

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SABİT KANATLI İHA'NIN TASARIMINDA KANAT GEOMETRİSİNİN
ETKİLERİ VE AERODİNAMİK ANALİZLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melih ALTAY

HAZİRAN - 2024

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SABİT KANATLI İHA'NIN TASARIMINDA KANAT GEOMETRİSİNİN
ETKİLERİ VE AERODİNAMİK ANALİZLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melih ALTAY

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erol TÜRKEŞ

Haziran – 2024

“SABİT KANATLI İHA’NIN TASARIMINDA KANAT GEOMETRİSİNİN ETKİLERİ VE AERODİNAMİK ANALİZLERİ” adlı tez çalışması **Melih ALTAY** tarafından hazırlanmış olup aşağıdaki jüri tarafından **OY BİRLİĞİ** ile Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Erol TÜRKEŞ
Kırklareli Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri:

Doç. Dr. Ümit HÜNER
Kırklareli Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Önder AYER
Trakya Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi: 23/05/2024

Doç. Dr. H. Hale KARAYER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Kırkırelı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mak. Müh. Melih ALTAY
23/05/2024

ÖZET

SABİT KANATLI İHA'NIN TASARIMINDA KANAT GEOMETRİSİNİN ETKİLERİ VE AERODİNAMİK ANALİZLERİ

Melih ALTAY

Yüksek Lisans Tezi

Kırklareli Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Prof. Dr. Erol TÜRKEŞ

Haziran 2024, 85 sayfa

Hava araçlarının tümünde kullanılan yakıt miktarını düşürmek, faydalı yükü arttırmak için gövdenin ve kanatların aerodinamik yapısında tasarımlar yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında da bu konu göz önünde bulundurularak kanatlar ve İHA'lar da C_L/C_D oranını arttırmak hedeflenmiştir. Sabit kanatlı insansız hava aracı tasarımı kanat geometrisinin etkileri ve aerodinamik analizleri üzerine XFLR5 ve ANSYS Fluent öğrenci, programlarında aerodinamik analizler yapılmıştır. Her iki analiz verileri de karşılaştırılmıştır. En verimli olarak tasarlanan ALTAY kanadı ana gövde de olacak şekilde ve kuyruk tarafındaki gövde de SD-7037 kanadı kullanılarak SOLİDWORKS öğrenci programında Düz (küt) kanatlı Altay-0020 D ve Dik trapez kanatlı Altay-0020 T İHA'ları tasarımları yapılmıştır. Analizleri ANSYS Fluent öğrenci, programında 15,5 m/s hava hızında 5 farklı hücum açısında yapılmıştır. SOLİDWORKS'te tasarlanan kanatlar 3D yazıcıda parçaları çıkartılıp sonrasında montajı yapılmıştır. Kanatların ön tasarımından, analizlerine ve insansız hava aracının tasarımını, montajını kapsayacak sonuçlandırılma bölümüyle tez çalışması sonlandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sabit kanatlı İHA, Tasarım, Aerodinamik analizler, Katlamalı imalat.

ABSTRACT

THE EFFECTS OF WING GEOMETRY AND AERODYNAMIC ANALYSIS ON THE DESIGN OF FIXED-WING UAV

Melih ALTAY

PhD Thesis

Kirklareli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Erol TÜRKEŞ

June 2024, 85 pages

In order to reduce the amount of fuel used in all aircraft and to increase the useful load, designs are made in the aerodynamic structure of the body and wings. Considering this in study, aerodynamic design and analyzes were carried out on wings and UAVs for C_L/C_D value increasing. Aerodynamic analyzes were carried out in XFLR5 and ANSYS Fluent student, programs on the effects of fixed wing unmanned aerial vehicle design wing geometry and aerodynamic analysis. Data from both analyzes were compared. Flat (blunt) wing Altay-0020 D and vertical trapezoidal wing Altay-0020 T UAVs were designed in the SOLIDWORKS student program, with the most efficient Altay wing on the main body and the SD7037 wing on the tail fuselage. Analyzes were made in ANSYS fluent student, program at 15,5 m/s air speed and 5 different angles of attack. The Wings were designed in SOLIDWORKS, parts were removed and assembled on a 3D printer. The thesis study has been concluded with the final section, which will cover the preliminary design and analysis of the wings and the design and assembly of the unmanned aerial vehicle.

Anahtar Kelimeler: Fixed wing UAV, Desing, Aerodynamic analysis, Additive manufacturing.

TEŞEKKÜR

Hayatım boyunca beni destekleyen, karşılıksız seven annem Cumasiye ALTAY’a, babam Salih ALTAY’a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tez dönemim süresince beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Erol TÜRKEŞ’e teşekkür ederim.

Maddi ve manevi olarak yüksek lisans öğrenimimi destekleyen Termo Isı Sistemleri Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi’ne sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. İHA SİSTEMLERİ VE SINIFLANDIRILMASI	9
3.1. Boyutlarına Göre Sınıflandırma	12
3.1.1. Mikro/Mini İHA sınıfı	12
3.1.2. Taktiksel İHA	13
3.1.3. Operatif (Male)	14
3.1.4. Stratejik (Hale).....	15
3.2. Türkiye’de Üretilen İHA’lar.....	16
4. METODOLOJİ.....	23
4.1. Akışkanlar Mekaniği	23
4.1.1. Yüzeylerde oluşan akış rejimleri	23
4.1.2. Reynolds sayısı (Re)	24
4.1.3. Mach sayısı (Ma)	25
4.1.4. İnsansız hava aracı tasarımı ve kanat geometrilerianaliz teorisi.....	26
4.1.5. Kanat profili	26
4.1.6. İnsansız hava aracı üzerinde oluşan kuvvetler.....	27
4.1.7. İnsansız hava aracının hareket yörüngeleri.....	30
4.1.8. Kanat üzerinde oluşan kuvvetler.....	31
4.2. Kanat Konumları	32
4.2.1. Dihedral açısı	32
4.2.2. Kuyruk kanadı.....	33
4.3. Kanat Yapısının Gövdeye Yerleşimi.....	34

4.4. İnsansız Hava Aracı Tasarımında Etkili Olan Elektronik Ekipmanlar.....	37
4.4.1. Motorlar	37
4.4.2. Pervane.....	38
4.4.3. ESC (Electronic Speed Controller)	39
4.4.4. Batarya	39
4.4.5. Kumanda ve alıcı	40
4.4.6. Sensörler	41
4.5. Model Uçaklarda ve Sabit Kanatlı İnsansız Hava Araçlarında Kullanılan Malzemeler	37
5. MATERYAL VE METOD	45
5.1. Kanat Geometrisi	45
5.1.1. Kanat geometrisinin verimliliğini artırma	50
5.1.2. SD-7037 kanat geometrisi ile ALTAY kanat geometrisinin karşılaştırılması...51	
5.2. ANSYS Fluent.....	52
5.3. SOLIDWORKS Tasarım.....	67
5.4. Kanat Modelleri Üretimi	69
6. SONUÇ	71
KAYNAKLAR.....	73
EKLER	76
ÖZGEÇMİŞ	85

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 2.1 İnsansız hava sistemi sınıflandırılması	3
Çizelge 3.1. SHT – İHA talimatnamesine göre İHA sınıflandırılması.....	9
Çizelge 3.2. İHA kategorileri ve özellikleri	10
Çizelge 3.3. İHA kategorileri ve özellikleri (Devamı)	11
Çizelge 3.4. Black Hornet teknik özellikleri	12
Çizelge 3.5. SHADOW 200 RQ-7.....	13
Çizelge 3.6. Hermes 1500.....	14
Çizelge 3.7. RQ-4 GLOBAL HAWK	15
Çizelge 3.8. Türkiye’ nin İnsansız Hava Araçları	16
Çizelge 3.9. Bayraktar Akıncı TİHA özellikleri.....	16
Çizelge 3.10. Bayraktar DİHA teknik özellikleri	17
Çizelge 3.11. Bayraktar Mini İHA’ nın teknik özellikleri.....	18
Çizelge 3.12. Bayraktar TB2 ve TB3	19
Çizelge 3.13. Havelsan BAHA teknik özellikleri.....	20
Çizelge 3.14. Tusaş bünyesindeki aksungur ve anka İHA’ların teknik özellikleri	21
Çizelge 3.15. Vestel Karayel teknik özellikleri	22
Çizelge 4.1. Mach sayısı ve sınıflandırmaları	25
Çizelge 4.2. Eliptik çubuğun boy/en oranına göre C_D değişimi.....	32
Çizelge 4.3. Üstten kanatın hava araçlarındaki avantajları	34
Çizelge 4.4. Üstten kanatın hava araçlarındaki dezavantajları	35
Çizelge 4.5. Alttan kanatın hava araçlarındaki avantajları.....	35
Çizelge 4.6. Alttan kanatın hava araçlarındaki dezavantajları	36
Çizelge 4.7. Ortadan kanadın hava araçlarındaki özellikleri.....	36
Çizelge 4.8. İHA üretiminde kullanılan ana gövde ve taşıyıcı yapı malzemeleri	41
Çizelge 4.9. köpük çeşitleri	42
Çizelge 5.1. SD-7037 ve ALTAY kanat geometrilerin değerleri.....	51
Çizelge 5.2. İki kanat için Ansys programında x ve y eksenlerindeki açı değerleri	56
Çizelge 5.3. ALTAY Re 5×10^4 farklı hücum açılarındaki C_L ve C_D değerleri	58

ÇİZELGELERİN LİSTESİ (devam)

Çizelge 5.4. ALTAY Re 15×10^4 farklı hücum açılarındaki C_L ve C_D değerleri	59
Çizelge 5.5. ALTAY Re 25×10^4 farklı hücum açılarındaki C_L ve C_D değerleri	60
Çizelge 5.6. SD-7037 Re 5×10^4 farklı hücum açılarındaki C_L ve C_D değerleri	61
Çizelge 5.7. SD-7037 Re 15×10^4 farklı hücum açılarındaki C_L ve C_D değerleri	62
Çizelge 5.8. SD-7037 Re 25×10^4 farklı hücum açılarındaki C_L ve C_D değerleri	63
Çizelge 5.9. ALTAY ve SD-7037 kanatlarının Re 5×10^4 beş farklı açıda C_L/C_D değerleri	64
Çizelge 5.10. ALTAY ve SD-7037 kanatlarının Re 15×10^4 beş farklı açıda C_L/C_D değerleri	64
Çizelge 5.11. ALTAY ve SD-7037 kanatlarının Re 25×10^4 altı farklı açıda C_L/C_D değerleri	64
Çizelge 5.12. Altay-0020 D 5° hücum açısındaki C_L ve C_D değerleri	66
Çizelge 5.13. Altay-0020 T 5° hücum açısındaki C_L ve C_D değerleri	66
Çizelge 5.14. Altay-0020 D ile Altay-0020 T İHA'larının 15,5 m/s hızındaki beş farklı açıdaki C_L/C_D değerleri	67

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1. Curtis-sperry hava torpidosu.	4
Şekil 2.2. Kettering Bug hava torpidosu	4
Şekil 3.1. Black Hornet.	12
Şekil 3.2. Shadow 200 RQ-7	13
Şekil 3.3. Hermes 1500	14
Şekil 3.4. RQ-4 Global Hawk.....	15
Şekil 3.5. Bayraktar Akıncı TİHA.....	17
Şekil 3.6. Bayraktar DİHA	17
Şekil 3.7. Bayraktar Mini İHA	18
Şekil 3.8. (a) Bayraktar TB2 ve (b) Bayraktar TB3	19
Şekil 3.9. Havelsan BAHA.....	20
Şekil 3.10. a (Aksungur), b (Anka)	21
Şekil 3.11. Vestel Karayel.....	22
Şekil 4.1. Kanat üzerindeki laminar akış.....	23
Şekil 4.2. Kanat üzerindeki türbülanslı akış.....	24
Şekil 4.3. Kanat profillerinin tanımı.....	26
Şekil 4.4. İnsansız hava aracına etki eden kuvvetler	28
Şekil 4.5. İnsansız hava aracı eksen yönleri	29
Şekil 4.6. İnsansız hava aracı hareket yönleri	30
Şekil 4.7. Kanat üzerinde oluşan temel kuvvetler	31
Şekil 4.8. (Dihedral), b (anhedral).....	33
Şekil 4.9. (a) Geleneksel, (b) T kuyruk, (c) Haç şekli, (d) H-kuyruk, (e) V-kuyruk, (f) Y-kuyruk, (g) İkiz dikey kuyruk, (h) Kiriş monte edilmiş	33
Şekil 4.10. farklı kanat konfigürasyonları a (üstten kanat), b (ortadan kanat), c (alttan kanat), d (parasol kanat)	37
Şekil 4.11. Fırçalı DC motor	37
Şekil 4.12. Fırçasız DC motor	38
Şekil 4.13. Pervane.....	39
Şekil 4.14. Lipo Batarya.....	40
Şekil 4.15. Balsa ağacından üretilen insansız hava aracı	42

ŞEKİLLERİN LİSTESİ (devam)

Şekil 4.16. a (Eps), b (Epo), c (Epp), d (Fotoblok), e (Xps) köpük malzemeleri.....	43
Şekil 4.17. flamentlerle 3 boyutlu yazıcın kullanılması	43
Şekil 4.18. Cam elyafı	44
Şekil 4.19. Karbon fiber malzemedan üretilmiş insansız hava aracı.....	44
Şekil 5.1. NACA-0012 kanat profil.....	46
Şekil 5.2. NACA-4415 kanat profili.....	46
Şekil 5.3. SD-7037 kanat profili.....	47
Şekil 5.4. Re 50 000 kanat analizleri	48
Şekil 5.5. Re 150 000 kanat analizleri	48
Şekil 5.6. Re 250 000 kanat analizleri	49
Şekil 5.7. Farklı Reynolds sayılarında C_L/C_D oranları	50
Şekil 5.8. ALTAY kanat profili.....	51
Şekil 5.9. ALTAY ve SD7037 için farklı Reynolds sayılarında C_L/C_D oranı.....	52
Şekil 5.10. Ansys programında çizilmiş Altay kanadı modeli	53
Şekil 5.11. Kanat boşluğu.....	54
Şekil 5.12. Rüzgâr tüneline ölçüler ve bölgeleri	54
Şekil 5.13. Rüzgâr tüneline gerçekleştirilen mesh ve ağları.....	55
Şekil 5.14. Kanat etrafında uygulanan inflation	55
Şekil 5.1. Şahin kuşunun kanat profili.....	56
Şekil 5.16. Altay-0020 D ve Altay-0020 T İha'larına Uygulanan Mesh yapısı.....	57
Şekil 5.17. ALTAY kanadı Re 5×10^4 sırasıyla 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarında basınç ve hız değerleri	58
Şekil 5.18. ALTAY kanadı Re 15×10^4 sırasıyla 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarında basınç ve hız değerleri	59
Şekil 5.19. ALTAY kanadı Re 25×10^4 sırasıyla 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarında basınç ve hız değerleri	60
Şekil 5.20. SD-7037 kanadı Re 5×10^4 sırasıyla 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarında basınç ve hız değerleri	61
Şekil 5.21. SD-7037 kanadı Re 15×10^4 sırasıyla 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarında basınç ve hız değerleri	62

ŞEKİLLERİN LİSTESİ (devam)

Şekil 5.22. SD-7037 kanadı $Re\ 25 \times 10^4$ sırasıyla 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarında basınç ve hız değerleri	63
Şekil 5.23. ALTAY-0020 D kanadı 15,5 m/s akış giriş hızında 5° 'de basınç ve hız değerleri	65
Şekil 5.24. ALTAY-0020 T kanadı 15,5 m/s akış giriş hızında 5° 'de basınç ve hız değerleri	66
Şekil 5.25. ALTAY Ve SD7037 kanat geometrileri	68
Şekil 5.26. Altay-0020 D ve Altay-0020 T kanat geometrileri	68
Şekil 5.27. Flashprint 5 tablada kanat modeli	69
Şekil 5.28. Katlamalı imalat ile tasarım	70
Şekil 5.29. Altay-0020-A ve Altay-0020-B kanat geometrileri	70

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
ρ	Yoğunluk
α	hücum açısı (°)
V	Hız (m/s)
L_c	Kanadın Kiriş Uzunluğu (m)
δ	Kanat kalınlık oranı
γ	Kanat kamburluk oranı
μ	Viskozite
c	Havanın Ses Hızı
Re	Reynolds sayısı
C_D	Draft (sürtünme) katsayısı
C_L	Lift (kaldırma) katsayısı
Ma	Mach sayısı
F_L	Taşıma kuvveti (N)
F_D	Sürüklenme kuvveti (N)
E_{max}	Maksimum aerodinamik etkinlik

Kısaltmalar	Açıklamalar
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği
İHA	İnsansız Hava Araçları
İHS	İnsansız Hava Sistemi
SİHA	Silahlı İnsansız Hava Araçları
TSK	Türk Silahlı Kuvvetleri
VTOL	Dikey Kalkış ve İniş

1. GİRİŞ

İnsansız hava araçları adından da anlaşıldığı üzere içerisinde onu kontrol eden pilotu ve yolcusu olmayan dışarıdan uzaktan kumanda ile ya da uçuş öncesinde uçuş güzergahının programı yüklenilerek otomatik olarak kullanılan hava araçlarıdır. İHA insanlık tarihine yapılan savaşlar nedeniyle askeri alanda girmiştir. İHA tasarımlarında üç ana bileşene dikkat edilmektedir. Bu bileşenler; uçağın gövdesi ve kanat yapıları, uçağın yapması gereken göreve yönelik ekipmanları ve uçağın kalkışını gerçekleştireceği yer kontrol istasyonudur. Günümüzde askeri amaçlar dışında dünyada ve ülkemizde teknolojinin kısa zamanda gelişmesi ve farklı sektörlerde; haritacılık, arama kurtarma faaliyetleri, tarımsal uygulamalar gibi alanlarda kendine yer bulmuştur (Kahveci ve Can, 2017).

Askeri alanda kullanılan İHA görevlerine göre; Hedef tespiti, operasyonlarda önden yapılan keşif ve gözetlemeler ve askeri personelin girmesinin yüksek riskli olabileceği bölgelere saldırı yapabilir. Sivil İHA görevlerine göre; Lojistik-kargo alanında destek, doğal afetlerde olay yerinin tespit edilmesi ve yardım ulaştırılması, doğada çevre kirliliğini engellemek, hastalara acil olan ilaçları daha hızlı ulaştırmak ve miting, konser gibi topluluğun bulunduğu açık hava alanlarında güvenliğin sağlanması amacıyla kullanılır (Korkmaz ve diğerleri, 2016).

Amerika Birleşik Devletleri İHA'yı daha ayrıntılı bir konu olarak göstermek için İnsansız Hava Sistemi (İHS) olarak bir terim kullanmıştır. Kullanılan bu sistem üzerine 16 başlık altında sınıflandırılmıştır. Çizelge 2.1'de İHS sınıflandırılması görülmektedir. Kullanılan bu başlıklar altında İHA'nın en çok tercih edilen sınıflandırma biçimi İHA'nın maksimum kalkış ağırlığı, maksimum uçuş irtifası, havada kalma süresidir. Bu tez çalışmamda tasarım yapılırken kullanılan kanat tipine göre sınıflandırma biçiminde sabit, hareketli, döner ve dikey iniş-kalkış (VTOL) kanat tipi olarak dörde ayrılmaktadır. Kullanılan uçak, helikopter vb. araçlarda sabit kanat formu tercih edilmektedir. İHA'ya ayrılan yatırımların çoğu askeri alanda olmasına rağmen gelecekte sivil alanlarda da kullanım alanları genişleyecektir (Yiğit, Yazar ve Karakoç, 2018).

Bu çalışmalardan da anlaşıyor ki İHA dünya üzerindeki ülkelerin askeri ve milli savunma konularında söz sahibi olmasını ve çeşitli sivil alanlarda gelişmekte olan teknolojinin gereksinimleri sebebiyle literatür çalışmalarında araştırma konularında sayısı hızla artmıştır.

Bu tez çalışması; giriş, literatür özeti, İHA sistemleri ve sınıflandırılması, tasarım ve metodolojisi, materyal ve metot ve sonuçlar bölümü olmak üzere altı farklı başlıktan oluşmaktadır. Yapılan çalışma ve araştırmalar düşük ses altı uçuşlar ve düşük Reynolds sayıları göz önüne alınarak yapılmıştır. Ön tasarım olarak XFLR5 programında NACA-4415, NACA-0012 ve SD7037 kanat profilleri Chord (x ekseninde kanat açıklığı) 200 (mm), Span (y ekseninde kanat açıklığı) 300 (mm), kütle 1,5 (kg), havanın yoğunluğu 1,225 (kg/m³), kinematik viskozite 1,5111E-05 (kg/(mxs)), mach sayısı 0,045 sayısında, Re 5x10⁴; 15x10⁴ ve 25x10⁴ sayılarında -5° ile 15° hücum açılarında 0,5° derece aralıklarda iken analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlere göre en yüksek C_L/C_D oranı olan kanat geometrisi seçilmiştir. Seçilen bu kanat geometrisi üzerinde değişiklikler ile C_L/C_D oranı arttığı tespit edilmiştir. Yeni tasarlanan bu kanata ALTAY ismi verilmiştir. XFLR5'te yapılan analiz ve ön tasarımlardan sonra ANSYS Fluent analiz programında SD-7037 ile ALTAY kanadı iki boyutlu olarak çizilip analiz edilmiştir. Analizlerde çıkan sonuçlara göre ALTAY kanadı daha verimli olduğu görülmüştür. ALTAY kanadının daha verimli olduğu tespit edildikten sonra SOLIDWORKS programında kanatlar üç boyutlu olarak tasarlanmıştır. Tasarımlarda İHA tasarımı da yapılmıştır. Tasarlanan iki tip İHA bulunmaktadır. Altay-0020 D ve Altay-0020 T olarak isimlendirilmişlerdir. İki farklı tip İHA tasarlanmasının sebebi montajı yapılan kanatların düz ve dik trapez olarak İHA üzerindeki C_L/C_D oranındaki etkileri incelenilmiştir. ANSYS ortamında rüzgâr tüneline 15,5 m/s akış giriş hızında yapılan analizler sonucunda dik trapez kanadın düz kanata göre hava aracına daha iyi kaldırma kuvveti sağladığı tespit edilmiştir. Tasarlanan Altay-0020 D ve Altay-0020 T İHA'larının ana kanatlarından birer tane ve kuyruk kanatlarından birer tane olarak üç boyutlu yazıcıda üretilmeye karar verilmiştir. Üç boyutlu yazıcı olarak Creator 3 yazıcısı kullanılmıştır. Creator 3 yazıcısına katı modeli aktarmak için Flashprint 5 programı kullanılmıştır.

2.LİTERATÜR ÖZETİ

Literatürde insansız hava araçları üzerine değişik ve farklı konularda araştırmalar ve çalışmalar yapılmaktadır. Literatür çalışmalarında daha çok aerodinamik ve tasarım konularına aynı zaman da kanat geometrilerinin daha çok ele alındığı araştırmalar üzerine yoğunlaşmıştır. Çizelge 2.1’de izah edilen İnsansız Hava Sistemi sınıflandırılmasındaki altı numaralı sütundaki kanat tipleri göz önüne alınarak en avantajlı ve faydalı uçuş tasarımlarına sahip olan sabit kanatlı İHA’lar tasarım ve aerodinamik analizleri için araştırma konusu seçilmiştir.

Çizelge 2.1 İnsansız hava sistemi sınıflandırılması (Korchenko ve Illyash, 2013)

1	Hava aracının kullanım alanlarına göre
2	Kullanılan kontrol sistemi çeşitliğine göre
3	Uçuş kurallarına göre
4	Havada kullanılan alanın durumuna göre
5	Hava aracının tipine göre
6	Kanat tipine göre
7	Kalkış ve inişteki kaldırma kuvvetinin yönüne göre
8	Kalkış-iniş tipine göre
9	Hava aracının motor tipine göre
10	Yakıt sistemine göre
11	Yakıt tankı tipine göre
12	Yakıt sisteminden istifade sayısına göre
13	İHA maksimum kalkış ağırlığı, menzil, havada kalma süresi, çıkabileceği maksimum irtifa değerlerine göre
14	Gerçekleştirilebilecek mesafe yarı çapına göre
15	Uçuş irtifasına göre
16	Fonksiyon ve uygulama alanlarına göre

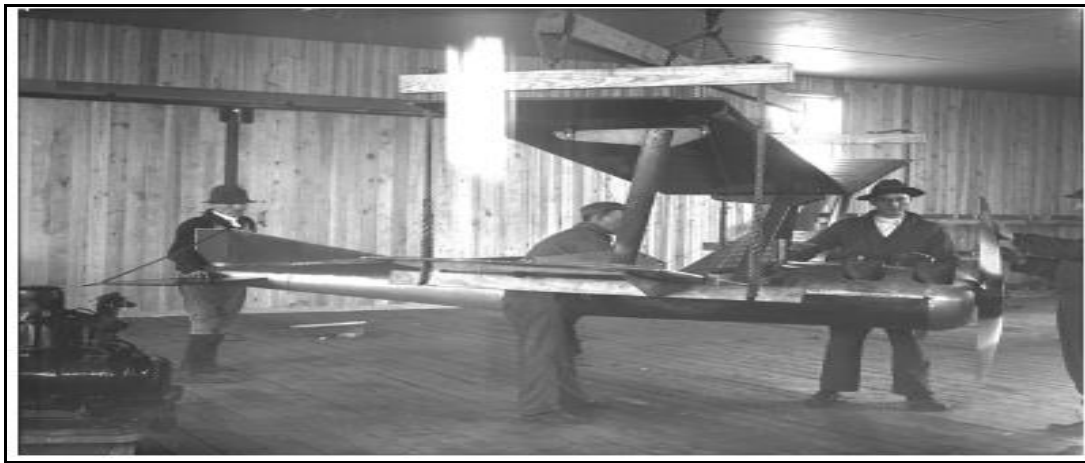
ABD donanmasının mancınık yardımı ile fırlattığı ve uçan bomba olarak adlandırdığı Curtiss-Sperry uçan hava torpidosu, şekil 2.1’de görülen, ilk uçuşunu 1917 yılında gerçekleştirmiştir. Hava aracı faydalı yüksüz uçuşlarını başarı ile gerçekleştirdikten sonra amaca yönelik olarak motorlu, insansız ve 450 kg belirli bir patlayıcı yük ile tarihteki ilk başarılı uçuşu gerçekleştirmiştir. Yapılan test uçuşları ve yaşanan kazalar sonunda uçak gövdeleri tükendiğinden Curtiss-Sperry uçan hava torpidosu testlerine ve çalışmalarına son verilmiştir (Url-1).

Şekil 2.2’de görülen, Charles Ketterin tarafından 1918 yılında ‘Kettering Bug’ olarak adlandırılan hava torpidosu geliştirilmiştir. TSK ilk İHA olarak, Meggit firması tarafından üretilmiş olan, Banshee sistemini 1989 yılında kullanmıştır. Western elektrik şirketi tarafından geliştirilen radyo kontrolü de uçuşa uzaktan komuta kontrolünün girebilmesine olanak sağlamıştır. Türkiye’nin yerli İHA alanında 1989 yılında ilk gerçekleştirmiş olduğu İHA-X1-Şahit isimli projedir. Ancak bu proje seri üretime geçememiştir. Almanya’dan 1993 yılında beş adet İHA Türkiye’ye hibe edilmiş. ABD ve İsrail’den 2007 yılına kadar İHA’lar ithal edilmiştir. İsrail ile yaşanan Mavi Marmara olayı Türkiye’yi yerli üretime yönlendirmiştir (Url-2).



Şekil 2.1. Curtiss-Sperry hava torpidosu (Url-1)

Türkiye’de birçok firma İHA üretimi yapmaktadır. Bunların başlarında gelenler; Baykar Savunma, Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret AŞ. (STM), Türk Havacılık ve Uzay Sanayii (TUSAŞ), Vestel Karayel’ dir (Url-3).



