

# **MODEL İNSANSIZ HAVA ARACI ÜRETİMİ**

**2018**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**İsmail Aykut KARAMANLI**

# **MODEL İNSANSIZ HAVA ARACI ÜRETİMİ**

**İsmail Aykut KARAMANLI**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2018**

İsmail Aykut KARAMANLI tarafından hazırlanan “MODEL İNSANSIZ HAVA ARACI ÜRETİMİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK  
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 22/06/2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ŞEN (AİBÜ)



Üye : Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Gökhan SUR (KBÜ)



...../...../2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.





*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

İsmail Aykut KARAMANLI

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MODEL İNSANSIZ HAVA ARACI ÜRETİMİ

İsmail Aykut KARAMANLI

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK

Haziran 2018, 67 sayfa

Bu çalışmada, model bir insansız hava aracı (İHA) tasarlanarak 3D yazıcı yardımı ile üretimi gerçekleştirilmiştir. Model İHA; malzeme özellikleri, İHA uçuş şartları ve 3D yazıcı ile üretilebilirliği göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Üretimde daha dayanıklı olması nedeniyle malzeme olarak ABS kullanılmıştır. Tasarlanan İHA parçaları ANSYS programı yardımıyla analiz edilerek kullanılabilirliği ve istenen özellikleri sağlayıp sağlamadıkları kontrol edilmiştir. Elde edilen olumlu sonuçlar ışığında üretim aşamasına geçilmiştir.

Üretim, bir katmanlı imalat türü olan 3D yazıcı teknolojisi ile gerçekleştirilmiştir. Üretilen parçaların bir araya getirilmesi için epoksi yapıştırıcılar kullanılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen model İHA ile uçuş denemeleri yapılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Model İHA ile görüntü alınması bir IP kamera yardımıyla sağlanmış olup 600 metre çapındaki bir alanda etkilidir. Kamera 360 derece görüntü alabilme ve gece görüş özelliklerine sahiptir. Ayrıca kontrol paneli üzerinde bulunan ekranı sayesinde kaydedilen görüntünün anında izlenebilme imkânı bulunmaktadır.

Bu çalışma ile İHA'nın 3D yazıcılarla üretiminin gerçekleştirilebilirliği kanıtlanmıştır. Katmanlı imalat teknolojilerinin yaygınlaşması ile başta savunma sanayi ve tıp olmak üzere birçok sektörde maliyetlerin azalacağı üretimin hızlanıp kolaylaşacağı öngörülmektedir.

**Anahtar Sözcükler :** İnsansız hava aracı, 3D yazıcı, katmanlı imalat

**Bilim Kodu** : 914.1.155



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **MODEL UNMANNED AERIAL VEHICLE PRODUCTION**

**İsmail Aykut KARAMANLI**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK**

**June 2018, 67 pages**

In this study, a model unmanned aerial vehicle (UAV) was designed and produced with the help of a 3D printer. Model IDHA; material properties, UAV flight conditions and manufacturability with 3D printer. ABS is used as material because it is more durable in production. Designed UAV parts were analyzed with the help of ANSYS program to check availability and availability. In the light of the positive results obtained, the production phase is passed.

The production was realized with 3D printer technology, a layered manufacturing type. Epoxy adhesives were used to assemble the produced parts. Flight experiments were conducted with the model IHA, which was produced, and positive results were obtained. The image is taken with the help of an IP camera and it is effective on a field of 600 meters. The camera has 360 degree view and night vision. In addition, thanks to the screen located on the control panel, the recorded image can be viewed instantly.

With this work, the feasibility of the production of the UAV with 3D printers has been proven. The spread of layered manufacturing technologies is expected to speed up and accelerate production in many industries, especially in the defense industry and medicine, where costs are reduced.

**Key Word** : Unmanned aerial vehicle, 3D printer, additive manufacturing

**Science Code** : 914.1.155





## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Elektronik hesaplamalar, devre ve sistemlerin kurulmasında desteęini esirgemeyen amcam Bahri KARAMANLI'ya teşekkür ederim.

Çalışmanın tasarımında görev alan ve desteğini esirgemeyen Cihan KİMET'e teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

“Bu alıőma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araőtırma Projeleri Koordinatörlüęü tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: KBÜBAP-17-YL-258” (“This work was supported by Research Fund of the Karabuk University. Project Number: KBÜBAP-17-YL-258”)

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TARİHİ VE SINIFLANDIRILMASI.....	3
2.1. GENEL OLARAK İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI .....	3
2.2. İHA TARİHİ .....	5
BÖLÜM 3 .....	8
LİTERATÜR TARAMASI.....	8
BÖLÜM 4 .....	10
UÇAK TASARIMI VE KATMANLI İMALAT .....	10
4.1. TEMEL TASARIM KAVRAMI.....	12
4.1.1. Detaylı Tasarım .....	12
4.1.2. Temel Boyutlandırma .....	12
4.1.3. Güç Planlaması .....	12
4.2. ANSYS ANALİZ PROGRAMI.....	13
4.3. SOLİDWORKS TASARIM PROGRAMI.....	13

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.4. ÇALIŞMADA KULLANILAN 3D YAZICI.....	14
4.5. KANAT TASARIMI.....	15
4.5.1. Uçağa Etki Eden Temel Kuvvetler .....	15
4.5.2. Kanat Geometrisi .....	16
4.5.3. Kanat Profili.....	18
4.5.4. Kanadın Dengesi ve Kararlılığı .....	21
4.5.5. Kanat Tipileri.....	21
4.5.6. Kanat Yerleşimi .....	24
4.6. GÖVDE TASARIMI.....	27
4.7. KUYRUK GEOMETRİSİ.....	29
4.7.1. Kuyruk Tipleri .....	30
4.7.2. Kuyruk Seçimi ve Boyutlandırılması .....	31
4.8. GENEL EKLEMELİ İMALAT PROSESİ .....	33
4.8.1. Katmanlı İmalat Teknolojilerinin Sınıflandırılması .....	36
4.8.2. Eklemeli İmalat Tarihçesi.....	37
4.8.3. Polylactic Acid (PLA) .....	38
4.8.4. Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS).....	39
BÖLÜM 5 .....	40
MATERYAL VE METOD .....	40
BÖLÜM 6 .....	52
SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	52
BÖLÜM 7 .....	61
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	61
ÖZGEÇMİŞ .....	67

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Alman V – 1 insansız bombardıman aracı .....	6
Şekil 2.2. TAI tarafından milli imkanlarla üretilen ANKA İHA'sı .....	7
Şekil 4.1. Sivil Uçak Geliştirme Prosesi. ....	10
Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan 3D yazıcı. ....	14
Şekil 4.3. Uçağa etki eden temel kuvvetler .....	15
Şekil 4.4. Klasik üst kanat geometrisi. ....	16
Şekil 4.5. Üst kanat geometrisi.....	17
Şekil 4.6. Kanat profili (aerofoil) unsurları.....	18
Şekil 4.7. Kanat profili. ....	19
Şekil 4.8. Kamburluk eğrisinin gösterimi. ....	20
Şekil 4.9. Klasik tek kanatlı uçak. ....	22
Şekil 4.10. Çift kanat gösterimi.....	23
Şekil 4.11. Delta tip kanat .....	23
Şekil 4.12. Kanard uygulamalı kanat. ....	24
Şekil 4.13. Üstten kanatlı uçak.....	25
Şekil 4.14. Ortadan kanat tasarımına sahip olan F-16.....	26
Şekil 4.15. Alttan kanatlı bir uçağın gösterimi.....	27
Şekil 4.16. Kuyruk bölümlerinin gösterimi.....	29
Şekil 4.17. Uçaklarda kullanılan kuyruk tipleri .....	30
Şekil 4.18. Bir uçağa etki eden kuvvetlerin gösterimi. ....	32
Şekil 4.19. Eklemeli imalat genel prosesi .....	34
Şekil 4.20. Ergitilmiş malzemeli 3D yazıcı.....	37
Şekil 5.1. Tasarlanan model İHA'nın gövde boyutları .....	42
Şekil 5.2. Tasarlanan yatay stabilizerin gösterimi.....	43
Şekil 5.3. Tasarlanan dikey stabilizerin gösterimi .....	43
Şekil 5.4. Tasarımı yapılan İHA.....	44
Şekil 5.5. Bir gövde parçasının imalatı .....	45
Şekil 5.6. Destek parçaları ve çapakları giderilmemiş parça .....	46
Şekil 5.7. Gövde montajı.....	46

## Sayfa

Şekil 5.8. Model İHA gövdesi.....	47
Şekil 5.9. Kanadın ve aileronların gösterimi .....	48
Şekil 5.10. Yatay stabilizer ve ona bağlı elevator ile dikey stabilizer ve ona bağlı rudder gösterimi .....	48
Şekil 5.11. İniş takımı, kamera, motor aksamları.....	49
Şekil 5.12. Servo motor gösterimi.....	50
Şekil 5.13. Model İHA'nın gösterimi .....	50
Şekil 5.14. Voltaj düşürücü devre şeması .....	51
Şekil 5.15. İHA kumanda aksamı ve kamera görüntü ekranı.....	51
Şekil 6.1. MH 114 kanat profili tipine uygun CL – CD ve CL – $\alpha$ değerleri değişimi .....	53
Şekil 6.2. MH 114 kanat profili tipine uygun CL/CD – $\alpha$ ve CD – $\alpha$ değerleri değişimi .....	53
Şekil 6.3. MH 114 kanat profili tipine uygun CM – $\alpha$ değerleri değişimi .....	54
Şekil 6.4. MH 114 kanat profili.....	54
Şekil 6.5. NACA 0012 kanat profili tipine uygun CL – CD ve CL – $\alpha$ değerleri değişimi .....	55
Şekil 6.6. NACA 0012 kanat profili tipine uygun CL/CD – $\alpha$ ve CD – $\alpha$ değerleri değişimi .....	55
Şekil 6.7. NACA 0012 kanat profili tipine uygun CM – $\alpha$ değerleri değişimi .....	56
Şekil 6.8. NACA 0012 kanat profili.....	56
Şekil 6.9. İHA'da oluşan bağıl basınç dağılımı .....	57
Şekil 6.10. 137.81 Pa basınca maruz kalan kanatta oluşan toplam deformasyon .....	59
Şekil 6.11. 137.81 Pa basınca maruz kalan kanatta oluşan gerilimler (stress) .....	59
Şekil 6.12. 137.81 Pa basınca maruz kalan kanatın emniyet katsayısı. ....	60

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. İnsansız hava araçlarının sınıflandırılması .....	4
Çizelge 4.1. Uçak tiplerine göre gövde uzunlukları .....	28
Çizelge 6.1. Çalışmada kullanılacak malzemeler tablosu.....	58
Çizelge 6.2. Kanat analizi sonuçları.....	60



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$L$	: taşıma kuvveti
$W$	: ağırlık
$T$	: çekiş kuvveti
$D$	: sürüklenme kuvveti
$b$	: açıklık
$c$	: veter uzunluğu
$c_u$	: kanat ucu uzunluğu
$c_k$	: kanat kökü uzunluğu
$S$	: alan
$t$	: kanat profili kalınlığı
$t_{max}$	: kanat profili maksimum kalınlığı
$\delta$	: kalınlık oranı
$\gamma$	: kamburluk oranı
$e_{max}$	: maksimum kamburluk
$e$	: kamburluk
$W_0$	: kalkış ağırlığı
$a$	: gövde uzunluğu hesabı katsayısı-1
$x$	: gövde uzunluğu hesabı katsayısı-2
$L_w$	: kanat taşıma kuvveti
$L_T$	: kuyruk taşıma kuvveti
$S_w$	: kanat alanı
$b_w$	: kanat açıklığı
$C_w$	: ortalama veter uzunluğu
$S_{VT}$	: dikey kuyruk yüzey alanı
$S_{HT}$	: yatay kuyruk yüzey alanı

$L_{HT}$	: yatay kuyruk ortalama veteri
$L_{VT}$	: dikey kuyruk ortalama veteri
$M$	: moment
$V_{HT}$	: yatay kuyruk hacim katsayısı
$V_{VT}$	: dikey kuyruk hacim katsayısı
$^{\circ}C$	: celcius derece
$MPa$	: megapascal
$Gpa$	: gigapascal
$C_L$	: taşıma katsayısı
$C_D$	: sürüklenme katsayısı
$\alpha$	: hücum açısı
$C_M$	: yunuslama momenti katsayısı
$v$	: uçak hızı
$\rho$	: hava yoğunluğu
$Pa$	: pascal
$N$	: newton
$P_w$	: kanata etki eden basınç
$cm$	: santimetre
$kv$	: kilo-volt
$s$	: saniye
$mAh$	: miliamper-saat
$\Omega$	: ohm
$K\Omega$	: kilo-ohm
$\omega$	: watt
$X_{CG}$	: kuvvetin uçak ağırlık merkezine uzaklığı
$X_{WAC}$	: kuvvetin kanadın ağırlık merkezine uzaklığı
$X_{TAC}$	: kuvvetin kuyruğun ağırlık merkezine uzaklığı



## KISALTMALAR

İHA	: İnsansız Hava Aracı
ABS	: Acrylonitrile Butadiene Styrene (Akrilonitril Butadien Stiren)
PLA	: Polilaktik Asit
3D	: 3 Dimension (3 Boyut)
IP	: İnternet Protokolü
UAV	: Unmanned Aerial Vehicle (İnsansız Hava Aracı)
TAI	: TUSAŞ Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş.
NATO	: North Atlantic Treaty Organization (Kuzey Atlantik Antlaşması Teşkilatı)
AB	: Avrupa Birliği
MALE	: Medium Altitude Long Endurance (Orta İrtifa Yüksek Dayanıklılık)
HALE	: High Altitude Long Endurance (Yüksek İrtifa Yüksek Dayanıklılık)
SAU-1	: Special Air Unit One (Özel Hava Birimi-1)
TYU	: Tasarla-Yap-Uçur
SANTEZ	: Sanayi Tezleri
MATLAB	: Matris Laboratuvarı
SEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
AR	: Aspect Ratio (En-boy oranı/Açıklık Oranı)
ESC	: Electronic Speed Controller (Elektronik Hız Kontrolcüsü)
STL	: Standard Triangle Language (Standart Üçgen Dili)
SLS	: Seçici Lazer Sinterleme
FDM	: Fused Deposition Modelling (Ergitilmiş Metal Şekillendirme)
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
LOM	: Laminated Object Manufacturing (Laminalı Nesne Üretimi)
SGC	: Solid Graund Curing (Katı Zemin Kürleme)
3DP	: 3D Printing (3D Yazdırma)

MIT : Massachusetts Institute Of Technology (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü)  
PETG : Polietilentetraftalat-Gliserin  
Li-Po : Lityum-Polimer  
EKS : Emniyet Kat Sayısı



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Tarih boyunca bir durum hakkında bilgi sahibi olabilmek çok büyük önem arz etmiştir. Özellikle devletler için bu durum elzemdir, bunun içindir ki devletler güvenlikleri ve üstünlüklerinin korunabilmesi için çok çeşitli istihbarat faaliyetlerine yönelmişlerdir. Bunların en son halkalarından biri de anında görüntü alınmasına imkan sağlayan “İnsansız Hava Araçları (İHA)” ’dır. İnsansız hava araçları ilk olarak bir savaş aracı olarak ortaya çıkmıştır. Bir pilot tarafından kumanda edilmeyen oluşu çeşitli avantajlar sağlamaktadır; boyutlarda küçülme, ağırlıkta azalma, pilotun can sağlığının tehlikeye atılmaması bunlardan bazılarıdır. 2. Dünya Savaşı’ndan sonra konvansiyonel savaşların azalması ile birlikte; İHA’nın gelişimi anlık istihbarat alımı yönüne doğru olmuştur. Gelişmiş görüntü aktarımı imkanı ile güvenlik güçlerinin olası tehlikelere karşı hazırlıklı olması amaçlanmaktadır. Teknolojinin ve insan ihtiyaçlarının artması ile birlikte İHA teknolojisi de gelişim ve değişim göstermiştir. İHA’lar artık sadece savunma ve istihbarat alanlarında değil, meteoroloji, madencilik, arama-kurtarma faaliyetleri, yangın gibi doğal afetlerle mücadele, tapu-kadastro faaliyetleri gibi çok çeşitli alanda kullanılabilirlerdir.

Bu çalışmanın amacı; bir model İHA tasarımı yapılması ve 3D yazıcı ile üretiminin gerçekleştirilmesidir. Çalışmanın ikinci bölümde genel itibari ile İHA’ların gelişimi ve tarihi hakkında bilgi verilmiş, İHA’ların sınıflandırılması yapılmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde daha önce bu konu hakkında yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise genel itibari ile tasarım kavramlarından bahsedilmiştir. Tasarım kurallarına uygun olarak model İHA’nın boyutlandırılması yapılmış ve tasarımı oluşturulmuştur.

Beşinci bölümde eklemeli imalat, eklemeli imalat türleri, çalışmada kullanılan yöntem ve malzeme özelliklerinden bahsedilmiştir. Altıncı bölümde ise tasarlanan

İHA'nın ulaşabileceği en yüksek hız bulunmuştur. Bu hız değeriinde İHA'da oluşan bağıl basınç bulunmuştur. Bu basınç altında oluşan yüklemeler bulunarak; ANSYS programında yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Böylece üretilebilirliği kanıtlanmıştır. Çalışmanın yedinci bölümünde tasarlanıp analizleri gerçekleştirilen İHA'nın üretim basamakları anlatılarak, aksamaları tanıtılmıştır. Sekizinci bölümde elde edilen sonuçlardan ve beklenen faydalardan bahsedilmiştir.



## BÖLÜM 2

### İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TARİHİ VE SINIFLANDIRILMASI

#### 2.1. GENEL OLARAK İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

Kendinden güç tahrik sistemine sahip, pilotsuz veya uzaktan pilotaj ile uçuş yapabilen sistemlerin tümüne insansız hava aracı (İHA) denilmektedir. İHA'lar savunma, kaçakçılıkla mücadele, çevre ve yapılaşma kontrolü, gözetleme, sınır kontrolleri, arama – kurtarma faaliyetleri, kargo teslimatı, hava durumu veri toplama, denizcilik faaliyetlerinde gemilerin tanımlanması ve tecrit edilmesi, röle ve radyolink olarak kullanılması gibi görevlerde kullanılabilir [1].

İHA'ların birden fazla sınıflandırması olmakla beraber en çok kullanılan sınıflandırmalardan birkaçı şu şekildedir;

- Büyüklük, irtifa, uçuş süresi ve faydalı yük kapasitesine göre: Micro-Mini-Küçük-Taktik-Operatif-Stratejik
- Kullanım amacına göre: Sahte/Hedef – Keşif Gözetleme – Atak/Saldırı – Lojistik destek
- Kalkış ve iniş yöntemine göre: Rampadan kalkan/fırlatılan – Pistten kalkan – Uçaktan bırakılan – elle fırlatılan – gövde üzerine iniş yapan - paraşütle iniş yapan
- Faydalı yük türüne göre: Silahlı İHA'lar – Silahsız İHA'lar
- Yakıt türüne göre: İçten yanmalı motorlu – Elektrik motorlu İHA'lar
- Uçuş yöntemine göre: Sabit Kanatlı – Döner Kanatlı
- Komuta biçimine göre: Otomatik pilotlu – Uzaktan komutalı

İHA 'ların sınıflandırılması yapıldığında, Türkiye irtifa parametresini baz alırken; NATO ve AB ülkeleri ağırlığı baz almaktadır. Çizelge 2.1'de İnsansız hava araçlarının sınıflandırılması görülmektedir.

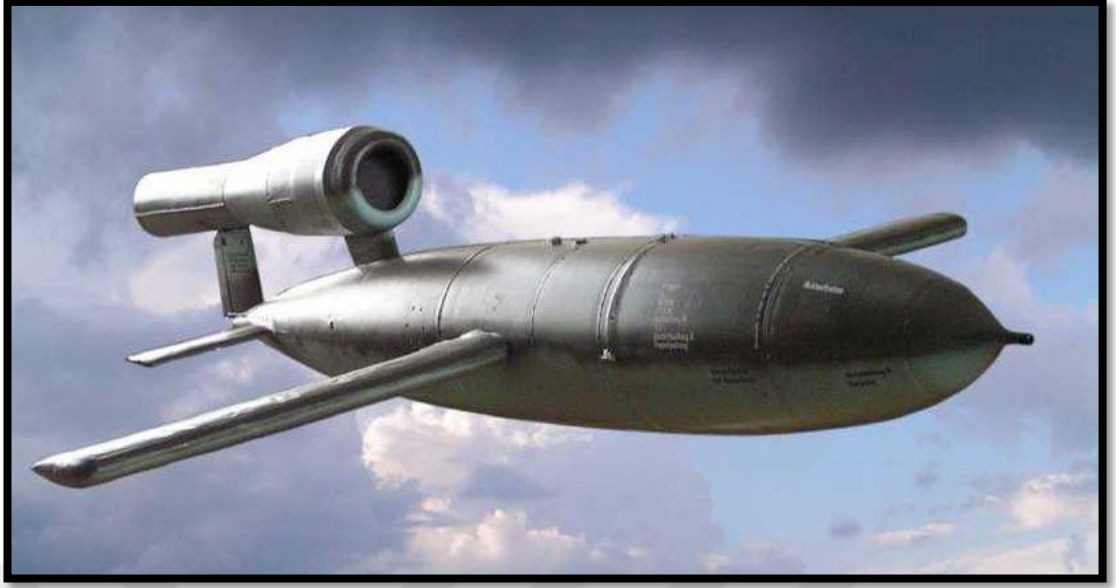
Çizelge 2.1. İnsansız hava araçlarının sınıflandırılması [1].

