4.1.1. İtke Sisteminin Bileşenleri	43
4.1.1.1. Pervane	43
4.1.1.2. Fırçasız DC Motor	44
4.1.1.3. Elektronik Hız Kontrol Ünitesi (ESC)	46
4.1.1.4. LiPo Batarya	47
4.1.1.5. Dijital Kontrol Sistemi	49
4.1.1.6. Servo Motor	50
4.1.1.7. Görüntüleme Sistemi	51

5. TARTIŞMA	52
6. SONUÇLAR	52
7. ÖNERİLER	53
8.KAYNAKLAR	54
9.EKLER	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL 1.....	2
ŞEKİL 2	3
ŞEKİL 3.....	4
ŞEKİL 4.....	5
ŞEKİL 5	6
ŞEKİL 6	7
ŞEKİL 7	8
ŞEKİL 8	13
ŞEKİL 9	14
ŞEKİL 10	15
ŞEKİL 11	16
ŞEKİL 12	18
ŞEKİL 13	18
ŞEKİL 14	19
ŞEKİL 15	20
ŞEKİL 16	21
ŞEKİL 17	23
ŞEKİL 18	23
ŞEKİL 19	25
ŞEKİL 20	26
ŞEKİL 21	27
ŞEKİL 22	28
ŞEKİL 23	30
ŞEKİL 24	33
ŞEKİL 25	34
ŞEKİL 26	35
ŞEKİL 27	37
ŞEKİL 28	37
ŞEKİL 29	38
ŞEKİL 30	40
ŞEKİL 31	41
ŞEKİL 32	43

ŞEKİL 33	44
ŞEKİL 34	45

SEMBOLLER DİZİNİ

- AR: Açıklık oranı
c: Veter uzunluğu
CD: Sürüklenme katsayısı
CL: Taşıma katsayısı
CM: Moment katsayısı
Cr: Kök veter
Ct: Uç veter
D: Sürüklenme
L: Taşıma
m: Kütle
Re: Reynolds sayısı
S: Kanat alanı
T: İtke
 V_{∞} : Havanın hızı
W: Ağırlık
 ρ_{∞} : Uçuş şartlarında havanın yoğunluğu (kg/m³)
 q_{∞} : Dinamik basınç
 δ : Kalınlık Oranı
 $x\delta$: Maksimum kalınlık noktası
 γ : kamburluk oranı
 e_{max} : maksimum kalınlık
 λ : Sivrilme oranı
Y: ortalama aerodinamik veterin konumu
C: Ortalama aerodinamik veter uzunluğu
 α : Hücüm açısı

1. AMAÇ VE KAPSAM

Günümüzde birçok görevi insan faktörü olmadan otonom bir şekilde yerine getirebilen insansız hava araçları, sürekli gelişen teknoloji ile birlikte sektörde önemli bir yer almıştır. Arama kurtarma, faydalı yük taşıma, belirli bir alanda görüş kontrolü, askeri ve sivil havacılık gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmakta olan İHA'ların aynı gün geçtikçe kullanım alanları da genişlemektedir. Çoğunlukla askeri alanda faaliyet gösteren insansız hava araçlarından, hafiflik, havadaki uçuş süresi, görüntü aktarımı, zor tespit edilebilirlik, seyir halinde dengeli uçuş gibi özellikler beklenmektedir.

Bu çalışmada sabit kanatlı bir insansız hava aracının gerekli manevra kabiliyetine sahip olup kararlı uçuşu amaçlanmaktadır. Bu husus doğrultusunda istenilen rotayı izlemesi, görüntü aktarabilmesi ve gerekli mühimmat veya yükün taşınıp istenilen konuma bırakılabilmesi hedeflenmektedir. Çalışmada İHA tasarımında karşılaşılabilecek aerodinamik kuvvetler, problemler ve problemlerin hesapları araştırılmış, gerekli hesaplamalar yapılarak aerodinamik problemler çözüme ulaştırılmıştır.

1.1. Giriş

1.1.1. İnsansız Hava Aracı Nedir?

İnsansız Hava Aracı (İHA); içinde pilotu ve yolcusu olmayan, sadece amaca uygun ekipman (video kamera, fotoğraf makinesi, GNSS, lazer tarama cihazı, vb.) taşıyan, uzaktan kumandalı ve/veya otomatik olarak görevini icra edebilen bir çeşit uçaktır (Şekil 1.1). İHA'ların askeri, sivil (hobi ve ticari) ve bilimsel amaçlı profesyonel kullanımları ülkemizde ve tüm dünyada hızla artmakta, bu nedenle önümüzdeki yıllarda bu konunun daha fazla gündem oluşturacağı değerlendirilmektedir. Gün geçtikçe artan bu yoğun kullanımın temel nedenleri olarak; özellikle sivil amaçlı İHA'ların çok geniş kullanım alanlarının olması, birçok mesleki kullanımlarda yüksek doğruluk, zaman ve maliyet tasarrufu sağlaması sayılabilir. [1]

İnsansız hava araçları ilk başlarda keşif amaçlı üretilmiş olsalar da günümüzde birçok saldırı görevinde, lojistikte, sivil ve ticari amaçlarda, son zamanlarda ise yangın

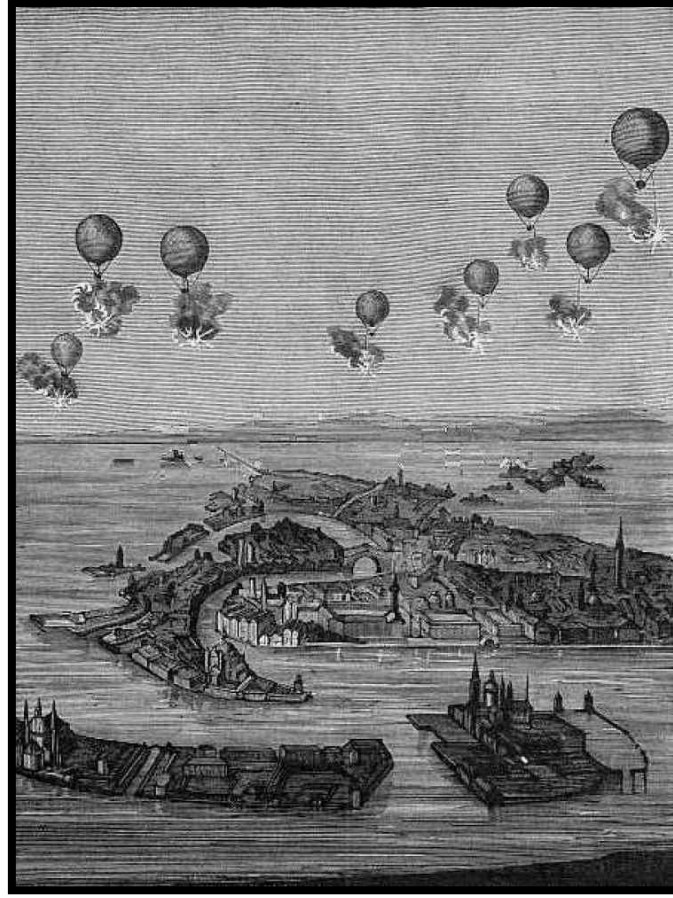
söndürme amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Çok farklı şekil, ebat, konfigürasyon ve karakterde insansız hava araçları üretilmektedir. Tarihsel olarak bakıldığında basitçe İHA'lar birer "drone" dur. Ancak bağımsız kumanda sistemleri çok geliştirilmiştir. [2]



Şekil 1. Bayraktar TB2 insansız hava aracı

1.1.2. İnsansız Hava Aracı Tarihçesi

Uzaktan kumandalı hava araçlarının tarihsel geçmişi oldukça eskiye dayanmaktadır. Tarih kayıtlarında bilinen ilk insansız hava aracı 22 Ağustos 1849'da Avusturyalıların İtalya'nın Venedik şehrine saldırırken kullandıkları, içinde zaman fitili bulunan yaklaşık 15 kilogram patlayıcı yüklü 200 adet pilotsuz balonlardır. Volcano adlı Avusturya gemisinden gökyüzüne bırakılan bu balonların bir kısmı belirlenen hedefler üzerinde patlarken bir kısmı rüzgârın etkisiyle geri dönüp Avusturya hatlarında patladığı bilinmektedir (Şekil 1.2). 1793 yıllarında Amerika'da insansız bu balonlar iç savaşta sadece keşif amaçlı olarak kullanılmışlardır. 1898 yılında, İspanyol-Amerikan savaşı sırasında, ABD ordusu bir uçurtmaya kamera bağlayarak ilk havadan gözlem fotoğraflarını elde etmiştir.

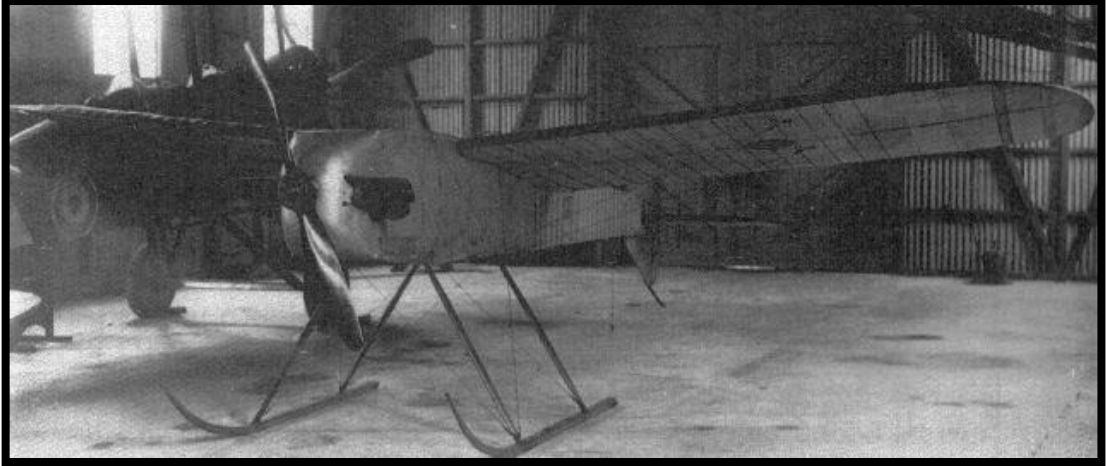


Şekil 2. Venedik balon saldırısı 1849

Birinci Dünya Savaşı sırasında, insansız havacılık teknolojisi gelişme eksikliğinden otomatik stabilizasyon, uzaktan kumanda ve otonom sürüş sorunları yaşıyordu. Elmer Ambrose Sperry, tüm bu sorunları uygulanabilir bir insansız uçakta çözen ilk kişiydi. Elmer Sperry, denizcilik uygulamaları için jiroskoplarla bazı başarılı deneyimler gerçekleştirdi, bu da onu 1909'da bir uçak için çok ağır ve vasat bir performansa sahip bir cayrostabilizer geliştirmesine yol açtı. Havacılığın öncüsü Glenn Hammond Curtiss tarafından desteklenerek, 1911'de tekrar test edilen buluşunu geliştirdi. Sistem çok daha küçüktü ve servo motorlar aracılığıyla uçağı üç ekseninde kontrol etmesine imkân sağlıyordu.

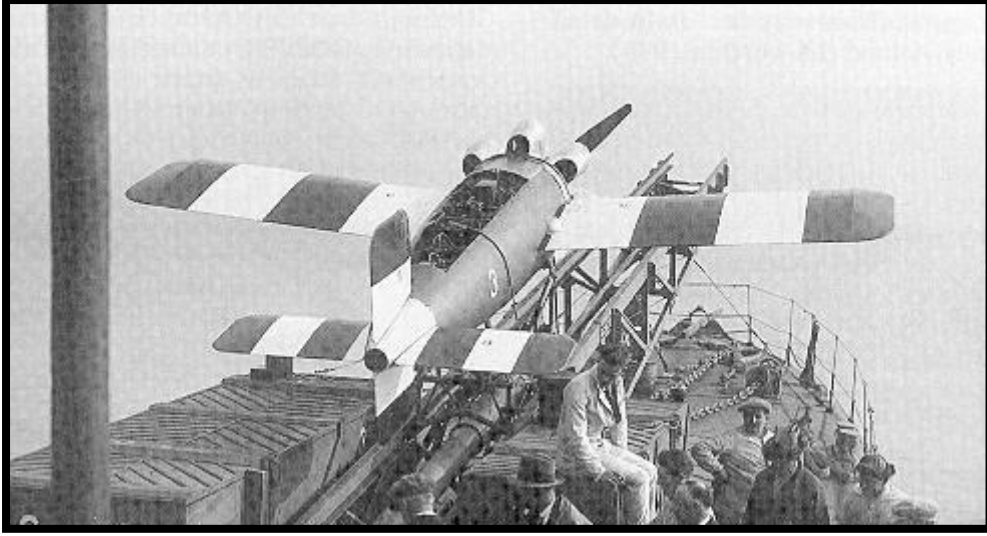
İnsansız ilk uçak ise Birinci Dünya Savaşı'nın sonlarında Archibald Montgomery Low'un radyo kontrol teknikleri ile 1916 yılında geliştirilen Ruston Proctor Aerial Target isimli uçağıdır (Şekil 1.3). Geliştirilmesine devam edilseydi, bu araç Almanya'nın şehirleri bombalamak için kullandığı zeplinlere karşı kullanılacaktı.