Şekil 2.2. Kettering Bug hava torpidosu (Url-2)

Adam ve diğerkleri (2020) alışmalarında ses altı ve ses üstü hızlarda aerodinamik analizler için açık kaynak kodlu PANAIR kodunu temel olarak analiz altyapısı oluşturmuşlardır. Oluşturdukları bu PANAIR panel kodunu dikdörtgen NACA-0012 kanadında, Sears-Haack gövdesi, Hafif bir iş jeti kanat/gövde modeli ve Cessna 172 uçağı kanat/gövde modeli olmak üzere 4 farklı konfigürasyonlar için analizleri yapmışlardır. Dikdörtgen NACA-0012 kanadında PANAIR ile XFLR5 analiz programlarındaki 3° ile -3° hücum açılarındaki analiz sonuçları karşılaştırılmış ve değerklerin birbirine çok yakın olduğı belirlenmiştir. Hafif iş jeti analizleri 0° ile 1° hücum açılarındaki sonuçları gösterilmiştir. Yalnız kanat ve kanat/gövde konfigürasyonlarına göre aynı hücum açılarındaki C_D 'nin kanat/gövde değerklerinin yalnız kanata göre fazla olduğı, C_L 'nin ise kanat/gövde değerklerinin yalnız kanata göre düşük olduğı tablolardan belirlenmiştir. Bu sonuçtan kanat/gövde konfigürasyonun yalnız kanata göre daha çok sürtünmeye maruz kaldığı bu sebeple kaldırma katsayısının azaldığı anlaşılmaktadır.

Aşıcı (2019) alışmalarında NACA-0012 kanadında sabit ve salınımlı farklı hücum açılarındaki kanat profili üzerine sentetik jet uygulayarak aerodinamik analizlerini incelemiş ve karşılaştırmıştır. Bu sentetik jet çalışmasından esinlenerek bu tez çalışmasında kanat ucu üst bölgesinde dikdörtgen boşluğun aksine aerodinamiğı olumsuz etkilemeyecek çukur bir bölge oluşturulmuştur.

aldır (2017) alışmalarında 9 farklı geometrideki kanat geometrilerini Ansys fluent analiz programında analiz etmiş ve kanat olarak AG44CT02R profilini seçmiştir. Solidworks çizim programında tüm tasarımlarını yapmıştır. Verimliliğı arttırmak için kanat üzerine 1 plakada 48 adet güneş hücresi bulunan 4 plaka kullanmıştır. Sonuç olarak uçuş süresi ve menzili artmıştır.

oban (2016) alışmasında insansız hava araçlarında hem de rüzgâr türbinlerinde kullanılan SD-7062 kanat profilinin sade kanat ve kanat ucuna eklenen plaka tipi, kıvrık tip ve pala tipi kanatçık tiplerini -5° ile 17° hücum açısı değerkleri arasında farklı açılarda analizlerini gerçekleştirmiştir. Tasarımlarını ve analizi gerçekleştirdiğı kontrol hacimlerini CATIA programında gerçekleştirmiştir. Sonuçlarında sade kanata göre diğerk 3 kanatçık tipi daha verimli sonuçlar vermiş ve en iyi sonuçlar veren kanatçık tipi kıvrık tip olarak tespit etmiştir.

Demir (2021) alışmalarında doğadaki kuşlardan olan; albatros, şahin, martı, kırlangıç ve atmacanın kanat profillerini 3 farklı Reynolds sayısında (50 000; 100 000 ve 150 000)

analiz etmiştir. Düşük hücum açılarında albatros taşıma kuvveti yüksek ve sürüklenme kuvveti düşük, yüksek hücum açılarında ise kırlangıç ve şahin taşıma kuvveti yüksek, sürüklenme kuvveti düşük olarak en iyi sonuçlara ulaşmıştır.

Dılmaç (2019) çalışmalarında insansız hava araçlarında hem de rüzgar türbinlerinde kullanılan düşük reynolds sayılarında kullanılan NACA-4415 kanat profilinin firar kenarı tarafında kalınlaştırmasıyla meydana gelen etkilerini incelemiştir. Çalışmasında kanat profilinde merkez çizgisi üstü sabit tutulmuş, merkez altı çıkış kenarı ise %2 oranında kalınlaştırılmıştır. HAD analizleri 0°'dan 18°'e 2 derece aralıklarla yapmıştır. Küt firar kenarlı profilin NACA-4415'e göre daha iyi C_L/C_D değerine sahip olduğunu belirlemiştir. Tork olarak da küt firar kenarlı profilin 5,12 Nm, NACA-4415 profilini ise 4,42 Nm olarak analizlerde belirlenmesiyle kütlü kanat profilinin daha verimli olduğunu ifade etmektedir.

Durhasan (2019) çalışmasında NACA-0015 kanat profilinin firar kenarından akış emme ile aerodinamik performansı üzerine etkilerini Re 48 000, üç farklı emme oranı ($\theta=0,05$; 0,1 ve 0,2) dört farklı kanat hücum açısında ($\alpha=2^\circ$; 4° ; 6° ve 8°) test etmiştir. Düşük hücum açılarında kanat aerodinamik performansı akış emme yöntemi ile önemli ölçüde arttırılmıştır. Ancak akış emme yöntemi C_L 'nin artmasının yanı sıra C_D 'nin de artmasına neden olduğu için yüksek hücum açısında ($\alpha=8^\circ$) C_L/C_D oranının kontrolsüz duruma (akışta emme yapılmadığı durum) göre önemli ölçüde değişmediği gözlemlenmiştir.

Genç ve diğerleri (2008) uçağın motordan aldığı etki kuvvetinden sonra havada kalabilmesi için gerekli olan aerodinamik kuvvetleri ve aerodinamik performansı arttırma yöntemlerini açıklamışlardır. Aerodinamik performansı arttırma yöntemleri arasında; hücum açısı, kamburluk oranı, flaplar ve slotlar yer almaktadır. Sayısal modellemeyi düz flaplı NACA-0012 kanat profilini farklı hücum açılarında 3×10^6 Re sayısı ve 35 m/s hızında akışkanlar dinamiği olan ANSYS programında analiz etmişlerdir. Flap uzunluğu ve hücum açısı artıkça belirli bir hücum açısından sonra kanat etrafındaki türbülans ve sürtünme katsayısı artmaktadır. Bu sebepten hava akımında daha türbülansın oluşmadığı flap uzunluğu ve hücum açısına göre kanat profili tasarımı yapılmalıdır.

Görgülü ve diğerleri (2021) çalışmalarında kanat eksenine göre üstü ve altı eşit ölçülerde yani simetrik bir kanat olan NACA-0009 profil geometrisini 111 mm (chord), 111 mm (span) ölçülerinde olan kanadı Re 32×10^3 sabit düşük Reynolds sayısında 0° ; 5° ; 10° ve 15° olarak dört farklı hücum açısında ANSYS 15,0 programıyla aerodinamik analizleri

yapmışlardır. Analizlerde en iyi Cl/Cd değerini 5° hücum açısında 10,03 ve en kötü 15° hücum açısında 2,705 olarak tespit etmişlerdir.

İlhan (2022) çalışmalarında kanat üzerindeki iki nokta ekseninde hem nümerik olarak hem de rüzgâr tünelineki deneysel çalışmayla beraber 3 farklı reynolds sayısının 7 farklı atak açısıyla çalışmaları yapılmıştır. Reynolds sayıları artıkça kaldırma ve sürünme kuvvetlerinde artış olduğu gözlenmektedir.

Ramanan ve diğerleri (2021) çalışmalarını düşük Reynolds sayılarında SD-7037 Airfoil kanat profili kullanarak yapmışlardır. 30 000 feet yükseklikte farklı hız ve hücum açıları ANSYS programında aerodinamik analizleri yapılmış ve yapılan çalışmalar sonunda İHA'nın hızı ve hücum açısı pozitif yönden arttıkça kaldırma kuvveti (N) ve sürüklenme kuvvetinin (N) arttığı ve C_L/C_D oranında aynı şekilde arttığı tespit edilmiştir.

Saltan (2021) çalışmasında azami kalkış ağırlıklarını referans alarak 4 farklı kanat profilini; LA2573A, NACA-4415, NASA LRN 1015 ve SD-7037'yi Solidworks programında tasarlayıp Stratasys Fortus 250 mc 3d yazıcıda üretimini yapmıştır. Üretilen kanat profilleri rüzgâr tüneline farklı hücum açısı ve 3–36 (m/s) rüzgâr hızlarında yapılır. Negatif hücum açıları ve tüm hız değerleri için en uygun sonucu NASA LRN 1015 modelinin verdiği belirlemiştir. Pozitif hücum açıları ve düşük hız değerleri için en uygun modelin ise NACA-4415'tir.

Uğur (2019) çalışmalarında enerji verimliliğini artırmak için havadaki rüzgâr enerjisinin takip edilmesi ve elde edilen verilere göre anlık pervane ve motor gücünü ona göre ayarlayan bulanık mantık tabanlı kontrolcüyü geliştirmiş ve fazla enerji tüketimine engel olarak verimliliği arttırmaya çalışmıştır. İnsansız hava aracını XFLR5 programında ön tasarım ve analizler yapmış ve sonra Solidworks programında tasarımını gerçekleştirmiştir. Rüzgâr tüneline yaptığı testlerde rüzgârsız ortamda çalıştırıldığında 43 dakika sürede çalışmış ve 7 m/s rüzgâr hızında çalıştırıldığında ise bulanık mantık tabanlı kontrolcünün rüzgâr hızını algılayıp ona uygun motoru çalıştırması sonucunda 60 dakika çalışmıştır.

Uzun (2018) çalışmasında hava aracı gövde geometrisi değişmesinin aerodinamik analizlerde etkisini incelemiştir. ZANKA-II ve ZANKA-III olarak adlandırdığı iki insansız hava aracının analizlerini ve gerçek boyutlarına göre 3d yazıcıda 1/10 ölçekli üretimini yapmıştır. ZANKA-II insansız hava aracının burun ve kuyruk konileri beşer

(Eliptik, Konik, Bi-konik, küresel eğilmiş teğet ogive) farklı tasarımlarla ayrı ayrı yapılmış ve burun konisi iyileştirme çalışması sonucunda küresel eğilmiş teğet ogive burun konisinin 6,54 Emax değeri ile en iyi aerodinamik performansı sağlanmış ve yaklaşık %3 değerinde Emax artışı elde edilmiştir. Kuyruk konisi aerodinamik performans iyileştirme çalışmasında ise, konik kuyruk konisinin 7,828 Emax değeri ile en iyi tasarım olduğu açıklanmıştır ve yaklaşık %10 performans iyileşmesi elde edilmiştir. ZANKA-III TİHA aerodinamik performans iyileştirme çalışmasında burun ve kuyruk konisi tasarımları harmanlanarak 25 farklı kombinasyon oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda eliptik burun-eliptik kuyruk konisi tasarımı 13,61 Emax değeri elde ederek, yaklaşık %9,25 aerodinamik performans iyileşmesi sağlamıştır.

Ünler, Dağ ve Öztürk (2022) çalışmalarında 1,26 metre kanat açıklığında, 0,5 kg ağırlığına kadar gerekli ekipman ve teçhizat kapasitesine sahip bir insansız hava aracı tasarlamışlardır. Araştırmada tasarım metodolojisi; görev analizi, konfigürasyon seçimi, aerodinamik tasarım ve geometrik boyutlandırma şeklinde uygulanmıştır. Konfigürasyon seçimi de; kanat, kuyruk, motor, gövde ve iniş takımları olarak hepsinin ayrı ayrı seçimlerini yapmışlardır. Konfigürasyonlarda; ortadan kanat, v-kuyruk, çift motor ve gövde olarak da damla model seçmişlerdir. NACA64a210 kanat profili 0,053 Mach ve 258 000 Reynolds sayıları sabit tutularak analizlerini XFLR5 programında yapmışlardır. Yapılmış olan analizlere bakıldığında Hücüm açısının -10° 'den 15° 'ye lift katsayısı (C_L) artmakta, 15° 'den sonra düşüşe geçmiştir. Draft katsayısı (C_D) ise -10° 'den 0° 'ye kadar azalmakta, sonrasında yükselişe geçmiştir. Lift katsayısında 15° 'den sonra düşüşe geçmesinin nedeni draft katsayısının 0° 'den sonra yükselişe geçmesinden kaynaklanmaktadır. Araştırmada sonra XFLR5 analiz ve sonuçları OpenVSP yazılımı ile kontrol edilmiş ve İHA'nın tasarımını Solidworks programın da yapmışlardır.

Zhang ve diğerleri (2020) rüzgâr tünelinin girişindeki türbülans yoğunluğunun, farklı hücum açılarında ve $Re\ 26.5 \times 10^2$, 53×10^3 ve 212×10^3 düşük Reynolds sayılarını kullanılarak NACA-0012 ve SD-7037 kanatlarında ANSYS, programında bir rüzgâr tüneli oluşturup kanatları tünelin içinde belirli sınır şartları oluşturarak çalışmalarını yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda NACA-0012'ye göre SD-7037 kanadının kaldırma özelliğinin daha iyi olduğu sonucu ortaya çıkarmışlardır.

3.İHA SİSTEMLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

İnsansız hava araçları sınıflandırması çizelge 3.1’de sınıfı İHA0, HA1, İHA2 ve İHA3 olarak dört farklı sınıf kategorisinde değerlendirilmektedir. Her bir sınıf kategorisi İHA’nın azami kalkış ağırlığına göre hangi sınıfa ait olduğu tespit edilebilmektedir. En az 500 gram ağırlığında başlayan İHA kategorileri ağırlığı arttıkça kategori sınıfındaki değerinde de artış gerçekleştirdiği görülmektedir. İHA’ların sınıfına göre üzerlerinde zorunlu olarak taşıyacağı teçhizatlar bulunmaktadır.

Çizelge 3.1. SHT – İHA talimatnamesine göre İHA sınıflandırılması (Url-4).

Sınıfı	Azami Kalkış Ağırlığı	Zorunlu teçhizat
İHA0	500 gr-4 kg	Teknik olarak üzerinde ekipman ve faydalı yük bileşenleri bulundurma zorunluluğu yoktur.
İHA1	4 kg-25 kg	Komuta ve kontrol ağı, batarya veya yakıt seviye kontrolü, çakar lamba, İHA ve yer kontrol otomasyonunda kayıt sistemi
İHA2	25 kg-150 kg	Aydınlatma lambaları, yedekli uçuş komuta ve kontrol sistemi, hava trafiğinde haberleşme sistemi,
İHA3	150 kg ve üstü	Seyir esnasında algılama ve sakınma sistemleri,

İHA’lar için kullanımı kadar çalışma serüveninin uzun müddet boyunca devam edebilmesi için sınıf konumuna göre bakım ve onarım faaliyetleri yürütülmektedir. Yürütülen bakım ve onarım faaliyetlerinde İHA0 ve İHA1’in bakım ve onarımı İHA pilotu sorumluluğunda ve kayıtlanarak 3 yıl boyunca saklanır. İHA2 sınıfında bakımda kullanılan ekipmanların test ve kalibrasyonu yapılır. Bir bakım programı hazırlanılarak parça takibi yapılır. İHA3 sınıfında bakım ve onarım genel müdürlükten deneyimli personel tarafından yapılır. İHA0 ve İHA1 kategorilerinde sigorta, uçuş izin belgesi ve pilot lisansına gerek yoktur. İHA2 ve İHA3 kategorilerinde sigorta, uçuş izin belgesi ve pilot lisansı uçuş için gereklidir. Bütün İHA sınıfları içinde gerekli şartlar sağlandığında uçuş için geriye kalan en önemli gerekli olan parametre uçuşun yapılacağı bölgenin uçuşa yasak bölgeler içerisinde yer almaması gerekmektedir. Uçuşa yasak bölgeler alanında yapılmak istenen uçuşlar hangi sınıfa ait olursa olsun uçuş izin belgesi verilmemektedir. (Url-4).

İHA'lar yapacağı görev ve sınıflandırılma alanları göz önüne alınarak tasarım parametreleri belirlenmelidir. Çizelge 3.2'de görüldüğü üzere mikro, mini ve küçük İHA kategorisinde bulunan ve kategorilere uygun olarak bazı İHA isimleri, maksimum kalkış ağırlığı (kg), faydalı yük (kg) maksimum uçuş irtifası (ft) ve havada kalma süresi (dk) etkili olduğu görülmektedir. Çizelge 3.2 ile çizelge 3.3'ten yola çıkarak İHA üretimi konusunda ABD diğer Avrupa ve Asya ülkelerine göre daha iyi ve üretken olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.2. İHA kategorileri ve özellikleri (Akyürek, 2012)

Kategori	İsmi	İrtifa (feet)	Uçuş Süresi	Faydalı Yük (kg)	Ağırlık (kg)	Üretildiği Ülke
Mikro	Fancopter		25 (dk)		1,5	
	Black Widow	769	2 (dk)		0,05	ABD
	Microstar				11,8	ABD
	Wasp	50-1 000	45 (dk)		0,43	ABD
	Gmav / T-Hawk	10 000	50 (dk)			ABD
	QuattroCopter		10 (dk)	0,28	0,94	
Mini	ScanEagle	19 500	24+	20	13,1	ABD
	Skylark	15 000	2		5,5	İsrail
	DragonEyeEQ-14A	1 000	1		2,7	ABD
	Pointer 2 FQM-151A	985	1		4,3	ABD
	RoboCopter 300			294	500	Japonya
	Raven (RQ-11)	15 000	1,5		1,9	ABD
	R-max Type 2		1	30	58	Japonya
	Efe					Türkiye
	Gözcü (Bayraktar Mini)	12 000	60 (dk)		3,5	Türkiye
	Aladin	14 760	>1		<4	Almanya
Küçük	SUAS AECV Puma	100-500	2			ABD
	Hermes 900	15 000	12-15	55	110	İsrail
	Scorpio 6/30	> 6 560	1		13	Fransa
	Luna	16 400	6-8		<40	Almanya
	SilverFox	12 000	>8	2,2	11,8	ABD
	Neptune	8 000	4	92	613	ABD
	GoldenEye 80	15 000	3	12	57	ABD
	Firebird	30 000	40	14	90	ABD

Çizelge 3.2'nin İHA kategorileri ve özellikleri devamı olan çizelge 3.3'te kategori sınıfında taktiksel, operatif (male), stratejik (hale), saldırı ve rotorlu olarak ayrılıp örneklerle belirli teknik parametreleri hakkında bilgi vermektedir.

Çizelge 3.3. İHA kategorileri ve özellikleri (Devamı) (Akyürek, 2012)

Kategori	İsmi	İrtifa (feet)	Uçuş Süresi	Faydalı Yük (kg)	Ağırlık (kg)	Üretildiği Ülke
Taktiksel	Sperwer	15 000	>6	45	285	Fransa
	Watchkeeper	16 000	17	150	450	İsrail/Fransa
	Hunter	20 000	21	100	785	İsrail
	Aerostar	18 000	<12	50	200	İsrail
	Falco	20 000	14	70	420	İtalya
	Shadow 200	15 000	9	82	131	ABD
	Eagle Eye	20 000	6	533	828	ABD
	Karayel	18 000	10			Türkiye
	Çaldıran (Bayraktar - Çaldıran)	30 000	16	40	350	Türkiye
	Mücke	11 500	3,5	35	130	Almanya
Operatif (MALE)	Heron Tp	45 000	36	1 000	3650	İsrail
	Predator	25 000	40	204	567	ABD
	Darkstar	65 000	12	1 880	1 980	ABD
	Grey Eagle (MQ-1C) *	25 000	40	1 452	363	ABD
	Dominator	30 000	28	410	790	İsrail
	Anka	30 000	24	200	1 368	Türkiye
	Hermes 1500	33 000	>26	350	1 300	İsrail
Stratejik (HALE)	Global Hawk (RQ-4)	60 000	28	1 361	14 630	ABD
	EuroHawk	65 000	>30	1 360		ABD/Almanya
	Predator (MQ-1) *	25 000	24+	205	1 021	ABD
	BAMS (RQ-7)	60 000	34+	1 450	14 630	
	Reaper (MQ-9), Predator B*	50 000	24	1 700	4 763	ABD
	Pathfinder Plus	81 000	15	67,5	247,5	ABD
	Global Observer	70 000	2 hafta	454	4 536	ABD
	Helios	100 000	40	330	600	ABD
	Mercator	70 000	82	2,5	53	İngiltere
Saldırı	Pegasus X-47A	40 000+		472	1 740	ABD
Rotorlu	Fire Scout (MQ-8)	20 000	6+	273	1 429	ABD
	Malazgirt	12 000	90 (dk)	2	12	Türkiye
	A160T Hummingbird	30 000	20+	1 850	1 134	ABD
* Silahlı İHA olarak bilinmektedir.						

3.1 Boyutlarına Göre Sınıflandırma

3.1.1 Mikro / Mini İHA sınıfı

Son yıllarda gelişen teknolojiyle beraber İHA üzerindeki gerekli olan ekipmanların; sensörler, motorlar, aviyonik sistemler vb. boyutlarının, ağırlıklarının düşürülmesi sonucu mikro ve mini İHA'ların askeri alanda düşman sahasında radar gözetleme istasyonlarına hissedilmeden keşif, görüntüleme ve bina gözetimi gibi görevleri daha verimli yapabilen İHA'lardır.

Black Hornet:

Norveç'te Prox Dynamics Anonim Şirketi tarafından geliştirilen Mikro İHA Türkiye, Amerika Birleşik Devletleri, Fransa gibi birçok ülkelerde faaliyet göstermektedir. Çizelge 3.4'te Black Hornet teknik özellikleri belirtilmektedir. Bir ele sığacak kadar küçüklüktedir.

Çizelge 3.4. Black Hornet teknik özellikleri (Url-5)

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Gövde Uzunluğu (mm)	168	Ağırlığı (gr)	33
Rotor çapı (mm)	123	Maksimum Hız (km/h)	37
Kamera Sayısı	3	Çalışma Sıcaklığı (°C)	-10 -43

Şekil 3.1'de Black Horneten gövde üzerinde iki kanatlı pervaneli ve kuyruk kısmında İHA'ya göre gövdeye dik sağ tarafta iki kanatlı pervane bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Black Hornet (Url-5)

3.1.2 Taktiksel İHA

İHA'ların görevini gerçekleştirdiği mesafeye göre taktiksel İHA'lar; Çizelge 3.4'e göre yakın mesafe, kısa mesafe, orta mesafe ve uzun mesafe olarak dörde ayrılır. Taktiksel İHA'lar da yakın mesafeden uzun mesafeye ilerledikçe maksimum kalkış ağırlığı, uçuş irtifası, havada kalma süresi, kontrol istasyonu ile haberleşme mesafesi gibi parametre değerleri artış göstermektedir.

Shadow 200 RQ-7:

ABD'de üretimi yapılmaktadır. Çizelge 3.5'te Shadow 200 RQ-7 İHA'sını teknik özellikleri belirtilmektedir. Shadow İHA ailesinin en küçükü klasmanında bulunmaktadır.

Çizelge 3.5. SHADOW 200 RQ-7 (Url-6)

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Gövde Uzunluğu (m)	3,4	Boş Ağırlığı (kg)	84
Kanat Açıklığı (m)	4,3	Azami Hız (km/h)	218
Yükseklik (m)	1	Seyir Hızı (km/h)	166
Motor	1x Wankel Motoru 28 Kw	Menzil (m)	109

Şekil 3.2'de ki Shadow'un gövde altındaki açılı kamera sayesinde belirli bir bölge merkezinden 125 km'ye kadar olan hedefleri tespit edebilir, görüntü işleyerek kontrol istasyonuna ulaştırabilir. Fırlatma alanına bağlı olarak hidrolik yaylı fırlatıcıyla veya tekerlekli kalkışlarda ilk kalkışını gerçekleştirebilir. İtici güç için motor olarak iki kanatlı, 28,3 kW güç üreten UEL AR 741 döner motor kullanılmaktadır (Url-6).



Şekil 3.2. Shadow 200 RQ-7 (Url-6)

3.1.3 Operatif (Male)

Orta irtifa uzun menzilli İHA sınıfı olarak adlandırılmaktadır. Herhangi bir muharebe şartlarında en önemli görevi risk olasılığı yüksek yerlerde (kimyasal, biyolojik veya yüksek radyasyonlu) uzun süre hedef gözetlemeyi kolaylıkla görev yapabiliyor olmasıdır.

Hermes 1500:

İkiz motorlu hem gece hem de gündüz uzun menzilli gözetleme ve taktiksel keşif için iyi donanımlı görev yapabilen Operatif (Male) sınıfına ait bir İHA'dır. Çizelge 3.6'da bir Operatif (Male) İHA'sı olan Hermes 1500 teknik özellikleri belirtilmektedir. Operatif (Male) araçları uzun süre havada seyredebildikleri için kıtalar arasındaki görevlerde de kullanılmaktadır. Silahlı veya silahsız olarak da kullanılabilirler.

Çizelge 3.6. Hermes 1500 (Url-7)

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Gövde Uzunluğu (m)	9,4	Kalkış Ağırlığı (kg)	1 500
Kanat Açıklığı (m)	15	Maksimum Hız (km/h)	240,76
Uçuş Menzil (km)	200	Seyir Hızı (km/h)	148,16-222,24

Şekil 3.3'te Hermes 1500 İHA'sının resminde gövde üstünde sabit kanatlı ve kuyruk yapısı olarak v kuyruk yapısına sahip olduğu görülmektedir. Elbit Systems UGCS (Evrensel Yer Kontrol İstasyonu) tarafından kontrol edilmektedir.



Şekil 3.3. Hermes 1500 (Url-7)

2.2.4 Stratejik (Hale)

Yüksek irtifa uzun menzilli İHA sınıfı olarak adlandırılmaktadır. Bomba hasar değerlendirmesi, keşif, gözetleme, hedef tespiti ve muharebe safhalarında görev almaktadırlar. Operatif (Male) sınıfı ile görev alanları benzerlik göstermektedir. Operatif (Male) sınıfının görev yapamadığı yüksek irtifa görevlerinde kullanılmaktadırlar.

RQ-4 Global Hawk:

Üretimi ve gelişimi Amerika da Northrop Grumman şirketinde gerçekleşmektedir. Çizelge 3.7’de RQ-4 Global Hawk teknik özellikleri verilmektedir. Yüksek irtifa uzun süre havada seyreden Stratejik (Hale) sınıfına ait İHA’dır. Çizelge 3.7’de RQ-4 Global Hawk teknik özellikleri silahsız olup gelişmiş teknolojiye sahip keşif ve gözetleme sensörleri ile donatılmıştır.

Çizelge 3.7. RQ-4 Global hawk (Url-8)

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Gövde Uzunluğu (m)	13,54	Uçuş Süresi (h)	36
Kanat Açıklığı (m)	35,41	Azami Hız (km/h)	800
Uçuş Menzil (km)	24,985	Seyir Hız (km/h)	650
Yükseklik (m)	4,62	Seyir Yüksekliği (m)	19,812
Dolu Ağırlık (kg)	10,387	Boş Ağırlık (kg)	3,851
Motor 1 × Allison Rolls-Royce AE3007H turbofan engine			

Şekil 3.4’te İHA’nın gövde tasarımında hava akışını kolaylaştıran radüslü yapı oluşturduğu görülmektedir. Global Hawk (Küresel Şahin) ismini almıştır. Küresel şahin isminin almasının sebebi ise yüksek irtifalarda uzun süre seyir halinde kalarak kıtalar arasında bilgi toplayıp kıtadan kıtaya topladığı bilgileri uydular vasıtasıyla aktarabilmesi olarak açıklanabilir. Bu sebeple casus İHA’sı olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 3.4. RQ-4 Global Hawk (Url-8)

3.2 Türkiye’de Üretilen İHA’lar

Aşağıdaki çizelge 3.8’de görülen Türkiye’nin insansız hava araçlarının günümüzde seri üretimi yapılmaktadır. Diğer ülkeler tarafından talep görmektedir ve ihracatı yapılmaktadır. Türkiye’nin İHA ve SİHA alanında gelişmesinde önemli bir yeri bulunan firmaların olarak BAYKAR Savunma ve TUSAŞ olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.8. Türkiye’nin İnsansız Hava Araçları (Url-2)

Öge no	Baykar Savunma	STM	TUSAŞ	Vestel Karayel	Havelsan
1	Bayraktar Akıncı TİHA	STM Kargu	Tusaş Aksungur	Vestel Karayel	Havelsan Baha
2	Baykar DİHA		Tusaş Anka		
3	Bayraktar Mini İHA		Tusaş Anka-3		
4	Bayraktar TB2		Tusaş Baykuş		
5	Bayraktar TB3		Tusaş Gözcü		
6			Tusaş Martı		
7			Tusaş Şimşek		

Bayraktar Akıncı TİHA:

Baykar Savunma tarafından geliştirilmiş Bayraktar Akıncı TİHA çizelge 3.9’daki teknik özelliklere göre yüksek irtifa uzun dayanıklılık (HALE) sınıfında SİHA’dır.