Sınıf	Kategori	Menzil Yarıçapı (Km)	Havada Kalma Süresi (Saat)	Yerden Operasyon İrtifası (feet)	Örnek İHA'lar
Sınıf 1 (<150 kg)	Mikro (<2kg)	5	1	200	Black Widow, MicroStar, Microbat, FanCopter, QuattroCopter, M05quito, Homet, Mite, Arı
	Mini (2-20 kg)	25	< 2	3000	ScanEagle, Skylark, DH3, Mikado, Aladin, Tracker, DragonEye, Raven, Pointer II, Carolo C40/P50, 5korpio, R-Max and R-50, RoboCopter, YH-3005L, Efe, Gözcü
	Küçük (>20 kg)	50	3 – 6	5000	Hermes 90, Scorpi 6/30, Luna, SilverFox, EyeView, Firebird, R-Max Agri/ Photo, Homet, Raven, phantom, GoldenEye 100, Flyrt, Neptune
Sınıf 2 (150 -600 kg)	Taktik	200	6 – 10	10000	Sperwer, İview 250, Watchkeeper, Hunter B, Mücke, Aerostar, Sniper, Falco, Armor X7, Smart UAV, UCAR, Eagle Eye+, Alice, Extender, Shadow 200/400 , Taktik (ODTÜ), Çaldıran, Karayel, Bayraktar
Sınıf 3 (>600 kg)	Operatif (MALE)	Sınırsız	24 – 48	45000	Reaper, Hermes 900, Skyforce, Hermes 1500, Heron TP, MQ-1 Predator, Predator-IT, Eagle1/2, Darkstar, E-Hunter, Dominator, Anka
	Stratejik (HALE)	Sınırsız	24 – 48	65000	Global Hawk, Raptor, Condor, Theseus, Hellos, Predator B/C, Libellule, EuroHawk, Mercator, SensorCraft, Global Observer, Pathfinder Plus
	Taaruz – Atak	Sınırsız	> 48	65000	Pegasus

## 2.2. İHA TARİHİ

İlk insansız hava aracı 19. yy 'ın sonunda Charles Perley tarafından icat edilmiştir. Bu taşıt mühimmat yüklü bir balon olup, zaman ayarlıdır. Belli zaman aralıklarıyla düşman birliklerinin üstüne bomba bırakmakta olan balon, otonom uçuş özelliği bulunmamaktadır. Daha sonra William Eddy fotoğraf çekebilen bir uçurtma icat ederek ABD – İspanya savaşında istihbarat çalışmaları yapmıştır [2].

1917 yılında ABD 'de Peter Cooper ve Elmer A. Sperry ilk radyo kontrollü uçağı yapmışlardır. Otomatik cayroskopik stabilizör vasıtası ile hareket eden Curtiss N – 9 tipi eğitim uçağı başarılı mühimmat taşımaları gerçekleştirmiştir. Ancak üretim ve programlama zorluklarından dolayı kısa bir süre kullanılmıştır. 1930'lu yıllarda İngilizler tarafından düşman uçaksavarlarını meşgul edebilmek için sahte hedefler kullanılabileceğı fikrini ortaya atmıştır. Bunun üzerine ilk kez düşük maliyetli “sahte hedef drone” ları üretilmiştir. Bu uçaklar daha sonra uçaksavar personellerinin eğitimi için de kullanılmıştır. 2. Dünya Savaşı ile birlikte tüm savaş teknolojileri gibi İHA teknolojisi de çok hızlı bir atılım içine girmiştir. Savaş sırasında Almanlar sivil halka karşı kullanılması amacıyla “V – 1” İHA'sını geliştirmişlerdir. V – 1 tarihin ilk insansız bombardıman aracı olup; 11 ton patlayıcı mühimmat taşıyabilmekteydi. V – 1 savaş boyunca binlerce sivilin zarar görmesine neden olmuştur. Daha sonra ABD bu uçaklara tedbir alabilmek amacı ile “Special Air Unit One (SAU-1)” İHA'sını geliştirmiştir. Bu uçak İHA'ya karşı geliştirilmiş ilk İHA'dır [2]. Şekil 2.1'de V – 1 insansız bombardıman aracı görülmektedir.



Şekil 2.1. Alman V – 1 insansız bombardıman aracı [3].

1960'lı yıllarda ABD "Q-2C Firebee" isimli ilk yarı görünmez İHA'sını kullanmaya başlamıştır. Görünmezlik konusunda sorunlu olan bu İHA keşif / gözlem ve propaganda amacı ile kullanılmıştır. Bu İHA, birçok yönü ile günümüz İHA'larının atası kabul edilmektedir. Zamanla İHA'lar daha da önemli bir hale gelmiştir. 1982 yılında Lübnan Savaşı'nda İsrail, Suriye uçaksavar sistemlerini aktive edip şaşırtmak için sahte insansız hava araçlarını kullanmıştır. İHA'lar ile sahte uçak sinyalleri yaymış, Suriye hava savunma sistemlerini yanıltmış, 86 uçağını düşürmüş, yalnız tek uçak kaybetmiştir [2].

Mini İHA türünün ilk örneği de 1980'lerde İsrail tarafından üretilen Scout'tur. Scout aynı zamanda ilk eş zamanlı görüntü aktarımı yapabilen İHA olma özelliğini taşır [2]. 2000'li yıllara gelindiğinde Predator B ve Raptor tipi İHA'lara çok gelişmiş silah sistemlerinin monte edilebildiği, hava koruma, ikmal sağlık hizmetleri, sınır ve asker güvenliği gibi bir çok konuda İHA teknolojisinden yararlanıldığı görülmektedir.

Ülkemizde ise 1990'larda başlayan kendi İHA'mızı üretme çalışmaları başarılı sonuçlar vermiş ve hızlı bir şekilde ilerlemektedir. TAI tarafından üretilen ve üretimi süren ANKA, ŞİMŞEK, TURNA; Baykar Makina tarafından üretilen Bayraktar, Malazgirt İHA'ları; Vestel Savunma tarafından üretilen Karayel bu çalışmalardan



bazılarıdır. Şekil 2.2’de operatif bir İHA türü olan, yerli imkanlarla üretilen ANKA İHA’sı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. TAI tarafından milli imkanlarla üretilen ANKA İHA’sı [4].

## BÖLÜM 3

### LİTERATÜR TARAMASI

İHA kullanım amaç ve miktarının büyük bir hızla arttığı günümüzde, bahsi geçen sistemlere ilgi de katlanarak artmaktadır. Bunun bir sonucu olarak ilgili alanda son yirmi yılda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları incelenecek olursa;

Genç ve diğerleri, düz flaplı NACA0012 kanat tipi kullanılan uçaklarda aerodinamik yapıyı incelemişlerdir. Flap kullanımının uçak aerodinamik performansını 15 derecelik hücum açısına kadar arttırdığı sonucuna varmışlardır [5].

Karagöz “Mini İnsansız Hava Aracı Tasarımı ve Üretimi” isimli çalışmasında harbiyelilerin katılabildiği “Tasarla – Yap – Uçur” (TYU) yarışmasına rehberlik edebilecek bir çalışma oluşturmayı amaçlamıştır. Bu kapsamda mini bir İHA tasarlayıp hesaplamalarını yapmıştır. Bu aşamalardan sonra İHA’nın üretimini de gerçekleştirerek başarı ile uçurmuştur [6].

Kerimoğlu “Sabit Kanatlı Bir İnsansız Hava Aracı İçin Düşük Bütçeli Otopilot Sistemi Tasarımı” isimli çalışmasında İHA’lar için bir otomatik kontrol sistemi geliştirmeyi amaçlamıştır. Çeşitli sorunlarla karşılaşmasına rağmen tasarladığı sistem ile İHA’nın kontrolü için gerekli ölçümleri standarttan çok daha düşük maliyetlerle yapabilmıştır [7].

Dereli’nin “Turaç İnsansız Hava Aracının Yapısal Modelinin Hazırlanması ve Analizlerinin Yapılması” adlı SANTEZ tarafından desteklenen projesinde Turaç isimli hem yatay hem de dikey kalkış özelliğine sahip İHA’nın tasarımı ve üretimini gerçekleştirmiştir. Malzeme olarak günümüzde başta havacılık ve uzay olmak üzere birçok alanda kullanılan kompozit (karbon – elyaf) malzeme seçmiştir. Çeşitli statik ve akışkan analizleri yaparak uçağın uçabilirliğini ve kararlılığını kontrol etmiştir [8].

Kaya, “Hidrojen Kullanan Turbofanlı Bir İnsansız Hava Aracının Ekserjetik Sürdürülebilirlik Analizi” isimli tezinde MATLAB üzerinden özgün bir yazılım geliştirerek yüksek irtifa ve güce sahip tek turbofan motorlu bir İHA'nın % 0 – 100 yakıt depolama oranlarıyla ısı geri kazanımlı ve ısı geri kazanımsız olarak ekserjik analizlerini yapmıştır. Böylece itki gücü, yakıt tüketimi, uçuş süresi gibi parametrelerde iyileşme sağlamayı hedeflemiştir. Uçak yakıtı olarak kullanılan kerozen ile hidrojenin karşılaştırmasını yapmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre; hidrojen daha az yakıt miktarı ile daha fazla uçuş süresi sağlamaktadır. Buna karşın İHA'nın maksimum irtifası olan 16 km yüksekliklere günümüz depolama teknolojileri ile ulaşması mümkün değildir. Yakıt sistemi farklarından dolayı hidrojen kullanan turbofanlı İHA, kerozen kullanılan muadiline göre daha ağırdır. Bu da maksimum irtifaya çıkış süresini uzatmaktadır. Buna karşın ekserjik ve çevresel açıdan hidrojen yakıtı kerozene göre çok daha üstündür [9].

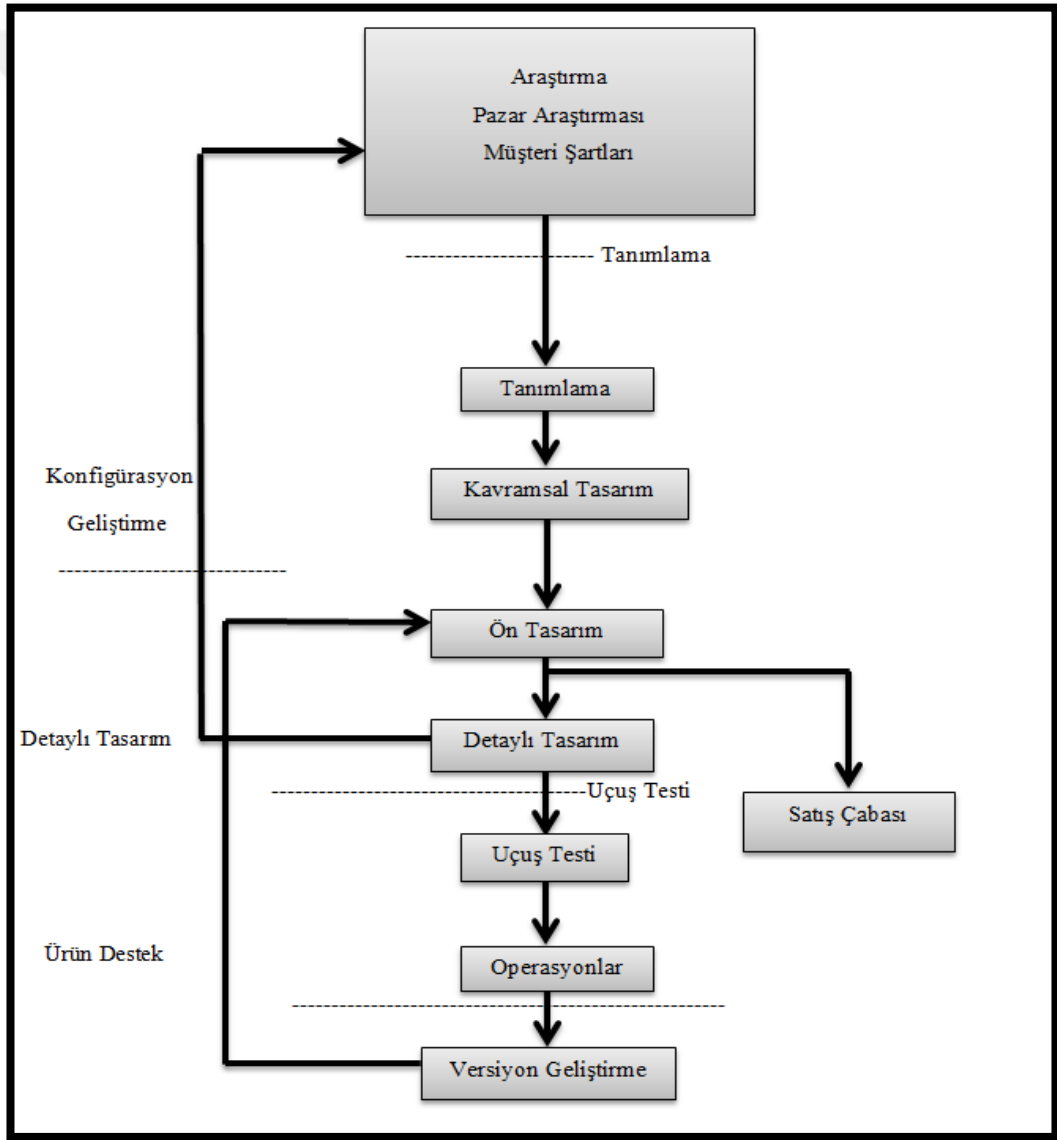
Gülbahar “Karayel İnsansız Hava Aracının Statik Ve Dinamik Analizleri” isimli çalışmasında Vestel Savunma tarafından geliştirilen “Karayel İnsansız Hava Aracı” ’nın tasarımının bir kısmını, sonlu elemanlar modeli (SEM) ile oluşturulan modelin analiz ve test çalışmalarını, elde edilen sonuçların deneysel veriler ile karşılaştırılmasını incelemiştir. Yapılan analizler sonucunda aracın yeterince dayanıklı ve uçuşa uygun olduğu sonucuna varılmıştır [2].

Köse “ İnsansız Hava Aracında Kuyruk Konisinin Optimizasyonu” adlı tezinde CAD programı yardımıyla farklı kuyruk konileri tasarlamıştır. Daha sonra tasarlanan kuyruk konilerinin analizlerini yapmış ve konik tip kuyruk konisinin insansız hava araçları için en uygun kuyruk konisi tipi olduğu sonucuna varmıştır [10].

## BÖLÜM 4

### UÇAK TASARIMI VE KATMANLI İMALAT

Bütün tasarım süreçlerinde olduğu gibi uçak tasarımının da belli aşamaları vardır. Bu aşamalar Torenbeek'e [11] göre Şekil 4.1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.1. Sivil Uçak Geliştirme Prosesi [11]

Uçak tasarımı yapılırken çeşitli tasarım kısıtlamaları mevcuttur. Tasarlanan uçağın hızı burada önemli bir parametredir.

Düşük hız koşulları :

- Daha hafif bir uçak yapısına
- Daha az yakıt tüketimine
- Daha düşük motor gücüne imkan sağlar .

Fakat düşük hız zaman kaybına, dolayısıyla iş kaybına neden olabilir. Tasarım yapılırken tüm parametreler birlikte ele alınıp, en uygun tasarım oluşturulmalıdır.

Ön tasarım, tasarıma ne için ihtiyaç duyulacağını, kullanım amacını belirler. Temel boyutlandırmalar yapılır ve konfirasyonlar belirlenir. Uçaklar ön tasarım aşamasından geçebilirse tasarımın çalışacağına olan güven giderek artar. Fakat detaylı tasarım sırasında oluşturulan gövde çerçeveleri, kanat direkleri, yakıt tankları, iniş takımı gibi ana bileşenlerin arasındaki etkileşim; ön tasarım sırasında gerçekleştirilen geometriden daha önemlidir.

Temel tasarım genellikle projenin uygulanabilirliğinin ispatı ve yatırım yapılmasının sağlanması için vardır. Burada amaç genel teknik özelliklere bağlı kalınarak bir prototip üretmektir. Tasarım ile prototip arasında ılımlı bir tahmin ile %5 farklılık vardır. Bu farklılık teknolojik gelişmeler, hesap ve üretim hatalarından kaynaklanabilir.

Kavramsal tasarımda değişken bir karakter vardır. Kanat, gövde, iniş takımı, tahrik sistemleri gibi birincil bileşenler ön tasarıma yol gösterecek şekilde geçici olarak boyutlandırılır.

Kavramsal tasarımın tamamlanmasından sonra, tasarım ve analiz sürecinde ön tasarıma geçilir. Bu bölümde kavramsal tasarımdan farklı olarak alt sistemlerin tanımlanmasının, satın alınabilecek parçaların belirlenmesi ve optimizasyonlarının gerçekleştirilebilmesi amaçlanır.

- Tasarım Tanımı: Detaylı analizler, ana boyutlandırma, ağırlık dağılımı ve motor performansı arasında bir denge bulmayı amaçlar. Uçak geometrisinin ayrıntıları, aerodinamik özellikler, yapısal yükler, deformasyonlar hesaplanmalıdır.
- Tasarım Geçerliliği: Tercih edilen konfigürasyonları destekleyen analizler gerçekleştirilir; simülasyonlar ve test verileriyle sonuçlar doğrulanır. Bu adım ön tasarım adımının son aşamasıdır.

## **4.1. TEMEL TASARIM KAVRAMI**

### **4.1.1. Detaylı Tasarım**

Uçak üzerine montajı yapılacak donanım parçaları, uçağın üretimine karar verildiği bu aşamada düşünülür. Detaylı tasarımın amacı, tüm bileşenlerin geometrisini belirlenmesi ve bu parçaların imalat sürecini planlanmasıdır. Detaylı tasarım aşamasının tamamlanmasından sonra bileşenlerin imalatı başlar. İmalatların bitiminde montaj ile ilk uçuş gerçekleştirilerek sertifikasyon işlemi başlar.

### **4.1.2. Temel Boyutlandırma**

Taşınacak ağırlığa göre gövde hesabı en önemli boyutlandırma parametresidir. Kanatlar ise temel boyutlandırma işlemi ikinci ana bileşendir. Kanat geometrisinin performans gereksinimlerine uyması gereklidir, bu gereksinimler uçuş performans analizinde kullanılan birkaç parametre ile tanımlanabilir. En / boy oranı, kanat ucu veya kökü kalınlığı, çeyrek – kord çizgisinin tarama açısı, kesit şekli bu parametrelerdendir.

### **4.1.3. Güç Planlaması**

Güç planlamasından kasıt motor ile gövde tipi ve yapısının uyumlu bir hale getirilmesidir. Bu işlem için üç farklı yol seçilebilir:

- Yeni bir motor tipinin varlığı ile uçak tasarımının yapılması. Uçağın temel özellikleri korunarak optimum motor seçimi yapılır.
- Mevcut bir gövde ile motorda boyutlandırma yapılması işlemidir.
- Farklı motor tiplerinin analizleri yapılarak seçimin yapılmasıdır [11].

#### **4.2. ANSYS ANALİZ PROGRAMI**

ANSYS, mühendislik ve fen bilimleri gibi bilim dalları için yorulma ve mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği, elektromekanik, ısı transferi, elektrik-elektronik, termodinamik gibi disiplinlerin etkileşimlerinin simülasyonunu gerçekleştirmek için kullanılan bir yazılımdır.

Test veya çalışma koşullarının simülasyonunun gerçekleştirilmesini sağlayan ANSYS, ürünlerin prototipleri üretmeden önce sanal ortamda test yapılmasını sağlar. Ayrıca, sanal ortamda 3B simülasyonlar ile zayıf noktaların belirlenmesi ve geliştirilmesi, bilgisayar ortamında olası sorunların öngörülmesi mümkündür. ANSYS, CAD programları ile entegre olarak çalışabilmektedir. Çalışmada ANSYS'in WORKBENCH modülü kullanılmıştır.