İlk insansız kullanımı ise “uçan bombalar” olarak bilinen “Hewitt-Sperry” jiroskop kontrollü otomatik uçak ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Kasım 1917 tarihinde “otomatik uçan uçak” ABD Silahlı Kuvvetleri'nin resmi uçağı olmuş, ilk uçuşunu 1918 yılında gerçekleştirmiş ancak Birinci Dünya Savaşı'nda kullanımını mümkün olmamıştır.



Şekil 3. Ruston Proctor Aerial Target

Birçok insansız hava aracı çalışması oldu ancak bu cihazların hiçbiri Birinci Dünya Savaşı'nın bitiminden önce askeri amaçla kullanılmak üzere başarılı bir şekilde geliştirilemedi. Bununla birlikte, yeni bir teknoloji çağının başlangıcını işaret ediyorlardı, ancak rehberlik sistemleri kaba ve güvenilmezdi. 1920'lerde İngiltere silahlı kuvvetlerinin insansız sistemlere olan ilgisi, özellikle Kraliyet Donanması tarafından yeniden canlandırıldı. Böylece, 480 km mesafede uçabilen 114 kg savaş yükü taşıyabilen tek kanatlı bir uçak geliştirildi. İlk uçuşunu 1927'de yapan Armstrong-Siddeley Lynx 200 hp motorla donatılmış ve LARNYX adını almıştır (Şekil 1.4). Bu uçak, uçuşun ilk anları için radyo kontrollü bir sisteme sahipti, ancak daha sonra belirli bir uçuş planını izledi. Larynx bir seyir füzesi olarak tasarlanmıştı. Seyir füzeleri insansız hava araçlarıyla birçok benzerlik gösterse de tek kullanımlıktı.



Şekil 4.Larnyx

Birleşik Krallık, seyir füzelerinin geliştirilmesini bırakmaya karar verdi ve sınırlı kapsamına rağmen tam radyo kontrolü ile hava araçları alanına yöneldi. Bu amaçla, bir Fairey modeli üzerinde birkaç test gerçekleştirildi ve 1934 ile 1943 arasında, donanma ve ordu tarafından kullanılması amaçlanan " Queen-bee " adı verilen radyo kontrollü bir model inşa edildi. [6]

İHA'larla ilgili çalışmalar İkinci Dünya Savaşı ve sonrasında da devam etmiştir. Vietnam, Afganistan ve Irak Savaşları dahil günümüze kadar birçok askeri operasyonda kullanılmış ve günümüzde de yaygın bir biçimde kullanılmaya devam etmektedir. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonraki yoğun çalışmalar "Cruise", "Harpoon" ve "Tomahawk" gibi füzelerin geliştirilmesinde katkı sağlamıştır. Askeri amaçlı İHA pazarı hızla gelişmiş ve son yıllardaki birçok anlaşmazlıklarda İHA kullanımı çok başarılı sonuçlar vermiş ve diğer alanlarda kullanımlar için de güven kazanmıştır. Bunun sonucu olarak, sivil amaçlı uygulamalarda İHA kullanımı günlük yaşantımıza girmiştir ve bu alandaki gelişmeler her geçen gün artmaktadır. İHA'lar haritacılık arama-kurtarma faaliyetleri, istihbarat ve güvenlik amaçlı kullanım, çevresel gözlemler, kirlilik tespiti, hava durumu izleme, yangın izleme, kıyı ve sahil şeridinin gözlenmesi, altyapıların gözlenmesi, tarımsal uygulamalar, havadan suç mahalli keşfi, kentsel dönüşüm çalışmaları, doğal afetlerin izlenmesi, arkeolojik çalışmalar, 3 boyutlu şehir modellerinin oluşturulması gibi pek çok alanda yapılan çalışmalara kolaylık sağlamaktadır.

1.1.3. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması

- 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 (Şekil 1.5)
- Çatışma – yüksek riskli görevlerde kullanılan saldırı kapasitesine sahip araçlar (Şekil 1.6)
- 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



Şekil 5. Keşif amaçlı mini İHA



Şekil 6. Akıncı taarruz İHA

Bunun yanında İHA'lar uçuş menzil ve irtifalarına göre de sınıflandırılabilirler;

- Elle taşınabilen (Handheld) 600 metre irtifa ve ortalama 2 km menzil
- Close 1500 metre irtifa ve ortalama 10 km menzil
- NATO tipi 3000 metre irtifa ve ortalama 50 km menzil
- Taktiksel 5500 metre irtifa ve ortalama 160 km menzil
- MALE (medium altitude, long endurance) 9000 metre irtifa ve ortalama 200 km havada kalış
- HALE (high altitude, long endurance) 9000 metre irtifa ve belli olmayan havada kalış
- HYPersonic yüksek hızlı (süpersonik (Mach 1-5) veya hipersonik (Mach 5+) hızında) 15000 metre veya yörünge altı irtifa ve ortalama 200 km menzil
- ORBITAL alçak dünya yörüngesinde (Mach 25+)
- CIS Lunar Dünya-Ay uçuşu [8]

1.1.4. İnsansız Hava Araçlarında Kullanılan Malzemeler

İnsansız hava araçları için hem hafiflik hem de uçuş stabilizesi olmazsa olmaz özelliklerdir. İHA'ların şasisinin tasarımında genellikle hafif olmasından dolayı kompozit malzemeler kullanılmasına rağmen başta magnezyum ve alüminyum alaşımları olmak üzere hafif metallerin kullanımı da artmaktadır. Hatta ağırlıktan ziyade işlevselliğin önemli olduğu durumlarda çelikler, süper alaşımlar vb. malzemelerden de İHA'ların şasi kısmındaki parçalar imal edilebilir. Alüminyum kullanılmasının en önemli avantajları dayanım ve uçuş stabilizesidir. Aracın, elektronik bileşenlerinin yer aldığı gövdenin titreşimden daha az etkilenmesi adına, bu bölgenin ana malzemesinin karbon fiber (Şekil 1.7), plastik vb. gibi malzemelerden olması istenmektedir.



Şekil 7.Karbon fiber

Kompozit malzemeler, farklı fiziksel veya kimyasal özelliklere sahip iki (bir matris veya bir bağlayıcı ve bir güçlendirici) veya daha fazla bileşenlerden yapılmış malzemelerdir. Bu malzemeler bir araya getirildiğinde, yeni malzeme bireysel bileşenlerden farklı özelliklere sahiptir. Buradaki amaç, birinin diğerinin avantajlarıyla birlikte dezavantajlarına karşı koymaktır. İnsansız hava araçlarda, fonksiyonel mühendislik hedefi en temel olarak, iletişim/sensör frekanslarına şeffaflık, üretim/bakım maliyeti ve dayanıklılık gibi diğer

faktörlere karşı dengelenmiş en az ağırlık için mümkün olan en iyi mekanik özellikleri elde etmektir. Bu hedeflere ulaşmak için kompozitlerin kullanımı, çoğu zaman üstün özel özellikler sağladığı için doğal bir çözümdür. Yani, malzemenin birim ağırlığı başına mukavemeti veya sertliği kompozit olmayanlar ile karşılaştırıldığında daha iyidir. Bununla birlikte, kompozitlerle çalışırken göz önünde bulundurulması gereken en önemli özelliklerden biri, mukavemet gibi mekanik özelliklerinin genellikle uygulanan yükün yönüne bağlı olmasıdır. İnsansız araçlarda kullanılan kompozitler iki ana gruba ayrılabilir. Metal matriks kompozitleri (MMC'ler) veya polimer matriks kompozitleri (PMC'ler). Bunlar daha sonra genellikle daha kırılğan fakat çok daha güçlü ve daha sert olan başka bir malzemenin lifleri veya parçacıkları ile takviye edilirler. Bu tür bir kombinasyonda, takviye malzemesi yüklemeyi taşır, yumuşak matris ise lifleri korumaya ve yükü etkin bir şekilde transfer etmenin yanı sıra gerekli geometriyi tutmaya yarar. PMC'ler, mukavemet ağırlık özelliklerine ve belki de MMC'lerden daha kolay üretimlerine dayanarak, insansız sistemlerde daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

İnsansız Hava Araçlarında tercih edilen alüminyum ve magnezyum alaşımı gibi hafif metallerin tokluğunun ve ağırlığı sayesinde tasarım açısından yüksek mukavemetli, kuvvetli hava şartlarına karşı dirençli ve istikrarlı bir İHA üretilebilir. Kullanılan bu hafif metallerin kullanımı sayesinde İHA'nın alıcı ile verici arasındaki radyo frekans sisteminde parazite sebep olunmasının önüne geçilebilmektedir. İHA'lar motor, pervane ve ortam şartlarının etkisi sonucu titreşim hareketleri meydana gelmektedir. Magnezyum alaşımlı hafif metal malzemeler çok yüksek sönümlenme kapasitesine sahip olduklarından titreşimi engellerler. Bu nedenle kompozit malzemeler İHA yapımında metallere göre daha hafif ve avantajlı özellikler içerdiğinden daha çok tercih edilirler. [10, 11]

1.1.5. İnsansız Hava Araçlarının Avantajları

İHA sistemlerinin en büyük avantajları arasında havada pilot/operatör kullanılmadığından insan hatasından kaynaklanan hataların olmaması, personel kaybı riskinin yokluğu ve havada uzun süre kalmalarıdır. Unutmamak gerekir ki 'insansız' deyimi havada pilot/operatör kullanılmamasından kaynaklanmaktadır, bir sistem olarak ele alındığında İHA sistemleri aslında; yer kontrol istasyonunda sistemi kontrol eden operatörler, gerçek zamanlı görüntü kıymetlendirmesi yapan uzmanlar ve diğer yardımcı personel göz önüne alındığında aslında insan ve dolayısıyla insan hatası faktörünün kullanımlarında etkin rol oynadığı sistemlerdir. Bu husus, keşif, gözetleme ve istihbarat amaçlı kullanılan İHA sistemlerinden

çok, bul ve yok et şeklinde görev yapan silahlandırılmış insansız hava aracı kullanımında önemlidir.

İHA'ların avantajlarını sıralamak gerekirse en belirgin özellikleri şöyledir:

- Üretim ve satın alma maliyetleri pilotlu uçaklara göre çok düşüktür.
- Yakıt ve uçuş maliyetleri düşüktür.
- Görev sırasında can kaybı riski bulunmamaktadır.
- Tecrübeli eleman ihtiyacı pilot yetiştirme maliyetine göre daha düşüktür.
- Çeşitli donanımlarla birlikte gece-gündüz hizmet vermektedirler.
- Hız, basınç ve hava şartları gibi etkenlerden daha az etkilenmektedirler.
- 48 saate kadar havada kalabilmektedirler ve bu süre gün geçtikçe daha da artmaktadır.
- Takım halinde uçarak koordineli bir şekilde hareket edebilmekte ve daha fazla alanı kısa sürede tarayabilmektedir.
- Alçak irtifalarda ve düşük süratlerde emniyetli olarak uçabilirler.
- Uçulan kilometre başına yaydıkları CO daha azdır.
- Sessiz çalışırlar.
- Bir yerden bir yere nakledilmeleri diğer hava araçlarına nazaran daha kolaydır. [12]

Kısaca İHA sistemlerinin sunduğu operasyonel kullanım avantajları olarak; istihbarat, gözlem ve keşif maksatlı yapılan uçuş görevleri ile çeşitli muharebe görevlerini pilotlu uçuş görevlerine nazaran çok daha emniyetli bir şekilde yerine getirebilmeleri ifade edilebilir.

1.1.6. İnsansız Hava Araçlarının Dezavantajları

Sıralanan birçok avantajlarına rağmen İHA sistemlerinin kullanımında bazı sınırlamalar bulunmaktadır. Öncelikle, günümüz karmaşık muharebe ortamında, İHA sistemlerinin muharebe sahasında değişen durumlara süratle uyum sağlamasını sağlayacak sınırsız programlanabilme özellikleri yoktur. Bunun anlamı, bir kez fırlatıldıktan sonra, muharebe sahasında her an ortaya çıkabilecek yeni ve imha edilmesi dost kuvvetlere çok daha fazla yarar sağlayacak bir hedefi imha edebilmeleri söz konusu değildir. Aynı şekilde, bir kez programlanıp fırlatıldıktan sonra düşman hava savunma sistemlerinden kaçınmak maksadıyla yönlerini değiştirebilmeleri de mümkün değildir.

İHA sistemleri tipik hava araçlarına oranla daha küçük ve hafif olduklarından faydalı yük kapasiteleri daha azdır. Bununla beraber faydalı yük-toplam ağırlık oranları insanlı hava araçlarına oranla daha yüksektir.