Çizelge 3.9. Bayraktar Akıncı TİHA özellikleri (Url-9)

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Gövde Uzunluğu (m)	12,2	Faydalı Yük (kg)	1500
Kanat Açıklığı (m)	20	Maksimum Hız (km/h)	361
Yükseklik (m)	4,1	Azami İrtifa (m)	14

Şekil 3.5’te Bayraktar Akıncı TİHA’nın şekli ve yapısı yer almaktadır. Yapısına göre gövdesinde sabit bir kanat vardır. Kuyruk tarafında ise geleneksel kanat yani biri dik ve biri sağ–sol yanlarda olacak şekildedir. Gövdesinin altında uzaktan işaretlenmiş bir bölgeye havadan bırakabileceği silahlara sahiptir.



Şekil 3.5. Bayraktar Akıncı TİHA (Url-9)

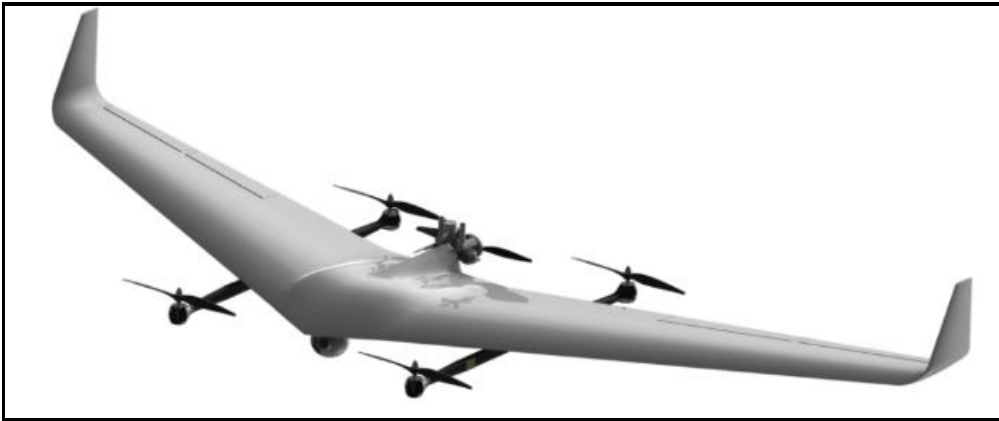
Bayraktar DİHA:

Baykar savunma tarafından geliştirilen dikey iniş kalkışlı İHA'dır. Çizelge 3.10'da Bayraktar DİHA teknik özellikleri belirtilmektedir. Keşif ve istihbarat görevleri için faaliyet göstermektedir.

Çizelge 3.10. Bayraktar DİHA teknik özellikleri (Url-10)

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Gövde Uzunluğu (m)	1,5	Faydalı Yük (kg)	5
Kanat Açıklığı (m)	5	Maksimum Hız (km/h)	148,162
Uçuş Süresi (h)	12	Azami İrtifa (m)	2,7

Şekil 3.6'da görüldüğü üzere Bayraktar DİHA hem sabit kanat hem de dört rotorlu dron pervanesi bulunmaktadır. Şu an hala prototip üretim aşamasında bulunmaktadır.



Şekil 3.6. Bayraktar DİHA (Url-10)

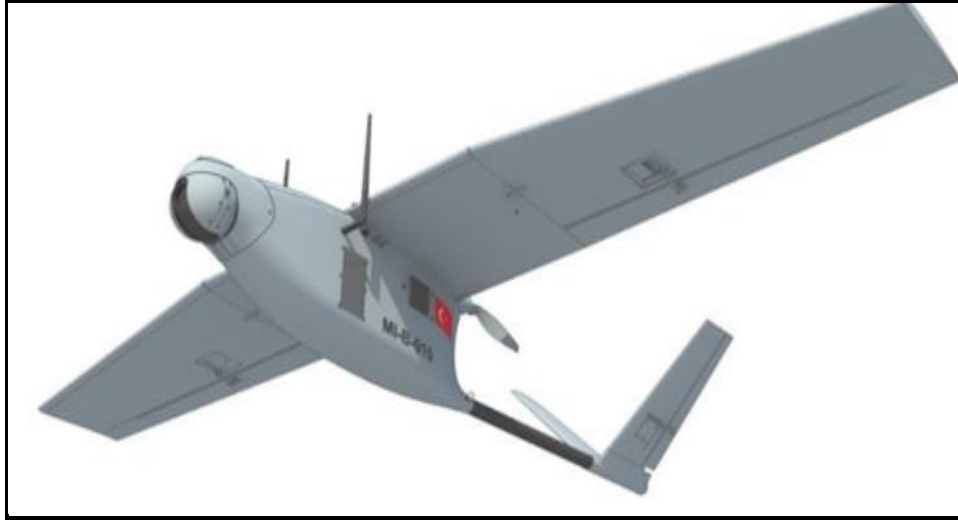
Bayraktar Mini İHA:

Bayraktar Mini İHA yakın menzil gece ve gündüz keşif ve gözlem maksatlı Türk Silahlı Kuvvetleri envanterine giren ilk mini İHA'dır. Çizelge 3.11'de Bayraktar Mini İHA'nın teknik özellikleri belirtilmektedir.

Çizelge 3.11. Bayraktar Mini İHA'nın teknik özellikleri (Url-11)

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Gövde Uzunluğu (m)	1,2	Uçuş Süresi (dk)	60-80
Kanat Açıklığı (m)	2	Seyir Hız (km/h)	60
Uçuş Menzil (km)	55	Azami İrtifa (m)	1219
Operasyonel İrtifa (m)	600	Kütle (kg)	4,5

Şekil 3.7'de İHA'nın burun (ön gövde) altındaki açılı kamera ile gözlem yapmaktadır. Portatif çanta içerisinde ekipmanlarıyla beraber taşınabilmektedir. Görev yaptığı -20, +55 °C sıcaklıkları arasında zorlu ortam koşullarında uçuşlarını gerçekleştirmektedir. Mini İHA boyutları 35 cm'den 2 metreye ve uçuş hızları 100 km/h olan insansız hava aracı sınıfının arasına girmektedir (Url-11).



Şekil 3.7. Bayraktar Mini İHA (Url-11)

Bayraktar TB2 ve TB3:

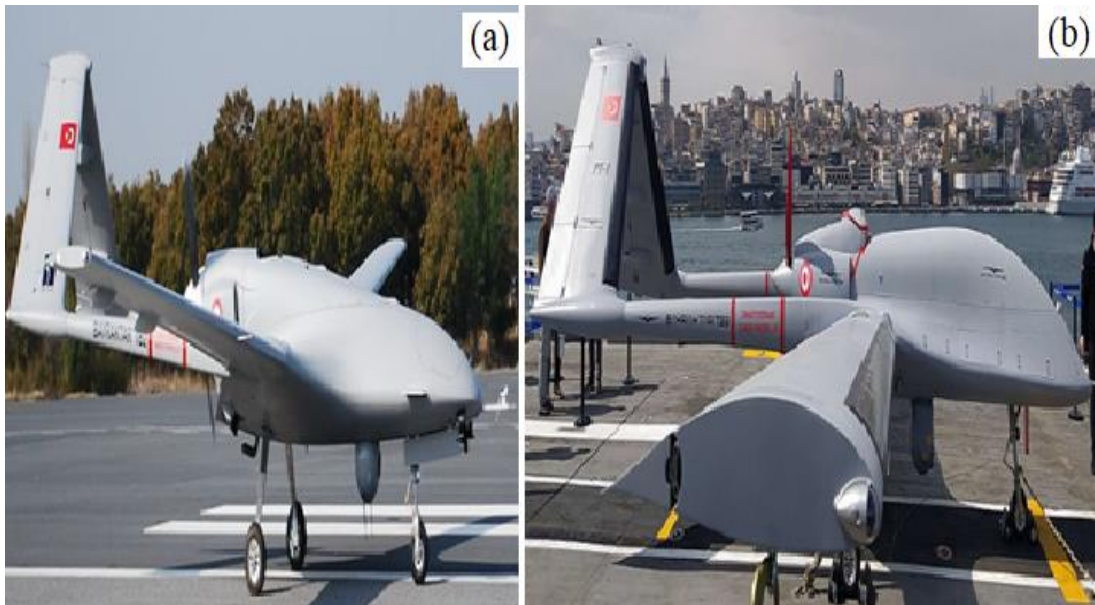
Bayraktar TB1'in 2009 yılında kalkış, uçuş, iniş ve frenleme testleri başarıyla tamamlanmasına rağmen seri üretime girememiştir. Bayraktar TB2 2014 yılında TSK'nın envanterine girmiştir. Bayraktar TB2'ye 2020 yılında SATCOM entegreli uydu ile

haberleşme eklenmesiyle beraber farklı varyantlı TB2S ilk uçuşunu gerçekleştirmiştir. Çizelge 3.12’de Bayraktar TB2 ve TB3 teknik özellikleri belirtilmiştir. Bayraktar TB2 Türkiye’nin terör örgütlerine karşı hareketlerinde başarılı bir şekilde görev almıştır. Libya ve ikinci Libya iç savaşında Libya Ulusal Ordusu tarafından, Azerbaycan tarafından 2020 yılında Dağlık Karabağ savaşında, Ukrayna tarafından Rusya’nın Ukrayna işgali gibi yurt dışı bölgelerinde kullanılmıştır. Bayraktar TB3 hala gelişme aşamasında olan katlanır kanatlı ve kısa mesafede uçak gemisine iniş-kalkış yapabilecek bir SİHA’dır.

Çizelge 3.12. Bayraktar TB2 ve TB3 (Url-12, Url-13)

SİHA Adı	Bayraktar TB2	Bayraktar TB3
Gövde Uzunluğu (m)	6,5	8,35
Kanat Açıklığı (m)	12	14
Toplam Kalkış Ağırlığı (kg)	700	1 450
Faydalı Yük Ağırlığı (kg)	150	280
Havada Kalış Süresi (h)	27	24+
Azami Hız (km/h)	222	296,32
Motor	1 x TEİ PD-170	1 x TEİ PD-170

Bayraktar TB2 ve TB3 şekil 3.8 (a) ve 3.8 (b)’de görüldüğü üzere Silahlı İnsansız Hava Aracı (SİHA)’dır. Şekillerde her iki İHA’nın da kuyruk yapısının geometri olarak ters v şeklinde olduğu ve Bayraktar TB2’nin ana kanadı yukarıya doğru yatay eksene göre açılı, Bayraktar TB3’ün ana kanadının ise düz bir kanat yapısına sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.8. (a) Bayraktar TB2 ve (b) Bayraktar TB3 (Url-12, Url-13)

Havelsan BAHA:

Havelsan Baha dikey iniş ve kalkış yapabilen tam otonom olarak tüm insansız sistemlerle ortak olarak çalışabilir. Çizelge 3.13'te teknik özellikleri gösterilmektedir. Görev kabiliyetleri sebebi ile haritacılık, tarım, istihbarat, asayiş vb. gibi geniş alan yelpazesinde kullanılmaktadırlar. BAHA dikey iniş-kalkışta elektrik motorlarından yatay uçuş esnasında ise benzinli motorundan kuvvet almaktadır.

Çizelge 3.13. Havelsan BAHA teknik özellikleri (Url-14)

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Kanat Açıklığı (m)	3,7	Uçuş Süresi (dk)	480
Çalışma Sıcaklığı (°C)	(-20) - (50)	Azami Hız (km/h)	72
Uçuş Menzil (km)	80	Maksimum İrtifa (m)	4,572
Azami Kalkış Ağırlığı (kg)	30	Faydalı Yük (kg)	5

Şekil 3,9'da Havelsan BAHA'nın uçuş esnasındaki görüntüsü incelendiğinde kuyruk kanatlarının ters v şeklinde, ana kanatların ise İHA'ya üstten ve gövdesinin arka tarafına doğru konumlandırıldığı görülmektedir.



Şekil 3.9. Havelsan BAHA (Url-14)

Tusaş:

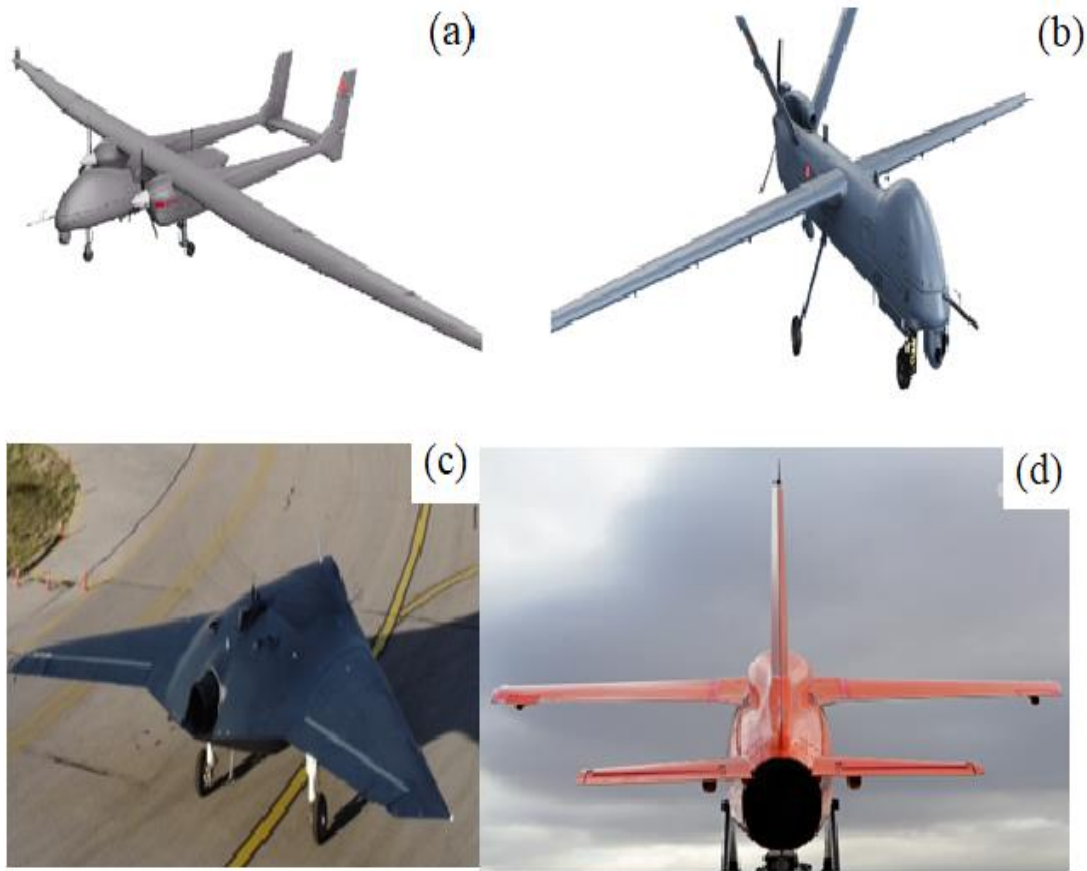
TUSAŞ (Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş.) bünyesinde çizelge 3.8'e göre Aksungur, Anka, Anka-3, Baykuş, Gözcü, Martı ve Şimşek isiminde İHA'lar bulunmaktadır. Bu İHA'lar Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş. tarafından geliştirilen İHA'lardır. TUSAŞ

bünyesinde üretilen bu hava araçları arasından Aksungur, Anka, Anka-3 ve Şimşek İHA'ları için daha ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Çizelge 3.14'te Aksungur, Anka, Anka-3 ve Şimşek İHA'larının teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.14. TUSAŞ bünyesindeki Aksungur ve Anka İHA'ların teknik özellikleri (Url-15)

Parametre	AKSUNGUR	ANKA	ANKA-3	ŞİMŞEK
Uzunluk (m)	11,6	8,6	(-)	2,3
Kanat açıklığı (m)	24	17,5	(-)	1,5
Yükseklik (m)	3	3,25	(-)	(-)
Azami hız (km/h)	250	217	835	70 +
Azami irtifa (m)	12,192	9,144	12 000	7 500
Uçuş süresi (h)	50	30	10	45 (dk)
Faydalı yük (kg)	750 +	350 +	1 200	(-)

Şekil 3.10'da Aksungur ve Anka insansız hava araçlarının görsellerinden üstten kanat konfigürasyonu ile üretildikleri ve Aksungurun kuyruk bölgesi kiriş monte edildiği, Anka'nın kuyruk bölgesinde ise V-kuyruk yapısının kullanıldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.10. a (Aksungur), b (Anka) c (Anka-3), d (Şimşek) (Url-15)

Anka-3 ile Şimşek İHA'ları da ele alındığında kanatları üstten olarak konumlandırılmıştır. Kuyruk bölgesi karşılaştırıldığında Anka-3 hava aracında kuyruk kanadı yok iken Şimşek'te geleneksel kuyruk tipi olarak konumlandırılmıştır.

Anka-3 hava aracında turbo fan kullanılırken, Şimşek hava aracında jet motor sistemi kullanılarak itki kuvveti sağlanmaktadır. Şimşek Gemiler üzerinde bulunan fırlatıcı bir platform tarafından fırlatılarak görevlerini gerçekleştirebilmektedir (Url-15).

Vestel Karayel:

Karayel Lentatek tarafından geliştirilen İHA'dır. Üretimi Vestel savunma sanayisi tarafından gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.15'te teknik özellikleri verilmiştir. Uçuşa elverişliliğine ilişkin kriterlerini NATO standartlarına (STANAG 4671) referans alarak gerçekleştirmiştir (Url-16).

Çizelge 3.15. Vestel Karayel teknik özellikleri (Url-16)

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Kanat Açıklığı (m)	10,5	Uçuş Süresi (h)	20
Uzunluk (m)	6,5	Hız (km/h)	111,12
Faydalı yük (kg)	70	Operasyonel İrtifa (m)	6,858
Ağırlığı (kg)	550	Faydalı Yük (kg)	70

Şekil 3.11'de Vestel karayel tipi İHA'nın gövdeye üstten sabit kanatlı, kuyruk yapısının geleneksel tipe sahip olduğu ve gövdenin burun kısmında itki sağlayacak 1 tane çift kanatlı pervane ile konumlandırıldığı gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Vestel Karayel (Url-16)

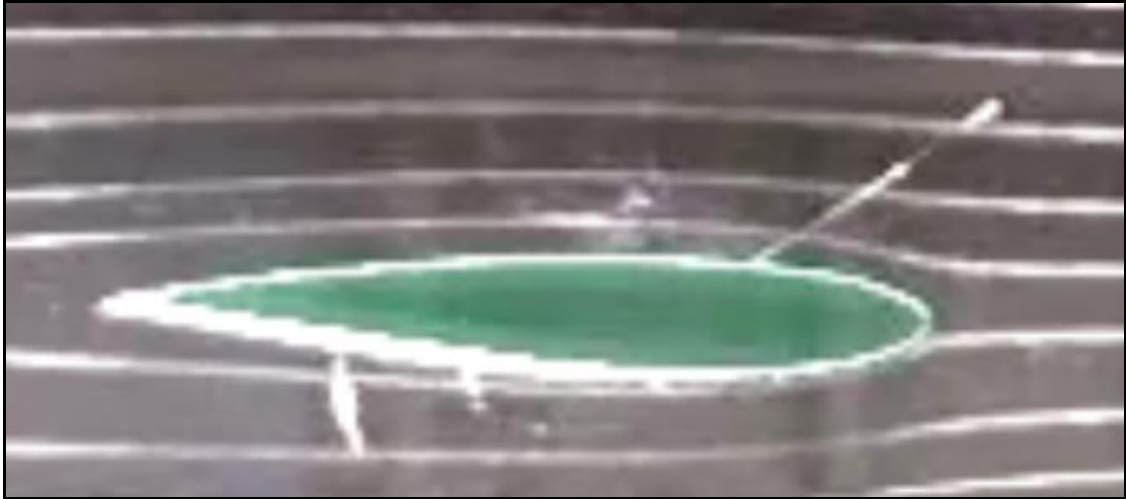
4. METODOLOJİ

Tezin bu bölümünde insansız hava aracının kanat tasarımı ve analiz çalışmalarının metodolojisi sunulmuş ve sonunda tasarım parametreleri belirtilmiştir. Tasarım için hedeflenen düşük Reynolds sayıları, güç tüketimi ve kanat üzerinde oluşacak basınç ve aerodinamik parametreler üzerine araştırmalara yoğunlaşmıştır.

4.1 Akışkanlar Mekaniği

4.1.1 Yüzeylerde oluşan akış rejimleri

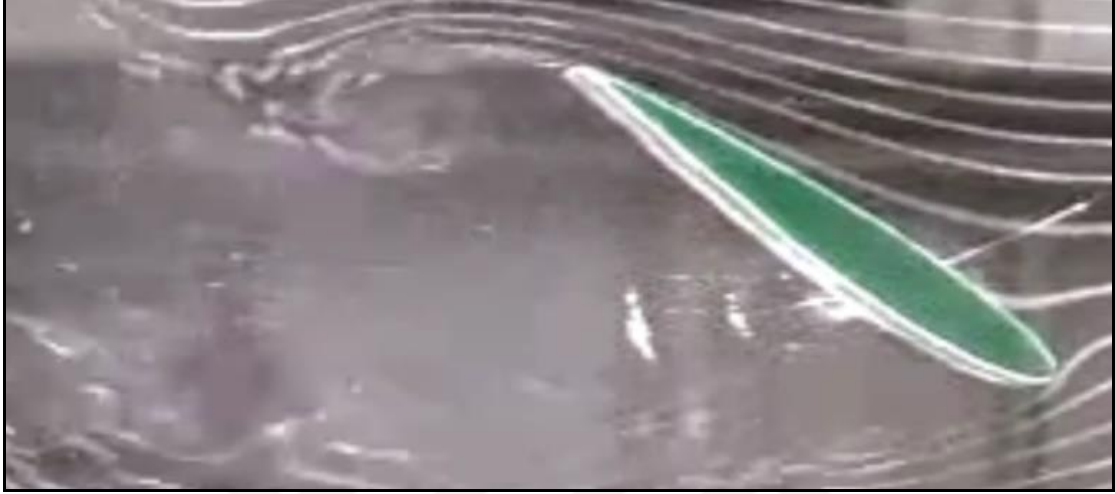
Belirlenmiş bir sistemde kullanılacak veya sisteme etkisi olan bir akışkanın sistemin yüzeylerinin içinden ya da dışından yüzeylere temas ettiği hızı ve aynı zamanda sergilemiş olduğu davranışları akışın rejimini belirleyebilmemizi sağlar. Oluşan bu akış rejimleri laminar ve türbülanslı olarak ikiye ayrılır. Laminer akış türü şekil 4.1’de görüldüğü gibi yüzeylerden düzgün akım çizgileri ve çok düzenli akışkan hareketi ile ayırt edilir. Hava araçlarında istenen akış laminar akıştır çünkü Lift katsayısının (C_L)’nin artmasını ve irtifa kazanmasını sağlar.



Şekil 4.1. Kanat üzerindeki laminar akış (Çengel ve Cimbala, 2006)

Şekil 4.1’de 0° derece hücum açısında kanat yüzeyinin etrafından geçen hava akımı kanadın firar kenarına kadar akış sınır tabakasına karşı düzenli bir akış gerçekleştirirken şekil 4.2’de ki hücum açısı artmış olan kanat yüzeyinin etrafında ise

akışın firar kenarına ulaşmadan yüzey sınır tabakalarından koptuğu ve düzensiz bir akıma sebep olduğu görülmektedir. Türbülanslı akış türü şekil 4.2’de görüldüğü gibi hız çalkantıları ve çok düzensiz akışkan hareketi ile ayırt edilir. Hava araçlarında istenmeyen bir akış türüdür çünkü Lift katsayısının (C_L)’nin azalmasına, irtifa kaybetmesine sebep olur.



Şekil 4.2. Kanat üzerindeki türbülanslı akış (Çengel ve Cimbala, 2006)

Laminerden türbülanslı akışa geçiş aniden gerçekleşmez. Akış tamamen türbülanslı olana kadar laminar ve türbülanslı olarak hareket eder. Laminer ile türbülans arasındaki geçiş bölgesine kritik akış olarak adlandırılmaktadır. Reynolds sayısı değeri akış rejimini belirlemede önemli bir parametredir (Çengel ve Cimbala, 2006).

4.1.2 Reynolds sayısı (Re)

Osborne Reynolds 1880’li yıllarda yaptığı çalışmalardan sonra Reynolds sayısını tespit etmiştir. Reynolds sayıları büyüdükçe akış türbülanslı akışa doğru, Reynolds sayıları küçüldükçe laminar akışa doğru gitme eğilimi gösteren boyutsuz bir sayıdır (Çengel ve Cimbala, 2006).

$$Re = \frac{\rho \times V \times Lc}{\mu} \quad (4.1)$$

Reynolds sayısı 4.1’de ki formülde belirtildiği atalet kuvvetleri ve Viskoz kuvvetlere bağlıdır. Atalet kuvvetlerinde ρ -akışkanın yoğunluğu, V -akışkanın hızı, Lc -chord uzunluğunu ve viskoz kuvvetlere de μ - akışkanın dinamik viskozitesini ifade etmektedir. Analizlerde kullanılmak üzere olan Reynolds sayıları 5×10^4 , 15×10^4 ve 25×10^4 olarak belirlenmiştir.

Reynolds sayılarına göre havanın hızı 4.1’de ki formül referans alınarak aşağıda 4.2 de ki formülde hesaplanmıştır.

$$V \left(\frac{m}{sn} \right) = \frac{50\,000 \times (1.5111E-05 \left(\frac{kg}{m^3} \right))}{1.225 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \times 0.2 (m)} \quad (4.2)$$

Hesaplanan sonuçlara göre Re 5×10^4 ’te havanın hızı 3,1 (m/s), Re 15×10^4 ’te havanın hızı 9,3 (m/s) ve Re 25×10^4 ’teki havanın hızı 15,5 (m/s) olarak tespit edilmiştir. Hava araçlarında $Re_{kr} = 5000$ olarak referans alınmaktadır.

- $Re \leq 5000$ laminar akış
- $Re \geq 5000$ türbülanslı akış

Bu tez çalışmasında laminar akışa daha yakın bir akış gerçekleştirebilmek için düşük Reynolds sayıları bulunmuştur.

4.1.3 Mach sayısı (Ma)

Hava aracının havada seyir halindeyken uçuş hızına göre hangi kategoride bulunduğunu tespit etmeye yarayan boyutsuz bir sayıdır.

$$Ma = \frac{V}{c} \quad (4.3)$$

Havanın ses hızı deniz seviyesinde ve oda sıcaklığında 346 m/s değerini alır.

Ma sayısı 4.3’te ki formülde belirtildiği V-Hava aracının hızı, c-havanın ses hızını ifade etmektedir.