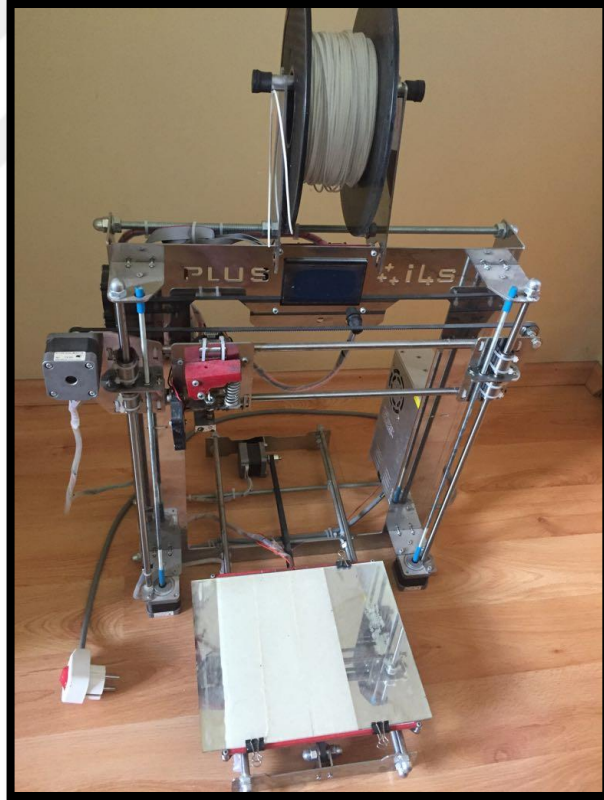
#### **4.3. SOLİDWORKS TASARIM PROGRAMI**

SolidWorks tasarım-modelleme amacı ile kullanılan bir CAD (Computer Aided Design) programıdır. SolidWorks parametrik çalışan bir programdır; tasarım kolaylığı ve özgürlüğü sağlamaktadır.

Gerçek uygulamalarda bir montajın birkaç alt montaj veya parçadan oluşması gibi SolidWorks'de oluşturulan modeller de alt montaj veya parçalardan oluşturulabilmektedir. Böylece tasarım hem bir bütün halinde hem de ayrı ayrı parçalar halinde değerlendirilebilmektedir. Tasarlanan parçalar teknik resim haline getirilebilmekte, farklı formatlarda dosya oluşturulabilmektedir. SolidWorks sadece tasarım hizmeti vermeyen bir program olup; analiz, simülasyon gibi eklentilere de sahiptir.

#### 4.4. ÇALIŞMADA KULLANILAN 3D YAZICI

Çalışma için kullanılan 3D yazıcı bir FDM türüdür. Yazıcı 3DPlus marka, i4s modelidir. Yazıcıya arduino kart ile programlanıp komut verilmektedir. Çalışmada kullanılan yazıcıda Arduino Mega 2560 tipi bir kart kullanılmıştır. Hareket servo motorlar ile sağlanmaktadır. Her bir servonun çalışma voltajı 2.8 V'dir. 3D yazıcının parça yapışma zemini olarak (ısıtıcı tabla) HEATBED MK2B model ısıtıcı tabla kullanılmıştır. 105 °C'ye kadar ısı verebilmektedir. Güç kaynağı çalışma için tarafımdan güçlendirilmiş olup 12 V, 30 A'e kadar güç verebilen 360 ω'lık bir güç kaynağıdır. Isıtıcı tabla ve ekstruder ısısının ölçülebilmesi için 100 KΩ değerinde NTC tipi termistörler kullanılmıştır. Baskı alanı 25mmx25mmx30mm'dir. Çalışmada kullanılan makine ile ABS ve PLA baskı alınabilmektedir. Çalışmada kullanılan 3D yazıcı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan 3D yazıcı.



## 4.5. KANAT TASARIMI

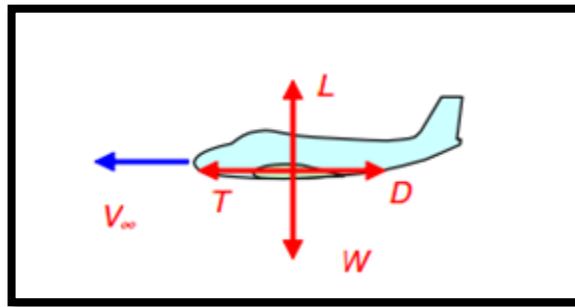
### 4.5.1. Uçağa Etki Eden Temel Kuvvetler

Bir hava taşıtının temel uçuş pozisyonu, irtifa değişimi yaşamaksızın düz bir çizgi üzerindeki hareketidir. Bu durumda uçuşun kararlı bir biçimde devam ettirilebilmesi için hava taşıtının ağırlığına eşit bir taşıma kuvvetine ihtiyaç vardır. Bu durum Eşitlik 4.1'deki gibi ifade edilir.

$$L = W \quad (4.1)$$

Aerodinamik bir uçuş için uçağın belli bir hızın üstünde hareket etmesi gerekmektedir. Hava taşıtlarına uçuş esnasında bir direnç kuvveti etki eder. Bu kuvvete sürüklenme kuvveti denilmektedir. Uçuşun kararlı bir biçimde sürdürülebilmesi için sürüklenme kuvvetinin bir başka kuvvet ile dengelenmesi gerekmektedir. Bu kuvvete motor konumuna bağlı olarak itme ya da çekme kuvveti denilmektedir [12]. Sürüklenme kuvvetinin itme veya çekme kuvvetine eşit olduğu durumda uçak sabit hızla uçmaktadır, bu durum Eşitlik 4.2'de belirtilmiştir. Uçağa etki eden temel kuvvetler Şekil 4.3'de görülmektedir.

$$T = D \quad (4.2)$$



Şekil 4.3. Uçağa etki eden temel kuvvetler [12].

Burada;

L : Taşıma kuvveti (Lift)

W : Ağırlık (Weight)

T : İtme kuvveti (Thrust)

D : Sürüklenme kuvveti (Drag) olarak açıklanabilir.

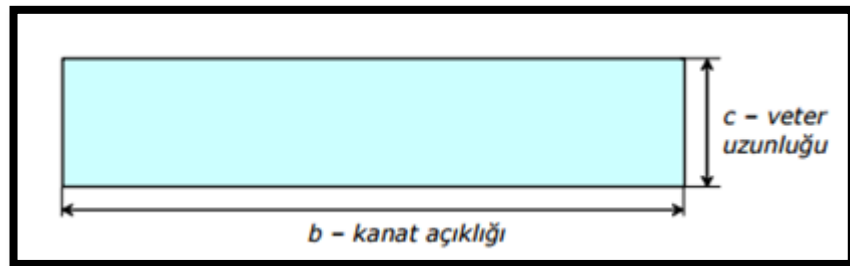
Uçağın her bir parçasının taşımaya etkisi olmasına karşın temel taşıma kuvveti kanatlar tarafından oluşturulur [12].

#### 4.5.2. Kanat Geometrisi

Uçak kanat geometrisi hız karakteristiğine bağlı olmakla beraber kanat kesit görünümü ve üst görünüm açısından karakteristik bazı özellikleri vardır [12].

#### Kanat Üst Görünüm Geometrisi

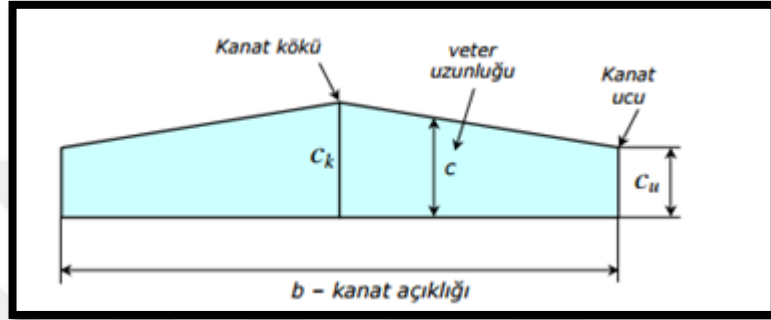
Bir uçak kanadının üst görünüşü ele alındığında; yatay doğrultudaki uzunluğa kanat açıklığı (span), dikey doğrultudaki genişliğe ise veter uzunluğa (cord length) adı verilir [12]. Sırası ile klasik tip uçaklarda ve günümüzde kullanılan uçakların büyük bir bölümünde kullanılmakta olan kanat geometrilerinin üstten görünüşleri Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Klasik üst kanat geometrisi [12].

Dikdörtgensel üst görünümlü bir kanadın açıklığının veter uzunluğa oranı açıklık oranı (aspect ratio, AR) olarak adlandırılır [12]. Aerodinamik olarak uçuşun gerçekleştirilebilmesi için açıklık oranının 1'den büyük olması gerekmektedir. Bu durum Eşitlik 4.3'de ifade edilmiştir.

$$AR = \frac{b}{c} > 1 \quad (4.3)$$



Şekil 4.5. Üst kanat geometrisi [12].

Veter uzunluğu açıklık boyunca değişen kanatlarda açıklık oranı Eşitlik 4.4'de ifade edildiği gibi hesaplanabilir:

$$AR = \frac{b \cdot b}{c \cdot b} = \frac{b^2}{S} \quad (4.4)$$

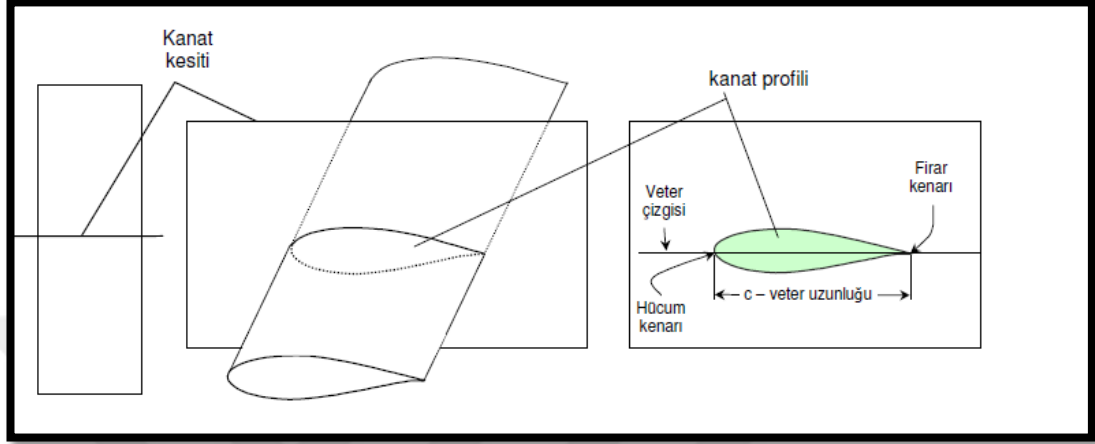
Burada "S" kanadın üst görünüşten bakıldığındaki alanıdır.

Açıklık oranı:

- Ses hızını aşamayan uçaklarda genellikle daha büyüktür. Bu oran sesaltı uçaklarda  $AR > 6 - 8$
- Ses hızını aşabilen uçaklarda  $AR < 6 - 8$
- Planörlerde ise  $AR \approx 15 - 20$  kadardır [12].

### 4.5.3. Kanat Profili

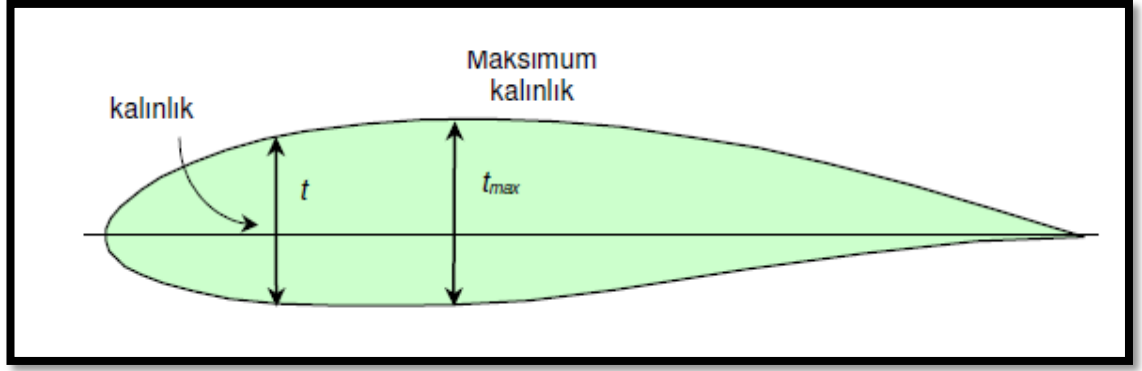
Kanat görünümüne kanat profili (aerofoil) denir [12]. Aerofoil ve unsurları Şekil 4.6’da görülmektedir.



Şekil 4.6. Kanat profili (aerofoil) unsurları [12].

Kanat profillerinin uçuş yönündeki hava akımı ile ilk teması gerçekleştiren kenarına hücum kenarı, en arka noktasına ise firar kenarı adı verilir. Hem hücum hem de firar kenarından geçen çizgiye ise veter çizgisi denir. Bütün kanat profillerinin firar kenarları kanat alt kısmından geçerek taşıma kuvvetinin oluşmasını sağlayan havanın kanadı kolay terkedebilmesi için sivri tasarlanır.

Bir kanat profilinin en büyük kalınlığının veter boyuna oranına kalınlık oranı ( $\delta$ ) denilmektedir [12]. Kalınlık oranı ile ağırlık ters orantılı olarak değişmektedir. Ağırlık arttıkça taşıma kuvvetine olan ihtiyaç artmakta, kanat alanı artmakta; dolayısıyla kalınlık oranı azalmaktadır. Şekil 4.7’de bir kanat profili görülmektedir. Kanat kalınlık oranı formülü Eşitlik 4.4’te ifade edilmiştir.



Şekil 4.7. Kanat profili [12].

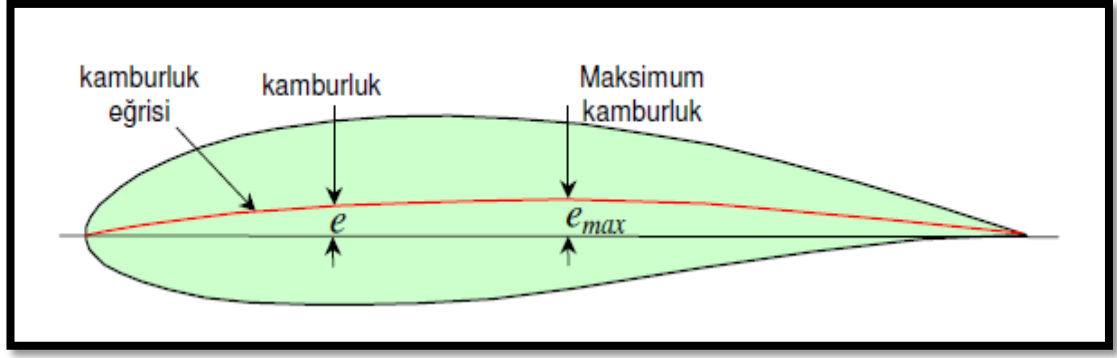
$$\delta = \frac{t_{max}}{c} \quad (4.4)$$

- İnce profilli kanatlar için kalınlık oranı;  $\delta < \% 10$
- Orta profilli kanatlar için kalınlık oranı;  $\delta \approx \% 10 - 14$
- Kalın profilli kanatlar için kalınlık oranı;  $\delta > \% 14$

olarak sınıflandırılabilir [12].

Kanat profil yapılarının bir kısmı veter çizgisine simetrik iken, bir kısmı ise simetrik değildir. Veter çizgisine göre simetrik olmayan kanat profillerine kamburlu kanat profili adı verilir.

Kanat profiline veter boyunca düşey doğrultuda çizgi çizilip, bu çizgilerin orta noktaları birleştirilirse bir eğri elde edilir. Bu eğriye kamburluk eğrisi adı verilir. Kamburluk eğrisinin veter çizgisine dik uzaklığına kamburluk denilmektedir. En büyük dik uzaklığa maksimum kamburluk adı verilmektedir [12]. Şekil 4.8’de bir kanat profilinde oluşabilecek kamburluk eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Kamburluk eğrisinin gösterimi [12].

Bir kanat profilinin maksimum kamburluğunun veter uzunluğuna oranı kamburluk oranı olarak adlandırılır [12]. Bir kanat profilinin kamburluk oranı Eşitlik 4.5'te ifade edildiği gibi hesaplanabilir.

$$\gamma = \frac{e_{max}}{c} \quad (4.5)$$

Kamburluk oranı:

- Uçak kanatlarında % 1 – 4
- Kompresör ve türbin kanatlarında % 8 – 10 kadardır [12].

Uçaklar maksimum hızına stabil uçuş pozisyonlarında ulaşmaktadır, bu pozisyonda taşıma kuvveti ağırlığa eşittir. Taşıma kuvveti formülü Eşitlik 4.6'da, sürüklenme kuvveti formülü Eşitlik 4.7'de verilmiştir;

$$W=L=\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_L \quad (4.6)$$

$$D=\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_D \quad (4.7)$$

Burada;

W : Ağırlık

L : Taşıma kuvveti (sabit irtifa için ağırlığa eşittir, N)

- $\rho$  : Hava yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $v$  : Uçak hızı ( $\text{m/s}$ )  
 $S$  : Kanat alanı ( $\text{m}^2$ )  
 $D$  : Sürüklenme kuvveti ( $\text{N}$ )  
 $C_L$  : Taşıma katsayısı  
 $C_D$  : Sürüklenme katsayısı olarak ifade edilebilir.

#### 4.5.4. Kanadın Dengesi ve Kararlılığı

Statik denge bir cismi etkileyen kuvvetlerin veya momentlerin birbirlerini dengelemesi durumudur. Bir kanat dengesinde; ağırlık merkezinden yer çekimi doğrudan ve yönünde bir ağırlık kuvveti etki eder. Hücüm açısına bağlı olarak yukarı yönlü bir taşıma kuvveti oluşur. Bu iki kuvvetin birbirini dengelemesi gerekmektedir. Hücüm açısı taşıma kuvveti ile doğru orantılıdır. Farklı ağırlık aralığındaki uçakların hücüm açıları da farklıdır. Ayrıca simetrik kesitli olmayan kanat profillerinde değişken yunuslama momenti oluşabilmektedir.

Bir uçağın tamamen kararlı bir biçimde uçurulabilmesi için aerodinamik merkezi ile ağırlık merkezinin aynı noktada olması gerekmektedir. Bu merkezler arasındaki ufak bir kaçıklık uçakta kararsızlığa neden olacaktır. Bu kaçıklığın tolare edilebilmesi için yatay kuyruk adı verilen, fazladan taşıma kuvveti oluşturan ek bir komponent geliştirilmiştir.

#### 4.5.5. Kanat Tipleri

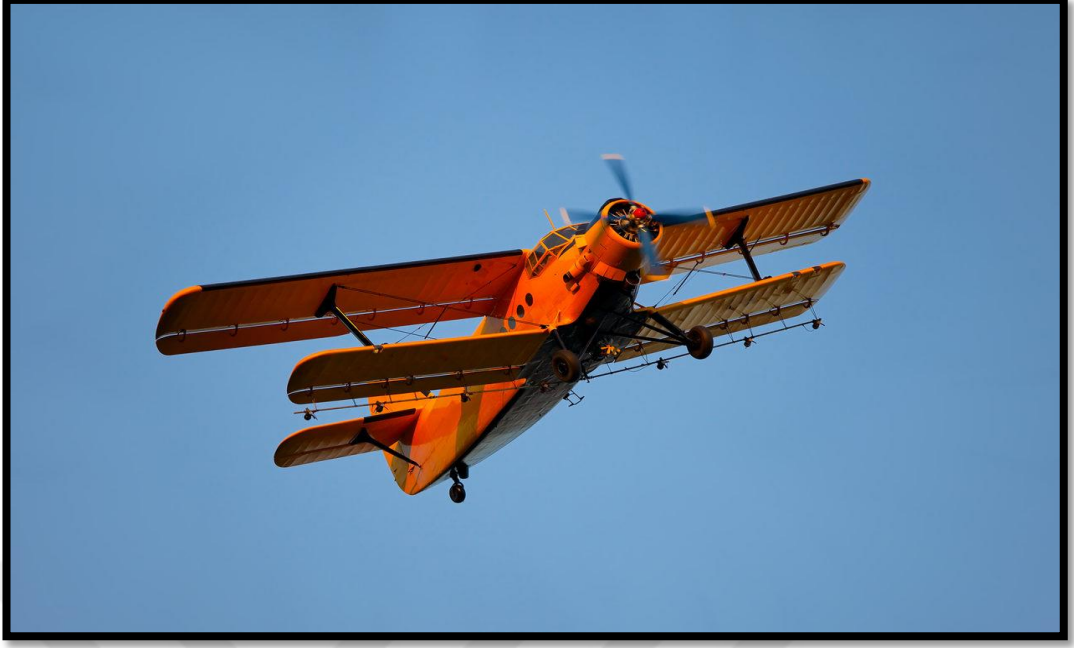
**Klasik Tek Kanat:** Üretimi kolaydır, daha fazla uçuş kararlılığına sahip ve taşıma sürüklenme oranının diğer kanat tiplerine göre daha fazla olması nedeniyle en çok kullanılan kanat türüdür. Ağırlık artışına en az neden olan kanat tipidir. Tüm bu nedenlerden dolayı çalışmada bu kanat tipi tercih edilmiştir. Şekil 4.9'da klasik bir tek kanatlı uçak görülmektedir.