İHA sistemleri belirli askerî görevleri yerine getirmek maksadıyla tasarlanmışlardır ve modern çok maksatlı muharebe hava araçları kadar değişen durumlara adaptasyon kabiliyetleri yoktur.

Yer kontrol istasyonu ile irtibat kesildiğinde İHA sistemleri kaybolabilirler. Unutmamak gerekir ki teknolojik gelişmeler sıralanan dezavantajların birçoğunu ortadan kaldırmıştır, mevcut sınırlama ve yetersizlikler de gelecekte İHA sistemlerini geliştirmek maksadıyla yürütülen çalışmalar ile teknolojinin de sağladığı avantajlarla ortadan kaldırılacaktır. [13, 14]

1.2. Literatür Taraması

İnsansız teknolojilerin kullanımının yaygınlaşmasının altında gelişen teknolojinin sağladığı imkânla birlikte bazı maliyetli ya da sorunlu kalemleri aşabilmenin getirisi bulunmaktadır. Uzaktan kumanda edilebilen veya bir uçuş planı boyunca otomatik olarak hareket eden hava aracı İHA, birçok alanda aktif olarak kullanılmaya başlandı. Türkiye ise bu İHA'ları üreten 8 ülke arasında yer alıyor.

İnsansız uçakların otonom ya da bir yer istasyonu aracılığıyla kontrol edilebiliyor olması insanlı uçakların idamesi için gerekli yaşamsal sistemler ve kokpit için gerekli yer ve mürettebatın getirdiği ağırlık yükü gibi maliyet kalemleri, insanlı uçakların manevra ve operasyon kabiliyetinin insan kabiliyetleriyle sınırlanması (yorgunluk / çalışma saati, G kuvveti vb.) gibi operasyonel kabiliyetle ilgili kalemler, düşman tarafından fark edilme ya da vurulabilme olasılığının düşük olması üstünlük kalemleri (ilk olarak İsraililerin geliştirdiği Scout ile birlikte İHA'ların bu yönüyle operasyonel vazgeçilmezliği ispatlanmıştır.) İHA'ları daha tercih edilir kılmaktadır.

Daha da önemlisi, insansız hava araçlarının zayıf maliyetidir. Tüm dünya ordularında yetiştirilmesi en maliyetli personel gruplarından birisi pilotlardır. Bir pilotun yetişmesi çok büyük maliyetlere karşılık gelir. Bu sebeple hava aracıyla zayıfıyla birlikte yetişmiş personelin de zayıf olması ordular için hem maddi hem de kabiliyet olarak büyük kayıptır. Başka bir ifadeyle, askeri amaçlı İHA pazarı hızla gelişmiş ve son yıllardaki birçok anlaşmazlıklarda İHA

kullanımı çok başarılı sonuçlar vermiş ve diğer alanlarda kullanımlar için de güven kazanmıştır. İnsansız Hava Araçları, zayıf maliyetinin düşük olması açısından da orduları cezbetmektedir. İHA'lar tarihte birçok kez düşman hava savunma unsurlarının oyalanmasında, asıl taarruz unsurlarının ateş hattını geçebilmesi için yem olarak kullanılmasında çok büyük rol oynamışlardır. [15]

Bunu yanında sivil amaçlı uygulamalarda İHA kullanımı günlük yaşantımıza girmiştir ve bu alandaki gelişmeler her geçen gün artmaktadır. İHA'ların sivil amaçlı kullanım alanlarına örnek olarak; haritacılık (ortofoto ve sayısal yükseklik modeli oluşturma, hacim ve alan hesapları vb.), arama-kurtarma faaliyetleri, istihbarat ve güvenlik amaçlı kullanım, çevresel gözlemler, kirlilik tespiti, hava durumu izleme, yangın izleme, kıyı ve sahil şeridinin gözlenmesi, altyapıların (boru hatları, uygulamaları ve ürün rekolte takibi), havadan suç mahali keşfi, kentsel dönüşüm çalışmaları, doğal afetlerin izlenmesi, arkeolojik çalışmalar, 3 boyutlu şehir modellerinin oluşturulması, vb. alanlar sayılabilir.

Bu kadar çok kullanım alanı olmasına karşın sivil amaçlı İHA pazarı henüz gelişmesini tamamlamamış havaalanları, yollar, nehirler, barajlar vb.) gözlenmesi, tarımsal uygulamalar (hassas tarım olup, özellikle bununla ilgili sertifikalandırma ve mevzuat konuları ile sivil havacılık hava trafik yönetimindeki yerinin tanımlanarak olgunlaştırılıp, standart hale getirilmesiyle bu alanda çok daha önemli gelişmelerin olacağı açıktır. Örneğin, dünyanın önemli sosyal medya platformlarından birisi olan "Facebook"da kısa bir süre önce dünyadaki internet erişiminin geliştirilebilmesi amacıyla Boeing 737 büyüklüğünde helyum balonları ile fırlatılacak olan İHA üzerinde çalıştıklarını açıklamıştır. Aquila adı verilen İHA'nın test uçuşlarına başlanıldığı haberleri basında yer almıştır.

1.2.1. Türkiye'nin İHA ve SİHA Süreci

Türkiye'nin İHA geliştirme süreci ilk olarak 2004 yılında SSM ve TUSAŞ arasında imzalanan sözleşme ile başladı. Sonrasında büyük bir gelişme olarak 2009 yılında Bayraktar Blok A, ilk otomatik uçuş testini başarıyla tamamladı.



Şekil 8.Yerli İHA Karayel

Anka (Şekil 1.9) ise ilk test uçuşunu 2010 yılında 10 dakika havada kalarak gerçekleştirdi. Silahlı Bayraktar Taktik İHA da ilk başarılı atış testini 2015 yılında yaptı. Türkiye'deki İHA sürecini en güçlü haline getiren gelişme ise 2016 yılında Bayraktar'ın silahlı İHA olarak hizmete girmesi oldu.



Şekil 9.Yerli İHA Anka

Bayraktar TB2'nin (Şekil 1.10) taktik sınıfında yer aldığı, 20 bin feet irtifalarda 150 kilograma kadar faydalı yük taşıyabildiğini ve 24 saate kadar havada kalabildiği ve bu aracın hem keşif gözetleme hem de anlık imha kabiliyetine sahiptir.



Şekil 10.Yerli İHA Bayraktar TB2

Akıncı (Şekil 1.11), savunma sanayisinde elektronik sistemler, radarlar, akıllı mühimmatlar, türbin motorları gibi en ileri ürün ve kabiliyetlerini bünyesinde barındırmaktadır. Akıncı 450 kilogram dahili faydalı yük taşıyabilmekle birlikte Millî Görüş Hattı ve Uydu Haberleşme Sistemi, Milli Elektronik Destek Podu, Milli AESA (Çok Amaçlı Hava Radarı, Sentetik Açıklıklı Radar, Meteoroloji Radarı) Radarı gibi donanımlar bulunmaktadır. [16, 17]



Şekil 11. Yerli SİHA Akıncı

1.3. Kısıtlar ve Koşullar

Bu çalışmada sabit kanatlı bir mini insansız hava aracı tasarımı ve aerodinamik hesapları istenmektedir. Sivil havacılık gereği İHA 1 kategorisine girmemesi için 4 kg geçmemesi gerekmektedir. Mini İHA prototip tasarlanmıştır. Tasarım koşullarında çevresel ve iklim koşulları düşünülerek yapılmıştır. İHA teknolojisinde minimum fiyat ve maksimum performans baz alınarak tasarımlar yapılmıştır. Askeri ve savunma sanayi gibi sektörlerde uzun süre havada kalması buna bağlı olarak istenilen operasyonel görevleri gerekli şekilde yerine getirebilmesi için verimlilik ön planda tutulmuştur.

2. HAFTALIK ÇALIŞMA PROGRAMI

Tablo 2.1 Haftalık Çalışma Tablosu

	Proje seçimi	Literatür araştırması	Model seçimi ve dizayn	Piyasa araştırması ve malzeme	Çizim ve tasarım	Hesaplama ve proje yazımı
1. Hafta						
2. Hafta						
3. Hafta						
4. Hafta						
5. Hafta						
6. Hafta						
7. Hafta						
8. Hafta						
9. Hafta						
10. Hafta						
11. Hafta						
12. Hafta						
13. Hafta						

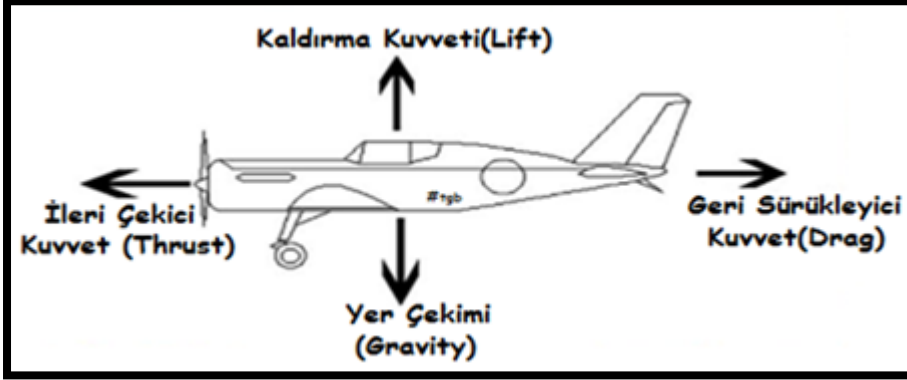
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1. Hesaplamalar

3.1.1. Kanat Yapısının Aerodinamik Olarak İncelenmesi

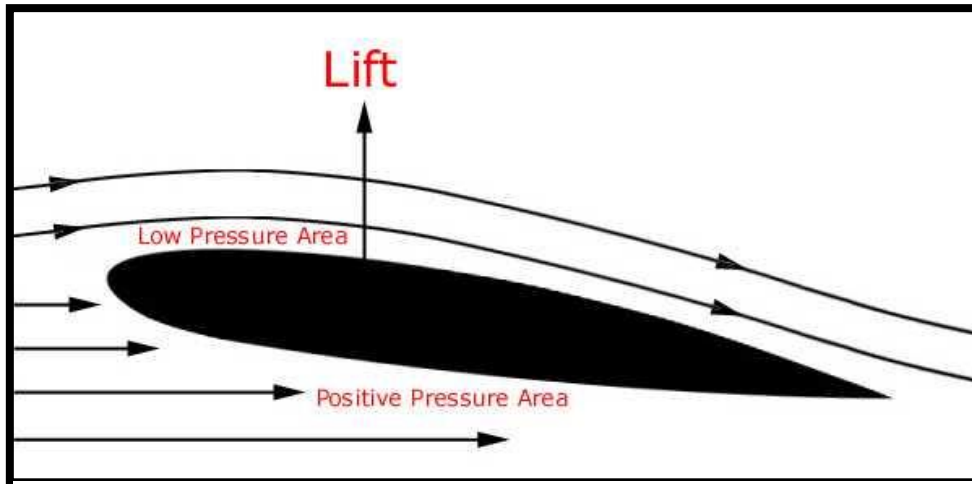
Kanat yapısının aerodinamik yapısını incelemeye başlamadan önce ilk olarak uçağa etki eden kuvvetleri belirlemeliyiz.

3.1.1.1. Uçağa Etkiyen Kuvvetler



Şekil 12.Uçuş esnasında uçağa etki eden kuvvetler

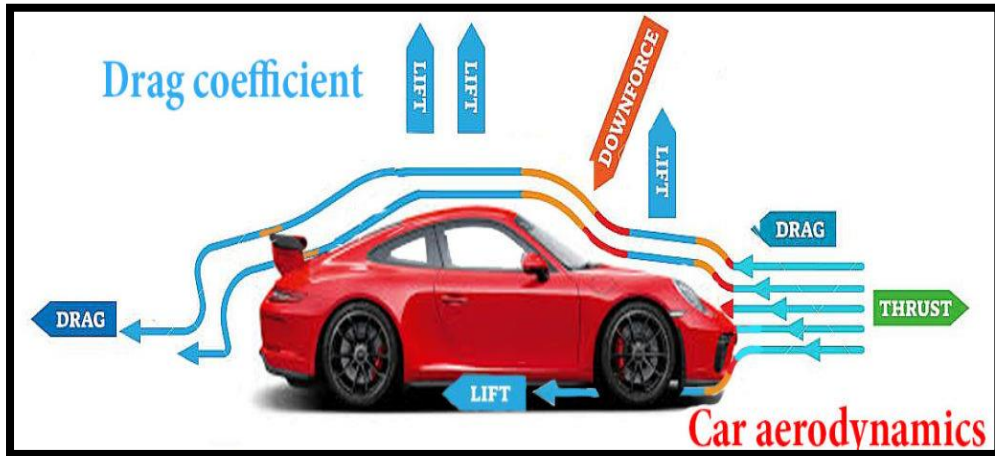
Kaldırma Kuvveti (Lift): Kaldırma Kuvveti, nesnenin hareketine dik açılarda etkiyen aerodinamik kuvvettir ve hareket eden nesne ve akışkanın etkileşimiyle meydana gelir. Bu etkileşim, nesnenin alt ve üst yüzeyleri arasında oluşan bir basınç farkına neden olur. Alttaki yüksek basınç ile üstteki düşük basıncın net etkisi, yerçekimi sebebiyle alçalmaya karşı nesneyi destekleyen bir kuvvet üretecektir



Şekil 13.Lift kuvvetinin gösterilmesi

Sürüklenme Kuvveti (Drag): Sürüklenme Kuvveti, akışkan içinde nesnenin hareketine direnç gösteren aerodinamik kuvvettir. Bu Drag kuvveti, ön/arka basınç farkları, akışkan ve katı yüzey arasında kayma (shearing) ve üç boyutlu dönmenin sebep olduğu artık lift bileşenleri tarafından üretilir.