Çizelge 4.1. Mach sayısı ve sınıflandırmaları (Çengel ve Cimbala, 2006)

No	Mach sayısı	Sınıfı
1	0,8	Ses altı uçuşlar
2	0,8 - 1,2	Transonik uçuşlar
3	1,2 - 1,5	Süpersonik uçuşlar
4	5 - 10	Hiper sonic uçuşlar
5	10 - 25	Yüksek hiper sonic uçuşlar

Çizelge 4.1’e göre Mach sayısı yaklaşık olarak 0–25 arasındaki değerlere göre değerlendirilmektedir. Hava araçlarında 25 Ma sayısı atmosfere giriş hızıdır ve uzay

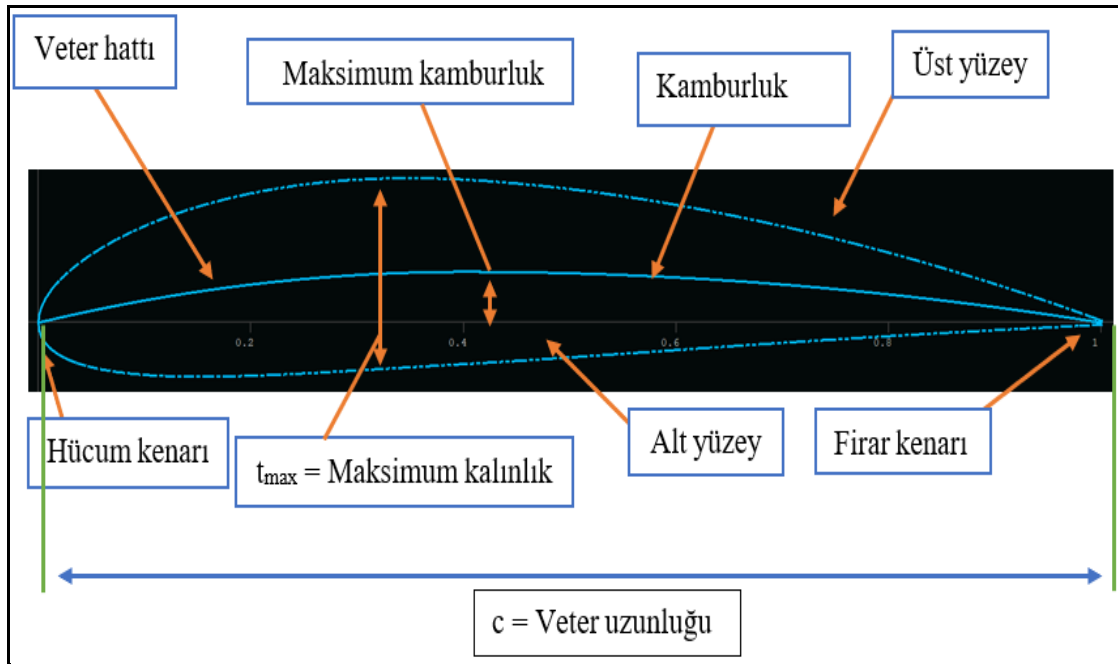
teknolojilerinde kullanılırlar. Bu çalışmada tasarlanan hava aracının 15,5 m/s hızlarında analizleri yapılmıştır. Bu hıza göre Ma sayısı 4.4'te ki formülde 0,045 olarak hesaplanmıştır.

$$Ma = \frac{15,5 \frac{m}{s}}{346 \frac{m}{s}} = 0,0447 \cong 0,045 \quad (4.4)$$

4.1.4 İnsansız hava aracı tasarımı ve kanat geometrileri analiz teorisi

Sabit kanatlı insansız hava araçlarında tasarıma başlarken ki ilk belirlenecek parametre kanat geometrisinin belirlenmesidir. İnsansız hava aracı motor (rotor) vasıtasıyla ilk hareketini alır ve belirli bir hızı yerde yakaladığı zaman aracın burnu havaya yönelmektedir. İnsansız hava aracının hızı hem de havanın hızı sebebiyle kanatları ve gövdesi etrafında basınçlar oluşmaya başlar. Sabit kanatlı insansız hava aracının çalışma prensibi; kanata etki eden basınçlar uçağı kaldırmaya yönelik bir kaldırma kuvveti (C_L) meydana getirmektedir. Kanatlarda oluşan bu kaldırma kuvveti (C_L) motorların daha az yükte çalışmasına, araç üzerindeki faydalı yük; İnsansız hava aracının boş ağırlığının, araca tüm yüklerin yüklendiği dolu ağırlığından çıkarılmasıyla elde edilen ağırlıktır. Aracın taşımış olduğu yükler içinde aracın üzerindeki elektronik bileşenleri, sensörleri, itki sistemleri vb. ekipmanları da dahil edilmelidir.

4.1.5 Kanat profili



Şekil 4.3. Kanat profillerinin tanımı

- Veter hattı: Hücüm kenarı ile firar kenarını birleştiren düz bir hattır. Kanadın karakteristik uzunlama boyudur.
- Kamburluk: Kamburluk hattı hücüm kenarından firar kenarına doğru yay şeklinde çizgidir. Veter hattı kamburluk çizgisinin uçlarını birbirine bağlar.
- Maksimum kalınlık: Veter hattı ile ortalama kamburluk arasındaki mesafenin en fazla olduğu konumdur.
- Üst yüzey: Kanadın kamburluk hattının üstünde bulunan kısmıdır.
- Alt yüzey: Kanadın kamburluk hattının altında bulunan kısmıdır.
- Hücüm kenarı: Havanın kanatla ilk temas ettiği kenar yüzeyidir.
- Firar kenarı: Havanın kanatla son temas ettiği kenar yüzeyidir.

Şekil 4.3'te XFLR5 programından NACA-4415 kanat profilinin özelliklerini belirleyen hücüm kenarı, firar kenarı, kamburluk, kalınlık, veter hattı, maksimum kamburluk eğrisi gibi terimlerin profil üzerinde temsil ettiği yerler gösterilmiştir. Kanatta kamburluk arttıkça alt yüzey ile üst yüzey arasında basınç farkı arttığı için kaldırma kuvveti artmaktadır (Dilmaç, 2019).

$$\text{Kalınlık oranı} = \delta = t_{\max}/c$$

$$\delta < \%10 \text{ ince profil (yüksek hızlarda)}$$

$$\delta \sim \%10 - 14 \text{ orta kalınlıkta profil}$$

$$\delta > \%14 \text{ kalın profil düşük hızlarda}$$

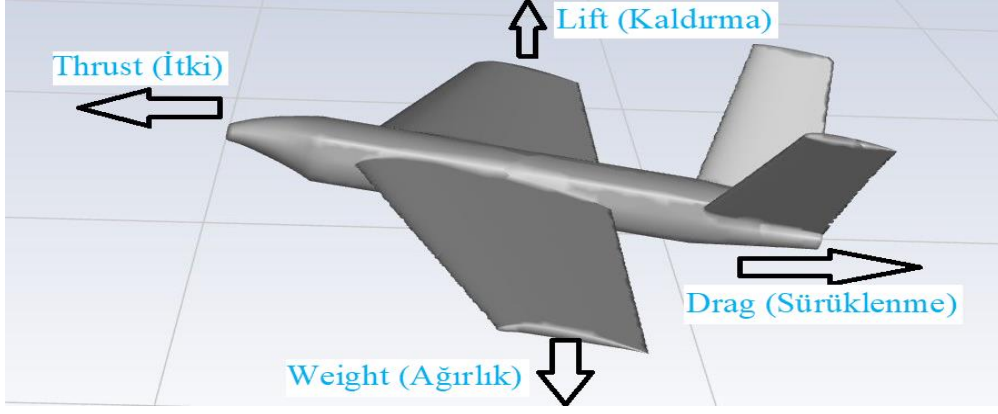
$$\text{Kamburluk oranı} = \gamma = E_{\max}/c$$

$$\gamma < \%4 - 5 \text{ küçük kamburluk uçaklarda}$$

$$\gamma > \%4 - 5 \text{ büyük kamburluk (kompresör - türbin) (Dilmaç, 2019).}$$

4.1.6 İnsansız hava aracı üzerinde oluşan kuvvetler

İnsansız hava araçlarında, bir pilot tarafından kullanılan uçaklarda veya her gün doğal yaşamımızda gördüğümüz uçan canlılar olan kuşlarda havada kendi hareketini kolaylıkla sağlayabilmektedirler. Havada seyir halinde bulundukları süre içerisinde yapılarına etki eden kuvvetler bulunmaktadır. Bu etki eden kuvvetler şekil 4.4'te bir uçan hava aracının üzerinde belirtilmektedir.



Şekil 4.4. İnsansız hava aracına etki eden kuvvetler

Lift kuvveti (F_L): Lift kuvveti uçan aracın kanatlar üzerinden aerodinamik olarak kazandığı kaldırma kuvveti ve motorlar vasıtasıyla pervanelerden oluşan itki kuvvetlerinin toplamı olarak değerlendirilir.

$$F_L = C_L \frac{1}{2} \rho V^2 A \quad (4.5)$$

Lift kuvveti ve Thrust kuvveti İnsansız hava aracına faydalı kuvvetlerdir. Lift kuvveti 4.5'te ki formülde belirtildiği C_L -taşıma katsayısı, ρ -akışkanın yoğunluğu, V - akışkanın hızı, A -akışın gerçekleştiği yüzey alanını ifade etmektedir.

Drag kuvveti (F_D): Uçan aracın üzerinden belirli bir hızda geçen havanın yüzeyler üzerinde oluşturduğu sürtünme kuvvetleridir. Uçağın havalanmasını ve rahat bir uçuş yapmasını engelleyen bir kuvvettir.

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho V^2 A \quad (4.6)$$

Drag kuvveti 4.6'da ki formülde belirtildiği C_D -sürüklenme katsayısı, ρ -akışkanın yoğunluğu, V - akışkanın hızı, A -akışın gerçekleştiği yüzey alanını ifade etmektedir.

Weight (Ağırlık): İnsansız hava aracının dolu ağırlığı olarak ifade edilir.

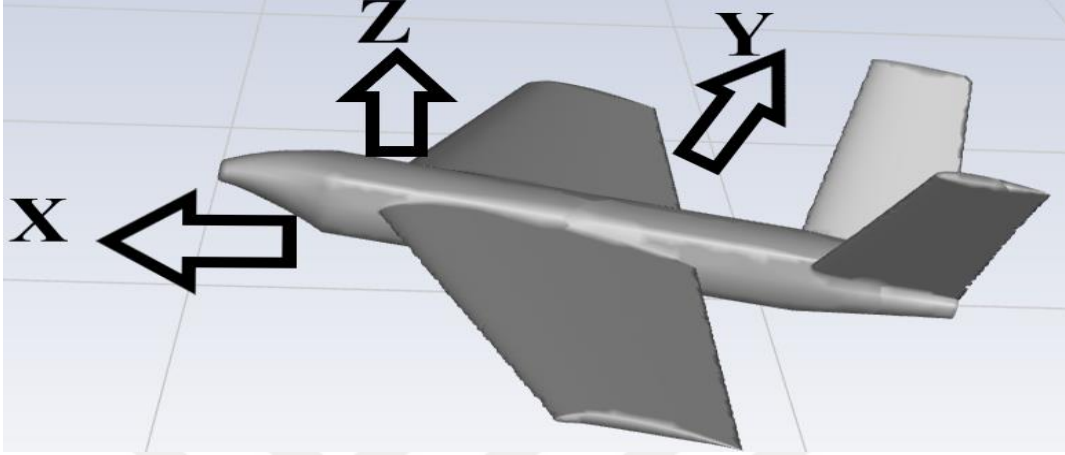
Drag kuvveti ve Weight kuvveti İnsansız hava aracına uçmaya karşı ters yönde etki eden kuvvetlerdir.

$$\text{Weight (Ağırlık)} = \text{kütle (kg)} \times \text{yer çekimi ivmesi (m/s}^2\text{)} \quad (\text{N}) \quad (4.7)$$

Ağırlık kuvveti 4.7'de ki formülde belirtildiği Cismin dünya üzerindeki kütlesi ve yer çekimi ivmesine bağlıdır.

Hava araçlarında ağırlığı belirlemeye etki eden kuvvetler 4.8’de ki denklemde belirtildiği gibi yük ağırlığı (W_{PL}), mürettebat ağırlığı (W_C), yakıt ağırlığı (W_F) ve boş ağırlığı (W_E) olarak dörde ayrılır.

$$W_{TO} = W_{PL} + W_C + W_F + W_E \quad (4.8)$$



Şekil 4.5. İnsansız hava aracı eksen yönleri

İnsansız hava aracına etkileyen bu dört ana kuvvetten şekil 4.5’te yönleri belirtildiği gibi Lift (+Z), Weight (-Z) ve Thrust (+X), Drag (-X) yönlerinde etkilemektedirler.

$$Z \text{ yönünde } F_{net} \text{ kuvveti} = \text{lift} - \text{weight} \quad (N) \quad (4.9)$$

Z ekseninde meydana gelen F_{net} kuvveti denklemi 4.9’da belirtilmektedir. Denklem göre meydana gelen olaylar;

- $F_{net} = 0$ ise dengede kalır.
- $F_{net} > 0$ ise yükselme meydana gelir.
- $F_{net} < 0$ ise alçalma meydana gelir.

$$X \text{ ekseninde } F_{net} \text{ kuvveti} = \text{Thrust} - \text{Drag} \quad (N) \quad (4.10)$$

X ekseninde meydana gelen F_{net} kuvveti denklemi 4.10’da belirtilmektedir. X eksenindeki F_{net} Arttıkça uçak ileri yönlü ilerlemekte aynı zamanda açılı olarak seyir halinde ise yükselme eğilimine yani +Z yükselmeye katkı sağlamaktadır.

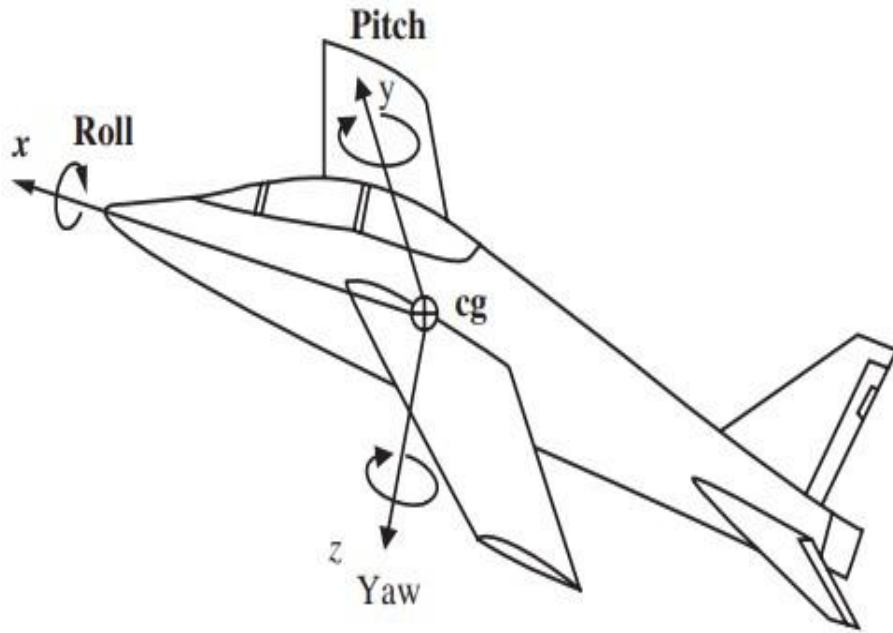
X eksenindeki F_{net} azaldıkça uçak ilerlemeyip dengede kalmaya aynı zamanda açılı olarak seyir halinde ise -Z yani alçalma eğilimine insansız hava aracını zorlamaktadır.

4.1.7 İnsansız hava aracının hareket yörüngeleri

Hava araçları genel olarak 3 temel harekete sahiptirler;

- Pitch (Yunuslama): İnsansız hava aracının burnunun zemine göre kuyruk açısıdır. (X) eksenini etrafında burnunu aşağı-yukarı hareket ettirmek.
- Roll (Yuvarlanma): İnsansız hava aracının (Y) eksenini etrafında gövdesinin sağ-sol döndürülmesi hareketidir.
- Yaw (Yalpa): İnsansız hava aracının (Z) eksenini etrafında sağa-sola döndürülmesi hareketidir.

Şekil 4.6'da İnsansız hava aracı pitch, roll ve yaw hareket rotasyonları gösterilmektedir.



Şekil 4.6. İnsansız hava aracı hareket yönleri (Sadraey, 2012)

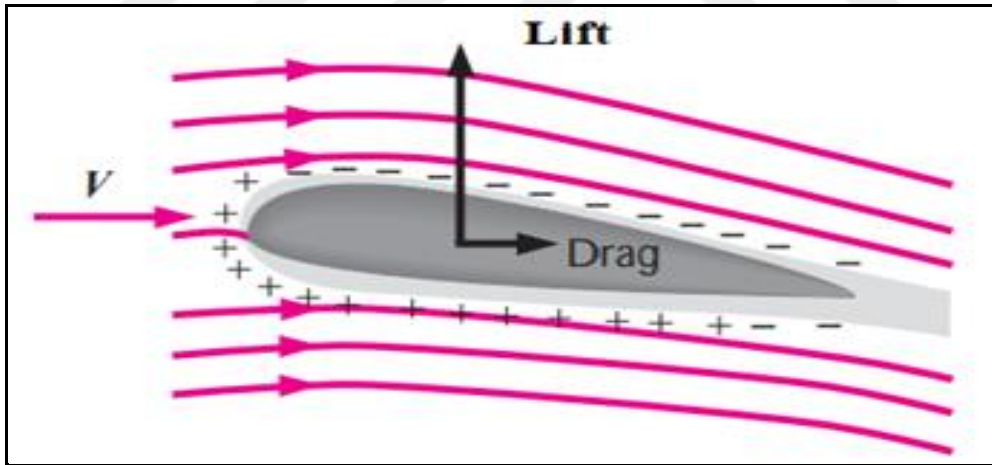
4.1.8 Kanat üzerinde oluşan kuvvetler

Hava araçları kanatları maksimum kaldırma kuvveti, minimum direnç kuvveti oluşturduğu biçimde geometrik olarak şekillendirilir.

Şekil 4.7’ de görüldüğü gibi + yönde gösterilen kuvvetlerin kanatların alt bölgesinde hava daha yavaş akar, hızı yavaş olduğu için basıncı yüksektir. - yönde gösterilen kuvvetlerde ise kanatların üst bölgesinde hava daha hızlı akar, hızı fazla olduğu için basıncı kanadın altına göre düşüktür. Denklem 4.11’de gösterilmiş olan Bernoulli prensibine göre altta basınç fazla olduğu için düşük basıncın olduğu tarafa yani (+Z) yönünde bir kuvvet uygulanır.

$$\text{Daimî sıkıştırılamaz akış} = \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + gz = \text{sabit (bir akım çizgisi boyunca)} \quad (4.11)$$

- $\frac{P}{\rho g}$ = basınç yükü
- $\frac{V^2}{2g}$ = hız yükü
- gz = yükseklik yükü olarak ifade edilirler.



Şekil 4.7. Kanat üzerinde oluşan temel kuvvetler (Çengel ve Cimbala, 2006)

Denklem 4.12 ile 4.13’te bu tez çalışmasında elde edilen C_L (kaldırma katsayısı), C_D (direnç katsayısı) değerlerinin hava aracına lift kuvveti ve drag kuvvetlerine olan etkisi anlaşılmaktadır.

$$\text{Lift (kaldırma katsayısı)} = C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (4.12)$$

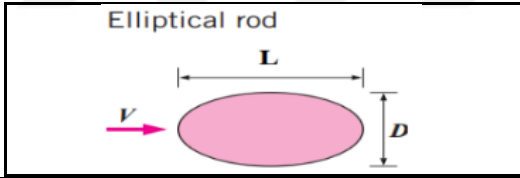
$$\text{Drag (direnç katsayısı)} = C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (4.13)$$

Düşük Reynolds sayısına sahip bir insansız hava aracının direnç katsayısı olarak etkilendiği parametre sürtünme katsayısıdır. Sürtünme kanattaki pürüzlü yüzeylere karşıdan gelen havanın çarpmasıyla meydana gelmektedir. Yani havanın çarptığı pürüzlü yüzey ne kadar artarsa direnç katsayısı da aynı oranda artmaktadır.

Şekil 4.1’de görülen kanat 0° hücum açısında bulunmaktadır. Kanadın pürüzlü yüzeylerine gelen havaya dik olarak yüzeyinde fazla bir temas meydana gelmediğinden laminar bir akış ve sürtünme az meydana gelmektedir.

Şekil 4.2’de görülen kanat 0° ’den sonra kendi hücum açısı artmakta ve laminar akıştan türbülanslı akışa doğru geçiş yapmaktadır. Kanadın pürüzlü yüzeylerine gelen hava kanadın hücum açısı arttığı için dikey olarak çarpma ve oluşturacağı sürtünme direnci de artış göstermektedir. Kanat geometrileri geometrik olarak daha çok eliptik çubuk geometrisine benzemektedir. Çizelge 4.2’de eliptik çubuğun boy ve genişlik oranına göre direnç katsayıları görülmektedir.

Çizelge 4.2. Eliptik çubuğun boy/en oranına göre C_D değişimi (Çengel ve Cimbala, 2006)

Eliptik Çubuk	C_D		
	L/D	Laminer	Türbülans
	2	0,6	0,2
	4	0,35	0,15
	8	0,25	0,1

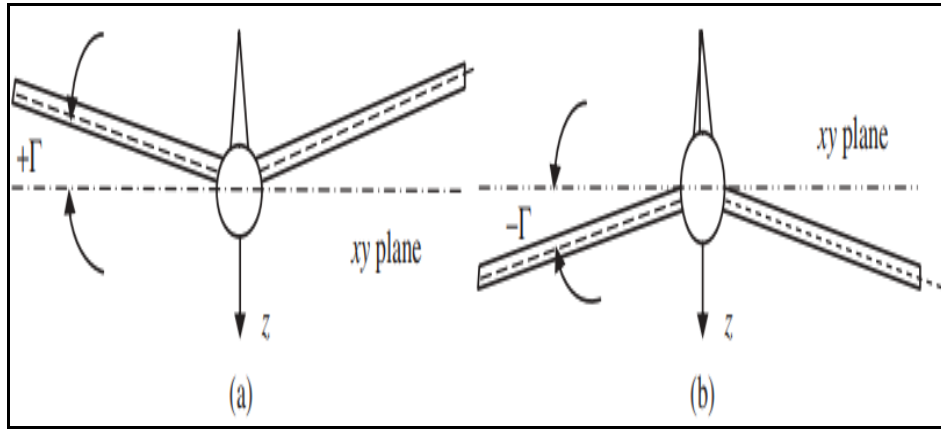
Çizelge 4.2’ye göre boy/en oranı arttıkça laminar ve türbülanslı akışta da drag (direnç katsayısı) azalmaktadır.

4.2 Kanat Konumları

4.2.1 Dihedral açısı

Bir uçağın önden görünümüne baktığınızda, şekil 4.8’de görüldüğü gibi bir kanadın “xy” düzlemi ile chord düzlemi arasındaki açı, kanat dihedral (Γ) olarak adlandırılır. Kanadın chord çizgisi düzlemi, tüm chord çizgilerini açıklık boyunca birleştirerek oluşturulan hayali bir düzlemdir. Kanat ucu xy düzleminden daha yüksekse, açığa pozitif dihedral veya basitçe dihedral denir, ancak kanat ucu xy düzleminden daha alçak olduğunda açı

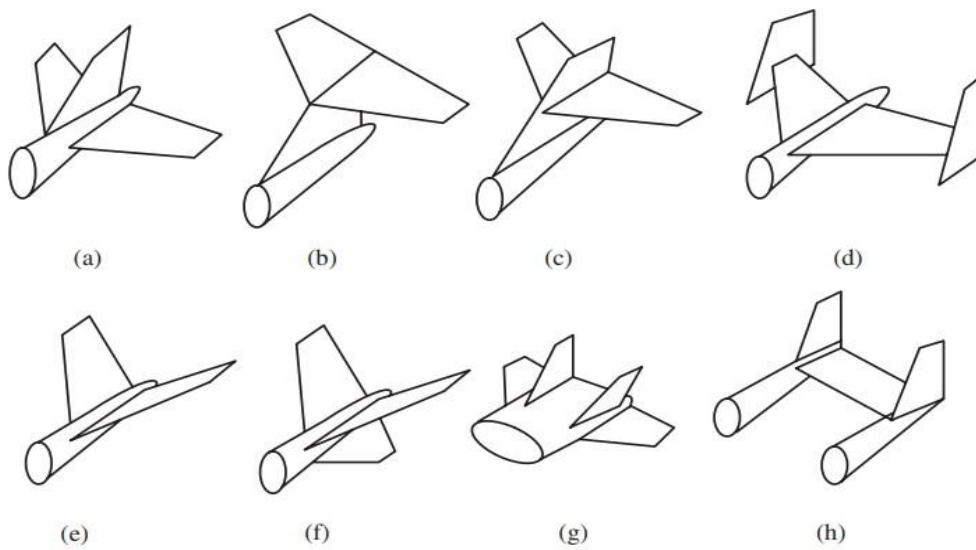
negatif dihedral veya anhedral olarak adlandırılır. Uçak simetrikliği için, bir kanadın hem sağ hem de sol bölümleri aynı dihedral açısı sahip olmalıdır (Sadraey, 2012).



Şekil 4.8. (Dihedral), b (anhedral) (Sadraey, 2012)

4.2.2 Kuyruk kanadı

Hava araçlarında gövdedeki ana kanattan başka kaldırma kuvveti sağlayan diğer bir bölüm kuyruk bölgesinde yer alan kuyruk kanatlarıdır. Kuyruk kanatları şekil 4.9’da sekiz farklı çeşit olarak gösterilmektedir. Hava ile temas halinde bulunan tüm komponentler hava ile sürtünme oranını azaltarak tasarlanması şekil 4.4’te gösterilen kuvvetlerden drag (sürtünme kuvveti) düşürür. Şekil 4.9’da (e)’de bulunan V-kuyruk yapısı iki kanattan oluştuğu için bu tez çalışmasında tasarlanan Altay-0020 D ve Altay-0020 T İHA’larının kuyruk kanatları yapısı V-kuyruk olarak tasarlanmıştır.



Şekil 4.9. (a) Geleneksel, (b) T kuyruk, (c) Haç şekli, (d) H-kuyruk, (e) V-kuyruk, (f) Y-kuyruk, (g) İkiz dikey kuyruk, (h) Kiriş monte edilmiş (Sadraey, 2012)

4.3 Kanat Yapısının Gövdeye Yerleşimi

İnsansız hava araçlarında kanat yapıları gövdeye göre dört farklı konumda konumlanabilir. İnsansız hava aracının tasarlanma amacına göre bu dört farklı konumlandırma tipinin kendine göre faydaları ve dezavantajları bulunmaktadır.

Üstten kanat:

Üstten kanat şekil 4.10 (a)'da görüldüğü üzere insansız hava aracının gövdesinin üst bölgesine teğet olacak ya da dahada üstünde de bulunabilecek bir konumda da bulunabilir. Çizelge 4.3'te üstten kanadın hava araçlarındaki avantajları ve çizelge 4.4'te dezavantajları bulunmaktadır.

Çizelge 4.3. Üstten kanatın hava araçlarındaki avantajları (Sadraey, 2012)

No.	Avantajlar
1	Yüklerin ve kargoların kargo uçaklarının içine ve dışına yüklenmesini ve boşaltılmasını kolaylaştırır. Örneğin kamyon ve diğer yük kaldırıcı araçlar, kanadın çarpma ve kırılma endişesi olmadan uçak içinde ve kanat altında kolayca hareket edebilir.
2	Motor ve pervane açıklığı, düşük kanat konfigürasyonuna kıyasla daha yüksek ve daha güvenli olduğundan motorun kanat üzerine kurulumunu kolaylaştırır.
3	Kanadı yüksek sıcaklık çıkış gazlarından kurtarır. Bunun nedeni, sıcak gazların yere çarptıklarında geri dönmesi, bu yüzden kanadı daha sonra yıkamalarıdır. Yüksek bir kanatla bile bu, kanat yapısının kalkmasını ciddi şekilde azaltacaktır. Böylece kanat ne kadar yükseğe kanat sıcak gazlardan o kadar uzaktır.
4	Dikme montajını kolaylaştırır. Bu, bir desteğin (çubuk veya tüp) sıkıştırma gerilimi ile karşılaştırıldığında daha yüksek çekme gerilimini kaldırabileceği gerçeğine dayanmaktadır. Yüksek bir kanatta, dikmelerin çekme gerilimine dayanması gerekirken, alçak kanattaki dikmeler sıkıştırmayı taşımalıdır.
5	Denizden kalkış ve inişi kolaylaştırır. Deniz bazlı veya amfibi bir uçakta, bir kalkış operasyonu sırasında su etrafa sıçrayacak ve uçağı yükseltecektir. Yüksek Kanada kurulu bir motor, alçak kanada göre daha az su alacaktır. Böylece motorun kapanma olasılığı çok daha azdır.
6	Uçağın ağırlık merkezi kanattan daha alçak olduğu için planör pilotu için uçak kontrolünü kolaylaştırır.
7	C_{Lmax} daha yüksek olacağından, uçak daha düşük stall hızına sahip olacaktır.
8	Kanat, orta ve alçak bir kanatla karşılaştırıldığında daha fazla kaldırma üretecektir, çünkü kanadın iki kısmı en azından üst kısma tutturulmuştur.
9	Bir savaş pilotu, uçağın altında tam bir görüşe sahiptir.
10	Kanat altına takılan bir motor için, motora kum ve döküntü girme ve kanatlara ve pervanelere zarar verme olasılığı daha azdır.
11	Kanat altına monte edilen bir motor için, motora giren ve kanatlara ve pervanelere zarar veren kum ve döküntü olasılığı daha düşüktür.
12	Gövdenin alt kısmının aerodinamik şekli daha pürüzsüz olabilir.
13	Gövde içinde kargo, bagaj veya yolcu için daha fazla alan vardır.
14	Kanat sürüklemesi burun aşağı bir eğim momenti üretir, bu nedenle uzunlmasına stabilize olur. Bunun nedeni, kanat çekme hattının uçağın ağırlık merkezine göre daha yüksek olmasıdır ($MDcg < 0$)
15	Pervaneye çarpma ve motor girişine çekilme olasılığı daha düşük bir insan kazasıdır. Birkaç nadir kazada, birkaç dikkatsiz insan öldü (dönen pervaneye çarptı veya jet motoru girişine çekildi).