Şekil 4.9. Klasik tek kanatlı uçak [13].

**Çift Kanat:** Çok eski uçak tiplerinde kullanılmıştır. Günümüze göre ilkel sayılabilecek malzeme teknolojisi uçak kanatlarının dayanımını arttırabilmek için kirişli yapı kullanmayı zorunlu kılmıştır. Böylece kanat kalınlıkları azalmakta hem ağırlıktan tasarruf edilirken hem de daha sağlam kanatlar elde edilmekteydi. Fakat bu tip kanatların taşıma kuvveti az, sürüklenme kuvveti fazladır ayrıca hızlı yolculuklara uygun değildir. Ayrıca tek kanat yapısına göre imalatı daha zordur ve kanatlar arasındaki etkileşim taşıma kanatların verebildiği taşıma kuvveti miktarını azaltmaktadır. Gelişen teknoloji ve malzeme bilgisi ile daha mukavemetli kanatlar oluşturulmuş, çift kanatlı yapılardan vazgeçilmiştir. Çalışmada ise tek kanata göre üretiminin daha zor ve taşıma kuvvetinin daha düşük olmasından dolayı tercih edilmemiştir. Şekil 4.10'da daha çok 1930'lu yıllarda kullanılmış olan bir çift kanatlı uçak görülmektedir.





Şekil 4.10. Çift kanatlı uçak [14].

**Delta Kanat:** Yüksek hızlı uçak tiplerinde kullanılan bir kanat türüdür. Üretimi kolaydır, fakat çalışmada üretilen İHA düşük hızlı bir uçak olduğu için tercih edilmemiştir. Şekil 4.11’de delta kanat tasarımına sahip, İngiliz Hava Kuvvetleri’ne ait, bombardıman tipi Avro Vulcan savaş uçağı görülmektedir.



Şekil 4.11. Delta tip kanatlı uçak [15].

**Kanard Uygulamalı Kanat:** Kararlılık açısından kötü olmasına rağmen uçağın yatay hızının sıfırlanıp ağırlık ile düşmesini ifade eden stall karakteristiği çok iyidir. Bu da daha küçük kanatlar ile daha fazla ağırlık taşınabilmesini sağlamaktadır. Üretimi ve uygun geometride yerleştirilmesi zordur, bu nedenlerden dolayı çalışmada tercih edilmemiştir. Şekil 4.12’de kanard uygulamalı bir Eurofighter Typhoon görülmektedir.



Şekil 4.12. Kanard uygulamalı Eurofighter Typhoon uçağı [16].

#### **4.5.6. Kanat Yerleşimi**

Kanat yerleşiminde üstten, ortadan ve alttan olmak üzere 3 farklı kanat yerleşimi mevcuttur. Sözü edilen 3 yerleşiminde kendine göre avantaj ve dezavantajları mevcuttur.

#### **Üstten Kanat:**

Uçak gövdelerinin yere daha yakın olmasını sağlar, böylece kararlılığı artırır. Kanatların üstte olması ile yer ile kanat arasındaki mesafe arttırılmış olur. Bu sayede daha kısa iniş takımlarına ihtiyaç duyulur; bu da ağırlıkta daha az artışa neden olur. Ayrıca daha kısa kalkış ve iniş mesafeleri elde edilir. Manevra kabiliyeti ortadan

kanatlı uçaklara göre daha azdır. Bu çalışma için tercih edilen kanat tipidir. Şekil 4.13’de üstten kanatlı bir uçak görülmektedir.



Şekil 4.13. Üstten kanatlı uçak [17].

**Ortadan Kanat:** Kararlılık açısından daha düşük fakat manevra kabiliyeti daha yüksek kanat tipidir, savaş uçaklarında tercih edilir. Gövdeden bağlantı sağlandığı için üstten kanat tipinde olduğu gibi kanadın boydan boya uzanmasına gerek yoktur. Fakat bu kanat tipinin uygulanabilmesi için gövdenin ve kanat ile bağlantı yerlerinin sağlamlaştırılması zorunludur. Bu da fazladan ağırlık artışına neden olmaktadır. Çalışmada kanat malzemesi olarak ABS kullanıldığı için kanadın tek parça halinde uzanması mukavemeti artırıcı bir etki sağlamaktadır. Ortadan kanat uygulaması çalışmada kullanıldığı takdirde kanatların gövde ile birleşim bölgelerinde ağırlığa bağlı olarak oluşan moment ile istenmeyen zayıflıklar ve esnemeler görülebilmektedir. Ayrıca oluşturulan İHA modellemesinde manevra kabiliyeti kısıtlı fakat kararlılık çok önemlidir. Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı bu kanat tipi tercih edilmemiştir. Şekil 4.14’te ortadan kanat uygulamasına sahip bir F-16’ımız (SOLOTÜRK) görülmektedir.



Şekil 4.14. Ortadan kanat tasarımına sahip olan F-16 [18].

**Altan Kanat:** Bu tip kanatlı uçaklarda kanatlar yere yakındır ve tek parça halinde gövdenin alt kısmına montajlıdır. Bu özellikleri mukavemeti arttırdığı için fazladan mukavemet arttırıcı uygulamalara ve aksamlara ihtiyaç yoktur. Böylece ağırlıktan tasarruf edilir, fakat motorları kanat altında olan uçaklar için yeterli motor alanı kalmamaktadır ve motorlara yabancı cisim girme ihtimali artmaktadır. Motorları üst kısma montajlamak tercih edilebilir fakat bu da kanatlar ile pervanenin etkileşimini arttırarak sürüklenmeyi arttıracak, uçuş dinamiğini etkileyecektir. Altan kanatlı uçakların bir başka sorunu ise kuyruğun yere temas etme ihtimalidir. Bunu önlemek için daha uzun iniş takımları tercih edilmektedir, uçağa fazladan ağırlık yüklenmesi anlamına gelmektedir. İHA'larda ağırlık büyük önem arz etmektedir. Hem ağırlık artışını az tutmak hem de kanadın altında sirkülasyona uğrayan hava miktarının arttırılması için tercih edilmemiştir. Şekil 4.15'te alttan kanatlı bir NASA jeti gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Alttan kanatlı bir uçağın gösterimi [19].

#### 4.6. GÖVDE TASARIMI

Gövde tasarımında kalkış ağırlığı önemli bir etkendir. Gövde boyutunun aerodinamik yapıyı bozmaması gerekmektedir. Bunun haricinde oluşturulan uçağın kullanım amacı da gövde boyutlandırmasında büyük etkendir.

Uçakların gövde uzunlukları kullanım amacı ve malzeme özelliklerine göre değişmekle birlikte Eşitlik 4.8’de belirtildiği üzere;

$$\text{Uzunluk} = a.W_0^x \quad (4.8)$$

formülüyle hesaplanabilir. Burada;

“ $W_0$ ” uçağın kalkış ağırlığı,

“ $a$ ” ve “ $x$ ” malzeme ve kullanım amacından kaynaklanan deneysel araştırmalarla bulunmuş katsayılardır. Çizelge 4.1’de değişik malzeme ve kullanım amacı olan

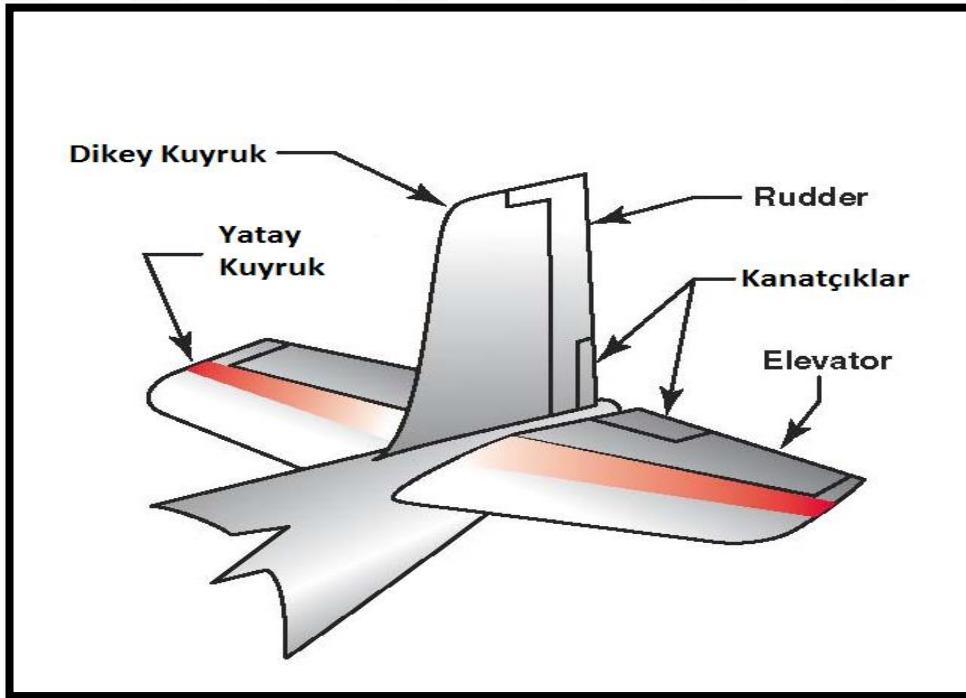
uçakların “a” ve “x” katsayıları ile uçağımızın kalkış ağırlığı olan 1.8 kg (yaklaşık 3.97 lb) ile formüle edilmiş halleri bulunmaktadır.

**Çizelge 4.1.** Uçak tiplerine göre gövde uzunlukları [20].

Uçak Tipi	a	x	Gövde Uzunluğu (feet)	Gövde Uzunluğu (Metre)
Motorsuz Planör	0.86	0.48	1.666932	0.508414
Motorlu Planör	0.71	0.48	1.376188	0.419737
<b>Ev Yapımı – Metal/Ahşap Uçaklar</b>	<b>3.68</b>	<b>0.23</b>	<b>5.053237</b>	<b>1.541237</b>
<b>Ev Yapımı – Kompozit Uçaklar</b>	<b>3.5</b>	<b>0.23</b>	<b>4.806067</b>	<b>1.465851</b>
Tek Motorlu Genel Uçaklar	4.37	0.23	6.000718	1.830219
Çift Motorlu Genel Uçaklar	0.86	0.42	1.534583	0.468048
Tarım Uçakları	4.04	0.23	5.547575	1.69201
Çift Turbo Pervaneli Uçaklar	0.37	0.51	0.747455	0.227974
Deniz Uçakları	1.05	0.4	1.822659	0.555911
Eğitim Uçakları	0.79	0.41	1.390373	0.424064
Savaş Uçakları	0.93	0.39	1.59225	0.485636
Askeri Kargo / Bombardıman Uçakları	0.23	0.5	0.458272	0.139773
Jet Taşıma Uçakları	0.67	0.43	1.212145	0.369704

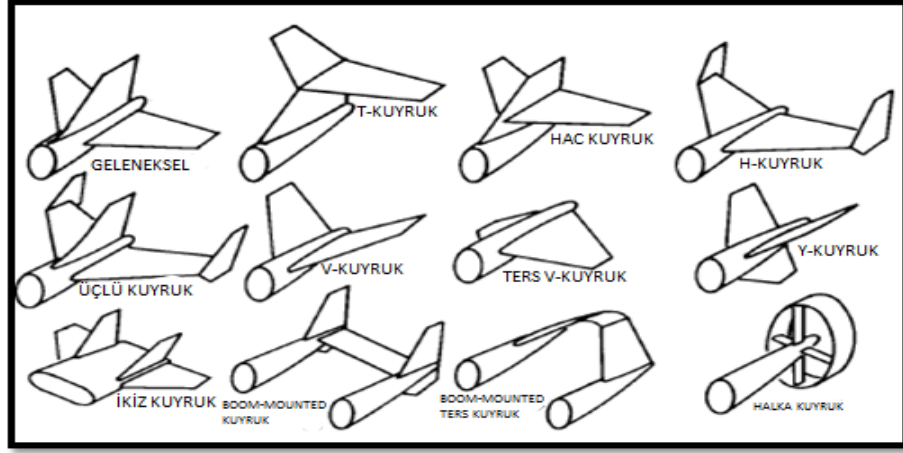
## 4.7. KUYRUK GEOMETRİSİ

Kuyruğa sahip olmayan uçaklar da olmakla birlikte son dönemde üretilen uçakların büyük bir çoğunluğunda kuyruk aksamı bulunmaktadır. Uçaklarda kuyruk aksamı yatay kuyruk (horizontal stabilizer) ve dikey kuyruk (vertical stabilizer) olmak üzere ikiye ayrılabilir. Yatay kuyruğun uç kısmında montajlı şekilde elevator adı verilen uçakta irtifa değişimini sağlayan bir parça bulunmaktadır. Yatay kuyruk genellikle uçağın kanadına benzeyen ikinci bir kanat görünümünde olup ana kanattan daha küçüktür. Bu nedenle oluşturduğu taşıma kuvveti de ana kanada kıyasla bir hayli küçüktür. Yatay kuyruğa 90 derece dik şekilde dikey kuyruk (vertical stabilizer) bulunmaktadır. Aynı şekilde dikey kuyruğun arkasına montajlı şekilde; uçakların yatay yönde yön değişimini sağlayan rudder adı verilen bir aksam mevcuttur. Ayrıca elevator, rudder ve kanatların üzerinde; trim tabs adı verilen denge ve yön tayinine yarayan daha küçük kanatçıklar bulunabilmektedir. Şekil 4.16'da bir kuyruk geometrisi ve elemanları, Şekil 4.17'de uçaklarda kullanılan kuyruk tipleri görülmektedir.



Şekil 4.16. Kuyruk bölümlerinin gösterimi [21].

#### 4.7.1. Kuyruk Tipleri



Şekil 4.17. Uçaklarda kullanılan kuyruk tipleri [20].

**Geleneksel Tip:** Yeterli uçuş istikrarı ve kontrolü sağlamaktadır. Hafif olmasının da etkisiyle geleneksel bir hale gelmiştir. Hala kullanımda olan uçakların %70 kadarı bu tiptedir. Çalışmada da bu kuyruk tipi kullanılmıştır.

**T – Kuyruk:** Bir diğer yaygın kullanılan kuyruk tipidir. Dikey kuyruğun yatay kuyruğu sorunsuz taşıyabilmesi için ek desteğe ihtiyaç vardır. Bu yüzden geleneksel tip kuyruğa göre daha ağırdır. Bunun yanında ağırlığı tolere edici avantajlar da sağlamaktadır. T kuyruk uç plakası etkisi ile daha küçük dikey kuyruk imkanı sağlar. Bu da hem malzeme yorulmasını azaltır hem de daha kolay bir pilotaj sağlar.

**Haç Biçimli Kuyruk:** Geleneksel kuyruk ile T kuyruğun birleşimidir. Jet uçaklarında; kuyruğu egzoz gazlarının etkisinden kurtarmak için tercih edilir, yatay kuyruk daha yukarı konumlandırılmış olur. T – kuyruğa göre daha hafif olduğu için tercih sebebidir.

**H – Kuyruk:** Geleneksel tip kuyruklardan daha ağırdır. Jet motoru kaynaklı hava akımı düzensizliklerinden daha az etkilenir.

**Üçlü – Kuyruk:** Dikey kuyruğu kısaltmak için tasarlanmıştır. Dikey kuyruk etkisini üçe bölerek, boyutsal küçülmeye birlikte karşılaşılabilecek etki azalmasının önüne geçilmiştir.



**V – Kuyruk:** Islak alanı (wetted area) azaltmak için tasarlanmış bir kuyruk türüdür. Islak alan; havada hareket halindeki bir cismin hava akımına maruz kaldığı tüm alan olarak tanımlanabilir. Yatay ve dikey kuyruk ihtiyacını beraber karşılamak amaçtır, fakat yatay ve dikey kuyruk ayrı ayrı kontrol edilemediği için sorunlu yanları da vardır.

**Ters V – Kuyruk:** Hem ıslak alanın azalmasını hem de kontrolün kolaylaşmasını amaçlayan kuyruk tipidir.

**Y – Kuyruk:** Islak alan azalmasını sağlaması ile V – kuyruğun bir tasarımıdır. Kontrolü V – kuyruğa göre daha kolaydır.

**İkiz Kuyruk:** Dikey kuyruğu bölerek gerekli alanı azaltmayı amaçlar. Fakat geleneksel tip kuyruğa göre daha ağırdır. Modern savaş uçaklarında sıkça kullanılmaktadır.

**Boom - Mounted Kuyruk:** İtici pervanelere yer açmak için kullanılan bir türdür. Ağır bir yapısı vardır.

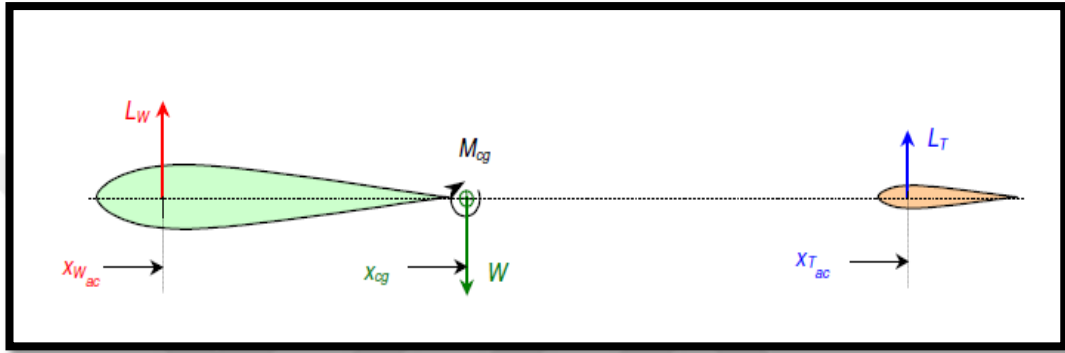
**Boom - Mounted Ters V Kuyruk:** Dikey alan ihtiyacını azaltmak için kullanılmaktadır. NASA araştırmalarında tercih edilmektedir.

**Halka Kuyruk:** Tüm kuyruk işlevlerini beraber karşılamak için tasarlanmış; fakat yetersiz kalmıştır. JM – 2 yarış uçağında denenmiş fakat yetersiz görülerek T – kuyruğa dönüştürülmüştür [20].

#### **4.7.2. Kuyruk Seçimi ve Boyutlandırılması**

Bir tasarımda simetrik kesitli, dikdörtgensel üst görünümlü bir kanadın gerisinde yine simetrik kesitli ve dikdörtgensel üst görünümlü bir yatay kuyruk yüzeyi bulunduğu varsayılırsa; böyle bir yerleştirme halinde sistemin ağırlık merkezinin kanatla kuyruk arasında, kanada daha yakın bir konumda olması muhtemeldir. Bu

durumda uçağın ağırlığını taşıyacak biçimde yukarı doğru olması gereken kanat taşıma kuvvetinin ( $L_W$ ) ağırlık merkezi etrafında oluşturacağı moment yukarı yönde olacağından bu momentin dengelenebilmesi için kuyruk yüzeyinin oluşturacağı momentin de zıt yönde olması beklenir. Kuyruğun taşımasının ( $L_T$ ) kanatla aynı yönde (yukarı doğru) olması ve bunun için de kuyruğun hücum açısının da kanatla aynı yönde olması gereklidir [12]. Hareket halindeki bir uçağa etki eden kuvvetler Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Bir uçağa etki eden kuvvetlerin gösterimi [12].