İtme Kuvveti (Thrust): İtme Kuvveti, hareket doğrultusunda meydana gelen aerodinamik kuvvettir ve sürüklenme Kuvvetini yenmek için ve böylece taşıtın ileriye doğru uçuşunu sürdürmesi için gereklidir. Bu kuvvet, artan akışkan momentumu şeklinde, efektif olarak enerjiyi akışkana transfer eden mekanik araçlarla (bir motor) üretilir. İtme kuvveti, bu akışkanın momentum değişimine ileri doğru reaksiyonudur.

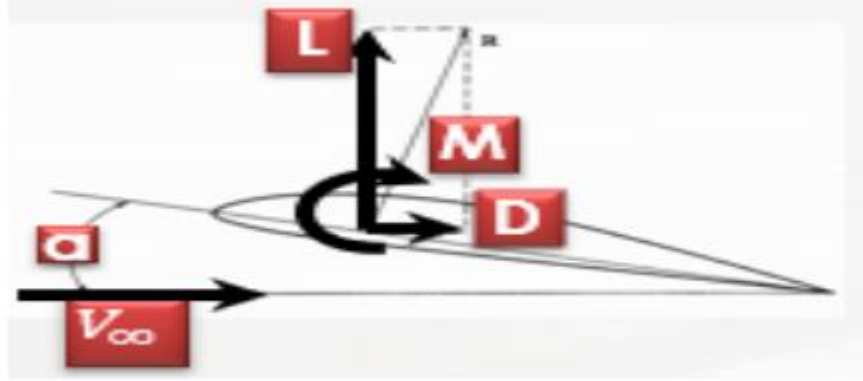


Şekil 14. Drag ve thrust kuvvetleri gösterimi

Ağırlık: Ağırlık, daima dünyanın merkezine doğru yönelmiştir. Ağırlık tüm uçağa dağılır fakat çoğunlukla, onun yerçekimi merkezi adı verilen bir noktaya etkidiği ve orada toplandığı düşünülür. Uçuşta uçak yerçekimi merkezi etrafında döner.

3.1.1.1.1.

Aerodinamik Kuvvet ve Moment Katsayıları



Şekil 15. Profil üzerinde aerodinamik kuvvetlerin gösterimi

$$C_L = \frac{L}{q_\infty * S}$$

$$C_D = \frac{D}{q_\infty * S}$$

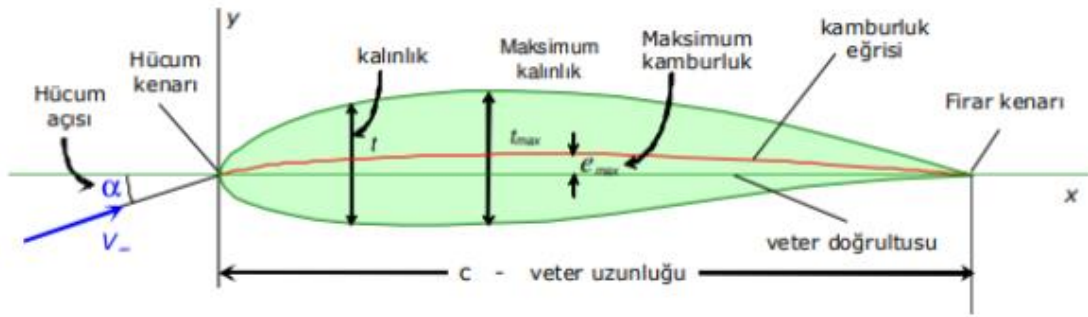
$$C_M = \frac{M}{q_\infty * S}$$

$$\text{Dinamik basınç: } q_\infty = \frac{1}{2} * \rho_\infty * V_\infty^2$$

Aerodinamik katsayılar hücum açısına, geometriye (profil geometrisi, kanat geometrisi, uçak konfigürasyonuna, ıslak alan, vs.), Reynolds sayısına ve Mach sayısına bağlıdır. Fakat Mach sayısı daha çok yüksek hızlı uçuşlarla ilgili olduğundan ihmal edilebilir. Kanat profili

için taşıma ve sürüklenme katsayıları deneysel olarak elde edilebilir ya da bu değerleri yaklaşık olarak hesaplayan yazılımlar kullanılabilir. [19]

3.1.1.2 Profil Geometrik Özellikleri



Şekil 16. Profil geometrik özellikleri

Veter doğrultusu: Hücum kenarı ile fırar kenarını birleştiren doğrudur.

Ortalama kamburluk eğrisi: Profil üst ve alt yüzeyi arasında çizilen kalınlıkların orta noktalarını birleştiren eğri.

Kamburluk: Profil veteri ile ortalama kamburluk eğrisi arasındaki maksimum mesafedir. Vetere dik olarak ölçülür.

Kalınlık: Profil alt ve üst noktaları arasında vetere dik olarak ölçülen mesafe.

$$\delta = \frac{t_{max}}{c}$$

$$\delta < \%10$$

$$\delta \%10-14$$

$$\delta > \%14$$

ince profil

orta profil

kalin profil

Kalınlık oranı maksimum kalınlığın veter boyuna oranıdır. Uçağın hızına bağlı olarak çeşitli kalınlık oranlarına sahip kanat profillerine rastlamak mümkündür. Süpersonik uçaklarda kalınlık oranının %3'e kadar indirildiğini söylemek mümkündür. [19]

Taşıma kaynaklı sürüklenme kalınlık oranı yükseldikçe arttığından dolayı kalınlık oranı seçilebilecek en küçük değer olan %15 olarak seçilmiştir.

3.1.1.2.2 Maksimum Kalınlık Noktası Konumu

Maksimum kalınlık noktasının hücum kenarına uzaklığının veter boyuna oranıdır. Maksimum kalınlık noktasının veter boyunca konumu profilin aerodinamik performansını önemli ölçüde etkilemektedir.

Maksimum kalınlık noktası genellikle veterin %30 ila %60' ı arasında yer alır. Eski bazı profillerde bu değer %25 olduğunu görmek mümkündür. Bazı istisnai durumlarda ise maksimum kalınlık noktası veterin %60' ından daha geride bulunabilir. [19]

$$\bar{x}_s = (x_s - x_{LE}) / c \quad (3.9)$$

3.1.1.2.3 Kamburluk Oranı

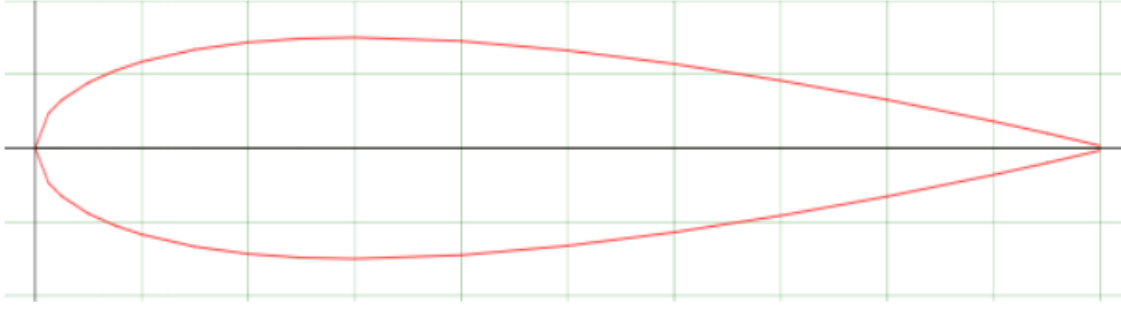
Bir kanat profilinin maksimum kamburluğunun veter uzunluğuna oranı kamburluk oranı olarak adlandırılır.

$$\gamma = \frac{e_{max}}{c}$$

Kamburluk oranı: Maksimum kamburluğun veter boyuna oranı

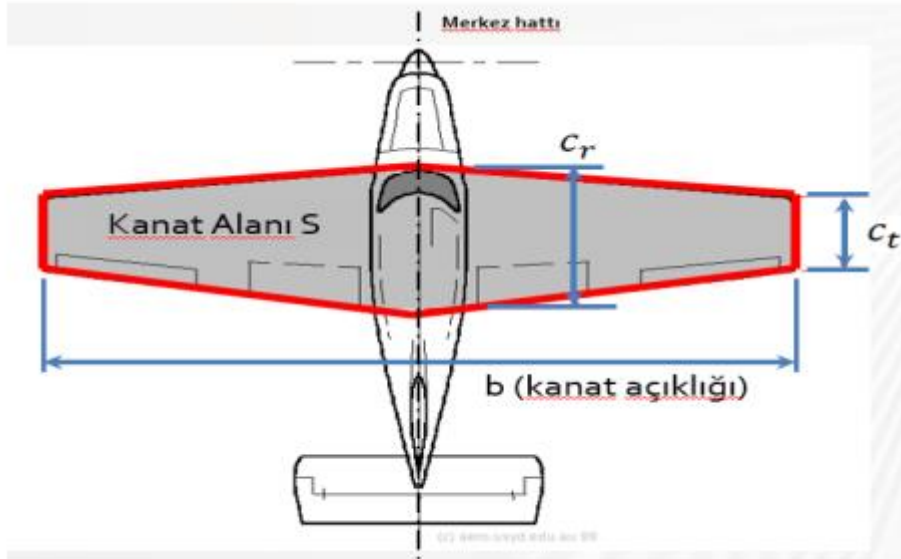
Uçak kanatlarında 0 ile %5 arasında kamburluklara rastlanır. [19]

Bu tasarımda simetrik kanat profili seçildiğinden kamburluk eğrisi düz bir doğru olduğundan dolayı e_{max} değeri sıfır olacağından kamburluk oranı sıfırdır.



Şekil 17.Seçtiğimiz kalınlık oranı (15) ve kamburluk oranı (0) için kanat profili

3.1.1.2.4. Referans Kanat Geometrik Özellikleri



Şekil 18.Kanat üzerinde veter uzunlukları

C_r : Kök veter uzunluğu

C_t : Uç veter uzunluğu

3.1.1.2.5. Açıklık Oranı

Bir uçak kanadının açıklığının karesinin kanat üst görünüm alanına oranıdır. Kanatların açıklık oranı daima 1 değerinden büyüktür. İndüklenmiş sürüklemeyi azaltmak için açıklık oranı olabildiği kadar yüksek seçilmelidir. [19]

$$\text{Açıklık oranı (AR)} = \frac{b^2}{s} \quad (3.11)$$

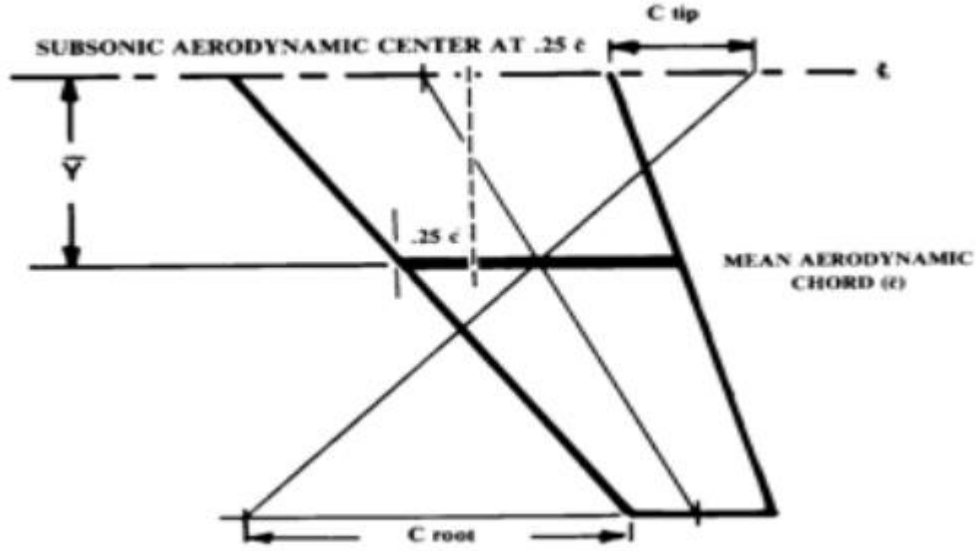
3.1.1.2.6. Sivrilme Oranı

Sivrilme oranı kanadın uç veter uzunluğunun kök veter uzunluğuna olan oranıdır. Tipik olarak 0.45 değerinde bir sivrilme oranı eliptik dağılıma kıyasla %1 civarında daha fazla indüklenmiş sürüklenme yaratır. [19]

$$\text{Sivrilme oranı } (\lambda) = \frac{c_t}{c_r} \quad (3.12)$$

Sivrilme oranı 0.45 seçilmiştir.