Çizelge 4.4. Üstten kanatın hava araçlarındaki dezavantajları (Sadraey, 2012)

No.	Dezavantajlar
1	Uçağın ön alanı daha fazladır (orta kanat ile karşılaştırıldığında).Bu, uçağın sürüklenmesini arttıracaktır.
2	Yer etkisi, alçak kanat ile karşılaştırıldığında daha düşüktür. Kalkış ve iniş operasyonları sırasında yer, kanat basınç dağılımını etkileyecektir.
3	Kanat taşıması, alçak kanat konfigürasyonundan biraz daha düşük olacaktır. Bu, kalkış hızını biraz arttıracaktır. Bu nedenle yüksek kanat konfigürasyonu yüksek ok açılı uçakları için doğru bir seçenek değildir.
4	İniş takımı kanada bağlıysa daha uzundur. Bu, iniş takımını ağırlaştırır ve geri çekme sistemi için kanat içinde daha fazla alan gerektirir. Bu, kanat yapısını daha da ağırlaştıracaktır.
5	Pilotun ufuktan daha az yüksek görüşü vardır. Pilotun üzerindeki kanat, bir savaş pilotu için gökyüzünün bir kısmını gizleyecektir.
6	İniş takımı gövdeye bağlıysa ve geri çekme sistemi için yeterli alan yoksa geri çekildikten sonra iniş takımlarını barındırmak için fazladan bir alan sağlanmalıdır. Bu, gövde ön alanını artıracak ve böylece uçak sürüklenmesini artıracaktır.
7	Kanat, daha yüksek taşıma katsayısı nedeniyle daha fazla indüklenmiş sürtünme üretiyor
8	Yüksek kanatlı bir uçağın yatay kuyruk alanı, alçak kanatlı yatay kuyruk alanından yaklaşık %20 daha geniştir. Bunun nedeni, kuyruktaki yüksek bir kanadın daha fazla aşağıya inmesidir.
9	Yüksek kanat yapısal olarak düşük kanattan yaklaşık %20 daha ağırdır.
10	Kanadın içindeki iniş takımının geri çekilmesi, gereken yüksek iniş takımı uzunluğu nedeniyle genellikle bir seçenek değildir.
11	Uçağın yanal kontrolü, uçak daha yanal olarak dinamik stabiliteye sahip olduğundan, orta kanat ve alçak kanat ile karşılaştırıldığında daha zayıftır.

Altan kanat:

Altan kanat şekil 4.10’da görüldüğü üzere gövdenin altına teğet olarak konumlandırılır. Çizelge 4.5’te altan kanadın hava araçlarındaki avantajları ve çizelge 4.6’da dezavantajları bulunmaktadır.

Çizelge 4.5. Altan kanatın hava araçlarındaki avantajları (Sadraey, 2012)

No	Avantajlar
1	Zemin etkisi nedeniyle yüksek kanat konfigürasyonuna kıyasla uçak kalkış performansı daha iyidir.
2	Pilot, kanadın üzerinde olduğu için ufuktan daha yüksek bir görüşe sahiptir.
3	Kanat içindeki geri çekme sistemi, gövde içinde de bir seçenektir.
4	Kanata bağlı iniş takımı daha kısadır. Bu, iniş takımını daha hafif hale getirir ve geri çekme sistemi için kanat içinde daha az yer gerektirir. Bu, kanat yapısını daha da hafifletecektir.
5	Havalı GA uçağında pilot, kokpite girmek için kanat üzerinde yürüyebilir.
6	Uçak, alçak kanat yapısına göre daha hafiftir.
7	Uçağın ön alanı daha azdır.
8	Kanat desteği uygulaması kanat yapısı için bir seçenek değildir.
9	Herhangi bir destek kullanılmadığı için uçak yapısı daha hafif olur.
10	Uçak sürüklemesi daha düşüktür. Kanat daha az indüklenmiş sürüklemeye sahiptir.
11	Sıradan bir izleyicinin gözleri için daha çekicidir.
12	Uçak, kanat dihedral etkisine gövde katkısı nedeniyle daha az yanal dinamik stabiliteye sahip olduğundan, yüksek kanat konfigürasyonuna kıyasla daha yüksek yanal kontrole sahiptir.
13	Kanadın kuyruğunda daha az aşağı akım vardır, bu nedenle kuyruk daha etkilidir.
14	Kuyruk, yüksek kanatlı bir konfigürasyona kıyasla daha hafiftir.
15	Kanat sürüklemesi burundan aşağıya doğru bir atış momenti üretir, bu nedenle alçak bir kanat uzunlamasına dengelenir. Bunun nedeni, kanat çekme hattının uçağın ağırlık merkezine konumudur.

Çizelge 4.6. Alttan kanatın hava araçlarındaki dezavantajları (Sadraey, 2012)

No.	Dezavantajlar
1	Üstten kanat konfigürasyonuna kıyasla, kanadın iki ayrı bölümü olduğu için Kanat daha az taşıma kuvveti üretir.
2	Üstten kanat konfigürasyonuna kıyasla; daha düşük bir C_{Lmax} tan dolayı Uçak daha yüksek tutunma kaybı hızına sahip olacaktır.
3	Yerde harekete başladıktan sonra havalanmaya başlayacağı mesafe daha uzundur.
4	Uçak, daha yüksek durma hızı nedeniyle daha düşük uçuşa elverişliliğe sahiptir.
5	Kanat daha az indüklenmiş sürüklenme üretir.
6	Kanadın uçağın dihedral etkisine daha az katkısı vardır, bu nedenle uçak yanal olarak dinamik olarak daha az stabildir.
7	Uçak yanal olarak daha kontrol edilebilir ve dolayısıyla daha manevra kabiliyetine sahiptir.
8	Uçak, daha fazla iniş çalışması gerektirdiğinden, daha kötü bir iniş performansına sahiptir.
9	Pilot ufuktan daha düşük bir görüşe sahiptir. Pilotun altındaki kanat, bir savaş pilotu için gökyüzünün bir kısmını gizleyecektir.
10	Kanat sürüklemesi, burun yukarı fırlatma momenti yaratır, bu nedenle alçak bir kanat uzunlamasına istikrarsızlaştırır. Bunun nedeni, kanat çekme hattının uçağın ağırlık merkezine göre daha düşük konumudur ($MDcg > 0$).

Ortadan kanat:

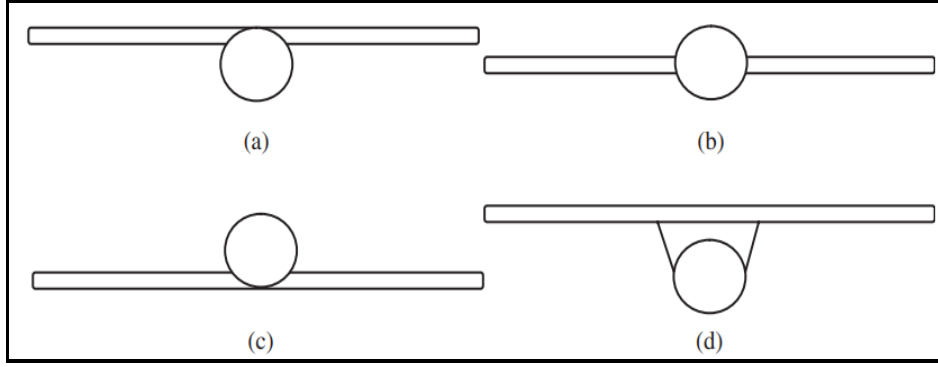
Ortadan kanat şekil 4.10 (b) görüldüğü üzere gövdenin merkezine teğet olarak yani üstten kanat ve alttan kanat konfigürasyonları arasında konumlandırılır. Çizelge 4.7’de ortada bulunan kanadın bazı yeni özellikleri belirtilmektedir.

Çizelge 4.7. Ortadan kanadın hava araçlarındaki özellikleri (Sadraey, 2012)

No.	Orta kanat özellikleri
1	Uçak yapısı, kanat kökünün gövde ile kesişme noktasında takviye edilmesi gerekliliği nedeniyle daha ağırdır.
2	Orta kanat, yüksek ve alçak kanat konfigürasyonlarına göre daha pahalıdır.
3	Orta kanat, diğer iki konfigürasyona kıyasla daha etkileyicidir.
4	Orta kanat, diğer iki konfigürasyona kıyasla daha aerodinamiktir.
5	Kanat yapısını güçlendirmek için genellikle bir destek kullanılmaz.
6	Orta kanat, alçak kanattan veya yüksek kanattan daha az parazit direncine sahiptir.

Parasol kanat:

Bu kanat konfigürasyonu planör ve amfibi uçaklarda kullanılır. Şekil 4.10 (d)’de görüldüğü üzere yüksek kanatlı bir konfigürasyona benzer fakat kanata daha fazla destek kullanıldığı için yüksek kanata göre daha ağır ve daha fazla sürtünmeye sahiptir.



Şekil 4.10. Farklı kanat konfigürasyonları a (üstten kanat), b (ortadan kanat), c (alttan kanat), d (37araşol kanat) (Sadraey, 2012)

4.4 İnsansız Hava Aracı Tasarımında Etkili Olan Elektronik Ekipmanlar

4.4.1 Motorlar

Motorlar elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makineye denir. Motorlar genel olarak çalışma prensiplerine göre fırçalı ve fırçasız olmak üzere ikiye ayrılır.

Fırçalı DC motorlar:

Fırçalı DC motorlar fırçalar yardımıyla gerilimin bakır dilimli kollektörlere iletiildiği ve kollektörler ile gerilimin bobinlere iletiildiği ve bu aşamadan sonra dönme hareketinin meydana geldiği motorlardır.



Şekil 4.11. Fırçalı DC motor (Url-17)

Şekil 4.11’de bir Fırçalı DC motor gösterilmektedir. Motorun mili insansız hava aracında Thrust (İtki) meydana getirmekte ve diğer bir kaldırma kuvveti için Thrust (İtki) meydana getiren pervanenin merkezi göbeğine montaj yapılmaktadır.

Fırçasız DC motorlar:

Fırçasız DC motorlar Fırçalı DC motorların aksine bobinlere uygulanan gerilim için aşınan bir parçası bulunmamaktadır. Bu sebepten motor ısınması, güç kaybı ve enerji verimliliği olarak fırçalı motorlara göre daha avantajlıdır.



Şekil 4.12. Fırçasız DC motor (Url-17)

Şekil 4.12’de Fırçasız DC motorda görüldüğü gibi 3 kablo bulunmakta ve bu kablolar motorun 3 farklı fazına bağlanarak rotor içindeki mıknatıslar manyetik alan oluşturur ve motor dönme hareketini gerçekleştirir. Fırçasız motorlarda motor hızı ve devrini kontrol etmek için sistemlerde ESC’ler ile kullanılmaktadır. Motor seçimi adımları; motorun pervaneye vermiş olduğu hareket ile oluşan thrust (İtki) ihtiyacına uygun seçilebilmesi, thrust (İtki) ve batarya durumuna göre motorun çalışma voltaj aralığı ve motorun verimliliği ön planda yer almaktadır (Özüdoğru, 2023).

$$\text{Verimlilik (efficiency)} = \text{İtki} / \text{Güç} \quad (4.14)$$

Verimlilik 4.14’te ki formülde belirtildiği hava aracında meydana gelen itki kuvvetinin, ihtiyaç duyulan güce bölünmesiyle ulaşılmaktadır.

4.4.2 Pervane

Pervanelerde aynı zamanda bir kanat olarak düşünülmeli çünkü alt bölgesinde yüksek basınç üst bölgesinde ise düşük basınç oluşturduğu için bir kaldırma kuvveti meydana getirmektedir. Pervaneler yapıldığı malzemesine göre dörde ayrılır;

- Fiberglas ile güçlendirilmiş plastik
- Saf plastik
- Karbonfiber
- Ahşap



Şekil 4.13. Pervane (Url-18)

Şekil 4.13'te gösterilen pervane malzeme olarak tahtadan üretilmiştir. Pervanenin üzerindeki sayılar şunu ifade etmektedir;

- İlk sayı pervanenin çapı olarak ifade edilmektedir.
- İkinci sayı ise bir turda havada kat edeceği yolun inch olarak ifade edilmiş halidir (Url-18).

4.4.3 ESC (Electronic speed controller)

ESC'ler kullanılan motorun hızını, devrini ve yönünü kontrol eden motor sürücüleridir. Kullanılan motorun güç ve çektiği akım değerine göre seçimleri yapılmakta ve aynı zamanda kullanılan motora göre ikiye ayrılmaktadırlar;

- Fırçalı (Brushed) ESC: Motor bağlantısı biri motora biri de bataryaya bağlanacak şekilde iki kablodan oluşan fırçalı motorlar ile kullanılan motor sürücüleridir.
- Fırçasız (Brushless) ESC: Motor bağlantısı üç kablodan oluşan ve fırçasız motorlarla kullanılan motor sürücüleridir.

4.4.4 Batarya

Pil içinde bulunan kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren bir elektronik aygıttır. Kullanılan piller şarj edilebilen ve şarj edilemeyen olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu ayrımın pilin bünyesinde bulundurduğu kimyasalına göre değişmektedir. Piyasada en çok kullanılan şarj edilebilen pillerden lityum iyon pili ve lityum polimer (li-po) pilidir. Piller ilk olarak hücre sayısı sonra paralel veya seri bağlantı durumuna göre isimlendirilmektedir. Pilden anlık çekilebilecek akım denklem 4.15'te verildiği denklem

ile hesaplanarak bataryanın bitene kadar sağlayacağı akım değerini bulmakta kullanılmaktadır. Şekil 4.14'te 3.7 V; 5000 mah ve 70c bir poli batarya gösterilmektedir.

$$\frac{5000 \text{ mah}}{1000} \times 70c = 350A \quad (4.15)$$



Şekil 4.14. Lipo Batarya (Url-17)

4.4.5 Kumanda ve alıcı

Uzaktan kontrol edilebilir sistemlerde kızıl ötesi ışınlar veya radyo frekans dalgaları ile alıcı (insansız hava aracı) ve verici (kumanda) sistemler arasında haberleşmeler sağlanılmaktadır. İnsansız hava araçlarında radyo frekans dalgaları ile haberleşme uygulanmaktadır.

Kızıl ötesi uzaktan kontrol sistemlerinde alıcı ile verici arasında açık yol gereklidir. Alıcı ile verici arasına engel girdiğinde haberleşme kopar. Radyo frekansı uzaktan kontrol sistemlerinde radyo dalgaları ile alıcıya iletilir. Radyo dalgalarında aynı frekans bandında olan haberleşmeler parazit oluşturarak birbirine karışabilir. Aynı frekans bandında olan sistemlerde başka bir hava aracının haberleşme ağına girip kontrolünü eline geçirilebilir. Böyle bir sorunla karşılaşmamak için haberleşme ağı frekansı dikkatli bir şekilde seçilmelidir.

4.4.6 Sensörler

İnsansız hava aracının yapacağı görevlerin ihtiyaçlarına göre hava aracına farklı sensörler ekipman olarak eklenmektedir. Hava araçlarında kullanılan başlıca sensörler;

- İvme ölçer: Üç eksene kadar ivme ölçümü yapmakta ve hava aracını yerçekimi algılamasına yardımcı olur.
- Pitot tüpü: Genellikle sabit kanatlı hava araçlarında hava hızını tespit etmek için kullanılır.
- Jiroskop: hava aracının x, y ve z eksenlerinde açısal değişimi ölçer.
- Atalet ölçüm cihazı: Bünyesinde hem ivme ölçer hem de jiroskop içeren bir elektronik karttır.
- Pusula/Manyetometre: Hava aracının seyir halinde iken yer tespiti ve yörünge rotasını algılamasını sağlar.
- Basınç/Barometre: Atmosferik basınç ve sıcaklık deniz seviyesinden uzaklaştıkça değiştiğinden hava aracının seyir halindeyken hissettiği basınç yerden yüksekliğini algılamamızı sağlamaktadır.
- Küresel konumlama sistemi (GPS): Coğrafi koşullar ne olursa olsun hava aracının konumunu tespit edilmesini sağlayan bir cihazdır (Özüdoğru, 2023).

4.5 Model Uçaklarda ve Sabit Kanatlı İnsansız Hava Araçlarında Kullanılan Malzemeler

İnsansız hava araçlarında tasarım ve üretim için kullanılan malzemeler çeşitlilik göstermektedir. Çizelge 4.8’de insansız hava aracı üretiminde kullanılan ana gövde ve taşıyıcı yapı malzemeleri belirtilmektedir.

Çizelge 4.8. İHA üretiminde kullanılan ana gövde ve taşıyıcı yapı malzemeleri (Özüdoğru, 2023)

No	Ana gövde malzemeleri	Taşıyıcı yapı malzemeleri
1	Balsa	Karbon çubuk/boru
2	Strafor (foam) köpük	Alüminyum boru
3	Flament	Ahşap
4	Cam elyafı	
5	Karbon elyafı	

Balsa: Şekil 4.15’te gösterildiği gibi balsa ağacından yapılır. Eski zamanlardan beri kullanılan geleneksel bir yapı malzemesidir. Hava araçlarına hafiflik ve kolay işlenebilirlik sağlar ama hava aracının sert inişlerinde kırılabilir. Maket bıçağı veya CNC lazer makinelerinde kesilebilir. Maket bıçağı ile kesiminde kanat profili vermek CNC lazere göre oldukça zordur. Balsa ek olarak fiber bant ile güçlendirilebilir.



Şekil 4.15. Balsa ağacından üretilen insansız hava aracı (Url-19)

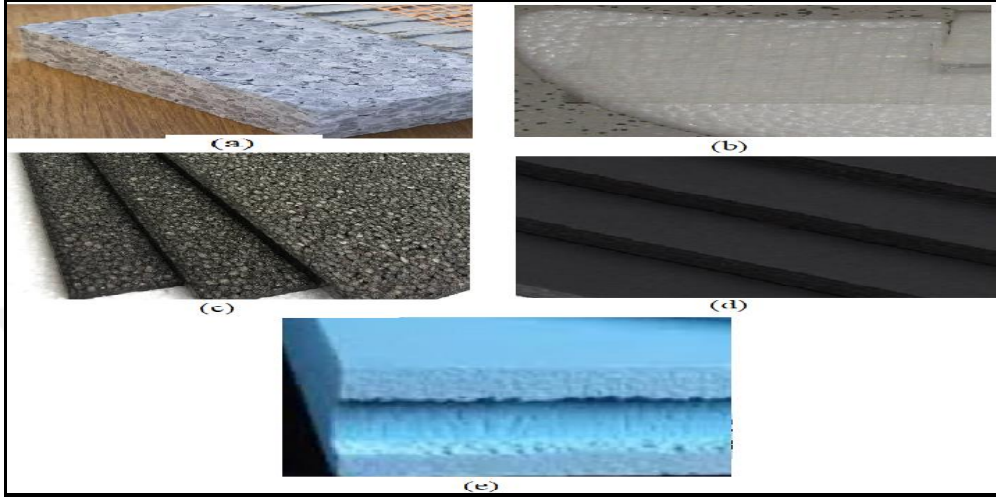
Strafor (foam) köpük: Köpükler radyo frekansı ile kontrollü hava araçları için en çok tercih edilen malzemedir. Çizelge 4.9’da köpük çeşitleri belirtilmiştir. Düşük maliyetlidir. Köpük gövdeye gelen darbeleri iyi sömürür. Köpükler cam elyaf (fiber glass) ve kaplamalar ile dayanıklılığı artırılır. Şekil 4.16’da gösterilen bütün köpükler sıcak tel ve maket bıçağı ile kesimi yapılır.

Çizelge 4.9. Köpük çeşitleri (Url-19)

No	Strafor (foam) köpük çeşitleri
1	Epo(expanded polyolefin)
2	Epp(Extended Ploystren Foam)
3	Eps(expended Poystyrene)
4	Depron-fotoblok
5	Xps Extruded Polystyren

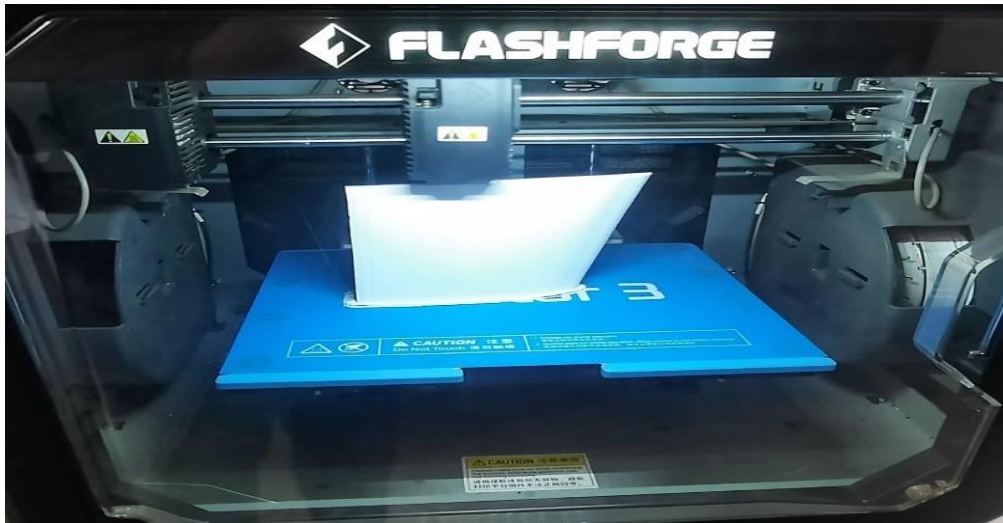
- **Epo (expanded polyolefin):** Hafif ve dayanıklı uçaklarda ve genellikle sabit kanatlı hava araçlarında kullanılır. Cam elyaf kumaş ve epoksi ile dayanıklılığı artırılabilir.
- **EPP (Extended ploystren foam):** Epo’ya göre daha yüksek dayanıma sahiptir. Esnekliği yüksektir aldığı darbeleri absorbe eder. Esnekliğinden dolayı karbon fiber, fiber glass ve balsa ile mukavemeti arttırılır.
- **Eps (expended poystyrene):** Çok dayanıklılığı olmayan ve kırılğan bir malzemedir bu sebepten kesim esnasında dikkat edilmelidir.

- Depron-fotoblok: Fotoblok depronun üst ve altına kâğıt yapışmış halidir. Depronu aynı zamanda fiber bantlar ile de güçlendirilebilir.
- Xps Extruded Polystyren: Xps köpüğünün malzeme yapısı boşluksuzdur bu sebepten nem ve suya oldukça dayanıklıdır. Hücreleri arası bağı kuvvetli olduğundan mukavemetli bir yapı özelliği gösterir. Yanıcıdır.



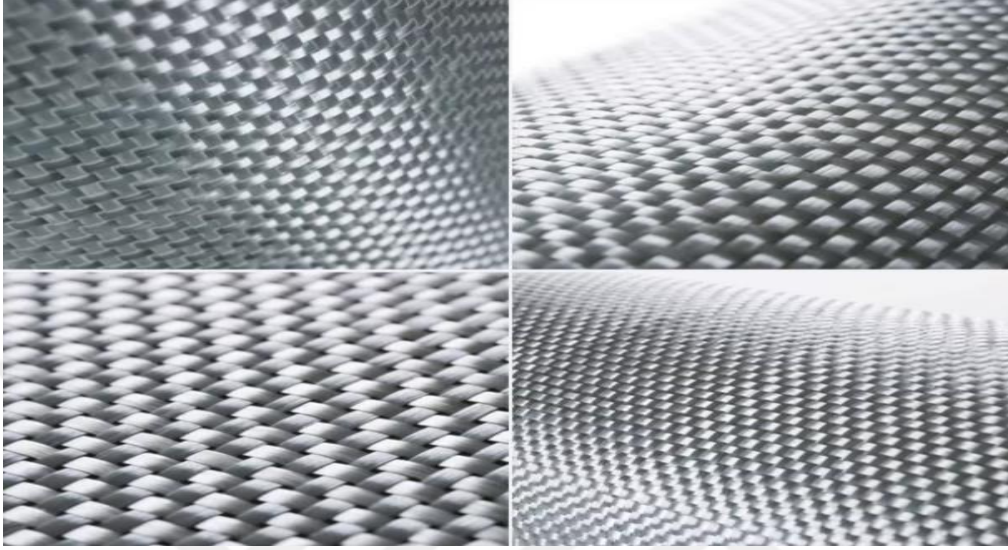
Şekil 4.16. a(Eps), b(Epo), c(Epp), d(Fotoblok), e(Xps) köpük malzemeleri (Url-19)

Filament: 3 boyutlu yazıcılarda farklı sıcaklıklarla eritilip hava koşullarında ani soğumayla filamentlerin üst üste oluşturduğu katlamalı imalat yöntemiyle kullanılır. Mukavemeti düşüktür. Fiber bant ile veya epoksi katkılı cam elyaf ile mukavemeti artırılabilir. Şekil 4.17’de Altay-0020 T İHA’sının ana kanatlarının 3 boyutlu yazıcıda üretimi gösterilmektedir.



Şekil 4.17. Filamentler ile 3 boyutlu yazıcının kullanılması

Cam elyafı: Model uçaklar ve sabit kanatlı hava araçlarında genellikle kullanılır. Karbon fibere göre fiyatı daha ucuzdur. Şekil 4.18’de ki cam elyafı gözenekleri ve bağlantı şekillerine göre yüksek mukavemet ve düşük ağırlığa sahiptir. Hava araçlarında genellikle malzemenin mukavemetini artırmak içinde kullanılır.



Şekil 4.18. Cam elyafı (Url-20)

Karbon fiber: Hava araçlarında daha çok kullanılan malzeme türüdür. Cam elyafına göre daha hafif ve daha mukavemetlidir. İçine elektronik malzemeler konulduğunda iletişim kopukluğuna sebep olabilmektedir. Şekil 4.19’da karbon fiber malzeme ile yapılan İHA üretimleri gösterilmektedir.