Kuyruklu uçaklarda statik denge incelenecek olursa; uçak ağırlığı kanat ve kuyruk tarafından birlikte dengelenecektir. Eşitlik 4.9’da bu durum ifade edilmiştir. Ağırlık merkezi etrafında ise kanat ile kuyruğun oluşturduğu momentin birbirini dengelemesi gerekmektedir. Oluşan moment denklemi Eşitlik 4.10’da görülmektedir. Yatay kuyruk hacim katsayısı Eşitlik 4.11’de, dikey kuyruk hacim katsayısı Eşitlik 4.12’de belirtilmiştir.

$$W = L_W + L_T \quad (4.9)$$

$$M_{CG} = L_W (X_{CG} - X_{WAC}) - L_T (X_{TAC} - X_{CG}) = 0 \quad (4.10)$$

$$V_{HT} = \frac{L_{HT} \cdot S_{HT}}{C_W \cdot S_W} \quad (4.11)$$

$$V_{VT} = \frac{L_{VT} \cdot S_{VT}}{b_W \cdot S_W} \quad (4.12)$$

Burada;

- $L_W$  : Kanatta oluşan taşıma kuvveti
- $L_T$  : Kuyrukta oluşan taşıma kuvveti
- $V_{HT}$  : Yatay kuyruk hacim katsayısı
- $V_{VT}$  : Dikey kuyruk hacim katsayısı
- $S_W$  : Kanat alanı
- $b_W$  : Kanat açıklığı
- $C_W$  : Ortalama veter uzunluğu
- $S_{VT}$  : Dikey kuyruk yüzey alanı
- $S_{HT}$  : Yatay kuyruk yüzey alanı
- $L_{HT}$  : Yatay kuyruk ortalama veteri
- $L_{VT}$  : Yatay kuyruk ortalama veteridir.
- $X_{CG}$  : Kuvvetin uçak ağırlık merkezine uzaklığı
- $X_{WAC}$  : Kuvvetin kanadın ağırlık merkezine uzaklığı
- $X_{TAC}$  : Kuvvetin kuyruğun ağırlık merkezine uzaklığı

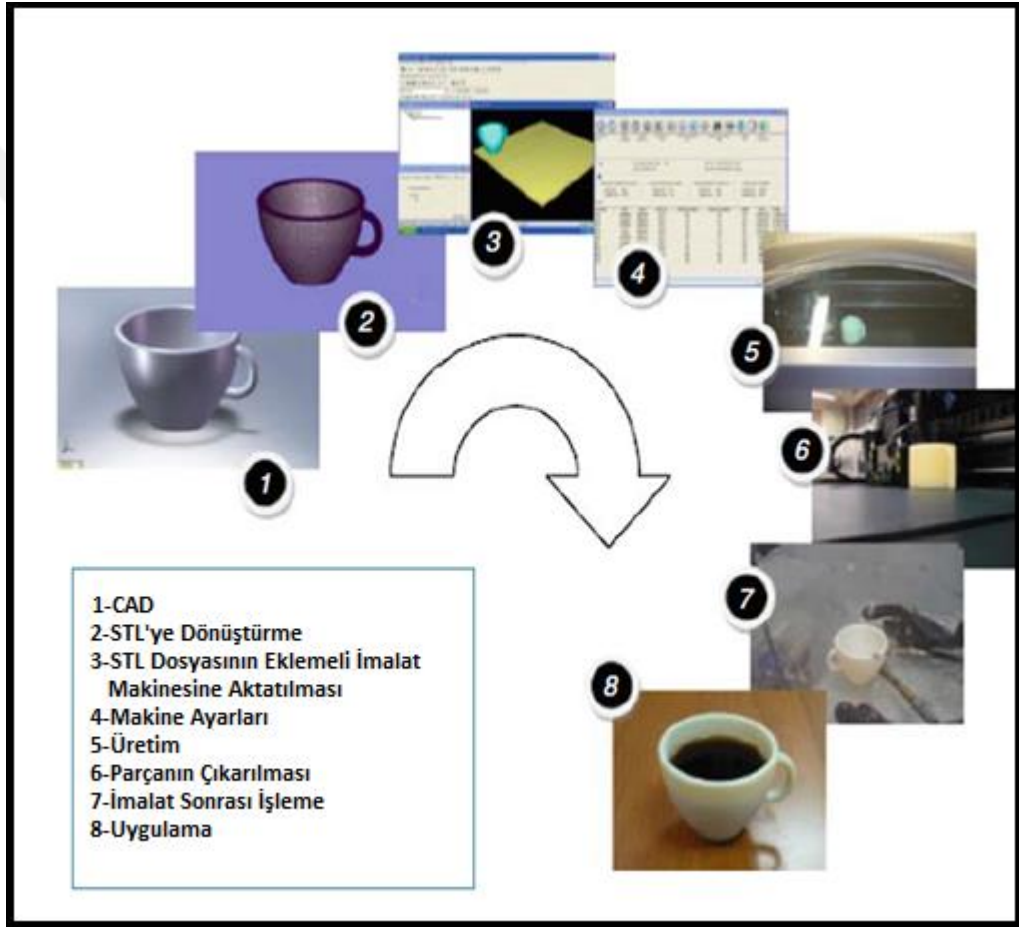
#### 4.8. GENEL EKLEMELİ İMALAT PROSESİ

Eklemeli imalat ilk olarak hızlı prototipleme amacıyla ortaya çıkmış bir üretim yöntemidir. Fakat zamanla hızlı prototiplemenin yanında seri üretim faaliyetleri için de kullanılmaya başlanmıştır. Kısaca eklemeli imalat; bir çizim programı (CAD) yardımıyla ekstra bir proses planlamaya ihtiyaç duyulmaksızın yapılan bir üretim şeklidir. Diğer imalat yöntemlerinde detaylı analizler, malzeme bilgisi, makine ve takım bilgisi, detaylı bir proses planlama gerektirirken; eklemeli imalat yönteminde çok az malzeme bilgisi ve eklemeli imalatı gerçekleştirecek makineyi kullanabilmek yeterlidir.

Şu ana kadar eklemeli imalat için üretilen makinelerin tamamı katman tabanlı olarak çalışmaktadır. CAD programıyla şekillendirilen parça katman katman oluşturulur. Bu yüzden bu imalat yöntemine katmanlı imalat yöntemi de denilmektedir. Üretilen parça CAD oluşturulan parçaya çok yakın boyutlardadır. Üretim sonrası ek işlem gerekip gerekmeyeceği ürünün kullanım yeri ve amacına göre belirlenir. Parçanın

boyutları ve mekanik özellikleri; malzeme yapısı, makine boyutları, üretim yöntemi, katman sayısı ve kalınlığı, üretim hızı gibi faktörlere bağlıdır.

İlk ortaya çıktığı yıllarda bu imalat yöntemi hızlı prototipleme ve görsel sunum amaçlı kullanılmıştır. Daha sonra eklemeli imalat; malzeme, doğruluk ve ürün kalitesi olarak geliştirilmiştir. Bunun ile birlikte yaygınlaşarak kullanım alanı da genişlemiştir. Genel olarak bir eklemeli imalat prosesi Şekil 4.19'da görülmektedir.



Şekil 4.19. Eklemeli imalat genel prosesi [22].

Genel olarak eklemeli imalat prosesi 8 kısımda incelenebilir:

1. **CAD:** Tüm eklemeli imalat tekniklerinde ilk adım üretilmek istenen parçanın bir CAD programı vasıtasıyla oluşturulmasıdır. Tersine mühendislik

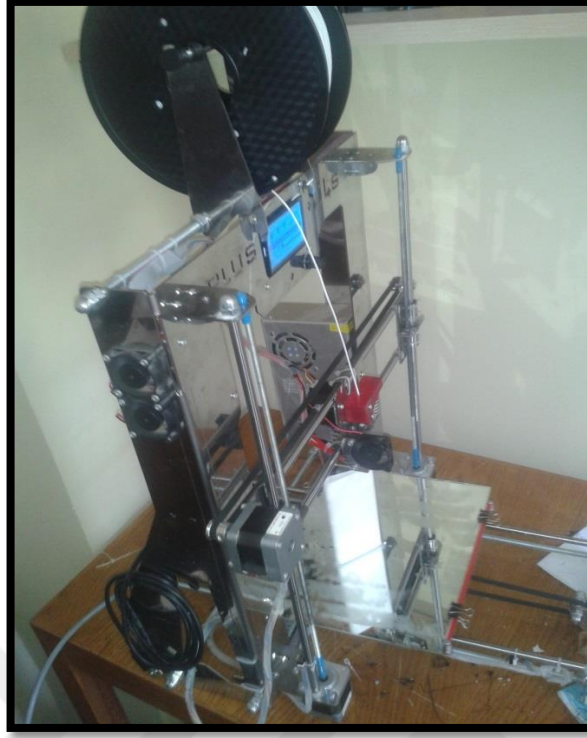
uygulaması olarak 3D tarayıcılar ile parça taratılarak CAD programına da aktarılabilir. Çalışmada CAD programı olarak SolidWorks kullanılmıştır.

2. **STL'ye Dönüştürme:** Katmanların hesaplanmasını sağlayan hemen hemen her CAD programınca tanınan dosya uzantısıdır.
3. **STL Dosyasının Eklemeli İmalat Makinesine Aktarılması:** STL dosyası harici depolama aygıtı, kablo bağlantısı vb. yollarla eklemeli imalat makinesine aktarılır.
4. **Makine Ayarları:** Katman sayısı, katman kalınlığı, sıcaklık, üretim hızı gibi ayarlar yapılır. Çalışmada dilimleme işlemi ve makine ayarları için Repetier – Host Programı kullanılmıştır.
5. **Üretim:** Üretim işlemi otomatikleşmiş bir süreçtir. Malzeme, programlama hatası veya güç kesintisi yaşanmazsa herhangi bir denetime ihtiyaç duymadan devam edebilir.
6. **Parçanın Çıkarılması:** Üretim tamamlanıp yeterli sıcaklık düşüşü sağlandıktan sonra parçanın yerinden çıkarılması işlemidir.
7. **İmalat Sonrası İşleme:** Çıkarılan parçanın kullanıma hazır olması için birkaç ufak işlemden geçmesi gerekebilir; yüzey temizleme, zımpara, cila vb. Bu işlemler yapılırken özellikle yeterli sıcaklık düşüşü sağlanamamış parçaların dayanıksız olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.
8. **Uygulama:** Gerekiyorsa astarlama, boyama vb. işlemlerden sonra parçanın hazır olma durumudur.

Katmanlı imalatın faydaları; hızlılık, geometri ne kadar karmaşık olursa olsun üretilebilirlik, üretim safhalarında azalma, işlem sayısında azalma, daha temiz ve hurda maliyeti düşük üretim yapabilme olarak sıralanabilir.

#### 4.8.1. Katmanlı İmalat Teknolojilerinin Sınıflandırılması

- **Likit Polimer Sistemler:** Bu teknikte polimer hammadde şeritler şeklinde ekstrüzyon mekanizmasına iletilir. Burada eritilen malzeme damlalar şeklinde CAD programlamasına uygun şekilde püskürtülür. Püskürtülen malzeme çok hızlı şekilde katılır. Her katmandan sonra tezgah veya ekstrüzyon makinesi hareket ederek öteki katmana başlar.
- **Lazer Ergitmeli Sistemler:** Genellikle metal tozlarının lazer yardımıyla ergitilip katmanlar halinde dökümü işlemidir. Katmanların birbirine yapışması için her katman dökülürken bir önceki katmanın kısmi ergitilmesi gerekmektedir. Bu yüzden seçilen malzeme termoplastik davranış göstermelidir. Malzeme türlerine göre farklı lazer ergitmeli sistemler bulunmaktadır. Bunlardan biri Seçici Lazer Sinterleme (SLS), bir diğeri ise EOSint (EOS firması tarafından geliştirilen metal sinterlemeli katmanlı imalat türü) işlemidir [22].
- **Ergitilmiş Malzemeli Sistemler:** Ergitilmiş malzemeli sistemler; malzeme sıcaklığını ergitme noktasına kadar arttıran bir ön ısıtma odasının varlığı ile diğer sistemlerden ayrılır. Böylece malzeme bir besleme sistemi içinden akabilir. Bu sistemin en iyi örneği “Ergitilmiş Metal Şekillendirme (FDM)” olarak bilinir. Bu yöntem ile malzeme ekstrüzyon tekniği ile nozuldan kontrollü şekilde verilir. Böyle sistemlerde sıklıkla 2 ekstrüzyon kafası beraber kullanılmaktadır. Böylece ana parça ile destek yapıları farklı malzemelerden üretilerek ayrışma sorunlarının önüne geçilebilir. Çalışma için kullanılan 3D imalat teknolojisi de bir FDM türüdür. Malzeme olarak Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) kullanılmıştır. Şekil 4.20’de çalışmada da kullanılan cihaz ergitilmiş malzemeli sistemlere örnek olan 3D yazıcı görülmektedir. Bu tür cihazlar RepRap uyumlu cihazlar olarak da katagorize edilebilmektedir.



Şekil 4.20. Ergitilmiş malzemeli 3D yazıcı.

- **Katı Levha Sistemleri:** En eski katmanlı imalat türlerinden biridir. Isıyla aktifleşen bir reçine ile birbirine yapıştırılan kağıt demetlerinin katmanlar halinde dizilmesi ile oluşturulur. Fazla malzemenin kesilerek çıkarılması sonucu ana şekil ortaya çıkmış olur. İşlemler sonucunda ortaya çıkan ürün kağıt demetlerinden ziyade ahşap bir yapıyı çağrıştırmaktadır. Daha sonra yöntem biraz daha geliştirilerek polimer malzemeler için de kullanılmaya başlanmıştır [22].

#### 4.8.2. Eklemeli İmalat Tarihçesi

Eklemeli imalatın temelleri 1950–1960'lara dayansa da ilk ciddi çalışmalar 1980'lerde bilgisayar ve lazerlerin gelişmesi ile başlamıştır. 1984 yılında Japonya'da (Murutani), Fransa'da (Andre ve arkadaşları) ve ABD'de (Temmuzda Masters, ağustosta Hull) paralel patentler yayınlamışlardır. Özellikle Japonya'daki çalışmalar iyi belgelendirilmiş olsa da; Charles Hull tarafından ilk büyük çalışma patentlenmiştir. Hull'un şirketi Stereolithography aparatını ticarileştiren kuruluştur.

1986 yılına gelindiğinde Helisys şirketi tarafından “Laminalı Nesne Üretimi” (LOM), Cubital tarafından “Katı Zemin Kütleme” (SGC) ve DTM tarafından “Seçici Lazer Sinterleme” (SLS) metodları kullanıma sunulmuştur. Günümüzde sadece SLS metodu kullanılmaktadır. 1989 yılında Stratasys Company şirketini kuran Scott Crump tarafından “Ergitilmiş Metal Şekillendirme” (FDM) işleminin patenti alınmıştır. Ayrıca yine 1989 yılında MIT’den bir grup “3D Printing” (3DP) prosesinin patentini almıştır. 3DP ve FDM bu yöntemlerin hala en başarılılarındandır. Daha sonra MIT’dekiler bu metodun lisansını ZCorp gibi şirketlere satmışlardır. Sanders 1994 yılında mürekkep püskürtme teknolojisini geliştirmiştir. Bu teknolojiye mürekkep bir önceki tabakanın üzerine çökelmektedir, bu teknolojiye fazladan bir reçineye ihtiyaç yoktur. 2001 yılında Object Company, ışıkla sertleşen reçineler ile damlacık şeklinde üretim yapmak için bu yöntemi kullanmıştır [22].

Çalışmada kullanılan yazıcıda filament tipi olarak ABS, PLA, PETG türünde filamentler kullanılabilir olup, yaygın olarak kullanılan filament türleri ABS ve PLA’dır.

#### **4.8.3. Polylactic Acid (PLA)**

Mısır, patates, şeker pancarı gibi nişastalı bitkilerden üretilir sağlığa bilinen bir zararı yoktur. 190 – 220 °C arasında eriyik hale geçer, termoplastik özelliktedir. Elastisite modülü 3.5 GPa, çekme dayanımı 50 Mpa kadardır. Özkütlesi 1300 kg/m<sup>3</sup>tür [23]. FDM teknolojisi ile şekil verilmesi kolay bir malzemedir, ayrıca baskı sırasında sağlığa zararlı gaz salınımı da yoktur. Üretilmek istenen parçanın şekline bağlı olarak ısıtıcı tabla gereksinimi yoktur ya da düşük sıcaklıklarda ısıtıcı tabla kullanımı yeterlidir. İnsan vücuduna bilinen bir zararı olmadığı ve organik malzemelerden üretildiği için medikal uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır. Vücutta eriyen dikiş ipli, implant malzemeleri bunlardan bazılarıdır. Ayrıca mutfak gereçleri ve çocuk oyuncaklarında sıkça kullanılmaktadır. PLA’nın eksi yönleri ise; dayanıklılığının diğer plastik türlerine göre düşük olması ve 60 – 65 °C sıcaklıktan sonra malzeme özelliklerini kaybetmeye başlamasıdır. Bu yüzden yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda tercih edilememektedir. PLA ile çalışırken önemli olan bir diğer



nokta ise yeterli soğutmanın sağlanabilmesidir. Yeterli soğutma sağlandığı takdirde 200–300 mikron hassasiyetinde parçalar almak mümkündür. Gelecekte petrol türevi plastik ürünlerin muadili olabileceği düşünülmektedir.

#### **4.8.4. Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)**

ABS petrol türevi bir malzemedir. Erime sıcaklığı 235 – 260 °C arasındadır, termoplastik özelliğindedir. Elastisite modülü 2 – 2.6 GPa, çekme dayanımı 37 – 110 MPa aralığındadır. Özkütlesi 1000 – 1400 kg/m<sup>3</sup>, tür [23]. FDM ile şekillenendirilmesi PLA'ya göre daha zordur. ABS ile üretim yapılırken mutlaka ısıtıcı tabla kullanılması zorunludur. Tabla sıcaklığı 80 – 110 °C aralığında olmalıdır. Isıtıcı tabla kullanılmadığı veya tabla sıcaklığı düşük olduğu takdirde ilk katmanın tablaya yapışmaması, malzemede büzülme ve yüzey kalitesinde bozulmalar yaşanabilmektedir. ABS, PLA'ya göre sıcaklığı daha dayanıklı bir malzemedir; malzeme özelliklerini 80 °C'den sonra kaybetmeye başlar. Sıcaklık korunamadığı için ABS ile daha düşük boyutsal hassasiyette parçalar üretilebilmektedir. Ayrıca üretim esnasında kokulu bir gaz salınımı gerçekleşmektedir; ABS ile üretim yapılan alanın iyi bir havalandırma sisteminin bulunması gerekmektedir.

## BÖLÜM 5

### MATERYAL VE METOD

#### 5.1. TASARIM

Bu kısımda üretilen İHA'nın kanat, kuyruk ve gövde tasarımından bahsedilmiştir. Çalışmada kullanılan kanat tipi dikdörtgensel üst görünümlü kanat tipindedir. Kanat açıklık oranı Eşitlik 4.3'te belirtildiği gibi;

$$AR = \frac{b}{c} = \frac{2000}{250} = 8 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Hesaplanan bu oran ses hızını aşamayan uçaklar için uygun bir değerdir.

Oluşturulan kanat profilinde kalınlık oranı Eşitlik 4.4'de de ifade edildiği üzere;

$\delta = \frac{t_{max}}{c} = \frac{32,5}{250} = 0.13 \rightarrow \% 13$  olarak bulunur. Bu değer orta profilli kanatlar için uygundur.

Bu çalışmada kullanılan kanat profili simetrik olmayan yapıdadır. Bu profilin kamburluk oranı ise Eşitlik 4.5'de belirtildiği gibi;

$$\gamma = \frac{e_{max}}{c} = \frac{4}{250} = 1.6 \text{ olarak hesaplanabilir.}$$

Kanat profillerinin kamburluk oranı taşıma kuvveti üzerinde etkiliyken; kalınlık oranı taşıma kapasitesini etkilemektedir. Sesaltı uçaklarda kanat profilleri orta ve yüksek kalınlık oranında, hücum kenarları yuvarlak hatlı; sesüstü uçaklarda ise kanat profilleri ince, hücum kenarları sivridir. Çalışmada kullanılan kanat profili sesaltı uçaklar için uygundur [12].

Çalışmada oluşturulan İHA'nın ana ağırlığını gövde oluşturmaktadır. Uçağımızda 1 adet IP Network kamera, bataryadan kameraya güç aktarımını sağlayacak regülasyon

devresi ve bir İHA modellemesinin uçabilmesini sağlayacak; batarya, elektrik motoru, servo motorlar ve iticiler, iniş takımı, elektronik hız kontrol devresi (ESC) gibi ekipmanlar bulunacaktır. Batarya ve motorun konumu denge unsuru göz önüne alındığında büyük önem arz etmektedir. Uçağımızın motoru önde olacaktır, kuyruk ağırlığının dengelenebilmesi batarya ve regülasyon devresi ön uç ile kanat arasına konumlandırılacaktır. Ayrıca daha rahat görüntü alınabilmesi için kamera ön – alt kısma montajlanacaktır. Ayrıca İHA ’mız önden iniş takımlı olacaktır, böylece kalkış sırasında kontrolü daha kolay olacaktır. Uçağımızın kalkış ağırlığı 1,8 kg olacaktır.

Eşitlik 4.8’de ifade edildiği üzere uçak gövde boyu;

Uzunluk =  $a.W_0^x$  formülü ile hesaplanabilir.