3.1.1.2.7. Ortalama Aerodinamik Veter



Şekil 19. Ortalama veterin kanat üzerinde konumu

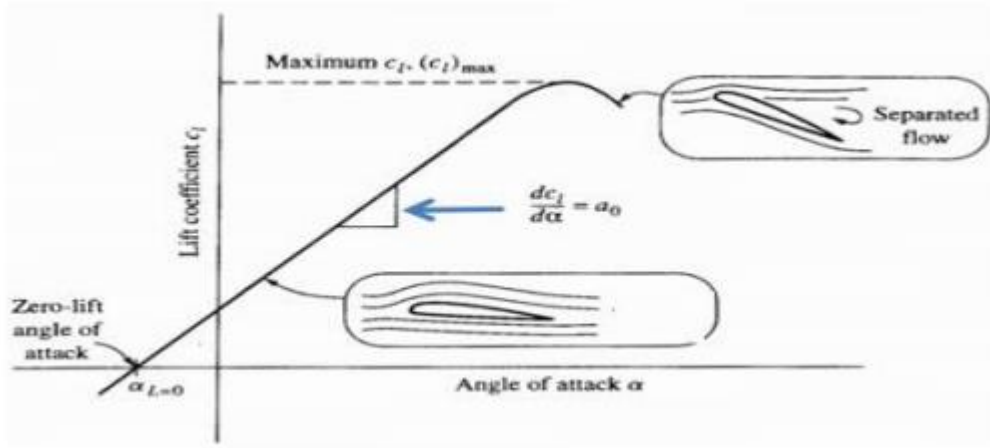
Ortalama aerodinamik veter (mean aerodynamic chord), özellikle uçak kararlılık hesapları sırasında referans veter olarak kullanılır.

Düşük hızlar için kanadın aerodinamik merkezi, ortalama aerodinamik veterin hücum kenarından itibaren çeyrek veter uzunluğundadır. Aerodinamik merkez aerodinamik momentin hücum açısından bağımsız olduğu noktadır. Ortalama aerodinamik veter uzunluğu ve konumu aşağıda verilen formüller yardımıyla bulunabilir.

$$\text{Ortalama aerodinamik veter uzunluğu : } \bar{c} = \frac{2}{3} * C_r * \frac{(1+\lambda+\lambda^2)}{(1+\lambda)} \quad (3.13)$$

$$\bar{Y} = \left(\frac{b}{6}\right) * [(1 + 2 * \lambda) + (1 + \lambda)] \quad (3.14)$$

3.1.1.2.8. Profil Taşıma Katsayısının Hücum Açısı ile Değişim



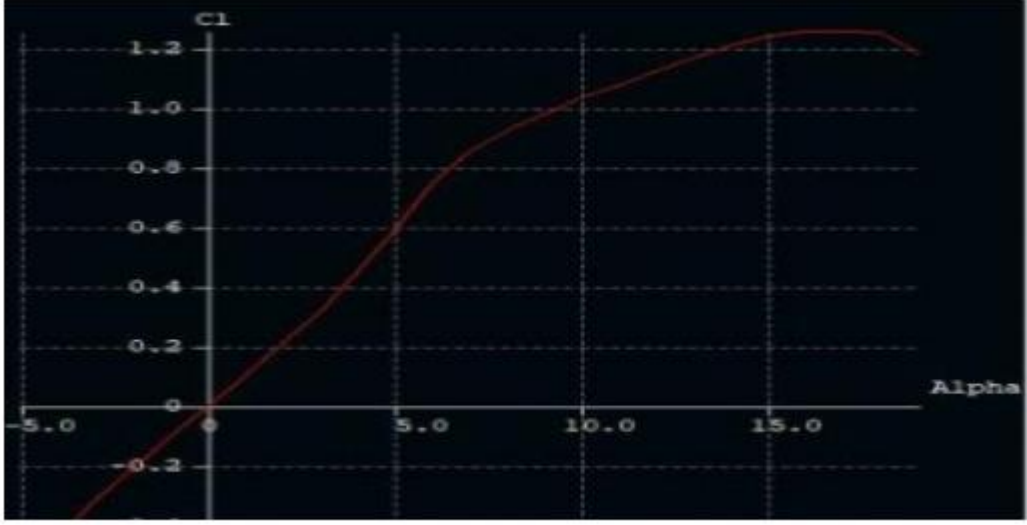
Şekil 20. Tipik bir profil için $c_l - \alpha$ grafiği

Profil taşıma katsayısı : $c_l = a_0(\alpha - \alpha_{L=0})$

$\alpha_{L=0}$: Sıfır taşımanın olduğu hücum açısı

a_0 : Taşıma eğrisinin eğimi

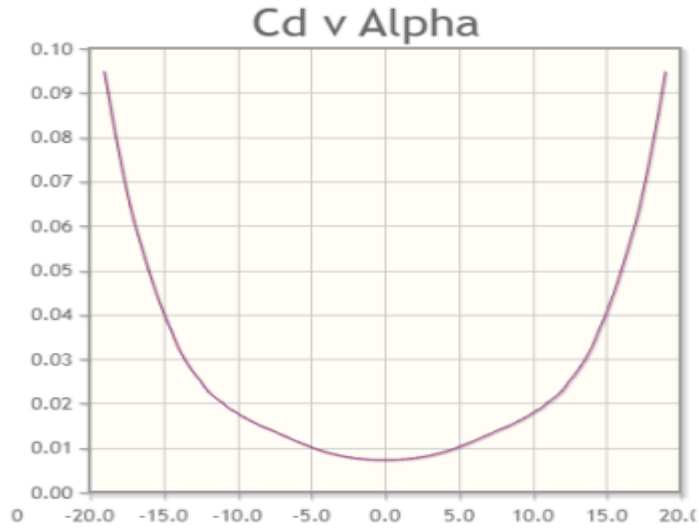
Teorik olarak eğrinin eğimi $2\pi/\text{rad}$ ' dır. Pratik olarak 0.11/derece alınabilir. Taşıma katsayısı maksimum değerine ulaşıncaya kadar hücum açısı ile lineer olarak değişir.[19] Seçtiğimiz profil için profil taşıma katsayısının hücum açısı ile değişimi XFLR5 programı kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 21. $c_l - \alpha$ grafiği XFLR5 verisi

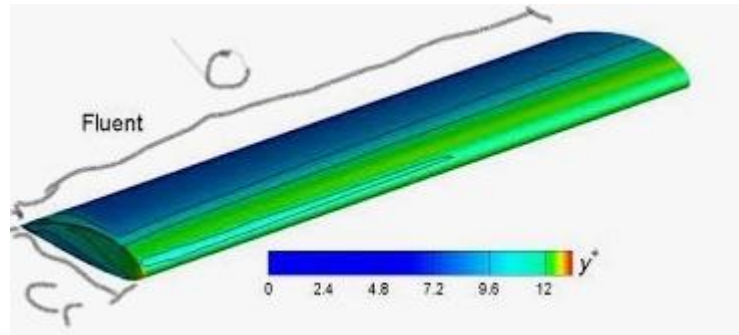
3.1.1.2.9. Profil Sürüklenme Katsayısının Hücüm Açısı ile Değişimi

Profil sürüklenme katsayısı için analitik bir ifade yoktur. Seçtiğimiz profil için profil sürüklenme katsayısının hücüm açısı ile değişimi XFLR5 programından faydalanarak incelenmiştir. Bizim kanat profilimiz simetrik olduğundan minimum sürüklenme katsayısı 0° hücüm açısında oluşacaktır.



Şekil 22.cd – α grafiği XFLR5 verisi

3.1.2 Aerodinamik Hesaplamalar



C_t : Uç veter uzunluğu

C_r : Kök veter uzunluğu

b : Kanat açıklığı

S : Kanat alanı

$$\text{Açıklık oranı (AR)} = \frac{b^2}{S}$$

$$\text{Sivrilme oranı } (\lambda) = \frac{C_t}{C_r}$$

Kanatların açıklık oranları daima 1 değerinden büyüktür. Açıklık oranı, ses altı uçaklarda genellikle büyük olarak nitelendirilir ve genelde altı ila sekiz arasında alınır. Biz yaptığımız uygulamada açıklık oranını yedi olarak aldık.

Kanat genişliğimiz ise 500 mm'dir.

$7 = \frac{0.5^2}{s}$ bu bağıntıdan kanat alanını bulabiliriz.

$$S = 0,0357 \text{ m}^2$$

Düşük irtifa ve düşük hızda sivrilme oranı optimum olarak 0,4-0,6 aralığında seçilir. Biz yaptığımız uygulamada 0,5 aldık. [20]

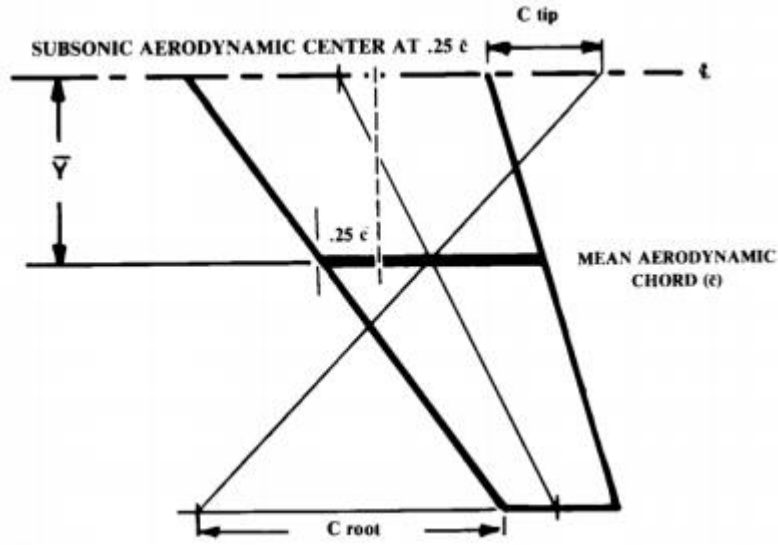
$$0,5 = \frac{C_r}{C_t} \quad C_t = 0,5 * C_r$$

Hesaplanan alan değerinden veter uzunluklarını belirleyebiliriz. Kanat profili simetrik olduğundan yamuğun alan formülünden hesaplama yaparsak;

$$\frac{0,0357}{2} = \frac{C_r + C_t}{2} * b \quad ; \quad C_r + C_t = 0,0714 \text{ m}$$

$$C_t = 0,5 * C_r \quad ; \quad C_r = 0,0476 \quad , \quad C_t = 0,0238$$

3.1.2.1. Ortalama Aerodinamik Veter



Şekil 23. Aerodinamik veter merkezinin geometrik gösterimi

$$\begin{aligned}\bar{c} &= \frac{2}{3} * C_r * \frac{(1+\lambda+\lambda^2)}{(1+\lambda)} \\ &= \frac{2}{3} * 0,0476 * \frac{(1+0,5+0,5^2)}{(1+0,5)} \\ &= 0,0370 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{y} &= \left(\frac{b}{6}\right) * [(1 + 2 * \lambda) + (1 + \lambda)] \\ &= \frac{0,5}{6} * [(1 + 2 * 0,5) + (1 + 0,5)] \\ &= 0,292 \text{ m}\end{aligned}$$

3.1.2.2. Maximum Kalınlık

Kalınlık oranının düşük hızlar için %14 ten büyük olması gerekir.[20]. Biz de bu yüzden uygulamamızda “NACA 2415” kanat profilini kullandık.

$$\delta = \frac{t_{max}}{C_r} ; t_{max} = 0,0476 * 0,15 = 0,00714 \text{ m} \quad (6.7)$$

3.1.2.3. Ok Açısı

Ok açısı kanat geometrisi üzerinden hesaplanmıştır veter uzunluklarının 1/4ü ölçülür ve noktalar birleştirilerek çeyrek veter hattı çizilir ve hücum kenarının yatayla yaptığı açı ok açısı olarak belirlenir. [20]