Şekil 4.19. Karbon fiber malzemedan üretilmiş insansız hava aracı (Url-21)

5. MATERYAL VE METOD

5.1 Kanat Geometrisi

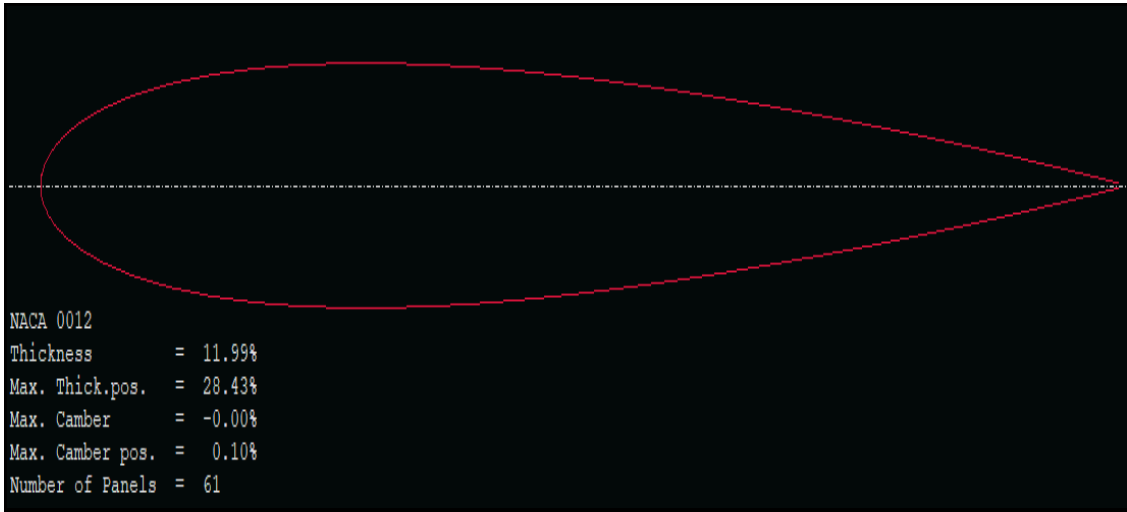
Bu tez çalışmasında kanat geometrisi hava aracının düşük Reynolds sayılarında havada seyredeceği ve kanat geometrisine geometrik olarak müdahale edildiğinde farklı hücum açılarında C_L/C_D oranının arttığı yani kaldırma katsayısının (C_L) arttığı ve sürtünme katsayısının (C_D) azaldığı kanat profili tasarımı kullanılmıştır. Kanat olarak üç farklı kanat geometrisi ele alınmıştır. Bu kanatların polar geometrilerine (Url-22)'den erişilmiştir. Bu üç farklı kanat geometrileri aşağıda belirtilmiştir;

- NACA-0012
- NACA-4415
- SD-7037

İlk olarak bu kanatların geometrik boyutlarının ve yapılarının neler olduğu tespit edilmeli sonra kanatlar birbirleriyle aynı Reynolds sayılarında aynı hücum açılarında analiz edilip analizleri yorumlanıp seçilen kanat üzerinde C_L/C_D oranının artırılması sağlanması hedeflenmiştir. Kanatların geometrine müdahale edilmesi gereken parametreler kanatların kamburluk ve kalınlıklarından meydana gelecek değişimlere yoğunlaşmıştır. Tasarlanan İHA'lar da ise ana ve kuyruk kanatlarının geometrilerine üç boyutsal olarak düz ve trapez ele alınıp C_L/C_D oranının değişiminin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

NACA-0012: Şekil 5.1'de gösterilen NACA-0012 kanat profilinin özellikleri kambur oranının %0 olmasıyla simetrik bir kanat geometrisine sahip olduğu ve aynı zamanda kanat kalınlığına ait oranları aşağıda belirtilmiştir;

Kalınlık oranı	: % 11,99
Maksimum kalınlık oranı	: % 28,43
Kamburluk oranı	: % 0
Maksimum kamburluk oranı	: % 0

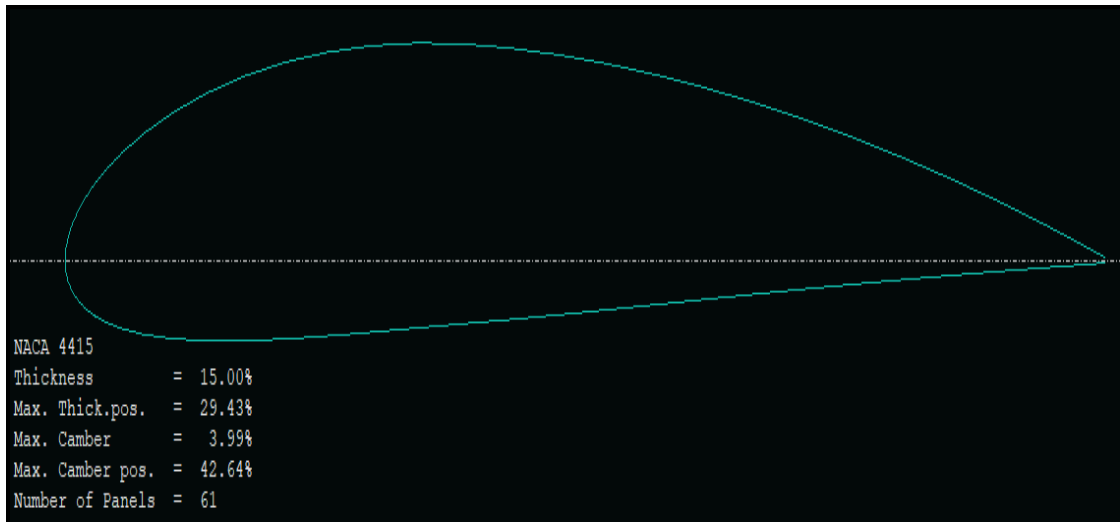


Şekil 5.2. NACA-0012 kanat profil

Yukarıdaki verilere göre NACA-0012 kanat profili kalınlık oranı %11,99 <%14'ten küçük olduğundan dolayı ince profil olarak nitelendirilir.

NACA-4415: Şekil 5.2'de gösterilen NACA-4415 kanat profilinin özellikleri ve oranları aşağıdaki gibi;

Kalınlık oranı	: % 15
Maksimum kalınlık oranı	: % 29,53
Kamburluk oranı	: % 4
Maksimum kamburluk oranı	: % 39,94

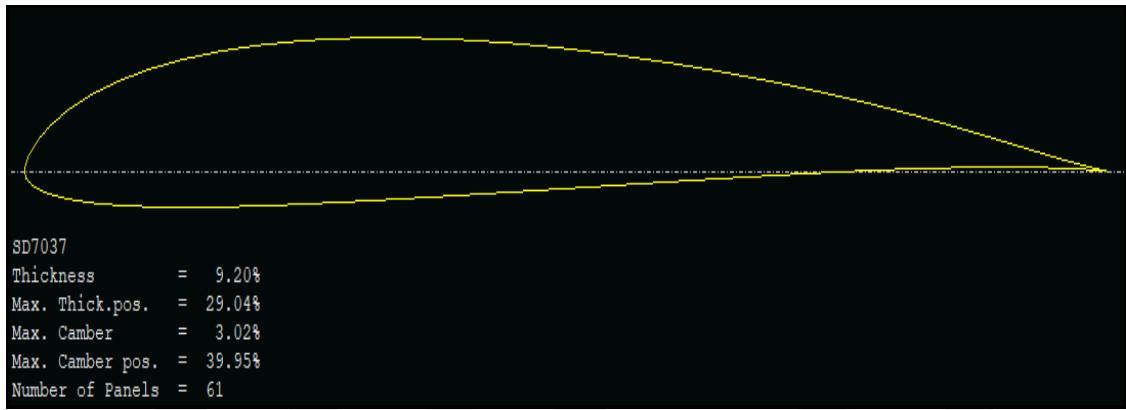


Şekil 5.3. NACA-4415 kanat profili

Yukarıdaki verilere göre NACA-4415 kanat profili kalınlık oranı $\%15 > \%14$ 'ten büyük olduğundan dolayı kalın profil olarak nitelendirilir.

SD-7037: Şekil 5.3'te gösterilen SD-7037 kanat profilinin özellikleri ve oranları aşağıdaki gibi;

Kalınlık oranı	: % 9,20
Maksimum kalınlık oranı	: % 29,04
Kamburluk oranı	: % 3,02
Maksimum kamburluk oranı	: % 39,95



Şekil 5.4. SD7037 kanat profili

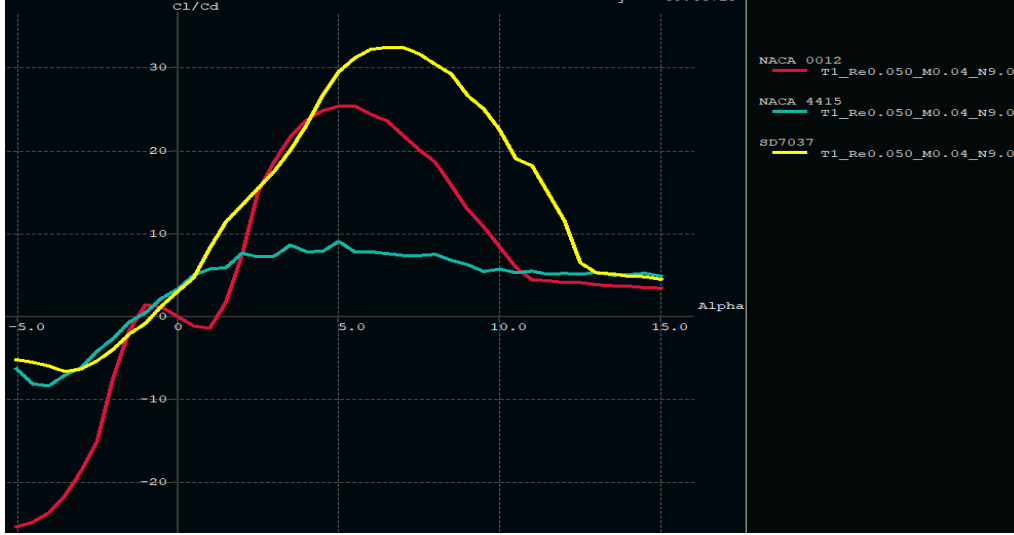
Erişilen bu kanat geometrilerin Ekler bölümünde çizelge A.1 NACA-0012, çizelge A.2 NACA-4415, çizelge A.3 SD-7037 ve çizelge A.4 ALTAY kanadına ait 61 noktadan polar koordinatları verilmiştir.

Yukarıdaki verilere göre SD-7037 kanat profili kalınlık oranı $\%9,20 < \%14$ 'ten küçük olduğundan dolayı ince profil olarak nitelendirilir. Bu üç kanat profilinin geometrileri şunu ifade etmektedir.

Kalınlık oranı: NACA-4415>NACA-0012>SD-7037

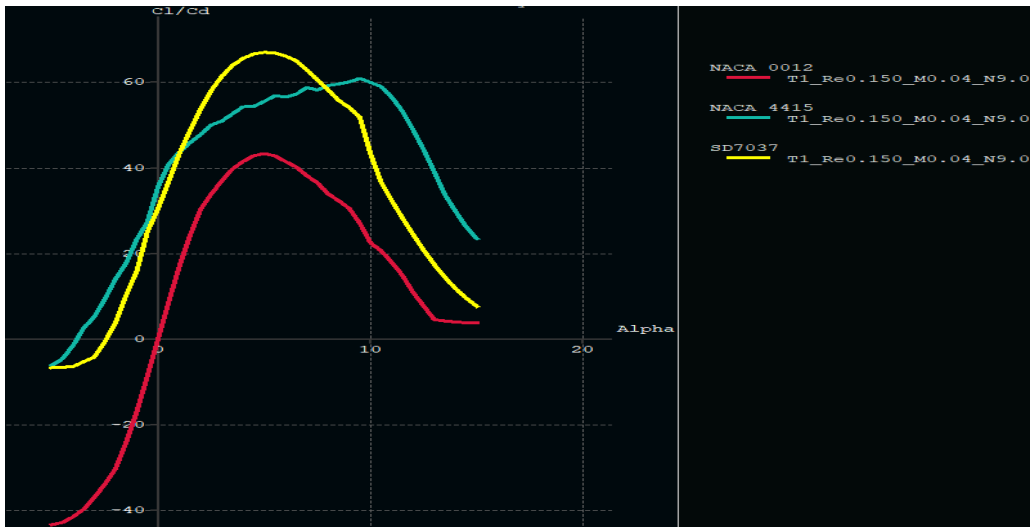
Kamburluk oranı: NACA-4415>SD-7037>NACA-0012

NACA-4415, NACA-0012 ve SD7037 XFLR5 hava araçları analiz programında Re 50 000, 150 000 ve 250 000 sayılarında, sırasıyla Ma 0,045 sayısında ve -5° ile 15° hücum açılarında karşılaştırma grafikleri şekil 5.4, şekil 5.5 ve şekil 5.6'da belirtilmektedir.



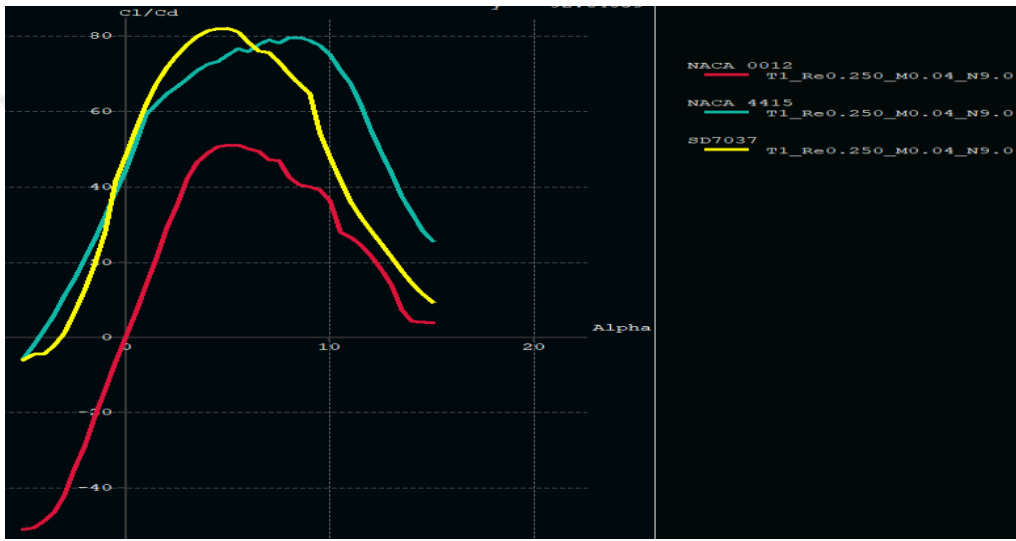
Şekil 5.5. Re 50 000 kanat analizleri

Şekil 5.4'teki Re 50 000'de ki analiz sonuçlarına göre -5° ile 0° hücum açılarında en düşük değere sahip olan NACA-0012 kanadının C_L/C_D oranının $-25,3$ değerindedir. Diğer iki kanat tipinin de eksi değerlere indiği ama NACA-4415 ve SD-7037 kanat tipinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. 0° ile 5° hücum açılarında üç kanat tipinde pozitif değerlere çıkmıştır ama SD-7037 kanat tipinin diğer iki kanat tipine göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. 5° ile 10° hücum açılarında SD-7037 kanadının C_L/C_D oranı $32,35$ maksimum değerini aldığı $6,5^\circ$ hücum açısı diğer iki kanada göre en iyi olduğu açıdır. 10° ile 15° üç kanat tipinin de birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Re 50 000'de ki analiz sonuçlarına göre -5° ile 15° hücum açılarında SD-7037 kanat tipinin en verimli kanat tipi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.6. Re 150 000 kanat analizleri

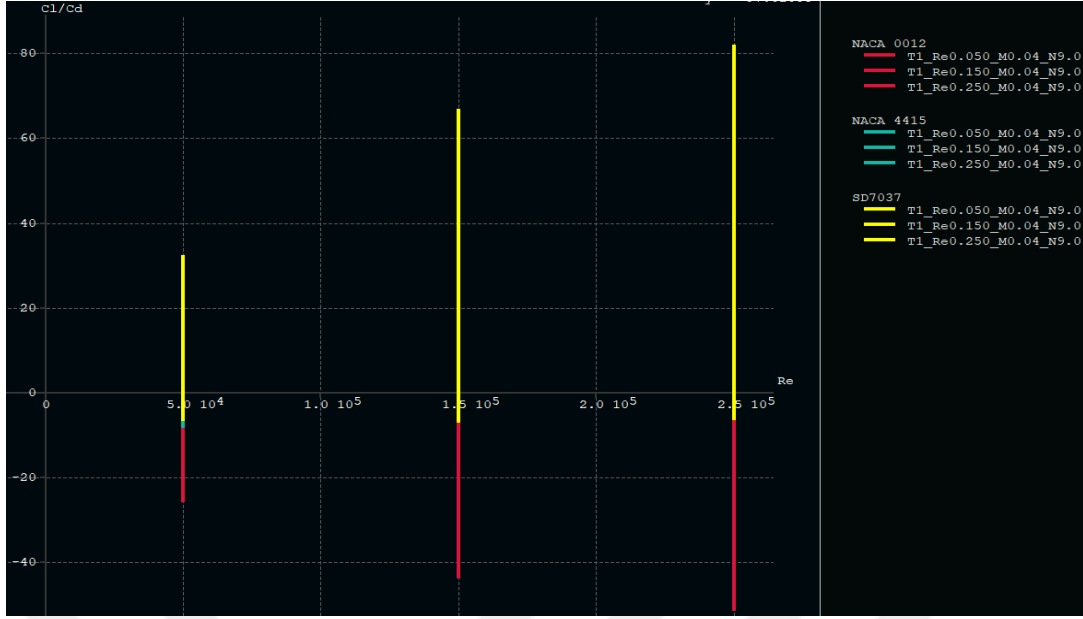
Şekil 5.5'te $Re\ 150\ 000$ 'deki analiz sonuçlarına göre -5° ile 0° hücum açılarında üç kanat tipinin de eksi değerlere başladığını ama NACA-4415 ve SD-7037 kanat tipinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. 0° ile 5° hücum açılarında üç kanat tipinde pozitif değerlerdedir ama SD-7037 kanadının C_L/C_D oranı 66,88 maksimum değerini aldığı 5° hücum açısı diğer iki kanada göre en iyi olduğu açıdır. En kötü orana sahip kanat tipinin NACA-0012 olduğu görülmektedir. 5° ile 10° hücum açılarında SD-7037 ve NACA-0012 kanatlarının negatif olarak aşağı yönde harekete geçtikleri NACA-4415'in C_L/C_D oranı ise 10° hücum açısına kadar artış gösterdiği görülmektedir. 10° ile 15° hücum açılarında üç kanat tipinin de negatif yönde düşüşe geçtiği görülmektedir.



Şekil 5.7. Re 250 000 kanat analizleri

Şekil 5.6'da $Re\ 250\ 000$ grafik eğrileri görülmektedir. Şekil 5.5 ile Şekil 5.6 birbiriyle benzer grafik eğrilerine sahip olduğu görülmektedir. Sadece şekil 5.6'da Reynolds sayısı büyüdüğü için C_L/C_D oranında artış olduğu görülmektedir. SD-7037 kanadının 5° hücum açısında maksimum 81,87 C_L/C_D oranına sahip olduğu görülmektedir. Şekil 5.5'te sonuçlarında herhangi dalgalanmaya uğramayan SD7037 ve NACA-0012 kanatları şekil 5.6'da 5° ile 10° hücum açılarında az da olsa sonuçlarında dalgalanma yaşadıkları görülmektedir. Bu dalgalanmaların olmasının sebebi program her bir açıda kendi içinde belirli çözümler oluşturarak ilerlemektedir. Bazı hücum açılarında çözüm oluşturamadığı zamanda sonuçlarda bu şekilde dalgalanmalar oluşmaktadır.

E214 kanat profilini $Re\ 463\ 239$ sayısında XFLR5 programında yapılan aerodinamik HAD analiz çalışmasında C_L/C_D oranı sonuçlarında da en verimli hücum açısının 5° ve bu hücum açısından sonra düşüşe geçtiği tespit edilmiştir (Kaynak, 2022).



Şekil 5.8.Farklı Reynolds sayılarında C_L/C_D oranları

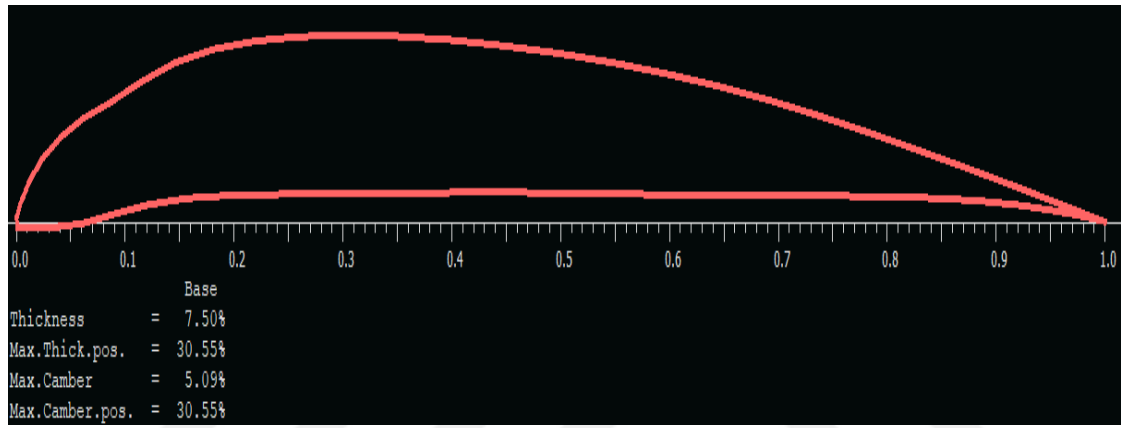
Şekil 5.7’de verilen değerlerde incelendiğinde farklı kanat tiplerinin Re 50 000; 150 000 ve 250 000 sayılarında, -5° ile 15° hücum açılarında 0,045 Mach sayısında yapılan karşılaştırmalar sonunda tüm Reynolds sayılarında en iyi C_L/C_D oranına sahip olan SD7037 kanat tipi geliştirilmek için seçilmiştir.

5.1.1 Kanat geometrisinin verimliliğini artırma

İlk olarak kanatlarda kanatın üstünden geçen havanın yüksek hızlarda düşük basınçta geçmesi ve kanatın altından geçen havanın düşük hızlarda yüksek basınçta geçmesi kanadın havaya kalkmasına sebep olmaktadır. Kanadın hava ile karşılaştığı giriş ucundan kanadın üstüne veya altına giden hava aynı anda kanadın firar yani çıkış ucundan çıkmayı ister. Bu sebepten verimliliği artırırken de bu şekilde düşünülmelidir yani kanadın üstündeki havanın hızını biraz daha hızlandırmak ve kanadın altındaki hava hızının da biraz daha yavaşlatmak gerekmektedir. Kanadın üstünden hava hızını daha hızlandırmak için havanın izleyeceği yolu arttırmak yani hava ile kanadın ilk temas ettiği giriş ucundan firar ucuna doğru kanadın kamburluğunu arttırmak gerekir. Şekil 5.8’de geometrisi görülen ALTAY kanadı tasarlanırken kanadın üst bölgesinde havanın kanatla ilk temas ettiği yere yakın bir alanda havanın aniden hızını arttırmak için birçok denemelerle kanatta türbülans oluşturmayacak şekilde bir çukur bölge oluşturulmuştur. (Bkz. Çizelge 4.2.)’de bahsedildiği gibi kanadın L/D oranı arttıkça C_D katsayısı düşmekte yani C_L/C_D oranında artma meydana getirecektir.

ALTAY: XFLR5 programında SD-7037 kanat profilinin C_L/C_D oranının verimini arttırmak için geometrisinin değiştirilmesiyle yeni oluşturulan daha verimli bir kanat profilidir. Şekil 5.8’de gösterilen ALTAY kanat profilinin özellikleri ve oranları aşağıdaki gibidir;

Kalınlık oranı	: % 7,50
Maksimum kalınlık pozisyonu oranı	: % 30,55
Kamburluk oranı	: % 5,09
Maksimum kamburluk pozisyonu oranı	: % 30,55



Şekil 5.9. ALTAY kanat profili

5.1.2 SD-7037 kanat geometrisi ile ALTAY kanat geometrisinin karşılaştırılması

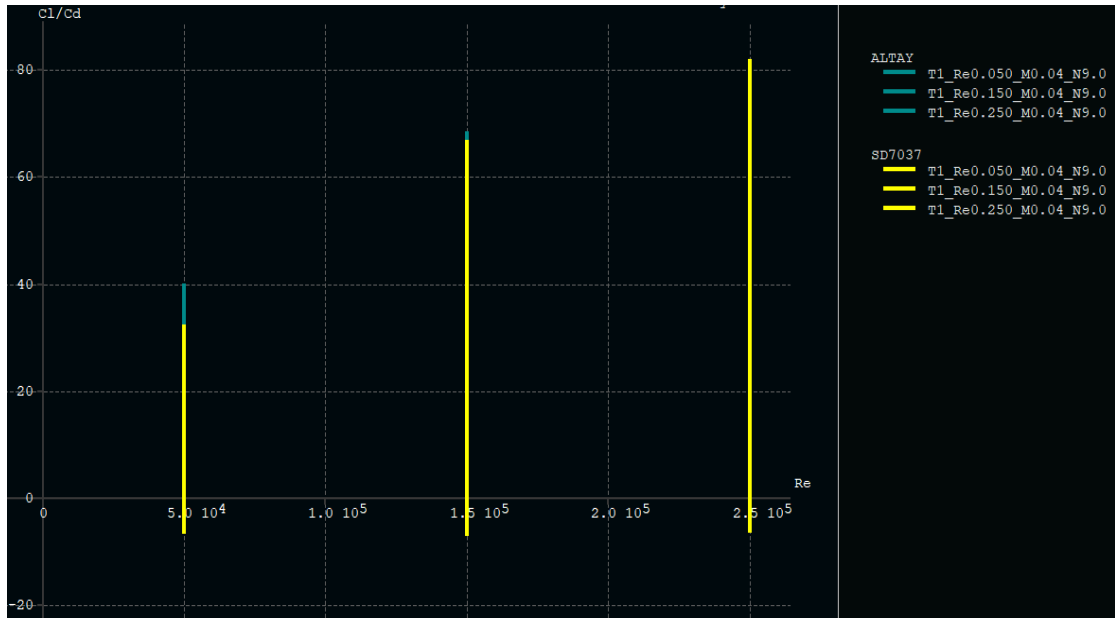
SD-7037 ile ALTAY kanat geometrilerinin sayısal değerleri çizelge 5.1’de belirtilmektedir. Çizelge 5.1’e göre; ALTAY kanadının geometrisi kalınlık olarak %1,70 SD7037 kanadına göre incelmıştır ve kamburluk olarak % 2,07 artmıştır.

Çizelge 5.1. SD-7037 ve ALTAY kanat geometrilerin değerleri

No.	Geometrik özellikler	SD7037	ALTAY
1	Kalınlık oranı	% 9,20	% 7,50
2	Maksimum kalınlık pozisyonu oranı	% 29,04	% 30,55
3	Kamburluk oranı	% 3,02	% 5,09
4	Maksimum kamburluk pozisyonu oranı	% 39,95	% 30,55

SD7037 kanat profiline verim geliştirmek için geometrisine yapılan revizyon sonrası oluşan ALTAY profilinde gerçekleşen verim şekil 5.9’da gösterilen grafik $Re\ 5 \times 10^4$, 15×10^4 ve 25×10^4 sayılarında gerçekleşen C_L/C_D oranını göstermektedir. İki farklı Reynolds sayısında da ALTAY kanadının maksimum C_L/C_D oranı $Re\ 5 \times 10^4$ sayısında

40,02 ve $Re\ 15 \times 10^4$ sayısında 68,42 değerlerindedir. SD-7037 kanadının maksimum C_L/C_D oranı $Re\ 5 \times 10^4$ sayısında 32,35 ve $Re\ 15 \times 10^4$ sayısında 66,88 değerlerinde olduğundan bu iki Reynolds sayısında ALTAY kanat profilinin SD-7037 kanat profilinden daha verimlidir. $Re\ 25 \times 10^4$ sayısında ALTAY kanadının maksimum C_L/C_D oranı 79,95 değerinde iken, SD-7037 kanadının maksimum C_L/C_D oranı 81,87 değerindedir. SD-7037 kanadının daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. $Re\ 5 \times 10^4$, 15×10^4 ALTAY kanadının daha verimli olmasından dolayı tasarımda kanat olarak ALTAY kanadı kullanılmıştır.



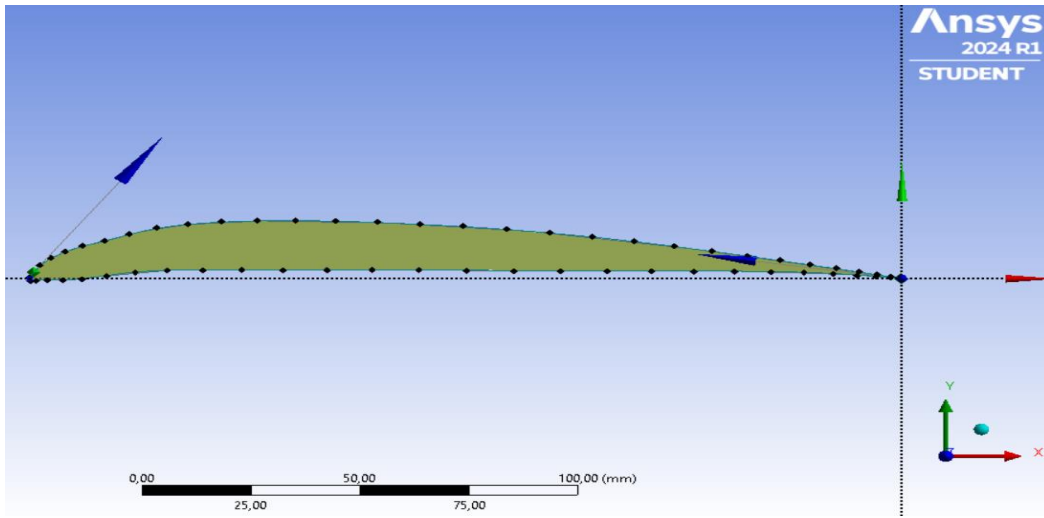
Şekil 5.10. ALTAY ve SD-7037 için farklı Reynolds sayılarında C_L/C_D oranı

5.2 ANSYS Fluent

ANSYS Fluent HAD programı arayüzünde çizim ve aynı zamanda birçok farklı analiz çalışmaları yapılabilmektedir. Analiz çalışmalarında kullanılacak katı modeller SOLIDWORKS, CATIA gibi tasarım programlarından import edilip çekilebildiği gibi ANSYS bünyesinde de katı modeller oluşturulup analiz edilebilmektedir. ANSYS programı türbülanslı akış çalışmalarında çok doğru sonuçlar vermeyebilir. Akışları çözerken Kütle korunumu, momentum korunumu ve enerji korunumu denklemlerini kullanmaktadır. Kullanılan üç korunum denklemi integral form ve diferansiyel form olarak iki farklı formla oluşturulmaktadır. İntegral form daha sık olarak Euler metodu kullanılarak bir kontrol hacmi üzerinden tüme vararak Diferansiyel form daha sık olarak Lagrange metodu kullanılarak küçük parçalardan tüme vararak analiz eder. Kanatların iki

boyutlu analiz çalışmalarında tasarlanan şekil 5.13'te ki hava tüneline atılan mesh ağları belirli bir alana atılırken, tasarlanan hava araçlarının analiz çalışmalarında şekil 5.15'te ki rüzgâr tüneline mesh ağları belirli bir hacme atılmaktadır.