Kalkış ağırlığı ( $W_0$ ) = 1.8 kg (3.97 libredir) ’dir.

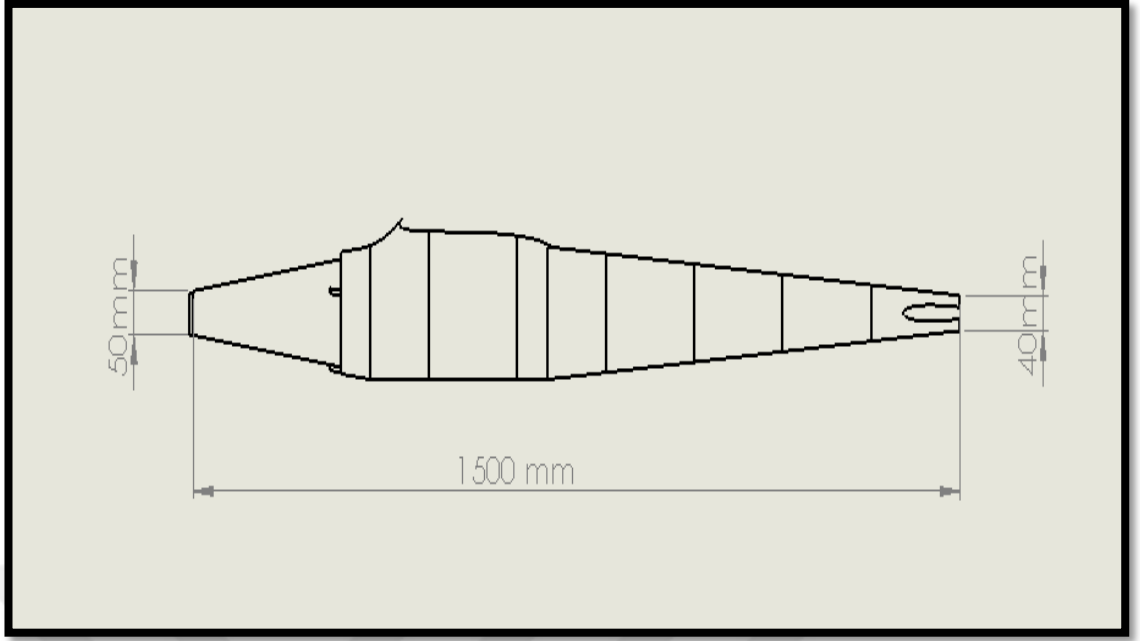
1 libre = 0.4535 kg

1 feet = 0.305 metre olarak alınmıştır.

Uzunluk =  $3.5*(3.97)^{0.23}$

= 4.806067 feet = 1.465751 m bulunur.

Çizelge 4.1’de uçak tiplerine göre gövde uzunluk katsayıları ve gövde uzunlukları verilmiştir. Uçağımız el yapımı uçaklar sınıfına girmekte olup, malzeme olarak ABS kullanılmaktadır. ABS hesapları yapılmış olan malzemelere göre çok daha yeni olduğu için uçak malzemesi olarak kullanılabilmesi ile ilgili henüz yayınlanmış bir çalışma bulunmamaktadır. Bu da çalışmaya özgün değer katmakla birlikte gövde katsayılarının bilinmemesi gibi çeşitli deneysel sorunlar da ortaya koymaktadır. Gövde katsayılarının Çizelge 4.1’de belirtildiği üzere “Ev Yapımı – Metal Ahşap Uçaklar” ile “Ev Yapımı – Kompozit Uçaklar” ’a yakın bir değer olacağı öngörülmüştür. İHA’ımızın gövde uzunluğunun 1.5 metre (1500mm) olması uygundur. Batarya, motor, regülasyon devresi vb. göz önünde bulundurularak diğer boyutlandırmalar gerçekleştirilmiştir. Gövde uzunluğunun teknik resmi Şekil 5.1’de mevcuttur.

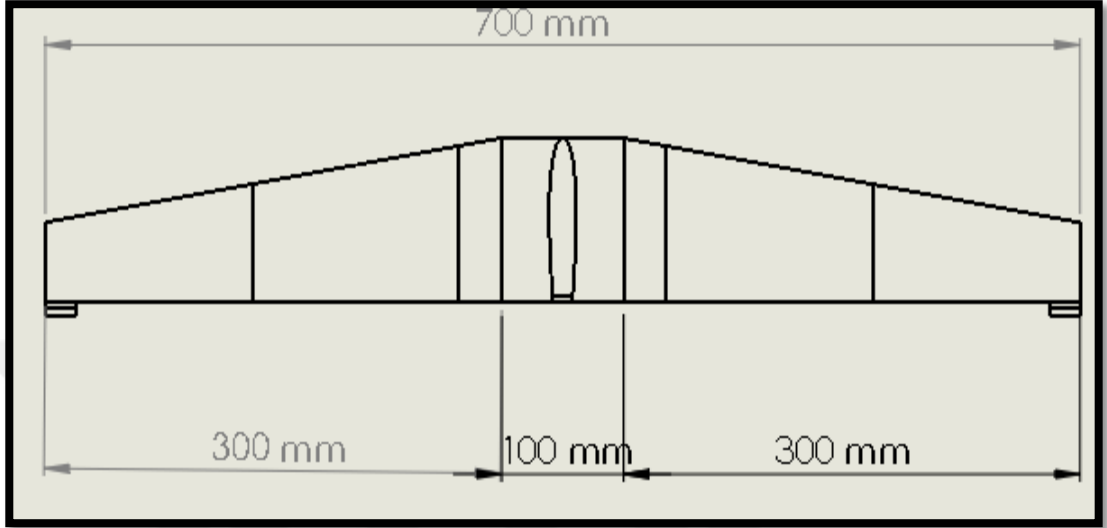


Şekil 5.1. Tasarlanan model İHA'nın gövde boyutları.

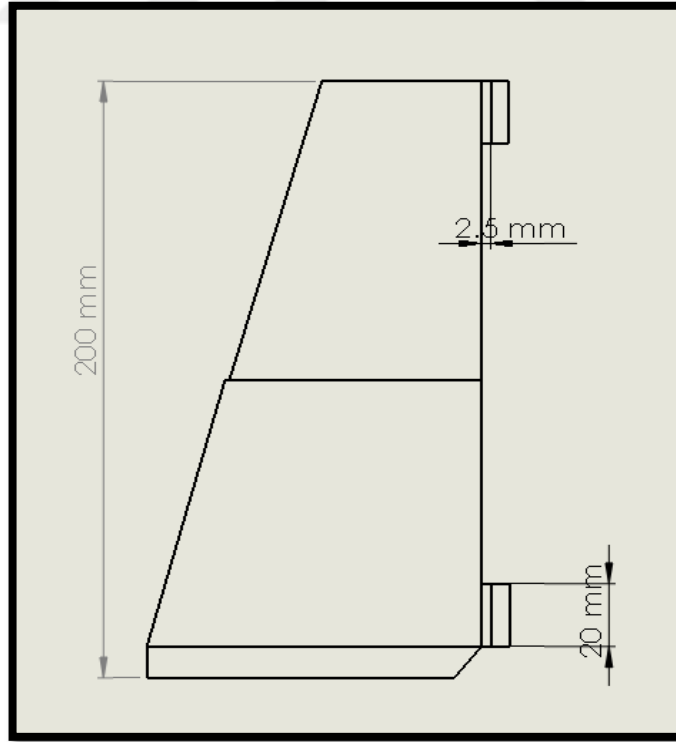
İHA tasarımının bir diğer önemli parçası ise kuyruk tasarımıdır. Kuyruk hem havada İHA'ya yön vermeyi sağladığı hem de ek taşıma kuvveti oluşturduğu için önemlidir. Eşitlik 4.9 ve Eşitlik 4.10 incelendiğinde kuyruk yüzey alanlarının boyutlandırılması için bilinmesi gereken verilerin hacim katsayıları ve mesafeler olduğu görülmektedir. Hacim katsayıları için Referans [20] de olduğu gibi çeşitli kaynaklarda farklı kategorilerdeki uçaklar için ortalama değerler bulunmaktadır. Fakat bu çalışma için referans olabilecek kaynaklar yine benzer tip uçakların oluşturulmaya çalışıldığı çalışmalardaki değerlerdir. Bu yüzden Referans [20]'de bahsi geçtiği gibi daha önce denenmiş ve başarısı kanıtlı değerler baz alınabilir. Çalışmanın başında uçağın yaklaşık ağırlığı, oluşturuluş amacı belirtilmiştir,  $V_{HT} = 0.35$  ve  $V_{VT} = 0.025$  kabul edilebilir [20].

Referans [20] incelendiğinde çalışmamızda olduğu gibi pervaneli uçakların kuyruk boyutları gövde uzunluğunun %40-%45'i kadar olabileceği görülmektedir. Çalışmamız için gövde boyutu daha önce belirtildiği gibi 1.5 metredir. Yatay kuyruk uzunluğu için 0.65 – 0.70 metre uzunluğu kabul edilebilir. Çalışmamız bir elektrik motorundan güç alan bir model uçak olduğundan düşük hızlara ulaşabilmektedir. Ani manevra yapabilmeye ihtiyaç duymamaktadır, ağırlık faktörü de göz önüne alınır;

rudderin yani dikey kuyruğun küçük seçilmesi avantajlıdır. Çalışma için 0.20 metrelik bir dikey kuyruk yeterlidir. Tasarlanan yatay stabilizer Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de görülmektedir.

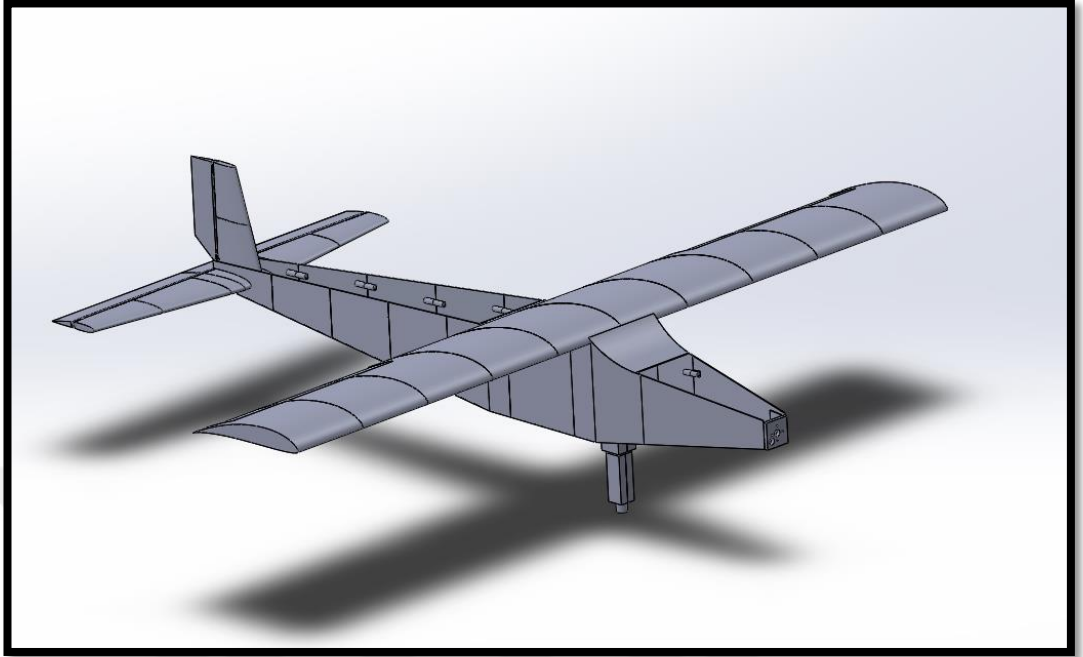


Şekil 5.2. Tasarlanan yatay stabilizerin gösterimi.



Şekil 5.3. Tasarlanan dikey stabilizerin gösterimi.

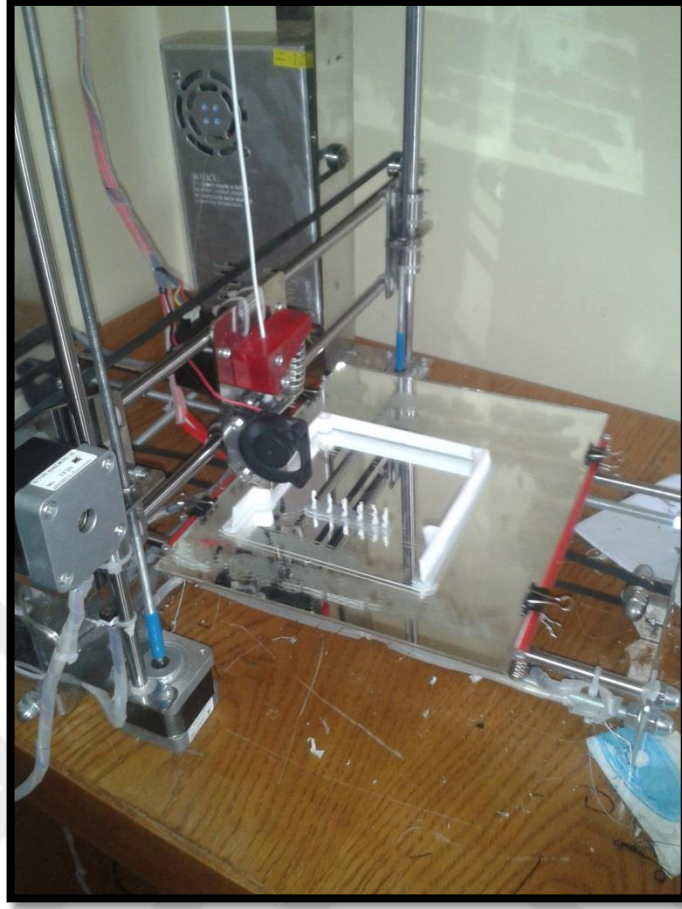
Tasarımı yapılan İHA'nın modellenmiş hali Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



**Şekil 5.4.** Tasarımı yapılan İHA

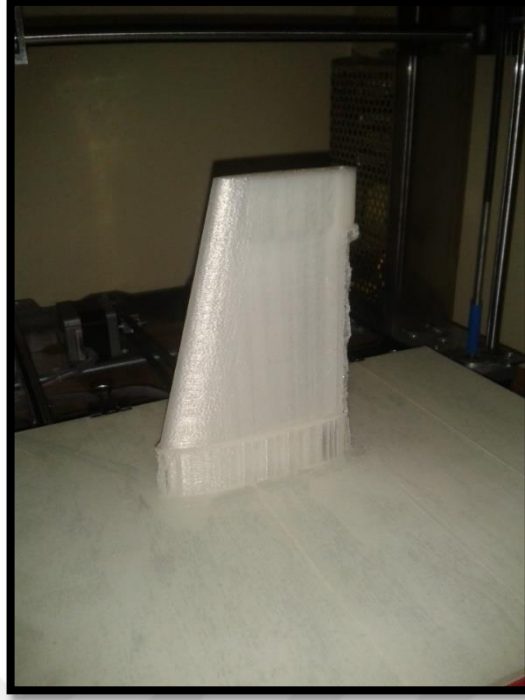
## 5.2. İMALAT

İHA parçalarının imalatı en fazla 25 cm'lik parçalar halinde 3D yazıcı ile gerçekleştirilmiştir. Malzeme olarak ABS kullanılmıştır. İlk katmanlar ısıtıcı tablaya yapışmayı arttırabilmek için 105 °C'de basılmaya başlanmış, ergimenin artıp şekil bozukluklarına engel olmak için tabla sıcaklığı 100 °C'ye düşürülmüştür. Baskı yüksekliği arttığında, üst katmanlara ısı aktarımı giderek azalmaktadır. Bu da katmanlar arası yapışmayı azaltmaktadır. Bu durumun önüne geçebilmek için baskı yüksekliği 10 cm'yi geçtiğinde tabla sıcaklığı tekrar 105 °C'ye çıkarılmıştır. Şekil 5.5'de 1.5 cm yüksekliğe ulaşmış ve imalatı devam eden bir gövde parçası gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Bir gövde parçasının imalatı.

İmalata başlandığında ilk katmanlarda yapışmanın sağlanması için daha fazla flamante ihtiyaç duyulur. Bunun için ergimenin kolaylaştırılıp arttırılması gereklidir. Fazla ergimiş filament ihtiyacının karşılanabilmesi için ilk 3 katman için nozul sıcaklığı  $225^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkartılmış, sonraki katmanlar  $220^{\circ}\text{C}$ 'de basılmıştır. Baskı tamamlandığında, tabladan çıkartılan parçanın genelde destek parçalarından ve çapaklardan kaynaklanan fazlalıklardan arındırılması gerekir. Destek yapılarından ve fazlalıklarından arındırılmamış bir dikey kuyruk parçası Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Destek parçaları ve çapakları giderilmemiş parça.

Tabladan çıkarılan parçalara çapak giderme ve zımpara işlemi uygulanmıştır. Parçaların nemden ve sıcaklıktan daha az etkilenmesi için dış yüzeylerine cila uygulanmıştır. Daha sonra parçalar epoksi yapıştırıcı ve uygun montaj elemanları ile birleştirilmiştir. Epoksi yapıştırıcı ile birleştirilen gövde Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Gövde montajı.



### 5.3. İHA ÜRETİMİ

Çalışmada tasarlanan İHA malzemesi olarak daha önce de belirtildiği gibi ABS seçilmiştir. Tasarımın bitirilmesi ve analizlerin olumlu sonuçlar vermesinden sonra İHA'nın üretimine geçilmiştir. Üretimi 3D Printer ile gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde üretilen ve montajı gerçekleştirilen İHA parçaları tanıtılmıştır.

ABS'den oluşturulan gövde Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Kuyruğa doğru uzanan kısım balsa çıtalar ile desteklenmiştir.



Şekil 5.8. Model İHA gövdesi.

Şekil 5.9'da kanat ve aileron mekanizması gösterilmiştir. Kanat iskeleti ABS'den oluşturulmuş olup kaplama filmi ile kaplanmıştır. Her iki tarafında gökyüzünde hareketi sağlayan aileronlar bulunmaktadır. Aileronlara servo motor hareket vermektedir.



Şekil 5.9. Kanatın ve aileronların gösterimi.

Şekil 5.10'da kuyruk aksamaları gösterilmiştir. Burada yatay stabilizere bağlı elevator uçağın dikey hareketini sağlar iken dikey stabilizere bağlı rudder uçağın havadayken yatay hareketini sağlamaktadır. Rudder ve elevatore bağlı birer servo motor bulunmaktadır ve hareket bu motorlarla sağlanmaktadır.



Şekil 5.10. Yatay stabilizer ve ona bağlı elevator ile dikey stabilizer ve ona bağlı rudder gösterimi.

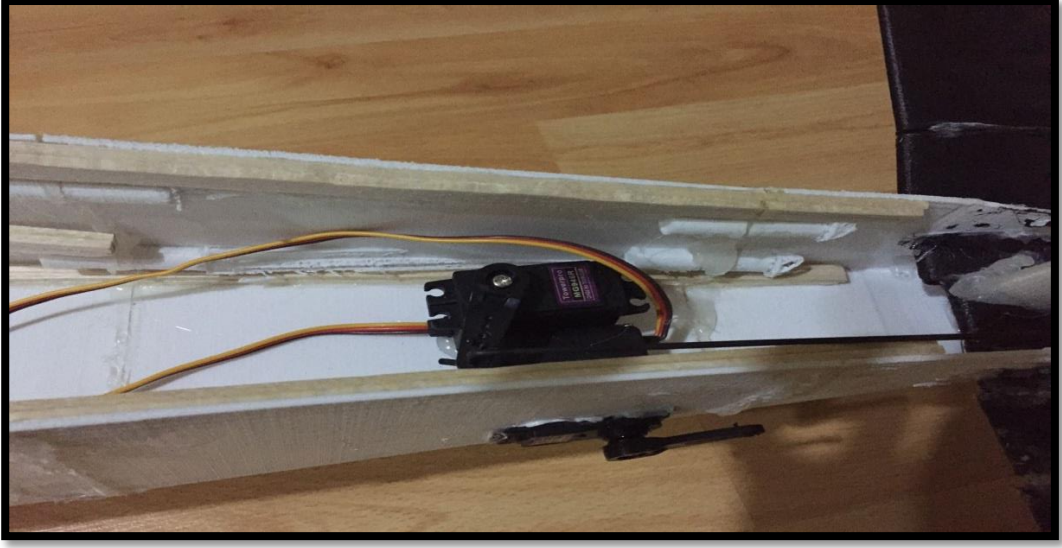
Şekil 5.11’de iniş takımı, kamera ve motor görülmektedir.



Şekil 5.11. İniş takımı, kamera, motor aksamları.