Seyir uçuşu için:

$$\text{Taşıma Kuvveti} : L = \frac{1}{2} * \rho_{\infty} * V_{\infty}^2 * S * C_L$$

$$\text{Sürüklenme Kuvveti: } D = \frac{1}{2} * \rho_{\infty} * V_{\infty}^2 * S * C_D$$

$$L=W$$

$$W=4*9,81=39,24$$

$$39,24 = \frac{1}{2} * 1,225 * 20^2 * 0,0357 * C_L \quad ; C_L = 4,486$$

3.1.2.4. İtke Kuvveti

$$T = c_T \frac{\rho r^4}{\pi^2} \omega^2$$

$$\omega = 55,846 * 18,61/2 = 519,647 \text{ rad/s}$$

$$T = 0,1525 * \frac{1,225 * 0,1526^4}{\pi^2} * 519,647 = 8,72$$

$$T=D$$

$$8,72 = \frac{1}{2} * 1,225 * 20^2 * 0,0357 * C_D$$

$$C_D = 2,47$$

3.1.2.5. Reynolds Sayısı

$$Re = \frac{\rho_{\infty} V_{\infty} \bar{c}}{\mu_{\infty}}$$

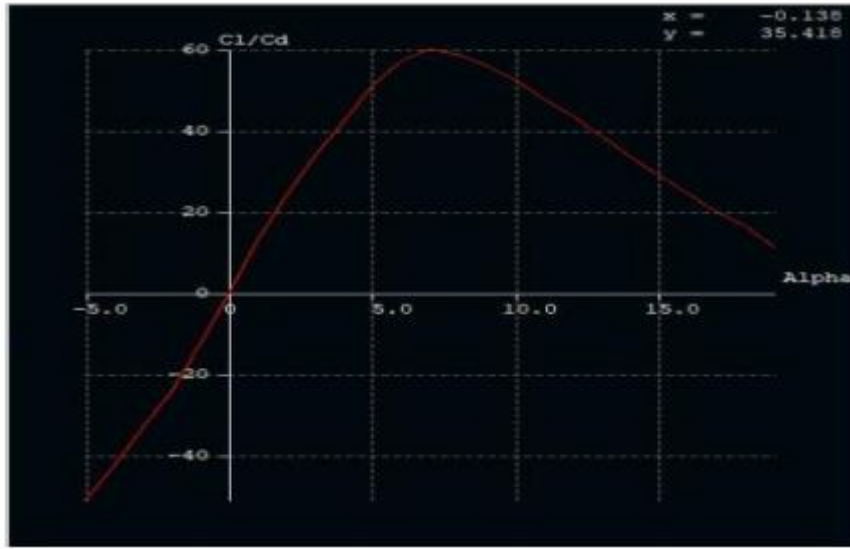
$$Re = \frac{1,225 \cdot 20 \cdot 0,262}{1,789 \cdot 10^{-5}} = 358803,801$$

3.2. Yapılan Tasarım Çalışmaları

3.2.1. Kanat Profili Tasarımı

Tasarım çalışmalarında XFLR5 programından yararlanılmıştır. Bu program çeşitli hücum açıları için kanadın aerodinamik katsayıları ile ilgili grafikleri deneysel verilere yakın olarak bize sunmaktadır. Kaldırma kuvvetinin çoğunluğunu kanat karşıladığından dolayı tasarıma kanattan başlanmış ve analizler kanat için yapılmıştır.

Kaldırma kuvveti kanadın alt ve üst yüzeyleri arasındaki basınç farkından oluşur. Bu hususta önemli olan maksimum Cl/Cd oranıdır. Bu oran da XFLR5 analizlerine göre 7 ° hücum açısında elde edilmiştir



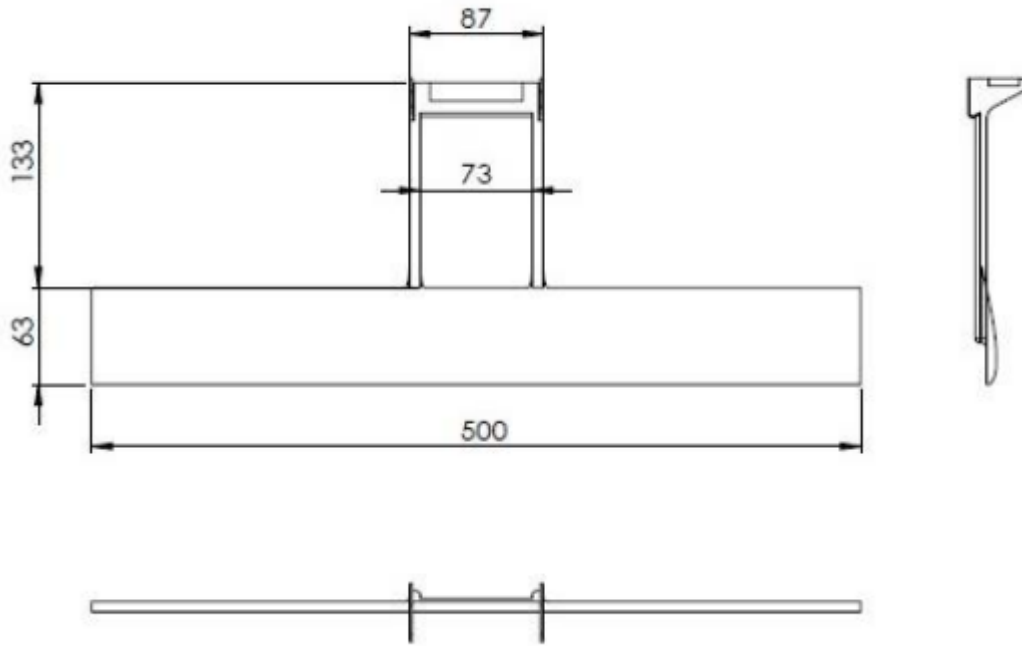
Şekil 24. Hücum açılarına göre Cl/Cd oranları

Kanat yüzeylerindeki basınç farkı uçuşu sağladığı gibi uçağın stola girmesine de sebep olabilir. Uygun hücum açısı seçilmez ise akış kanat yüzeylerine tutunamaz ve bundan dolayı Cl katsayısı düşerek kaldırma kuvveti de düşer.

Elde ettiğimiz veriler kabul edilebilir sınırlar içinde olduğundan, seçtiğimiz kanat profili uygundur.

3.2.2. Kanadın Geometrik Tasarımı

İnsansız hava aracımızın taşınabilir, hafif, düşük maliyetli olmasını göz önünde bulundurarak kanadı da buna uygun boyutlandırdık. Kanat boyutları teknik resimde ki gibidir.



Şekil 25. Kanat ölçüleri

İlk olarak kanat açıklığı 500mm olarak belirlenmiştir. Belirlediğimiz açıklık oranı kullanılarak (3.11) bağıntısından kanat alanı belirlenmiştir. Kanat geometrisi simetrik iki trapez parçadan oluşmaktadır. (3.12) bağıntısı ve kanat alanı kullanılarak kök veter ve uç veter uzunlukları belirlenmiştir.

3.2.3. Gövde ve Kuyruk Tasarımı

Gövde ve kuyruk tasarlanırken XFLR5 programı kullanılmıştır. Kanat açıklığına uygun olması için gövde uzunluğu 600 mm olarak belirlenmiştir. Gövdenin şekli kanada ve donanımlara uygun olacak şekilde XFLR5 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Kuyruk tasarımı da aynı yöntemle yapılmıştır.



Şekil 26.Gövde ve kuyruk modellemesi

4. BULGULAR

Yapılan hesaplamalardan sonra insansız hava aracının boyutları, kanat tipi ve uğması için gerekli motor gücü gibi faktörler belirlendi ya da olabilecekleri aralıklar saptandı bu parametreler doğrultusunda kullanılacak elemanlar aŐaęıdaki gibi seçilmiştir.

Yapılan hesaplar doğrultusunda boyutlar belirlenmiş ve ardından en güvenli uçuşu sağlayacak kanat, gövde ve kuyruk seçilmiştir. Gövdede kullanılacak malzeme seğilirken malzemelerin ağırlıklarına ve mukavemet değerlerine dikkat edilmiştir bunun yanında gövde aerodinamik yapıya yardımcı olabilmesi için dairesel seçilmiştir bu yüzden seğilen malzemenin kolay şekillendirilebilmesi gerekmektedir bu kriterlere göz önüne alınarak gövde malzemesi olarak karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) seçilmiştir.

İnsansız hava aracında motorun gücü yapılan hesaplara göre seçilmiştir batarya ise motoru ve diğer küçük elemanları besleyebilecek şekilde seçilmiştir bu seçimler yapılırken bütün hava araçlarında olduğu gibi minimum ağırlık seçilmeye çalışılmıştır ağırlık arttıkça enerji tüketimi ve boyutları da artmaktadır bizim tasarladığımız hava aracında taşınabilirlik önemli bir unsurdur bu yüzden boyutları arttırmak bizim projemiz için bir seçenek değildir. Seçilebilecek en düşük ağırlıkla maksimum süre havada kalmak hedeflenmiştir

Kanatlar için kolay şekillendirilebilen bir malzeme olan eps seçilmiştir gövde ve kanatların dayanımını arttırmak ve olumsuz hava koşullarından daha az etkilenmeleri için üzerleri karbon fiber ile kaplanmıştır. Kullanılacak olan yazılım kumanda sistemi ile beraber hazır olarak temin edilmiştir

4.1. Güç ve İtki Sistemi

4.1.1. İtki Sisteminin Bileşenleri

4.1.1.1. Pervane

Pervane eksene dikey olarak bağlanmış iki, ya da daha çok kanattan oluşan, döndüğünde içinde bulunduğu havayı açılı kanatlarıyla itirmeye yarayan alettir. Uçak pervanesi ise normal şartlara göre daha hızlı dönerek daha fazla havayı ittirir ve bağlı bulunduğu hava aracını hareket ettirir.

Biz projemizde Haoye 13x8 Pervane kullandık.



Şekil 27.Kullandığımız 13x8 pervane

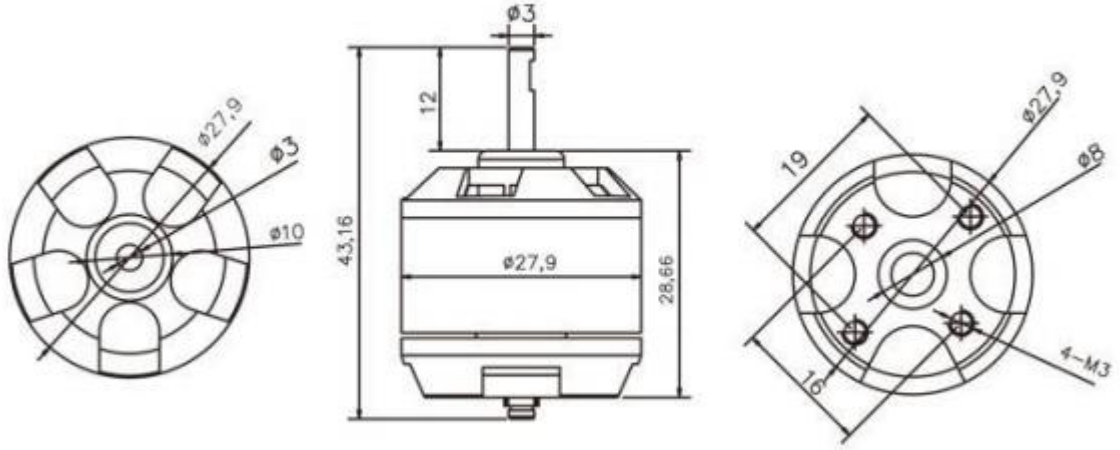
4.1.1.2. Fırçasız DC Motor



Şekil 28.Kullandığımız Emax XA2212 980KV 3S Fırçasız DC Motor

TEKNİK ÖZELLİKLERİ

- KV: 980Kv (KV Değeri: Hız sabitidir; RPM/Volt)
- Voltaj: 8-12V
- Uzunluk: 43,16mm
- Çap: 27,9mm
- Ağırlık: 49g
- Akım: 30sn için 15A
- Max Thurust: 880g
- Shaft: 3mm



Şekil 29.Emax XA2212 980KV 3S Fırçasız DC Motor teknik çizimi

Fırçasız Motorun Avantajları:

- Verimleri yüksektir.
- Doğrusal moment-hız ilişkisi
- Yüksek moment hacim oranı vardır.
- Fırçaların ve kolektörün olmayışından dolayı bakım gerekli değildir.
- Sessiz çalışırlar.
- Boyutları diğer motorlardan küçük ama momentleri fazladır.
- Yüksek devirlerde çalışabilir.
- Uzun ömürlüdür. [23, 24]

980Kv. Emax XA2212 MOTOR için

6S bir pil için: 22,2V Maximum değerde;

Tam güçte devir;

$$980 * 22,2 = 21756 \text{ d/dk}$$

Yarı güçte devir;

$$980 * 22,2 / 2 = 10878 \text{ d/dk}$$

Açısal hız değerleri;

$$\omega v = 2\pi \times Kv / 60 \quad (7.1)$$

$$\omega v = 2\pi \times 980/60 = 102,625$$

$$\omega = \omega v \times V \quad (7.2)$$

$$\omega = 102,625 \times 22,2/2 = 1139,1375 \text{ rad/s}$$

Pervaneden Elde Edilecek İtki;

$$T = c_T \frac{\rho r^4}{\pi^2} \omega^2$$

CT: Pervane itki sabiti

ρ : Havanın yoğunluğu (Deniz seviyesinde 1,225 Kg/m³)

r: Pervane yarıçapı (m)

ω : pervane açısal hızı (rad/s)

10 inch = 254 mm pervane çapı

Pervane yarıçapı; $r = 254/2 = 127 \text{ mm} = 0,127 \text{ m}$

$$\omega = 102,625 \times 22,2/2 = 1139,1375 \text{ rad/s}$$

İtki Kuvveti;

$$T = 0,1525 \times ((1,225 \times 0,127^4) / (3,14^2)) \times (1139,1375^2) = 19.427 \text{ N}$$

$$F_{gerekten} = m \times g/4 \quad (7.4)$$

$$F_{gerekten} = 4 \times 9,81/4 = 9,81 \text{ N}$$

4.1.1.3. Elektronik Hız Kontrol Ünitesi (ESC)



Şekil 30.Skywalker 40A Brushless ESC

Elektronik hız kontrolü motor ve batarya arasında köprü görevi görmektedir. Motorun çalışmasını sağlayan batarya ESC' ye bağlanır. Motorda ESC' ye bağlanır. İHALarda ESCler direkt olarak alıcıya bağlanmaz, uçuş kontrol devresine bağlanır. Alıcıda bu devreye bağlanır. [21, 22]

SkyWalker ESC 40A Fırçasız Motor Hız Kontrol Sürücüsü

Teknik Özellikler

Çıkış Akımı: 40A, ilk 10 saniyeye kadar

Giriş Voltajı: 2-3S Lipo, 5-9 hücre NiMH

BEC: 3A / 5V Doğrusal mod BEC.