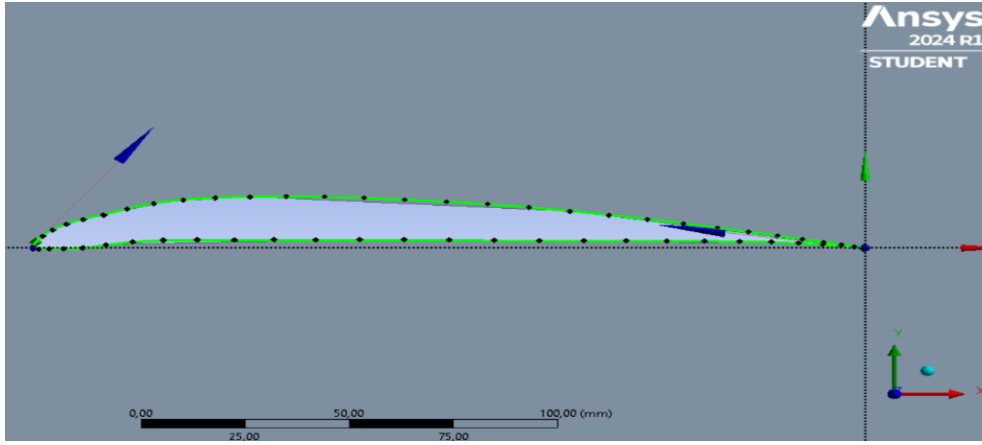
Bu analiz çalışmasında analiz sistemleri içerisinde fluid flow (fluent) kullanılmıştır. Fluid flow (fluent) analiz yapısında sırasıyla Geometry, mesh, setup, solution ve results beş aşamadan oluşmaktadır. İlk etapta 61 noktadan oluşan kanat profilleri noktasal olarak ANSYS programına yüklenip yeni bir sketch açıp şekil 5.10'da görüldüğü gibi Surf from sketches komutu kullanılarak ALTAY kanat profilinin yüzeyi oluşturulmuştur.



Şekil 5.11. ANSYS programında çizilmiş ALTAY kanadı modeli

ANSYS ortamında belirli bir hızla gelen havanın SD-7037 ve ALTAY kanatlarının üzerlerinde oluşturacağı etkiyi görmek için bir rüzgâr tüneli oluşturulmuş ve bu rüzgâr tüneline içine kanat geometrileri yerleştirilerek kanat geometrisinin etrafında hassas meshler meydana getirilmiştir. Şekil 5.11'de görülen rüzgâr tüneline içinde Boolean komutunda subtract seçeneği uygulanarak kanat geometrisinin yapısında boşluk oluşturulmuştur. Hava tüneline içerisinde orta bölgesinde kanadın geometrisinde boşluk oluşturulmasının ana sebebi kanadın hava ile temas halinde bulunacağı kenarlarda oluşacak hız ve basınçları sayısal bir veri olarak almak amacıyla yapılmıştır. Literatürdeki hava araçlarının analiz çalışmalarında farklı hava tünelleri ve boyutlarında çalışmalar yapılmaktadır. Şekil 5.12 hava tüneline benzer olarak NACA-4415 ve NACA-0012 kanat profillerinin akış analizlerinde chord uzunluğunun 12,5 katı olacak şekilde C tipi ağ yapısıyla çalışmışlardır. Analizlerde oluşturulan ağ yapısı incelendiğinde kanadın bulunduğu orta bölgede ve onun x ve y eksenlerindeki izahlarda daha yoğun bir mesh

meydana getirildiği, eksen izahlarından uzaklaştıkça mesh yoğunluğunu düşürmüşlerdir (Akdemir, 2021; Dilmaç, 2024).



Şekil 5.12. Kanat boşluğu

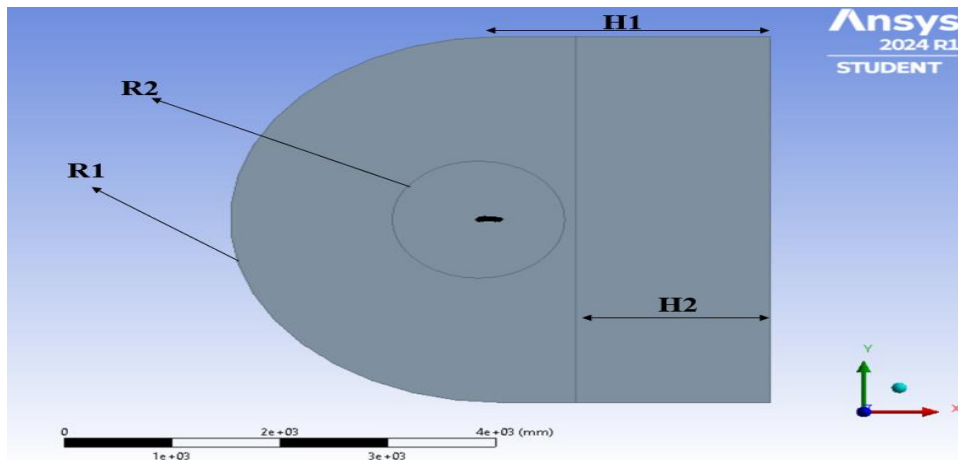
Şekil 5.12’de rüzgâr tünelinin x ve y eksenleri boyutları kanadın chord uzunluğunu referans alınarak boyutlandırılmıştır. Kanadın chord uzunluğunun 12,5 katı olarak ölçüler belirlenmiştir.

R1; Rüzgâr tüneline akış giriş bölgesi 2250 mm,

R2; Kanadın etrafında hassas mesh elde edebilmek için oluşturulan bölge 800 mm,

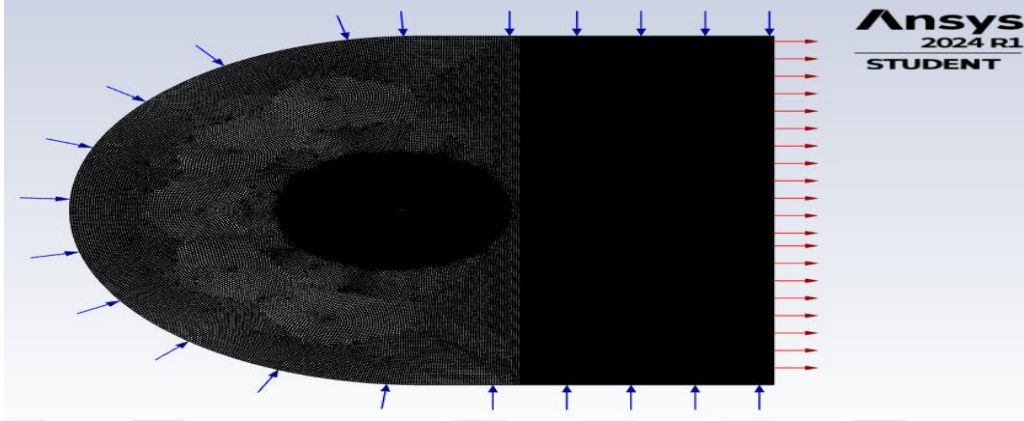
H1; Rüzgâr tüneline daireden sonra dikdörtgen geometrinin bölgesi 2500 mm,

H2; Rüzgâr tünelinin akış çıkış kısmında daha hassas mesh elde etmek için oluşturulan bölge 1800 mm ölçülerindedir.



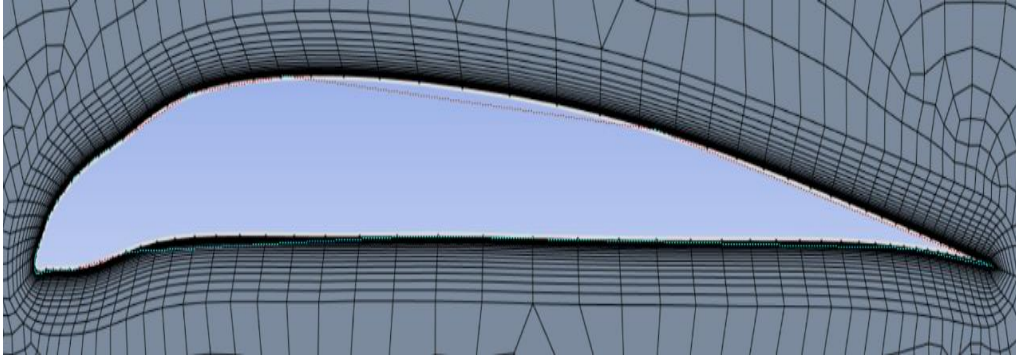
Şekil 5.13. Rüzgâr tüneline ölçüler ve bölgeleri

Projection komutuyla rüzgâr tüneli üç ayrı bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgeler şekil 5.12’de ki R1, R2 ve H2 ölçülerine sahip olan bölgelerdir. Yapılan çalışmada sınır koşulları olarak tünelin girişi (inlet), çıkışı (outlet) ve kanat (boundary) olarak seçilmiştir.



Şekil 5.14. Rüzgâr tüneline gerçekleştirilen mesh ve ağları

Şekil 5.13’te gösterildiği gibi oluşturulan üç ayrı bölgede de farklı mesh ölçüleri anlaşılmaktadır. En yoğun mesh kanat etrafında, ikinci en yoğun mesh tünel çıkışında geri dönüş (revers flow) lar meydana gelir diye, en az yoğun mesh tünel girişinde meydana getirilmiştir. Meshlerde bir adet body sizing, üç adet edge sizing, bir face meshing ve bir adette inflation komutu uygulanmıştır.



Şekil 5.15. Kanat etrafında uygulanan inflation

Kanat etrafında uygulanan inflation komutu şekil 5.14’te gösterildiği kanat üzerinde daha stabil sonuçlar elde etmek için maksimum kalınlığı 6 mm, büyüme oranı 1,2 olacak şekilde 18 katmandan meydana gelmektedir. Meshler genel olarak hem ALTAY hem de SD-7037 kanadı içinde 108 500 ağ sayısından meydana gelmektedir. Solution aşamasında viskoz model olarak k-omega SST modeli kullanılmıştır. Akışkan olarak kullanılan hava özellikleri $\rho = 1,225 \text{ (kg/m}^3\text{)}$, $\mu = 1,5111\text{E-}05 \text{ (kg/(m/s))}$ olarak belirlenmiştir. Akış giriş

hızları sırasıyla 3,1; 9,3 ve 15,5 (m/s) olarak analizler yapılmıştır. Reference values bölümünde denklem 5.1'e göre hesaplandığında chord (length) 0,2 (m), span (depth) 0,3 (m) ve kanat alanı 0,06 (m²) olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.15'te gösterildiği gibi şahin kuşunun kanadı ile şekil 5.14 geometrisi ile arasında doğrultu farkı vardır. Ancak yine de kanat üstünde ve altındaki çukur bölgeler ALTAY kanadının tasarımına benzemektedir. Kuşun kanadının gövdeye yakın olan bölgesinde alt ve üst bölgesinde çukur bir yapı oluştuğundan sonra kanadın firar kısmına doğru incelenerek devam etmektedir.



Şekil 5.16. Şahin kuşunun kanat profili (Demir, 2021)

$$\text{Kanat alanı (m}^2\text{)} = \text{Span (m)} \times \text{chord (m)} \quad (5.1)$$

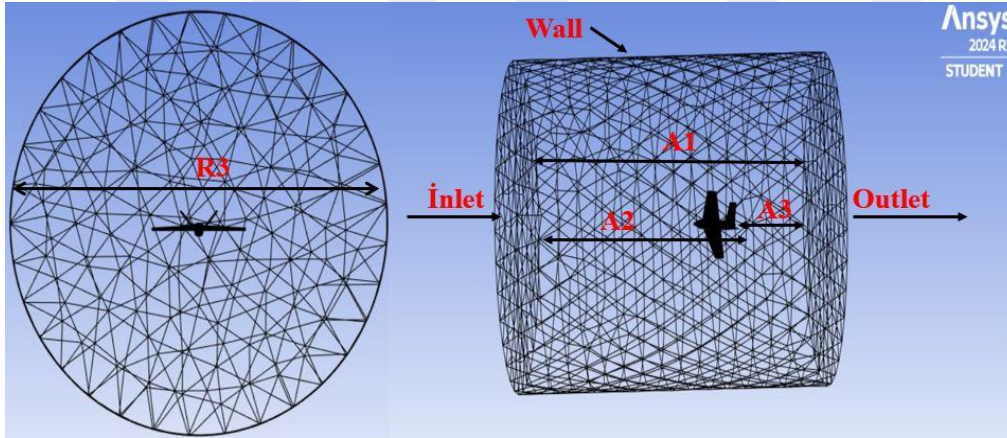
Kanat alanı arttıkça hava daha fazla sürtünmeye maruz kalacağından dolayı C_D sayısı artması ve havanın kanattan firar edebileceği yolda arttığı için hava hızı azalacak ve kanadın altındaki basınçta artış meydana gelir. İki boyutlu olarak yapılan ALTAY ve SD7037 kanatlarının analizinde Named expressions bölümünde her açı için “açının değeri [deg]” formülü yazılıp angel of attack olarak isimlendirilmiştir. X ve Y eksenlerinde açı değerleri çizelge 5.2’de değerleri gösterildiği gibi her hücum açısı için C_L ve C_D değerleri oluşturulmuştur.

Çizelge 5.2. İki kanat için Ansys programında x ve y eksenlerindeki açı değerleri

Hücum Açısı	X ve Y eksenlerinde açı değerleri		
	Aerodinamik katsayı	X	Y
-5	C_L	0,08716	0,99619
	C_D	0,99619	-0,0872
0	C_L	0	1
	C_D	1	0
5	C_L	-0,0872	0,99619
	C_D	0,99619	0,08716
10	C_L	-0,1736	0,98481
	C_D	0,98481	0,17365
15	C_L	-0,2588	0,96593
	C_D	0,96593	0,25882

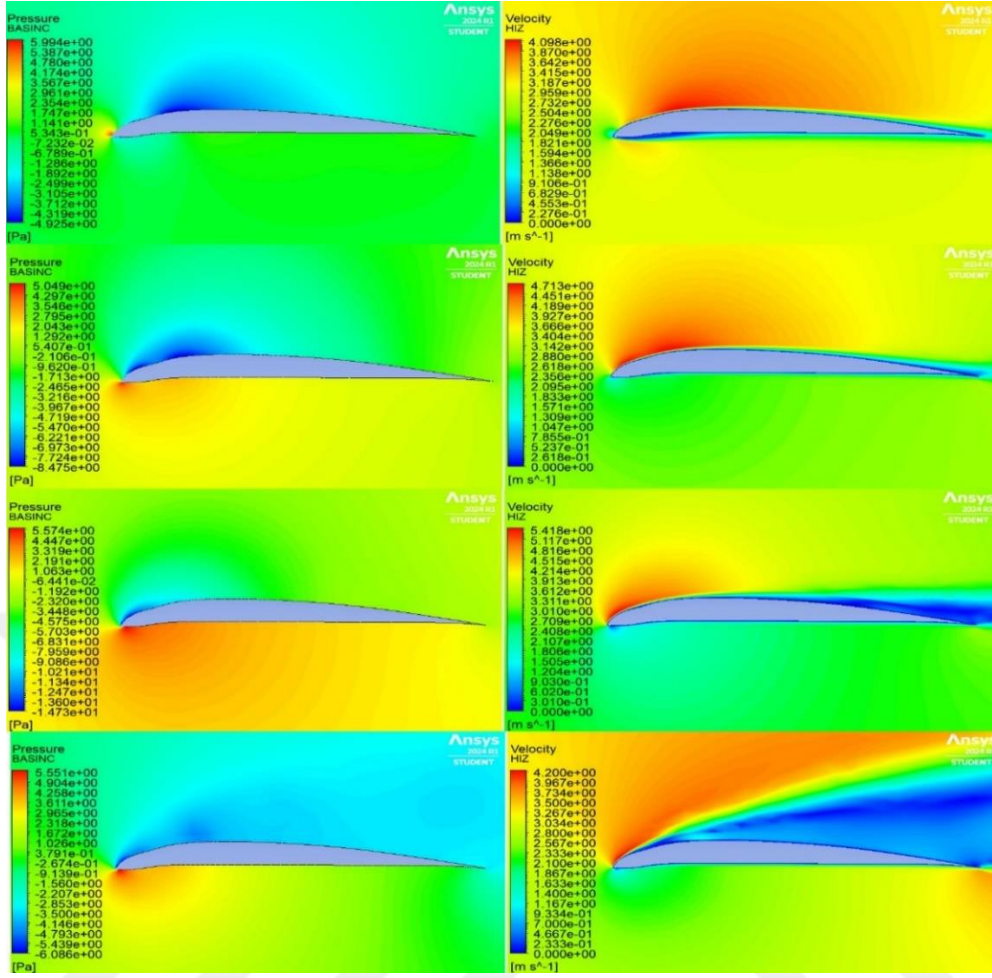
Boundary conditions komutunda velocity inlet bölümünde x ve y bileşenleri için expression editör olarak x-component of flow direction $\cos(\text{angel of attack})$, y-componenet of flow direction $\sin(\text{angel of attack})$ olarak named expression bölümünde yazılan formül çekilmiştir.

SOLIDWORKS programında tasarlanan Altay-0020 D ile Altay-0020 T İHA'ları ilk olarak step formatında ANSYS programına import edilmiştir. Sonuçların ve analizlerin doğru olabilmesi için tasarımlar birçok parça montaj edilmiş şekilde değil de tek katı gövde olarak tasarlanmıştır. Analizler için Enclosure bölümünden silindirik bir rüzgâr tüneli tasarlanmıştır. Tasarlanan rüzgâr tünelinin ölçüleri şekil 5.15'te ölçüler A1, A2, A3 ve R3 olarak verilmiştir. Bu isimlendirilen harflerin ölçüleri şu şekildedir; Silindir çapı R3 1 000 mm, silindirin baştan başa uzunluğu A1 3 000 mm, İHA' nın kuyruğundan silindir ucu (hava girişi) mesafesi A2 2 000 mm, İHA' nın kuyruğundan silindir ucu (hava çıkışı) A3 1 000 mm ölçülerinde tasarlanmıştır. Tünelin içine yerleştirilen İHA'lar Boolean komutuyla subtract edilmiştir. Sınır koşulları şekil 5.16'da gösterildiği gibi tünelin bir tarafı giriş (inlet), diğer tarafı çıkış (outlet), tüneli boyu (wall), İHA gövdesi Altay-0020 D ve T olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.17. Altay-0020 D ve Altay-0020 T İHA'larına Uygulanan Mesh yapısı

Her iki İHA da tünel içinde 501 980 ağ sayısından meydana gelmektedir. Ekler bölümündeki şekil C.3'te İHA'lara uygulanan mesh ağlarının düzenli olduğu ve ağlarda kopmaların meydana gelmediği görülmektedir. Solution aşamasında viskoz model olarak k-omega SST modeli kullanılmıştır. Akışkan olarak kullanılan hava özellikleri $\rho = 1,225$ (kg/m³), $\mu = 1,5111E-05$ (kg/(m/s)). İHA'lar geometri sekmesinde tüm açı değerlerine göre konumlandırılmıştır. Named expressions bölümünde sadece 0° denklemi yazılmıştır.

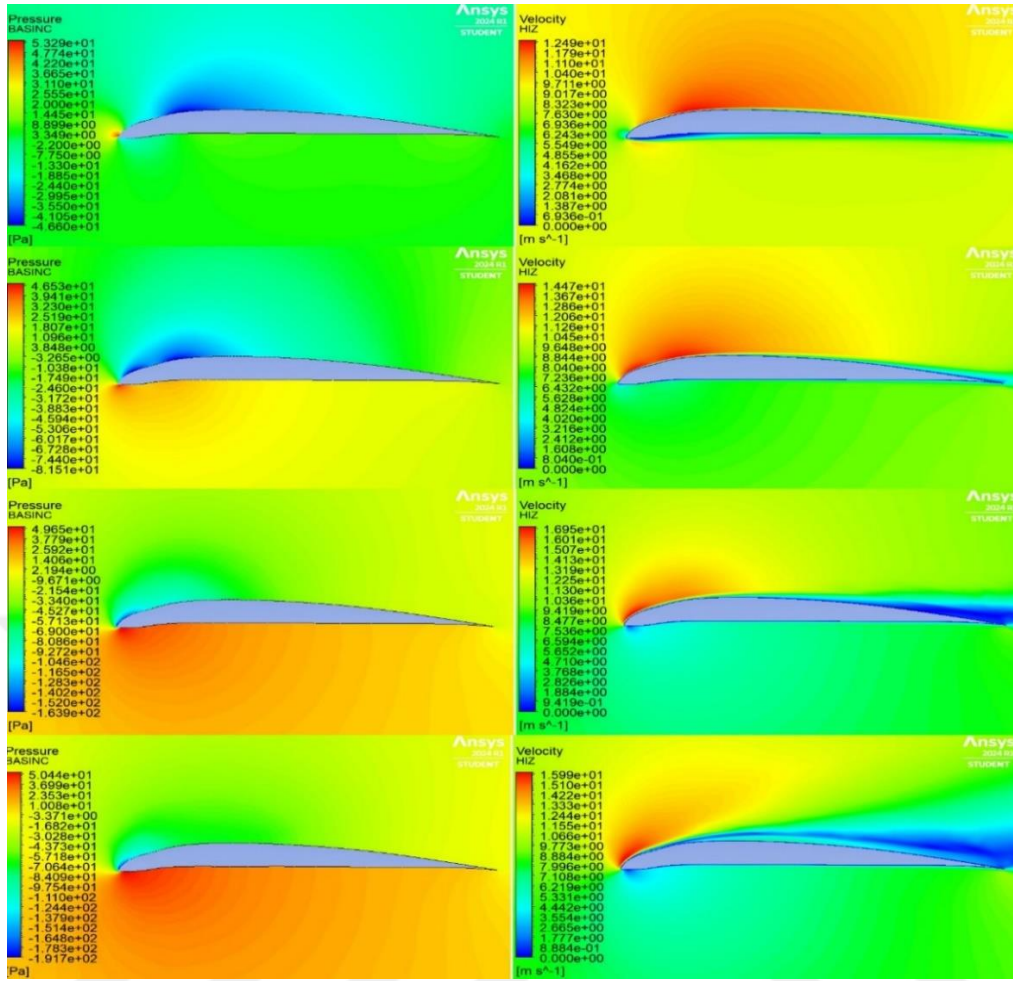


Şekil 5.18. ALTAY kanadı $Re\ 5 \times 10^4$ sırasıyla 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarında basınç ve hız değerleri

Şekil 5.17’de ALTAY kanadının $Re\ 5 \times 10^4$ sayısında rüzgâr tüneline akış 3.1 (m/s) hızında giriş yapmaktadır. Yukarıdan aşağıya doğru 0° ; 5° ; 10° ve 15° olarak dört farklı açıdaki kanat üzerinde meydana gelen basınç (Pa) ve hız (m/s) değerleri gösterilmektedir. $Re\ 5 \times 10^4$ sayısında Kanat üzerinde maksimum 5,994 (pa), minimum -8,475 (pa) basınç ve maksimum 5,418 (m/s), minimum 0-0,23 (m/s) hız meydana gelmektedir. Çizelge 5.3’te dört farklı hücum açısı içinde ALTAY kanadının $Re\ 5 \times 10^4$ sayısında C_L ve C_D değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.3. ALTAY $Re\ 5 \times 10^4$ farklı hücum açılarındaki C_L ve C_D değerleri

Hücum açısı	ALTAY 5×10^4 Re (200mm)	
	C_L	C_D
0	0,1659	0,0091
5	0,3491	0,0102
10	0,4335	0,0223
15	0,3197	0,0732

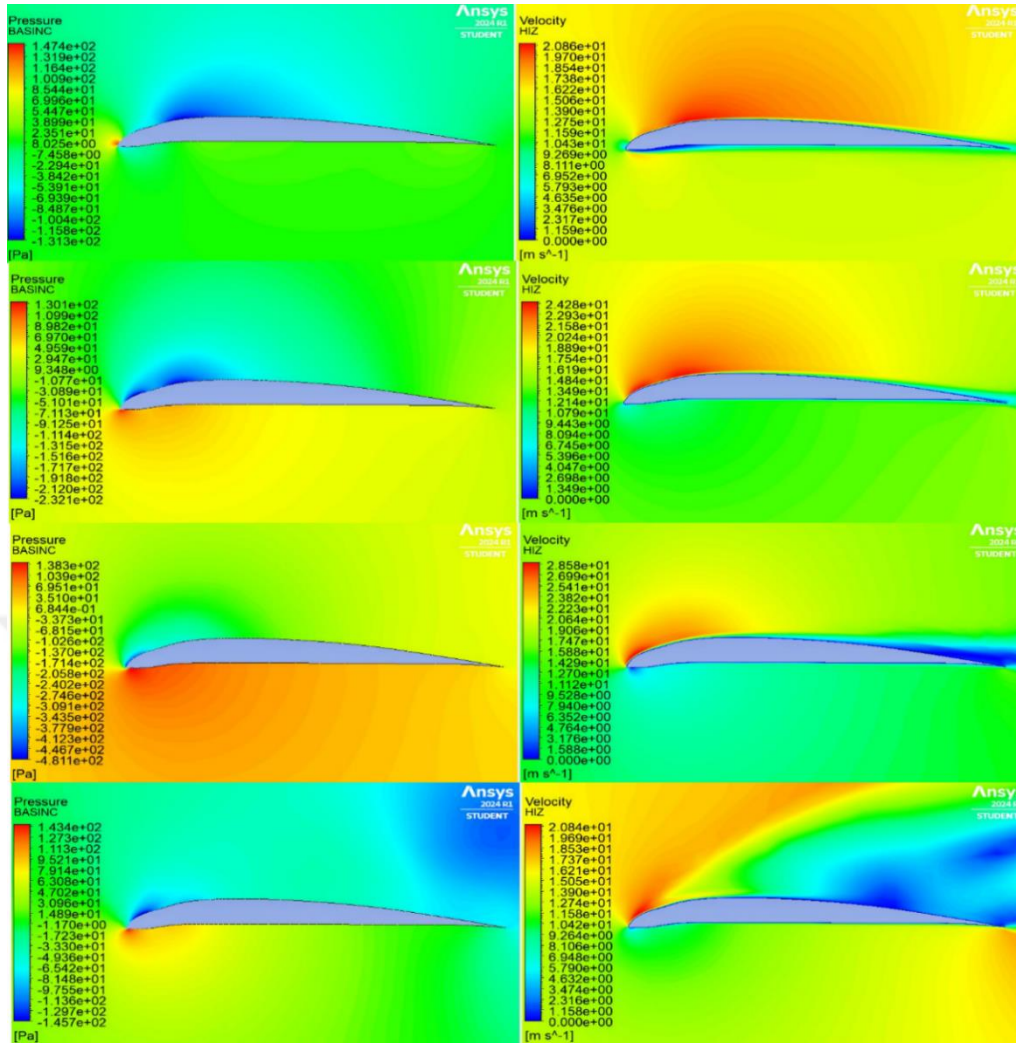


Şekil 5.19. ALTAY kanadı $Re\ 15 \times 10^4$ sırasıyla 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarında basınç ve hız değerleri

Şekil 5.18’de yukarıdan aşağıya doğru $Re\ 15 \times 10^4$ sayısında sırasıyla 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarında basınç ve hız değerleri gösterilmektedir. Akışın tünele giriş hızı 9,3 (m/s)’dir. Kanatta maksimum 53,29 (pa), minimum -191,7 (pa) basınç ve maksimum 16,95 (m/s), minimum 0-0,942 (m/s) hız meydana gelmektedir. Kanatların üst ve alt bölgesindeki basınç dağılımı dengeli oldukça hız dağılımında kanat etrafında dengeli olduğu görülmektedir. Çizelge 5.4’te dört farklı hücum açısı içinde ALTAY kanadının $Re\ 15 \times 10^4$ sayısında C_L ve C_D değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.4. ALTAY $Re\ 15 \times 10^4$ farklı hücum açılarındaki C_L ve C_D değerleri