Projede 360<sup>0</sup> hareket kabiliyeti olan anında görüntü aktarımı yapabilen bir IP kamera kullanılmıştır. Gece görüş özelliği de mevcuttur. Motor olarak 330 kilovolt (kv)’lık oldukça güçlü bir ekipman seçilmiştir. Pervane ise 32 cm uzunluğundadır. Gövde kesiti de hesaba katıldığında seçilen ekipmanların yeterli olduğu görülmektedir.

Şekil 5.12’de ruddere hareket veren servo motor görülmektedir.



Şekil 5.12. Servo motor gösterimi.

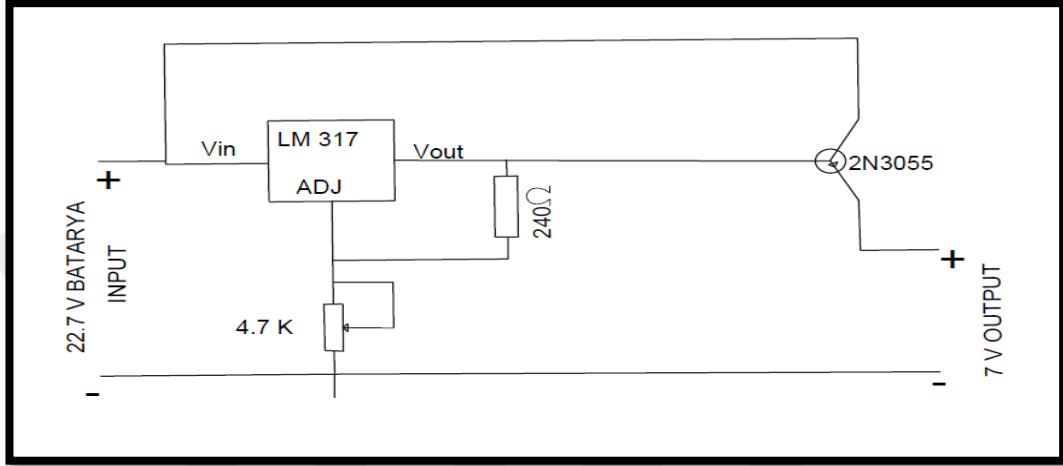
Çalışma sonucu üretilen model İHA Şekil 5.13’de görülmektedir.



Şekil 5.13. Model İHA'nın gösterimi.

Çalışmada güç kaynağı olarak 22.7 V 3300 mah'lık yüksek verimliliğe sahip lityum-polimer (Li-Po) pil tercih edilmiştir. Yüksek voltaj değeri motora verilebilecek

maksimum güç miktarını arttırdığı için bir avantaj teşkil etmektedir. Fakat kamera sistemi 7 V ile çalışabilmektedir. Bu da güç kaynağı ile kamera sisteminin doğrudan bağlantısına engel teşkil etmektedir. Bu sorunun önüne geçilebilmesi için voltaj düşürücü devre oluşturulmuştur. Devrenin şematik gösterimi Şekil 5.14'te mevcuttur;



Şekil 5.14. Voltaj düşürücü devre şeması.

Şekil 5.15'de üretilen İHA'nın kontrol edilmesini sağlayan kumanda aksamı ve görüntü alınmasını sağlayan ekran görülmektedir.



Şekil 5.15. İHA kumanda aksamı ve kamera görüntü ekranı.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışma ile üretilen İHA için yüksek hızlardan ziyade, kanat taşıma kuvvetinin yüksek olması önemlidir. MH114 kanat profilinin rüzgar direnci yüksektir bu da taşıma kuvvetini arttırmaktadır. Avedisian ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada sözü geçen kanat profili taşıma kuvvetinin yüksek olduğu kanıtlanmıştır [24]. Kuyruk profilinin seçiminde ise kolay bir şekilde yükselip alçalabilme ve kolay dönüş yapabilme yeteneği önemlidir. Doğan tarafından yapılan “Ses Altı Hızlarda Kanat Profili Etrafında Akışın İncelenmesi” adlı çalışmada NACA 0012 kanat profilinin istenilen özellikleri sağladığı ortaya konmuştur [25]. Çalışmada kuyruk için NACA 0012 kanat profili tercih edilmiştir. Seçilen NACA 0012 tipi kuyruk ve MH 114 tipi kanat profillerine uygun değerler aşağıda verilmiştir. Bu değerler kontrollü deneyler yapılarak kanat profillerinin farklı bölgelerinde oluşan basınç farklarının analizi ile elde edilmiş sonuçlardır.

Burada  $C_L$  taşıma katsayısını ifade etmektedir. Taşıma katsayısı; havanın yoğunluğu, hava hızı, kanat alanı ve taşıma kuvvetine bağlı olarak deneyler sonucu elde edilen bir katsayıdır.

$\alpha$  hücum açısını ifade ediyor olup, kanat profilinin uçuş doğrultusu ile veter çizgisi arasında kalan açıdır.

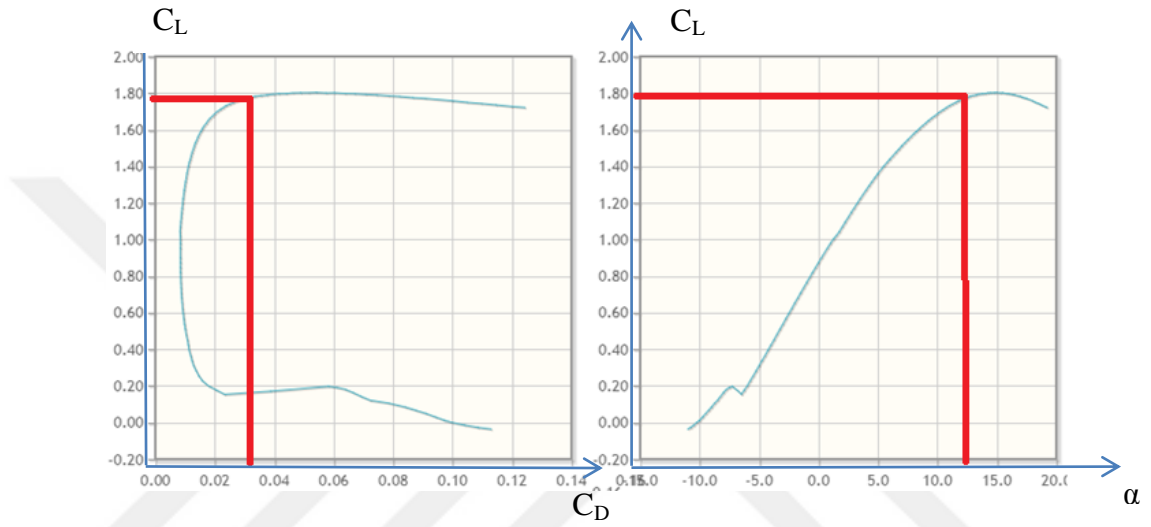
$C_D$  değeri sürüklenme katsayısını ifade etmektedir. Havanın yoğunluğuna ve hızına, kanat alanına ve hücum açısına bağlantılı olarak değişen, deneysel analizler sonucu elde edilmiş bir katsayıdır.

Yunuslama momenti seçilen bir nokta etrafında taşıma kuvvetinden kaynaklı oluşan

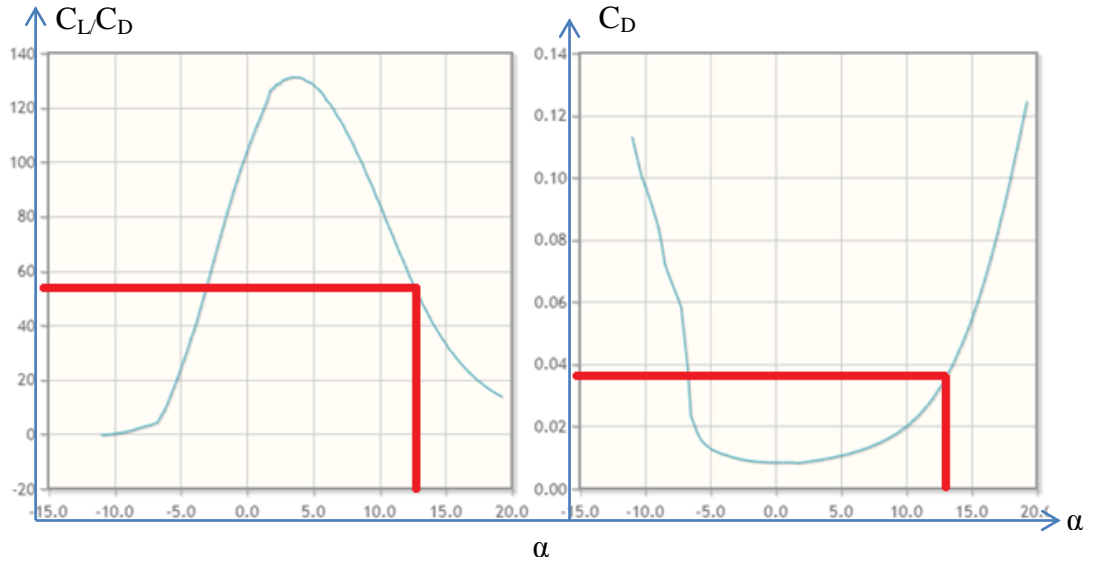
dönme etkisine verilen isimdir,  $C_M$  ile ifade edilir.

Deneysel çalışmalar sonucunda MH114 kanat profilinin;

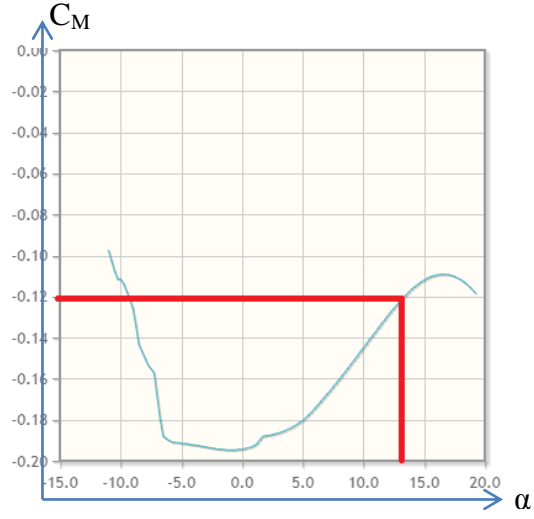
$\alpha$ : hücum açısı=  $12.25^0$  hesaplanmıştır. Seçilen kuyruk ve kanat profiline uygun değerler Şekil 6.1 – Şekil 6.7 arasında grafikler halinde verilmiştir. Ayrıca oluşturulan kanat profili Şekil 6.4, kuyruk profili Şekil 6.8’de görülmektedir.



Şekil 6.1. MH 114 kanat profili tipine uygun  $C_L - C_D$  ve  $C_L - \alpha$  değerleri değişimi[26].

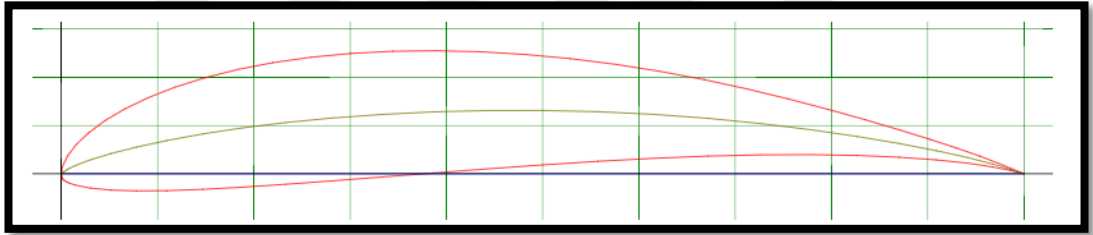


Şekil 6.2. MH 114 kanat profili tipine uygun  $C_L C_D - \alpha$  ve  $C_D - \alpha$  değerleri değişimi [26].



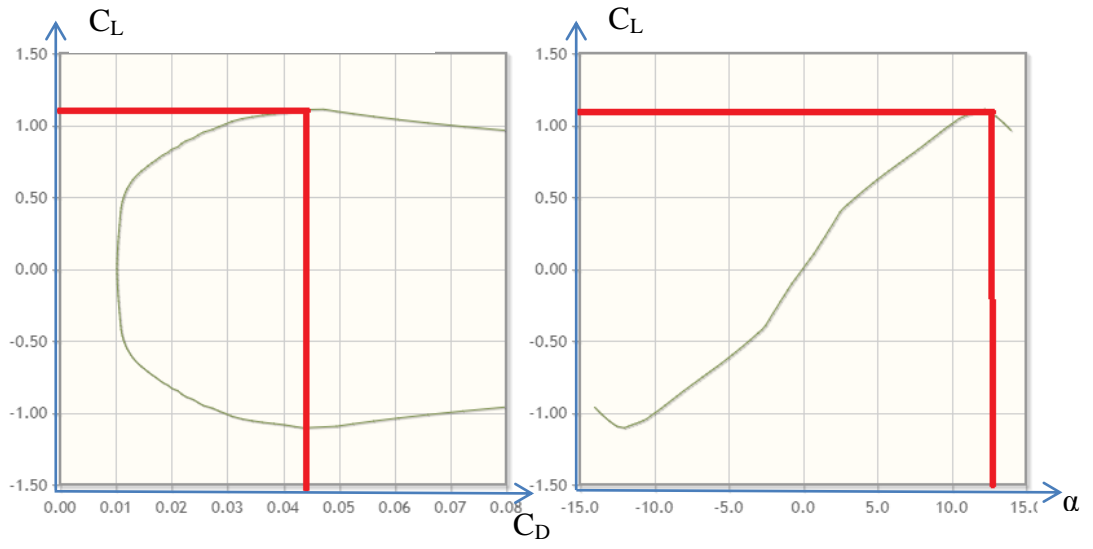
Şekil 6.3. MH 114 kanat profili tipine uygun  $C_M - \alpha$  değerleri değişimi [26].

Şekil 6.4'de çalışmada kanat profili olarak kullanılan MH 114 tipi profil gösterilmektedir.

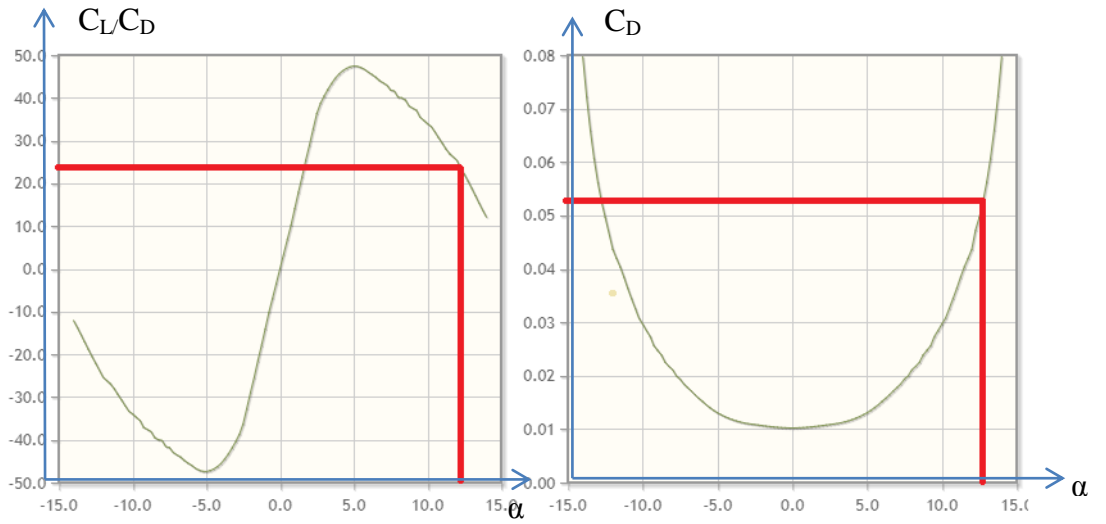


Şekil 6.4. MH 114 kanat profili [24].

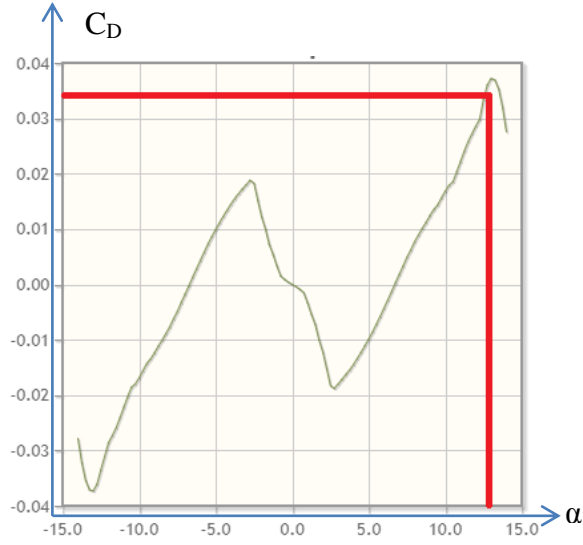




Şekil 6.5. NACA 0012 kanat profili tipine uygun  $C_L - C_D$  ve  $C_L - \alpha$  değerleri değişimi [26].

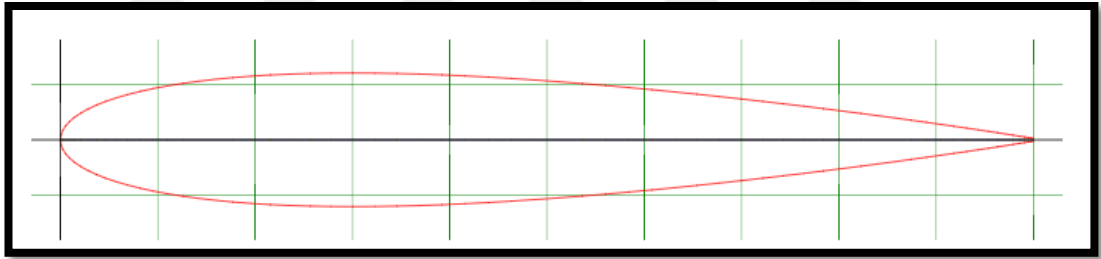


Şekil 6.6. NACA 0012 kanat profili tipine uygun  $C_L C_D - \alpha$  ve  $C_D - \alpha$  değerleri değişimi [26].



Şekil 6.7. NACA 0012 kanat profili tipine uygun  $C_M - \alpha$  değerleri değişimi [26].

Şekil 6.8’de çalışmada kullanılan kuyruk profili olarak kullanılan NACA 0012 tipi profil gösterilmektedir.



Şekil 6.8. NACA 0012 kanat profili [26].

Buradan;

$C_L$ : taşıma katsayısı= 1.8

$C_D$ : sürükleme katsayısı= 0.038

$C_M$ : yunuslama momenti katsayısı= -0.12 olarak grafiklerden çıkartılabilir

Kanatlar uçuş anında en fazla yüke maruz kalan bölgelerdir. Buranın uçuş esnasında en zayıf bölgeler buralarda oluşacaktır. Tasarlanan İHA için kanata etki eden yükü hesaplırsak:

Uçaklar maksimum hıza stabil uçuş pozisyonlarında ulaşmaktadır. Maksimum hızlardaki kuvvetler Eşitlik 4.6 ve Eşitlik 4.7’de belirtildiği gibi;

$$W=L=\frac{1}{2}*\rho*V^2*S* C_L$$

$$D=\frac{1}{2}*\rho*V^2*S* C_D \quad \text{formülleriyle bulunabilir.}$$

Burada;

$$W: \text{Ağırlık} = 1.8*9.81 = 17.658 \text{ N}$$

L: taşıma kuvveti (sabit irtifa için ağırlığa eşittir)

$$\rho: \text{hava yoğunluğu} = 1.173 \text{ kg/m}^3$$

v: uçak hızı m/s

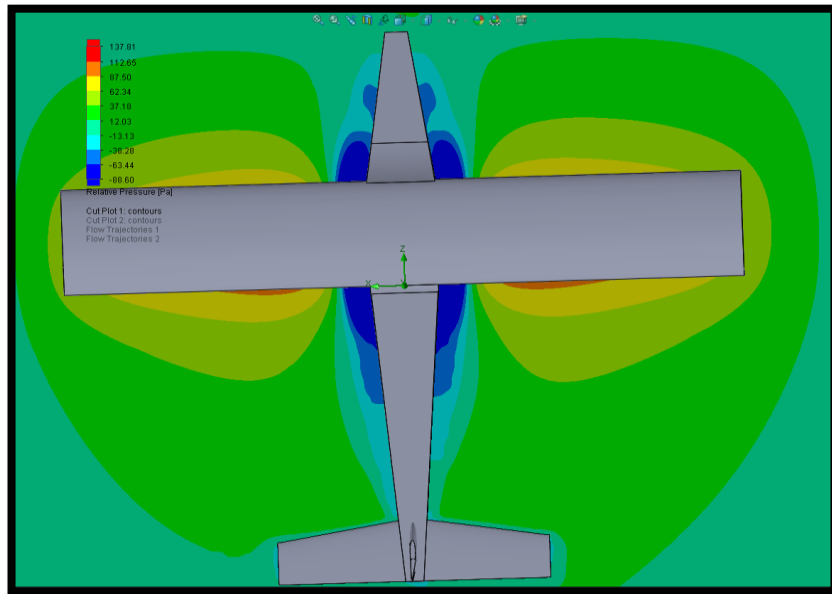
$$S: \text{kanat alanı} = 0.4 \text{ m}^2$$

D: sürüklenme kuvveti

$$17.658 = \frac{1}{2} * 1.173 * V^2 * 0.4 * (1.8)$$

v = 6.47 m/s olarak bulunur.