Sinyalinin yenileme hızı: 50Hz - 432Hz.

Max hız:

2 Kutuplu Fırçasız Motorlar için 210000rpm

6 kutup için 70000rpm Bruhsless Motorlar

12 kutup için 35000 rpm Fırçasız Motorlar

Boyut: 68mm x 25mm x 8mm

Ağırlık: 35g

4.1.1.4. LiPo Batarya



Şekil 31.. Leopard-Power 5200 mAh 6S Lipo Batarya

6s 5200mah 40C Lipo Batarya 22.2V

Gider: 800 TL

Teknik Özellikler

Marka: LEOPARD POWER

Tip: Yüksek Deşarjlı Li-Polimer Pil

Model No: 5200mah / 22.2V / 40C

Minimum Kapasite: 5200mAh

Konfigürasyon: 6S / 22.2V / 6 Hücre

Sürekli Deşarj Akımı: 40C (220A)

Patlamaya Karşı Akım (10 sn): 80C (440A)

Şarj Hızı: 1-2C (maks.5C)

Ağırlık: 744g

Batarya Boyutları: L 158 x Y 50 x Y 43 mm

Şarj Konnektörü: JST-XHR

Plug: XT60

Bir LiPo batarya hücresi 3.7V nominal değerli gerilime sahiptir. Tam dolu bir hücre 4.2V değerine sahiptir. Hiçbir hücre 3V altında gerilim değerine düşmemelidir. Yaygın olarak 3S 11,1V veya 6S 22,2 nominal değerli piller İHA'larda kullanılmaktadır.

Pilden anlık çekilebilecek akım (A) = C değeri x Pil akasitesi (A) (7.5)

40 C x 5.2 A = 208 A

4.1.1.5. Dijital Kontrol Sistemi

RC sistemi, operatör tarafından araca komut vermek için kullanılan bir kumanda sistemidir. Uzaktan kumanda, araç hareketini (hız, yön gibi) ve otomatik pilot uçuşlarını (kalkış, yere iniş) sağlayan fiziksel kontrollere sahiptir. Uzaktan kumanda ünitesi, sabit kanatlı insansız hava aracına bağlı olan alıcı ile etkileşime geçerek verilen komutları iletir.



Şekil 32. Flysky FS-T4B 2.4Ghz 4 Kanal Kumanda

Flysky FS-T4B 4 kanal 2.4Ghz Dijital Kumanda

Teknik Özellikler

RF aralığı: 2.4055-2.475GHz

RF kanal: 140

Bant Genişliği: 500KHz

Düşük Voltaj Aralığı: <9V

Ağırlık: 335g

Çalışma voltajı: 12V DC 1.5AA

Ölçüler: 89 x 97 x 295mm

Alıcı özellikleri:

RF aralığı: 2.4055-2.475GHz

RF kanal: 140

Bant Genişliği: 500KHz

2.4GHz Sistem: AFHDS 2A

Çalışma voltajı: 4.0-6.5V DC

Anten uzunluğu: 26mm

Ağırlık: 13g

Ölçüler: 45 x 23 x 9mm

4.1.1.6. Servo Motor



Şekil 33. TowerPro Mikro Servo Motor

TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Boyutlar: 23.1 x 12.2 x 29 mm

Ağırlık: 9 g

Çalışma gerilimi: 4.8 - 6.0 VDC

Hız @4.8V: 0.1 sn/60°
Zorlanma Torqu @6V: 1.8 kg.cm
Dişli kutusu: Plastik
Dönüş açısı: 0-180°
Çalışma PWM sinyali: 500-2400 µs
Dişliler: Plastik

4.1.1.7. Görüntüleme Sistemi



Şekil 34.A9 Mini kamera 1080P HD Ip kamera

Teknik Özellikler

Resim Sensörü: 1/1.8" CMOS Sensor

Yatay Çözünürlük: 800TVL

Lens: FOV 170 2.1mm 16:9 FOV 140 2.5mm 4:3

Ekran Formatı: 16:9 / 4:3 Switchable on OSD menu

Sinyal Sistemi: NTSC / PAL Switchable on OSD menü

Entegre OSD: Yes

Entegre MIC: Yes S/N Ratio >50dB

Electronic Shutter Speed: Auto

Max Gain: 1-9 Min.

Aydınlatma: [0.01Lux 1.2F](#)

WDR: Global WDR
Güç: DC 5-36V
Çalışma Akımı: 12V 90mA / 5V 200mA
Emniyet Materyali: ABS
Boyutlar: L28mm*W26mm*H28mm
Net Ağırlık: 9g

5. TARTIŞMA

Çalışmalar esnasında görülmüştür ki gereksinimler doğrultusunda belirlenen parametrelerin üretim aşamasında uygulanabilirliği olamayabilmekte ya da uygulanması için çok fazla emeğe ve zamana ihtiyaç duyabilmektedir. Bu nedenle, ihtiyaçlar doğrultusunda belirlenen tasarım parametrelerinin eldeki imkanlarla uygulanabilirliğinin olup olmadığı bilinebilmesi için, daha başlangıç tasarımından itibaren üretim konusunda tecrübeli kişilerle koordineli olarak çalışılması gerekmektedir. Aksi takdirde üretim safhasından başlangıç tasarımına dönüş olabilmekte ve temelde birçok değişikliğe ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu da çok fazla zaman ve malzeme kaybına sebebiyet verebilmektedir.

Bir diğer önemli unsur da bazı noktalardaki işçiliğin ya da montajın hassas şekilde yürütülmesidir. Mesela kanadın belli bir oturma açısıyla gövdeye yerleştirilmesi planlanıyorsa bu açının çok hassas şekilde ayarlanması gerekmektedir. Eğer iki kanadın oturma açısı birbirinden farklı olursa kanatların taşımaları arasında fark oluşacağı ve bunun da uçuşta sapma ve yatış yaratacağı unutulmamalıdır. Balsadan yapılan simetrik kuyrukta da aynı şekilde hassas çalışma yapılmazsa simetrikliğin kaybolabileceği ve uçuşta aşırı derecede sapma yaratabileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle bu unsurlara dikkat edilmelidir.

Çalışmadan çıkarılabilecek bir diğer sonuç da gerçek uçak tasarımlarında da olduğu gibi bu çalışmanın sadece havacılık mühendisliği değil elektronik ve bilgisayar mühendisliği gibi farklı mühendislik alanlarında bilgi ve deneyime sahip tasarımcılara ihtiyaç duyduğudur. Bu nedenle, çalışma grubunun içine farklı bölümlerden öğrencilerin dahil edilmesinin yanı sıra yol gösterici ve yönetici konumunda farklı öğretim elemanlarının da dahil edilmesinin bu tasarım sürecini kısaltacağı değerlendirilmiştir. Tasarım ve üretimin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesinden sonra başarının elde edilmesi için gerekli olan diğer bir unsurun da İHA' yı kullanacak olan kişinin kabiliyeti ve eğitimi olduğu değerlendirilmektedir.

6. SONUÇLAR

Ülkemizde ve diğer dünya ülkelerinde oldukça önem verilen silah ve savunma sistemlerinin geliştirilmesi için büyük bütçeler harcanmaktadır. Günümüzde de bu sistemlerin en gelişmişlerinden biri olan insansız hava araçları pek çok sektörde kullanılmaktadır.

Yapılan araştırma ve çalışmalar doğrultusunda geliştirilmeye açık, her geçen gün hızla büyüyen, insansız hava araçları çalışmalarının geniş kapsamlı bir alan olduğu gözlemlenmiştir. Bu gelişen alanda bir fark ortaya koyup insansız hava aracının havada kalma süresinin arttırılması hedeflenmiştir. Yapılan araştırmalar doğrultusunda hedeflenen projenin yapılması için gerekli olan malzemelerin ve aksesuarların neler olduğu, hangi tip yazılım ve ara yüzlerin kullanıldığı, uçuş mod ve kullanım yönergeleri belirlenmiştir.

Bu araçların üretilmeleri için hem yoğun bir AR-GE çalışması gerekmekte hem de önemli bütçeler ayrılmak zorundadır. Araçların taşıma kapasiteleri, uçuş süreleri ve ulaşabildikleri irtifalar arttıkça AR-GE ve bütçe için daha fazla yatırım yapılmalıdır bu sorunlara ek olarak araç büyüdükçe aracın kalkışı ve inişi için pist gerekmektedir.

Gerçekleştirdiğimiz bu projede klasik tasarım metotlarının yanı sıra model uçaklar ve özellikle planörler üzerinde ayrıntılı incelemeler yapılmıştır. Yapılan bu araştırmalar sonucunda yine tespit edilen durumlardan birisi ise insansız hava aracının ağırlık dağılımının oldukça dikkatli yapılması gerektiğidir. İnsansız hava aracı üzerine takılacak olan motor gibi elemanların araç üzerindeki dağılımına oldukça dikkat edilmiştir ve gerekli analizler yapılarak çizim üzerinde gösterilmiştir.

Yapılan araştırmaların sonucunda ortaya konulan tasarım ve gerekli olan ekipmanların temini için maliyet hesabı yapılmış ve ayrıntılı bir şekilde ortaya konulmuştur. Yapılan bu araştırmalarda görülmüştür ki tasarlanan insansız hava aracının kabiliyetlerinin artırılması ile maliyet oldukça fazla artmaktadır

7. ÖNERİLER

Bu rapor oluşturulurken oldukça fazla kaynaktan yararlanıldı ancak Türkçe kaynaklar oldukça azdı bu yüzden yabancı kaynakları kullanmak zorunda kaldık. Yabancı dildeki kaynakları kullanırken çeviri hatalarını sıklıkla yaşadık bu konu ile ilgili çalışmak için çevirileri doğru kaynaklar kullanılması büyük kolaylık sağlayacaktır

Bazı hesapları elle yapmak mümkün olsa da birçok hesap için program kullandık hem daha doğru sonuçlar elde ettik hem de insansız hava aracının çok detaylı olmayan simülasyonlarını görmüş olduk. Bu programları öğrenmek için öncelikle interneti kullandık ancak kaynak bulmakta yaşadığımız problemi burada da yaşadık Türkçe olarak bu programlara dair bilgi bulmak maalesef pek mümkün değil bizde farklı dildeki kaynakları kullanarak bu programların çalışma prensiplerini öğrendik, bu konuda çalışıp programları kullanmak isteyenler dil konusunda belirli bir seviyede olurlarsa daha hızlı yol kat edeceklerdir.

Çalışmadan çıkarılabilecek bir diğer sonuç da gerçek uçak tasarımlarında da olduğu gibi bu çalışmanın sadece havacılık mühendisliği değil elektronik ve bilgisayar mühendisliği gibi farklı mühendislik alanlarında bilgi ve deneyime sahip tasarımcılara ihtiyaç duyduğudur. Bu nedenle, çalışma grubunun içine farklı bölümlerden öğrencilerin dahil edilmesinin yanı

sıra yol gösterici ve yönetici konumunda farklı öğretim elemanlarının da dahil edilmesinin bu tasarım sürecini kısaltacağı değerlendirilmiştir.

Son zamanlarda siha ve ihalar için devlet destekleri ve yarışmaları oldukça artmış durumda (Teknofest ve Tübitak yarışmaları) bu yarışmalara katılanlar için temel eğitimler hazırlanmıştır ve internet üzerinden herkese açık olarak sunulmaktadır. Tübitağın hazırlanmış olduğu eğitimlerde bu konuda çalışacak mühendisler için başlangıçta temel bilgileri öğrenmeleri açısından büyük kolaylık sağlayacaktır ayrıca yardım alabilecekleri hemen hemen tek Türkçe kaynaktır.

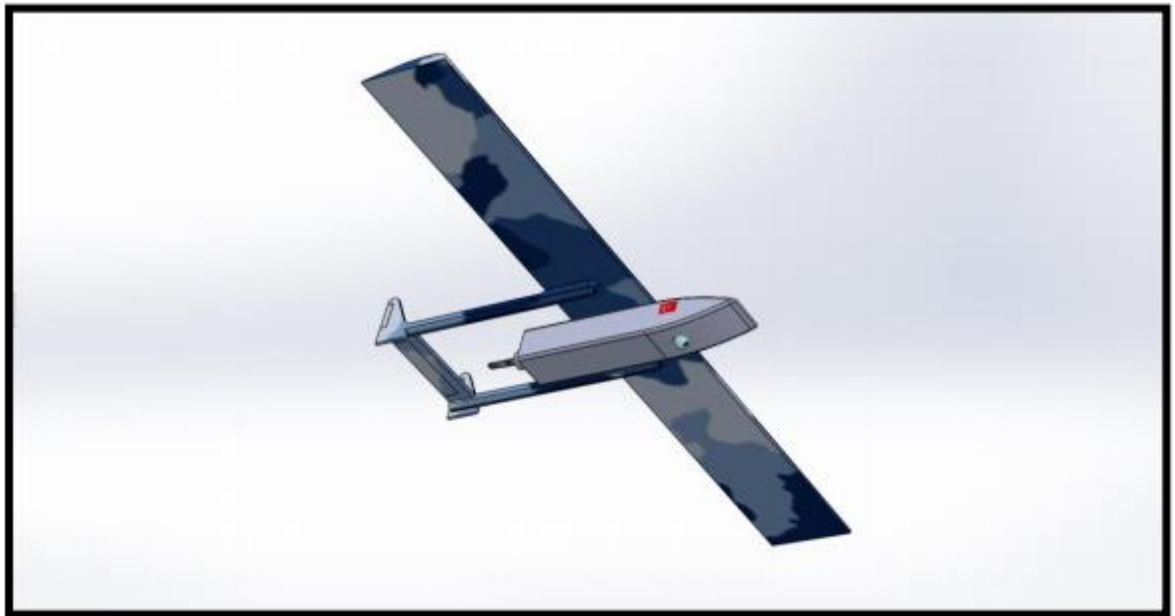
8.KAYNAKLAR

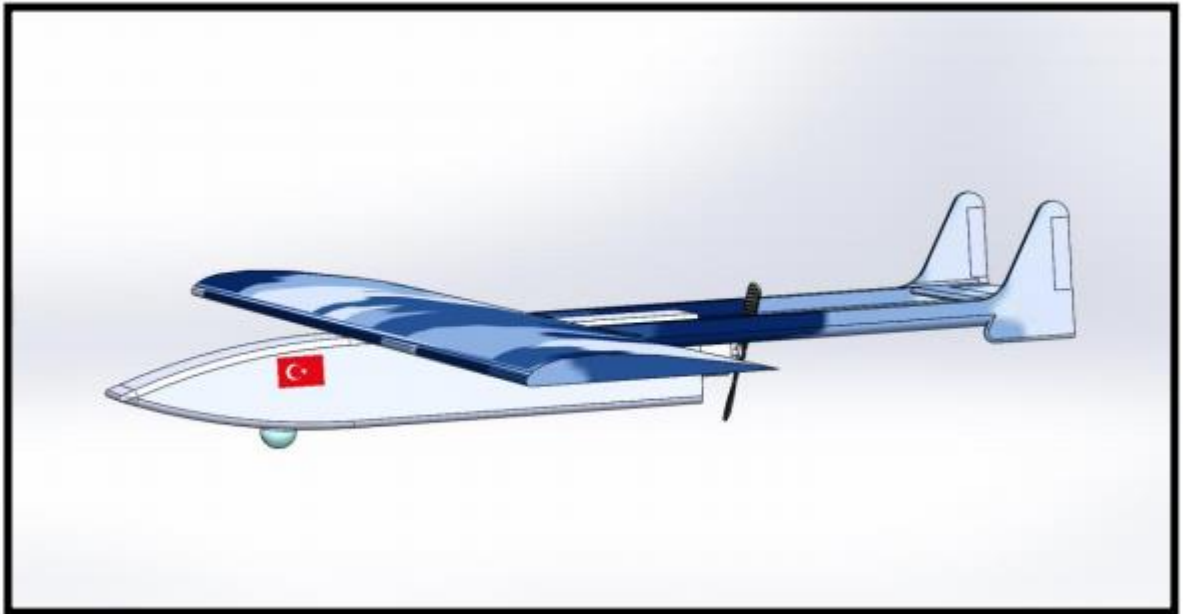
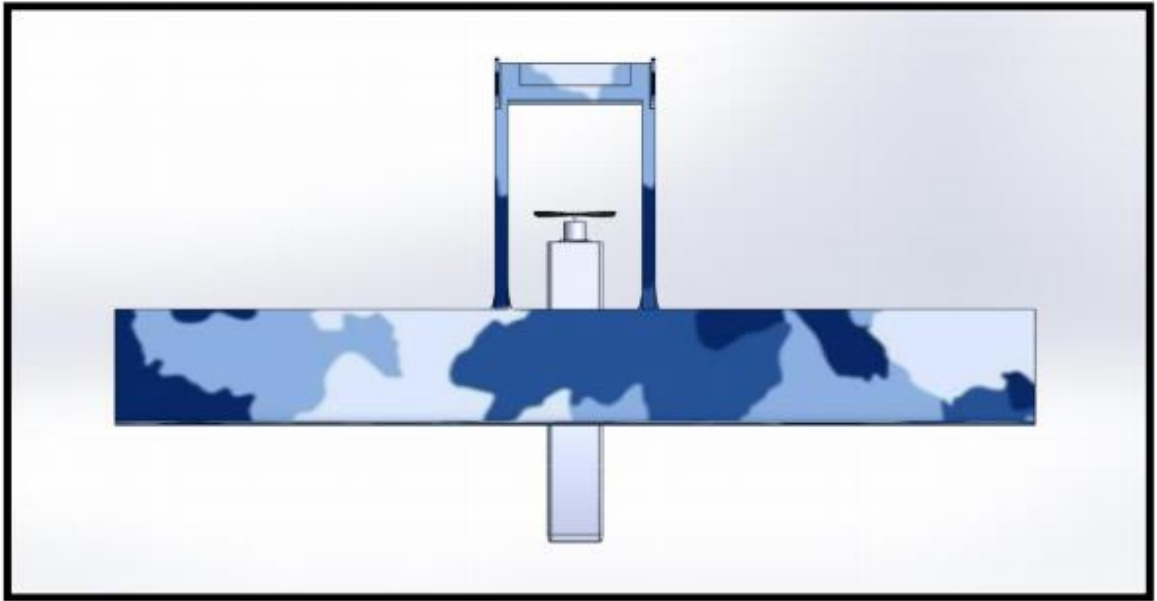
1. S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.5, s.4, ss. 511-535, 2017
2. <https://tr.wikipedia.org/wiki/İnsansız-hava-aracı>
3. <https://www.baykarsavunma.com/>
4. <https://www.haber7.com/foto-galeri/64456-insansiz-hava-araclarinin-tarihi>
5. en.wikipedia.org/wiki/RAE_Larynx
6. Newcome, L.R. “Unmanned aviation. A brief history of Unmanned Aerial Vehicles”. AIAA, Reston, Virginia, 2004, 171
7. <http://www.milliasavunma.com/akinci-taaruzi-ih/>
8. https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle
9. <https://muhendisce.com/karbon-fiber-nedir-nasil-uretilir-ve-nerelerde-kullanilir/>
10. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=12234> (2015)
11. <https://www.unmannedsystemstechnology.com/technical-article/compositematerials-for-unmanned-systems/>
12. SAÜ Fen Bil Der 20. Cilt, 2. Sayı, s. 103-109, 2016
13. Karaağaç C. (2004). İnsansız Hava Aracı Sistemleri: Gökyüzünün Yeni Yırtıcı Kuşları.
14. DeGarmo T. M. (2004). Issues Concerning Integration of Unmanned Aerial Vehicles in Civil Airspace. MITRE Center for Advanced Aviation System Development.
15. <http://www.savunmasanayi.net/anka-basarisi-ve-insansiz-hava-araclari/anka-basarisive-insansiz-hava-araclari/>
16. www.ssd.dhmi.gov.tr- Dünyada ve Türkiye’de uçuş kontrolün kısa geçmişi
17. <https://uavturkey.tubitak.gov.tr/assets/2018-ih-egitim-ali-eken>

18. Yükselen, M.A., UCK 351 Aerodinamik Ders Notları, Erişim tarihi: 05.03.2018.
<http://web.itu.edu.tr/yukselen/Uck351/05%20Kanat%20profillerinin%20aerodinami%20F0i.pdf>
19. https://uavturkey.tubitak.gov.tr/egitim2019_sabitkanat.html
20. Dr. M. Adil Yükselen, UCK 111 Uçak Mühendisliğine Giriş ve Etik 2006-2007 Güz yarıyılı ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi
21. <https://www.promodelhobby.com/blog/icerik/rc-esc-ne-ise-yarar-ozellikleri-ve-cesitleri-nelerdir>
22. <https://www.turkrc.com/esc-nedir/>
23. <https://hayaletveyap.com/fircasiz-dc-motor-nedir-ve-calisma-prensibi>
24. <https://www.dronetrest.com/t/brushless-motors-how-they-work-and-what-the-numbers-mean/564>

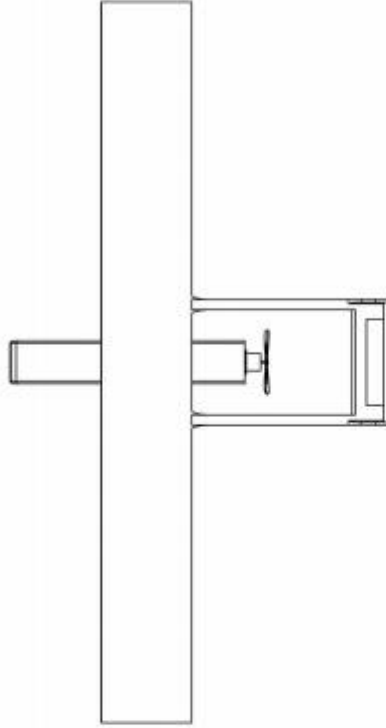
9.EKLER

Ek1: Tasarlanan insansız hava aracının görüntüleri

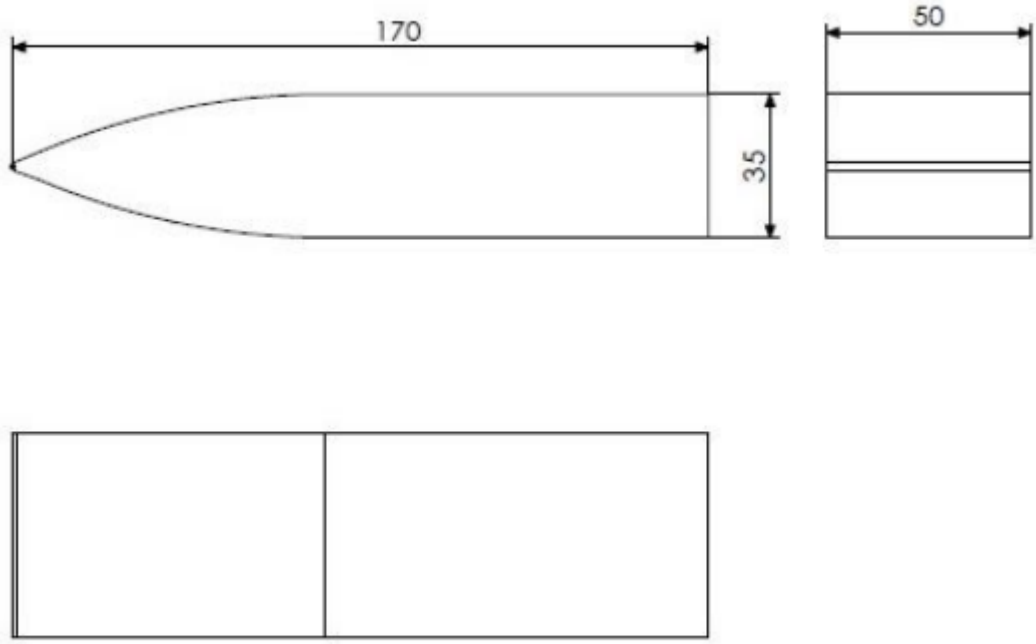




Ek 2: İnsansız hava aracına ait teknik resim



Ek 3 : İnsansız hava aracına ait gövdenin teknik resmi



Ek 4: İnsansız hava aracına ait kanadın teknik resmi