Bulunan maksimum hız değeridir. İHA bu durumda hareket ederken, bir hava direncine maruz kalmaktadır. Bu hava direnci İHA ekipmanlarında bağıl basınç alanları oluşturmaktadır. İHA'nın 6.47 m/s hızla hareket ederken akışkan analizi yapılmıştır ve üzerinde oluşan bağıl basınç dağılımı Şekil 6.9’da gösterilmiştir.



Şekil 6.9. İHA'da oluşan bağıl basınç dağılımı.

Akışkan analizine göre en yüksek basınç kanadın arka bölgesinde oluşmaktadır ve bağıl olarak 137.81 Pa kadardır. Buna göre İHA'nın en kritik bölgesi kanadın arka kısmıdır.

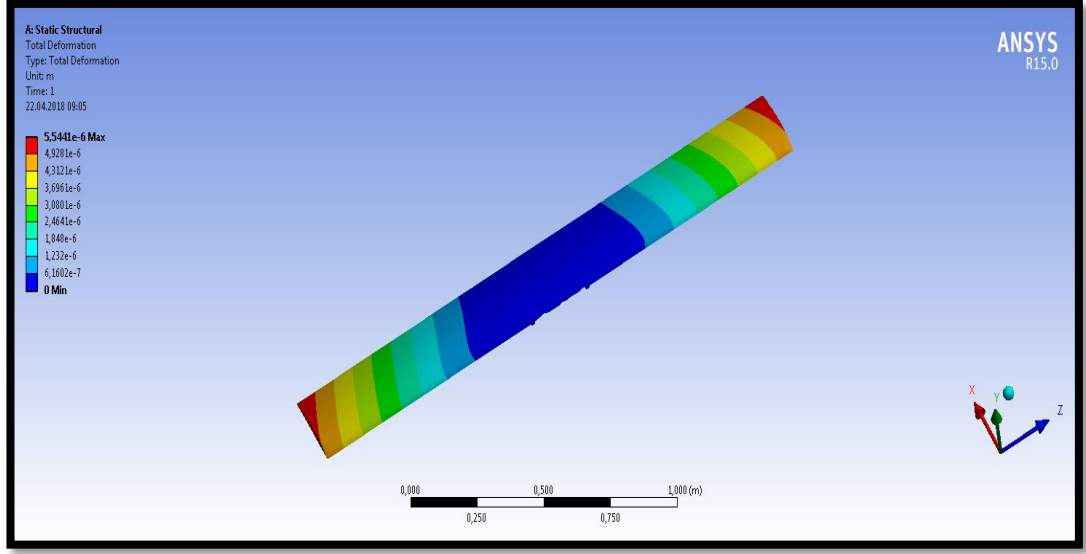
Mekanik analizinde bir diğer önemli konu ise malzeme seçimidir. 3D yazıcılar ile imalat yapılırken en çok tercih edilen malzemeler ABS ve PLA'dır. ABS ve PLA'nın mekanik özellikleri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Çalışmada kullanılacak malzemeler tablosu.

Malzeme	Özkütle (kg/m <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (Gpa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Baskı Sıcaklığı (°C)	Bozunmaya Başlama Sıcaklığı (°C)
ABS	1400	2.6	50	235-260	80-110
PLA	1300	3.5	110	190-220	60-65

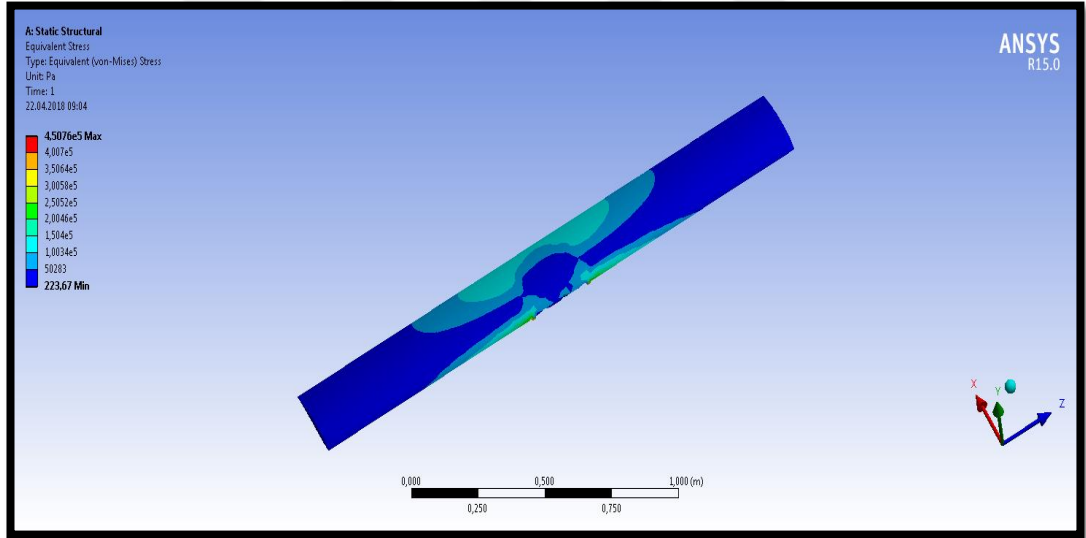
Çizelge 6.1'de de görüldüğü üzere ABS, PLA'ya göre daha dayanıklı bir malzemedir. Ayrıca bozunmaya başlama sıcaklığı daha yüksektir. Bu sebeplerden dolayı bu çalışma için ABS malzemesi tercih edilmiştir. Buna karşın PLA'nın hem baskı sıcaklığı hem de bozunmaya başlama sıcaklığı daha düşüktür. Bozunma sıcaklığının düşük olması parçanın baskı tablasına yapışmasını kolaylaştıracağı için baskı alınması daha kolay olacaktır.

Akışkan analizi ile hesaplanan bağıl basınç değeri ve İHA kütlesi yardımıyla en kritik unsur olan kanatta oluşan gerilmelerin ve deformasyonların analizi ANSYS programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.10'da 137.81 Pa basınç altında kanatta oluşan toplam deformasyon değerleri gösterilmektedir.



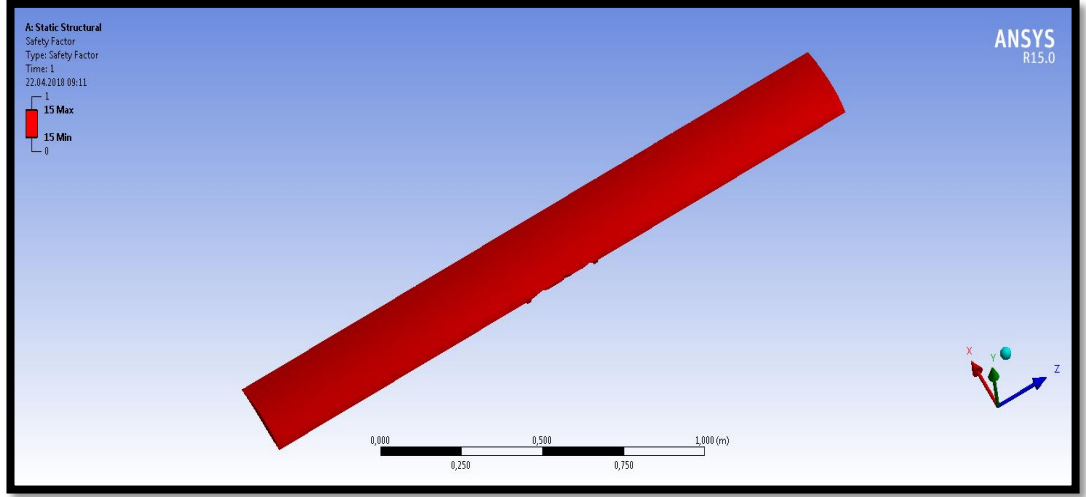
Şekil 6.10. 137.81 Pa basınca maruz kalan kanatta oluşan toplam deformasyon.

Şekil 6.11’de 137.81 Pa basınç altında kanatta oluşan gerilmeler gösterilmektedir.



Şekil 6.11. 137.81 Pa basınca maruz kalan kanatta oluşan gerilmeler (stress).

Şekil 6.12’de 137.81 Pa basınca maruz kalan kanadın emniyet katsayısı gösterilmektedir.



Şekil 6.12. 137.81 Pa basınca maruz kalan kanatın emniyet katsayısı.

Analiz sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir. Bu sonuçlarla bir hava taşıtının en çok yüke maruz kalan diğer bir deyişle en kritik unsuru olan kanadı, uçuş esnasında meydana gelebilecek yüke dayanabilmektedir. ABS malzemesi kanat tasarımı için uygundur.

Çizelge 6.2. Kanat analizi sonuçları.

Analiz Türü	Sonuç
Toplam Deformasyon	$5.4541 \times 10^{-6}$ m
Maksimum Gerilim (Stress)	0.45 Mpa
Emniyet Katsayısı (EKS)	15

## BÖLÜM 7

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile anında görüntü aktarımı kabiliyetine sahip bir model İHA tasarlanarak üretimi gerçekleştirilmiştir. Boyutlandırma aerodinamik özellikler, üretilebilirlik ve kullanım amacına göre yapılmıştır. İHA malzemesi olarak ABS seçilmiştir ve üretimi 3D yazıcı ile yapılmıştır. ABS malzemesinin yine bir 3D yazıcı malzemesi olan PLA'ya göre çeşitli avantajları ve dezavantajları mevcuttur. PLA daha düşük sıcaklıklarda eriyebilmektedir, katmanlar arası yapışma sorunlarına daha az rastlanılmaktadır. Bu nedenlerden PLA ile 3D baskı almak daha kolaydır. Ayrıca baskı sırasında zararlı partikül ve gaz salınımı yapmamaktadır. Buna karşın PLA'nın ABS'ye göre dayanımı çok düşük ve 50 °C'yi geçen sıcaklıklarda bozunuma uğramaktadır. ABS 80 °C ile 100 °C arasında bozunuma uğramaktadır, ayrıca dayanımı daha fazladır. Bu durumlar göz önünde bulundurularak malzeme olarak ABS seçilmiştir.

Uçağın çıkabileceği en yüksek hız hesaplanmıştır. Bu hızda akışkan analizi yapılarak uçakta oluşan gerilmeler bulunmuştur. Buna göre en büyük gerilmeler kanadın arka kısmında oluşmaktadır ve bağıl basınç 137.81 Pa kadardır. Kanadın ANSYS programı ile analizi yapılarak dayanımı kontrol edilmiştir. Analizlerde maksimum hız durumunda gerilme (stress) değeri 0.45076 MPa, toplam deformasyon değeri  $5.5441 \times 10^{-6}$  olarak hesaplanmıştır. İHA'nın emniyet katsayısı (EKS) ise 15 olarak bulunmuştur. Analizler sonucu seçilen malzeme ve boyutların bu çalışma için uygun olduğu görülmüştür.

İHA parçaları tezgah boyu da dikkate alınarak en fazla 25 cm uzunlukta olacak şekilde basılmıştır. Basılan parçaların epoksi yapıştırıcı ile montajı gerçekleştirilmiştir. 3D yazıcı ile imalatta seri üretim imalatları, kullanılan diğer seri imalat yöntemlerine göre daha uzun süreler istemekte ve daha maliyetli olmaktadır.

Fakat çalışmamızda olduğu gibi amaç prototip oluşturmak ise maliyet düşmektedir. Ayrıca 3D yazıcı ile imalat gibi katmanlı imalat yöntemleri, diğer yöntemlere nazaran daha fazla tasarım ve imalat özgürlüğü sağlamaktadır.

Gövdenin ön-alt kısmına 360<sup>0</sup> görüş özelliği olan, gece görüşü yapabilen, kontrol ekranı sayesinde anında görüntü aktarımı yapabilen bir kamera yerleştirilmiştir. İHA'nın güç kaynağı 22.7 V; kamera çalışma voltajı ise 7 V'dur. Kameranın çalışabilmesi için voltaj düşürücü bir devre oluşturulmuştur. Aileron, rudder ve elevator gövdeye ve kanatlara sabitlenmiş servolarla hareket almaktadır. Servoların ve motorun kontrolü ESC yardımıyla bir uzaktan kumanda ile yapılmaktadır. İHA'nın maksimum çıkabildiği hız; ideal koşullarda 6.47 m/s kadardır.

İHA'nın test uçuşunun pilotajı tarafımdan gerçekleştirilmiştir. İHA 120 saniye kadar havada kalmıştır. 20-25 metre irtifaya çıkmış ve uçuş boyunca anında görüntü alımı sağlanmıştır. Yaklaşık 120 saniye sonunda pilotaj hatası sonucu İHA düşerek kırırma uğramıştır.

Bu çalışma ile günümüzde çok hızlı bir şekilde gelişim gösteren ve savunma sanayi başta olmak üzere, arama-kurtarma faaliyetleri, meteorolojik ölçümler, yangın vb. afetlerin engellenmesi, haritacılık faaliyetleri gibi bir çok alanda faaliyet gösteren İHA teknolojisi hakkında bir ön çalışma yapılarak; 3D yazıcı teknolojisi ile İHA imalatı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan prototip İHA ve seçilen malzeme düşük irtifalar ve düşük zorlayıcı kuvvetler için uygundur. Gelişen teknoloji ve artan bilgi birikimi ile katmanlı imalat teknolojilerinin gelecekte çok daha önemli bir yere sahip olacağı ön görülmektedir. Bu ve benzeri çalışmalar ile havacılık sektörü ile katmanlı imalat yöntemleri arasındaki bağın kuvvetlenmesi beklenmektedir.

3D yazıcılar ile kompozit baskı alınabilen makineler geliştirilebilirse parçaların mukavemetinde hızlı bir artış yaşanacaktır. Böylece hem 3D yazıcıların kullanım alanları genişleyecek, hem de üretim maliyetleri düşecektir. Yine 3D malzeme teknolojisinin geliştirilmesiyle sağlık, havacılık ve uzay teknolojileri gibi alanlarda



tasarım özgürlüğü artacaktır. Sağlık alanında protez, ortez gibi maliyetli hizmetlere erişim kolaylaşacak, maliyetler düşecektir

İHA imalatında 3D yazıcıların kullanılması ile tasarım sınırları genişleyecek, üretim artacak, maliyetler düşecektir. Pek çok aksam ülkemizde üretilebilir hale gelecek, dışa bağımlılık azalacaktır. Özellikle havacılık sektöründe kompozit malzeme kullanımının çok yaygın olduğu ve kompozit üretiminin çok maliyetli olduğu düşünülürse; 3D yazıcı ile kompozit parça üretiminin gelecekte imalat yöntemleri arasında çok önemli bir yer tutacağı öngörülebilir.



## KAYNAKLAR

1. İnternet: Karaağaç, C., “İnsansız Hava Aracı Sistemleri: Gökyüzünün Yeni Yırtıcı Kuşları”,  
[https://www.academia.edu/2004387/İnsansız\\_Hava\\_Aracı\\_Sistemleri\\_Gökyüzünün\\_Yeni\\_Yırtıcı\\_Kuşları](https://www.academia.edu/2004387/İnsansız_Hava_Aracı_Sistemleri_Gökyüzünün_Yeni_Yırtıcı_Kuşları) (2004).
2. Gülbahar, Ö., “Karayel İnsansız Hava Aracının Statik Ve Dinamik Analizleri”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2-4 (2015).
3. İnternet: “Alman V-1 İnsansız Bombardıman Aracı”,  
<https://amunaor.com/2012/09/25/terror-wars-nazi-v1-missiles-usa-terror-drones/nazi-v1-missile-in-flight/> (2012).
4. İnternet: “TAI tarafından milli imkanlarla üzerilen ANKA İHA’sı”,  
<http://www.ekofinans.com/yerli-ucagimiz-anka-seri-uretime-geciyor-g21381-p3.html> (2013).
5. Genç, M. S. ve Özışık, G. ve Kahraman, N., “Düz Flaplı Naca0012 Kanat Profilinin Aerodinamik Performansının İncelenmesi”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28: 1-8 (2008).
6. Karagöz, Ö., “Mini İnsansız Hava Aracı Tasarımı Ve Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü*, İstanbul, 150-152 (2011).
7. Kerimoğlu, K., “Sabit Kanatlı Bir İnsansız Hava Aracı İçin Düşük Bütçeli Otopilot Sistemi Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 58-60 (2011).
8. Dereli, Y., “Turaç İnsansız Hava Aracının Yapısal Modelinin Hazırlanması Ve Analizlerinin Yapılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 71 (2014).
9. Kaya, N., “Hidrojen Kullanan Turbofanlı Bir İnsansız Hava Aracının Ekserjetik Sürdürülebilirlik Analizi”, Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 211-219 (2015).
10. Köse, Ö., “İnsansız Hava Aracında Kuyruk Konisinin Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 30-31 (2016).

11. Torenbeek, E., “Advanced Aircraft Design: Conceptual Design, Analysis and Optimization of Subsonic Civil Airplanes 1. ed.”, **Wiley**, New Jersey, 1- 56 (2013).
12. Yükselen, M., “Aerodinamik Ders Notları”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak Mühendisliği Bölümü*, İstanbul (2011).
13. İnternet: “Dark Kitten 2 Klasik Tek Kanat”,  
<http://flightsimulatornewsbrief.blogspot.com.tr/2012/08/classic-wings-freeware-dart-kitten-ii.html> (2012).
14. İnternet: “Çift Kanatlı Uçak”,  
[http://cdn.i0.cz/src/public-data/4b/c2/82f0e9483fd488e02bfdce16fcd\\_base\\_optimal.jpg](http://cdn.i0.cz/src/public-data/4b/c2/82f0e9483fd488e02bfdce16fcd_base_optimal.jpg)
15. İnternet: “Delta Wing Aircrafts-The Fighter Jets”,  
<http://aermech.com/delta-wing-aircraftsthe-fighter-jets/> (2014).
16. İnternet: “Eurofighter Typhoon”,  
<http://baoyanji.com/images/Typhoon+Eurofighter>
17. İnternet: “Lancaster Aero – High Wing Aircraft”,  
<http://www.lancasteraero.com/index.php?pID=23>
18. İnternet: “Milli Grurumuz SOLOTÜRK”,  
<http://sosyalz.com/soloturk-duvar-kagidi-hd-wallpaper/> (2017).
19. İnternet: “Alttan kanatlı NASA uçağı”,  
<http://www.pcaviator.com/store/images/D/MilViz-T38A-Talon-Download-PCAviatorAustralia-10-01.jpg>
20. Raymer, D. P., “Aircraft Design: A Conceptual Approach 1nd ed.”, **American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.**, Washington, 101- 113, 117- 152 (1992).
21. İnternet: “Uçak Genel Bilgisi Ders Notları”,  
<http://www.turkishvirtual.com/forum/viewtopic.php?f=4&p=62523> (2017).
22. Gibson, I., Rosen, D. W., Stucker, B., “Additive Manufacturing Tecnologies Rapid Prototaping to Direct Digital Manufacturing 1nd ed.”, **Springer.**, New York, 1-37 (2010).
23. İnternet: “Malzeme Özellikleri Veritabanı”,  
<https://www.makeitfrom.com> (2009).
24. Avedisian T., “Cornell University Unmanned Air Systems 2017 AUVSI Student UAS Competition” (2017).

25. Doğan, Z., “Ses Altı Hızlarda Kanat Profili Etrafında Akışın İncelenmesi”,  
Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 46-48  
(2008).

26. İnternet: “Hava Araçları Boyutlandırma Veritabanı”,  
<http://airfoiltools.com>



## **ÖZGEÇMİŞ**

İsmail Aykut KARAMANLI 1991 yılında Ankara’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Ankara TOKİ Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2014 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2015 yılında Piramit Asansör firmasında makine mühendisi olarak işe başladı. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisansa başladı. 2017 yılında Primit Asansör firmasından ayrılarak Hidromek A.Ş. firmasında tasarım mühendisi olarak işe başladı.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Ulubatlı Hasan Mh. Üzümlü Sk. No:19 Fatih-Sincan/ANKARA

Tel : (505) 885 21 84

E-posta : aykutkaramanli@gmail.com