Hücum açısı	ALTAY $15 \times 10^4\ Re\ (200mm)$	
	C_L	C_D
0	1,5950	0,0659
5	3,3007	0,0724
10	4,1768	0,1616
15	4,5919	0,6241

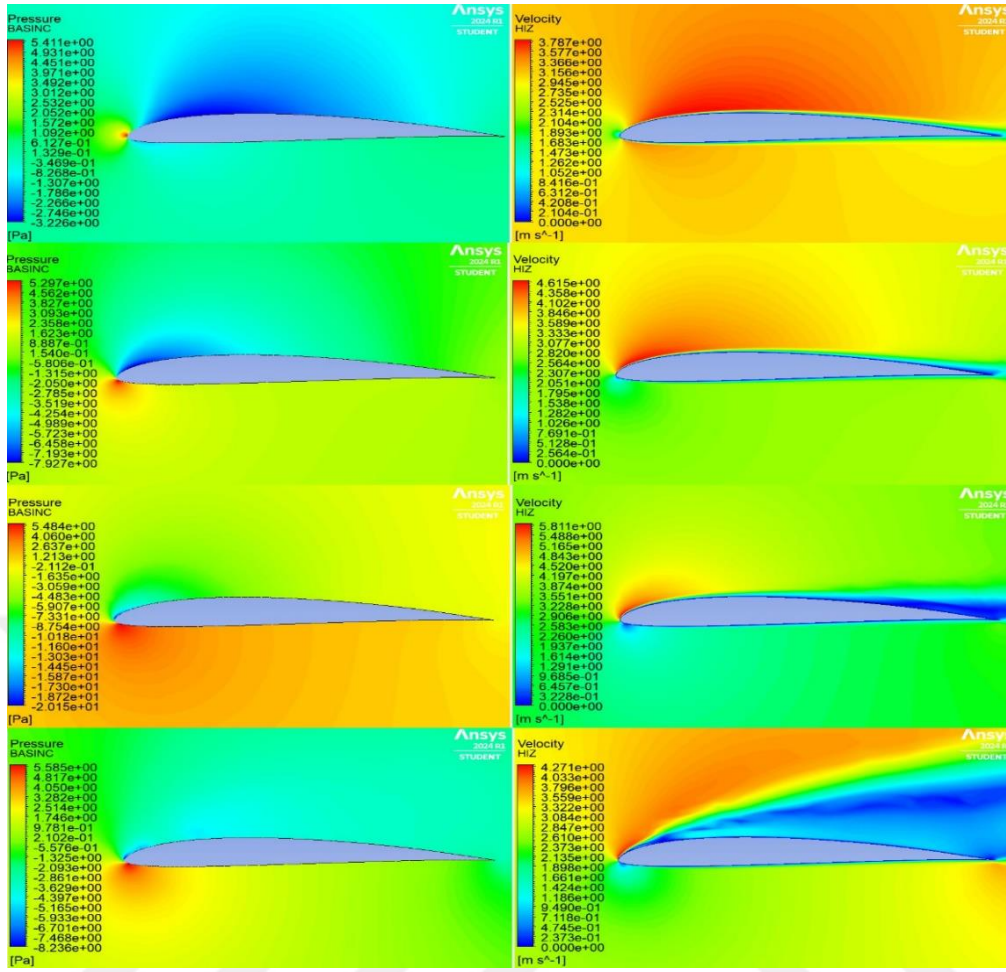


Şekil 5.20. ALTAY kanadı $Re\ 25 \times 10^4$ sırasıyla 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarında basınç ve hız değerleri

Şekil 5.19’da yukarıdan aşağıya doğru $Re\ 25 \times 10^4$ sayısında 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarında basınç ve hız değerleri gösterilmektedir. Rüzgâr tüneline akış 15,5 (m/s) giriş yapmaktadır. Kanatta maksimum 147,40 (pa), minimum -481 (pa) basınç ve maksimum 28,58 (m/s), minimum 0- 1,158 (m/s) hız meydana gelmektedir. Çizelge 5.5’te dört farklı hücum açısı içinde ALTAY kanadının $Re\ 25 \times 10^4$ sayısında C_L ve C_D değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.5. ALTAY $Re\ 25 \times 10^4$ farklı hücum açılarındaki C_L ve C_D değerleri

Hücum açısı	ALTAY $25 \times 10^4\ Re\ (200mm)$	
	C_L	C_D
0	4,4944	0,1715
5	9,3052	0,1840
10	11,847	0,4245
15	6,3105	1,9371

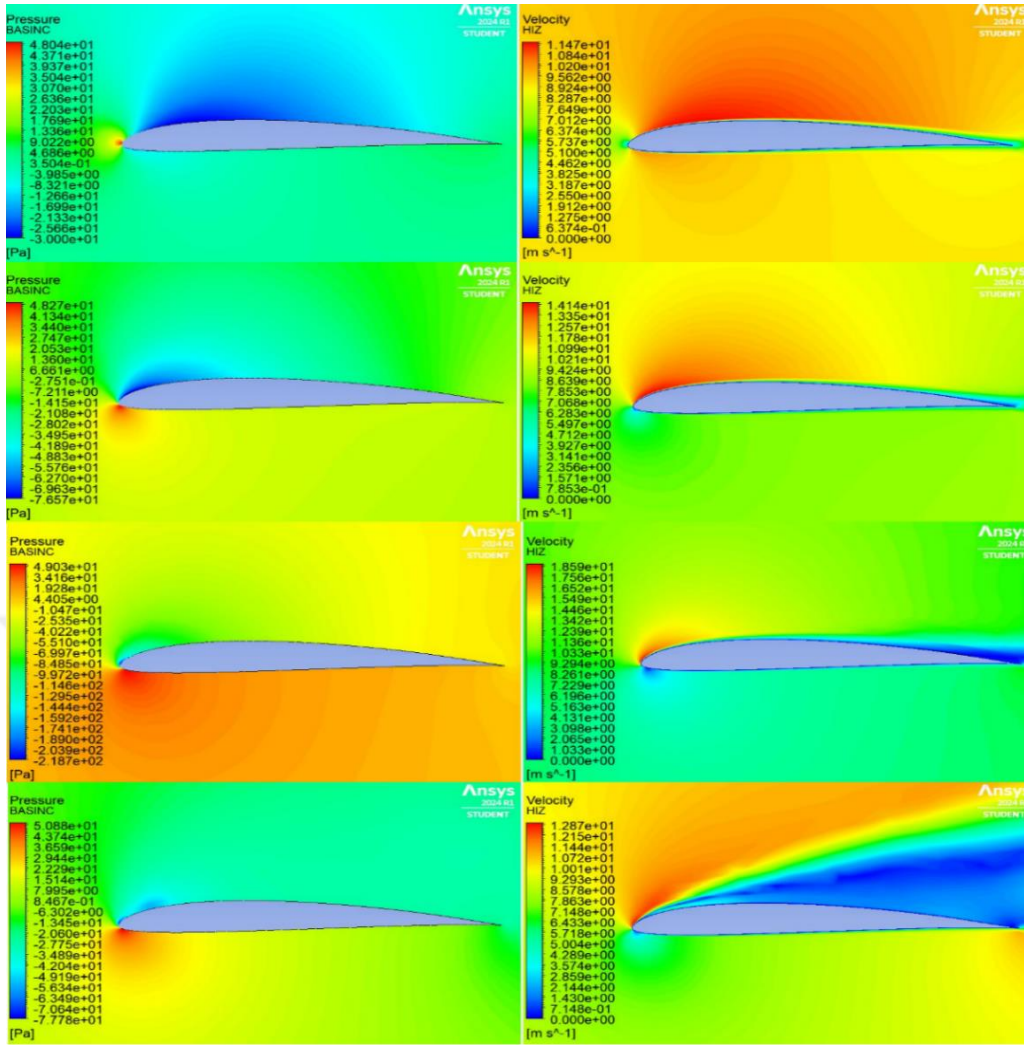


Şekil 5.21. SD-7037 kanadı $Re\ 5 \times 10^4$ sırasıyla 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarında basınç ve hız değerleri

Şekil 5.20’de SD-7037 kanadının $Re\ 5 \times 10^4$ sayısında rüzgâr tüneline akış 3.1 (m/s) hızında giriş yapmaktadır. Yukarıdan aşağıya doğru 0° ; 5° ; 10° ve 15° olarak hücum açılarında kanat üzerinde meydana gelen basınç (Pa) ve hız (m/s) değerleri gösterilmektedir. $Re\ 5 \times 10^4$ sayısında Kanat üzerinde maksimum 5,67 (pa), minimum-20,15 (pa) basınç ve maksimum 5,81 (m/s), minimum 0-0,32 (m/s) hız meydana gelmektedir. Çizelge 5.6’da dört farklı hücum açısı içinde SD-7037 kanadının $Re\ 5 \times 10^4$ sayısında C_L ve C_D değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.6. SD-7037 $Re\ 5 \times 10^4$ farklı hücum açılarındaki C_L ve C_D değerleri

Hücum açısı	SD-7037 $5 \times 10^4\ Re\ (200mm)$	
	C_L	C_D
0	0,1068	0,0072
5	0,2839	0,0093
10	0,3924	0,0186
15	0,2918	0,0698

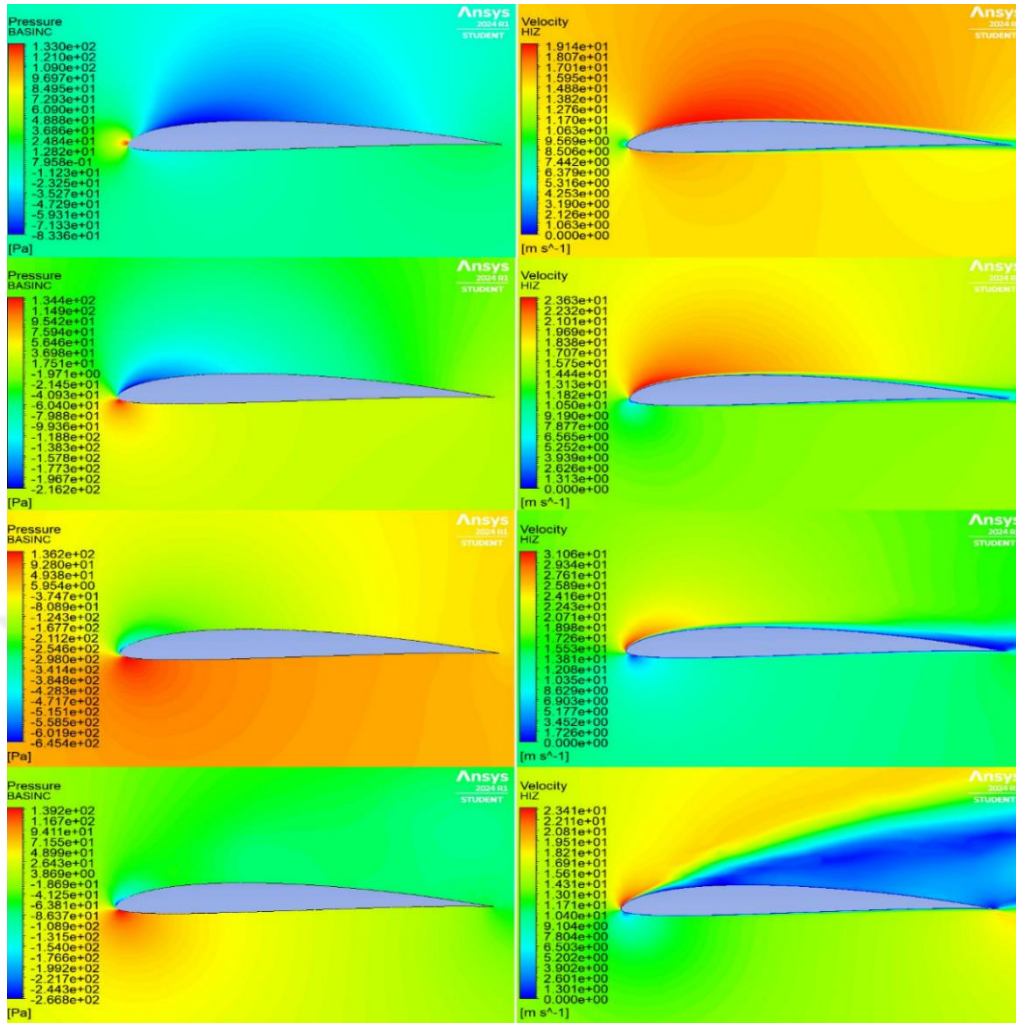


Şekil 5.22. SD-7037 kanadı $Re\ 15 \times 10^4$ sırasıyla 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarında basınç ve hız değerleri

Şekil 5.21’de SD-7037 kanadının üzerinde yukarıdan aşağıya doğru 0° ; 5° ; 10° ve 15° olarak hücum açılarında kanat üzerinde meydana gelen basınç (Pa) ve hız (m/s) değerleri gösterilmektedir. Kanat üzerinde maksimum 49,62 (pa), minimum -218,27 (pa) basınç ve maksimum 18,60 (m/s), minimum 0-1,033 (m/s) hız meydana gelir. Çizelge 5.7’de dört farklı hücum açısı içinde SD-7037 kanadının $Re\ 15 \times 10^4$ sayısında C_L ve C_D değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.7. SD-7037 $Re\ 15 \times 10^4$ farklı hücum açılarındaki C_L ve C_D değerleri

Hücum açısı	SD-7037 15×10^4 Re (200mm)	
	C_L	C_D
0	1,0337	0,0497
5	2,6983	0,0651
10	3,8405	0,1374
15	2,4900	0,5856



Şekil 5.23. SD-7037 kanadı $Re\ 25 \times 10^4$ sırasıyla 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarında basınç ve hız değerleri

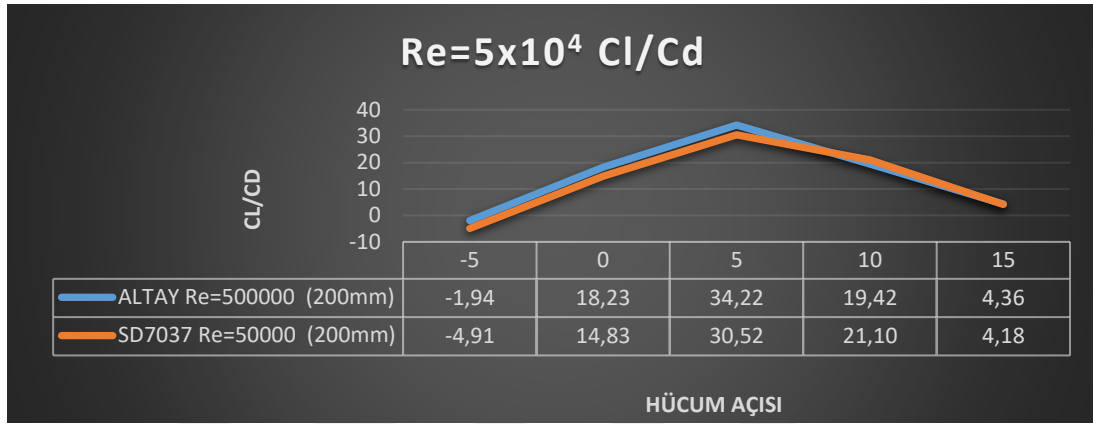
Şekil 5.22’de SD-7037 kanadının üzerinde yukarıdan aşağıya doğru 0° ; 5° ; 10° ve 15° olarak hücum açılarında kanat üzerinde meydana gelen basınç (Pa) ve hız (m/s) olarak değerleri gösterilmektedir. Kanat üzerinde maksimum 136,60 (pa), minimum -645 (pa) basınç ve maksimum 31,06 (m/s), minimum 0-1,726 (m/s) hız meydana gelir. Çizelge 5.8’de dört farklı hücum açısı içinde SD-7037 kanadının $Re\ 25 \times 10^4$ sayısında C_L ve C_D değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.8. SD-7037 $Re\ 25 \times 10^4$ farklı hücum açılarındaki C_L ve C_D değerleri

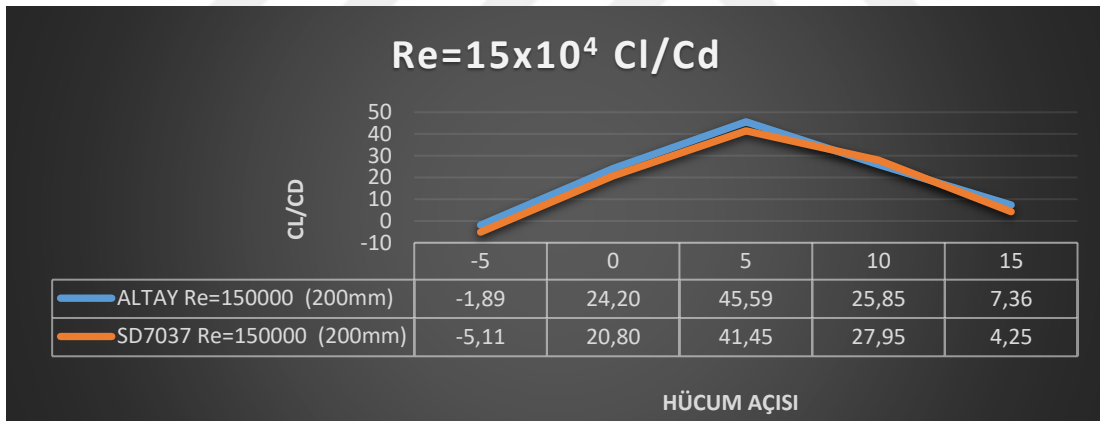
Hücum açısı	SD-7037 $25 \times 10^4\ Re\ (200mm)$	
	C_L	C_D
0	2,9198	0,1258
5	7,5891	0,1685
10	10,901	0,3614
15	6,9351	1,6416

Çizelge 5.9, çizelge 5.10 ve çizelge 5.11’ de ALTAY ile SD-7037 kanatlarının sırasıyla $Re\ 5 \times 10^4$, $Re\ 15 \times 10^4$ ve $Re\ 25 \times 10^4$ beş farklı açıdaki grafiği verilmiştir. Grafiğe göre her iki kanadında -5° hücum açısında negatif değerde başlayıp 5° hücum açısına kadar artışta olduğu ve bu açıdan sonra düşüşe geçtiği görülmektedir.

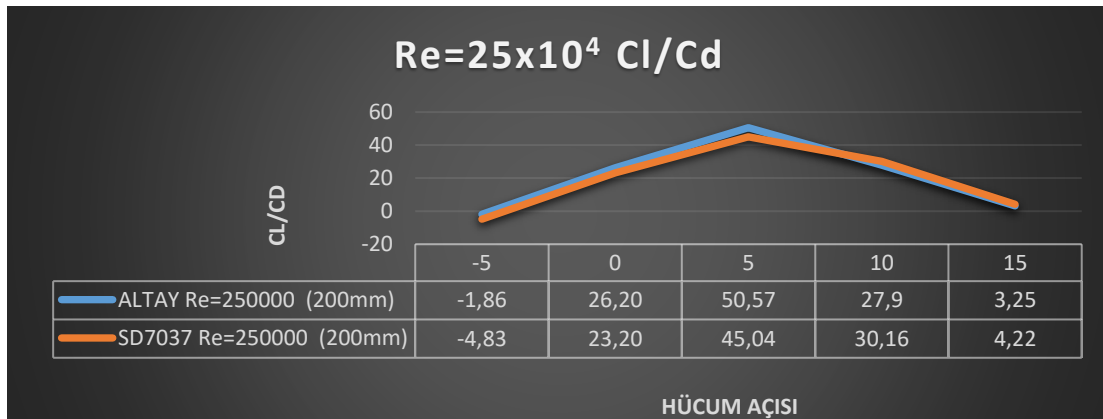
Çizelge 5.9. ALTAY ile SD-7037 kanatlarının $Re\ 5 \times 10^4$ beş farklı açıda C_L/C_D değerleri



Çizelge 5.10. ALTAY ile SD-7037 kanatlarının $Re\ 15 \times 10^4$ beş farklı açıda C_L/C_D değerleri

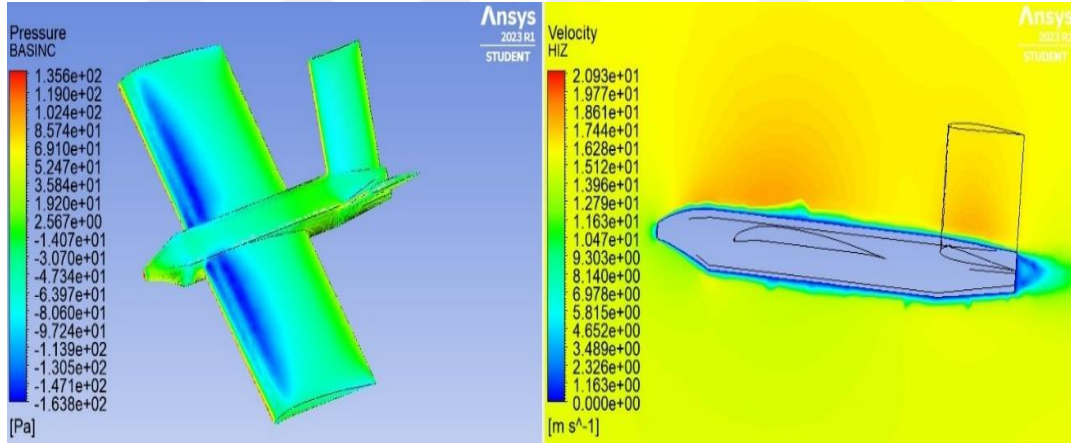


Çizelge 5.11. ALTAY ile SD-7037 kanatlarının $Re\ 25 \times 10^4$ altı farklı açıda C_L/C_D değerleri



Kanadın 0° hücum açısında en yüksek basıncı havanın kanatla ilk temas ettiği kanadın uç üst bölgesinde, kanadın alt bölgesinde üst bölgesine göre fazla bir basınç dağılımı vardır. 0° 'den 5° 'ye doğru kanadın altında basıncın yayılarak arttığı ve kanadın üstünün basınç azalarak devam etmektedir. En yüksek hız 5° hücum açısında kanadın üst bölgesinde meydana gelmektedir. Kanadın alt bölgesinde -5° hücum açısında boydan boya 0,3 (m/s) olduğu için basıncın gereğinden fazla artmasına sebep olarak hızlıca irtifa kaybetmesine sebep olabilir. 10° 'de kanat hava hızında düzensizlik yaşanmaya başlamış ve 15° kanadın üst bölgesinde daha da artmaya devam etmiştir. Kanadın üstünde negatif basınç olduğunu göstermektedir. Kanadın 10° 'den 15° 'ye doğru üst bölgesinde hız tamamen azalmakta ve kanatta türbülans meydana geldiği ve irtifa kaybedeceği anlamına gelmektedir.

ALTAY ve SD-7037 kanatlarında meydana gelen basınç ve hız parametrelerinin kanat üzerinde oluşturduğu C_L ve C_D değerleri (Bkz. çizelge 5.3.) ile (Bkz. çizelge 5.8.) arasında ve ekler B bölümündeki çizelgelere göre -5° hücum açısında C_L değeri negatif 0° hücum açısında pozitif değere çıkmaktadır. C_L değeri 0° 'dan 10° hücum açısına kadar artmakta 10° 'den sonra düşmeye başlamaktadır. C_D değeri ise 0° 'dan 15° hücum açısına doğru hep artış göstermektedir. C_D değeri 5° hücum açısından sonra daha fazla artış göstermektedir.



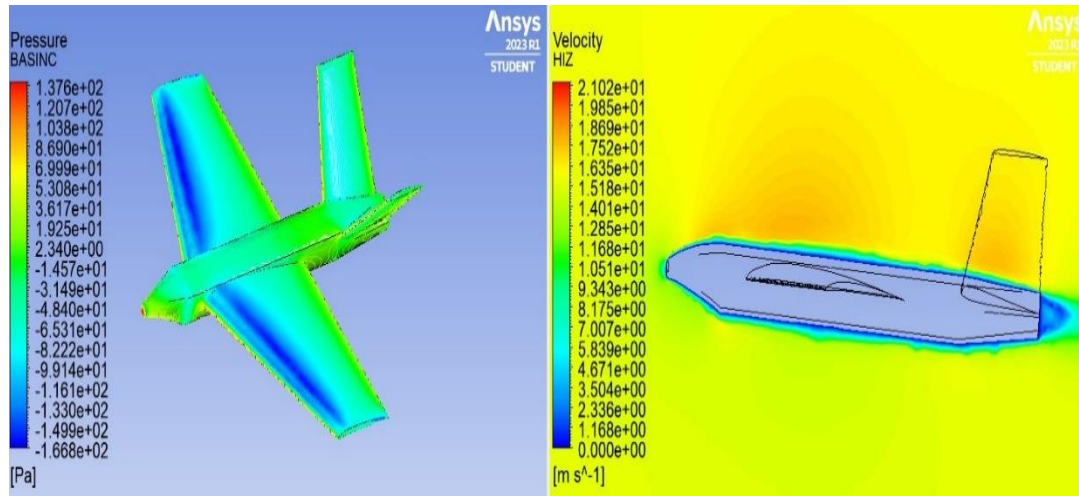
Şekil 5.24. Altay-0020 D kanadı 15,5 m/s akış giriş hızında 5° 'de basınç ve hız değerleri

ALTAY ve SD7037 kanadında yapılan analiz ve çalışmalarda her iki kanadında en iyi sonuçları 5° hücum açısında meydana geldiğinden dolayı şekil 5.23'te Altay-0020 D İHA'sının üzerinde 15,5 m/s akış giriş hızında, 5° 'de hücum açısında meydana gelen basınç (Pa) ve hız (m/s) olarak değerleri gösterilmektedir. Hava aracı üzerinde maksimum 135,60 (pa), minimum -163,8 (pa) basınç ve maksimum 20,93 (m/s), minimum 0-1,163 (m/s) hız meydana gelmektedir.

Çizelge 5.12’de dört farklı hücum açısı içinde Altay-0020 D İHA’sının akış giriş hızının 15,5 m/s olduğu dört farklı hücum açısındaki C_L ve C_D değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.12. Altay-0020 D 5° hücum açısındaki C_L ve C_D değerleri

Hücum açısı	ALTAY-0020 D 15,5 m/s	
	C_L	C_D
0	6,19	0,8162
5	13,11	1,3232
10	19,9	2,5023
15	25,681	4,2132



Şekil 5.25. Altay-0020 T kanadı 15,5 m/s akış giriş hızında 5°’de basınç ve hız değerleri

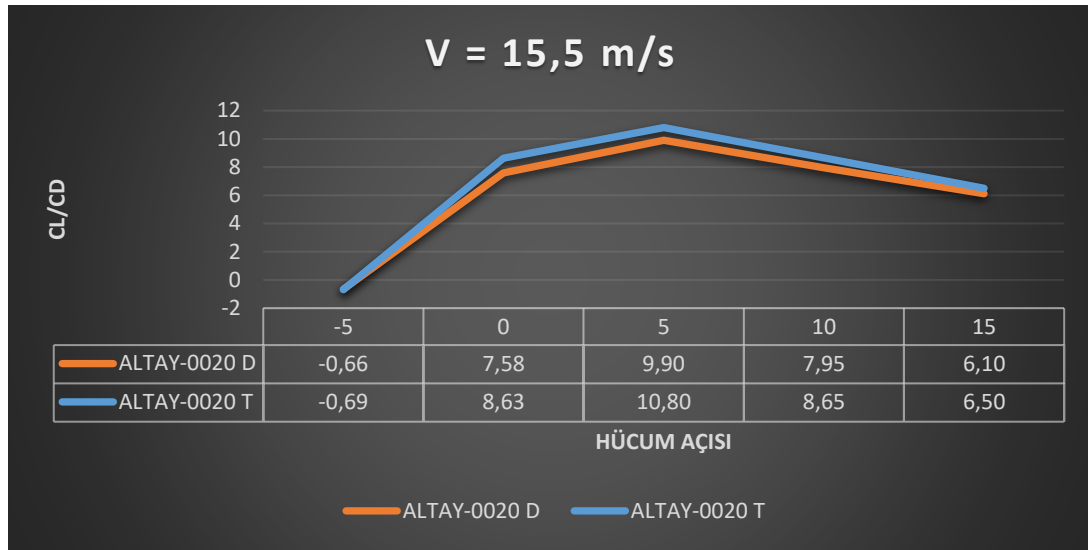
Şekil 5.24’te Altay-0020 T İHA’sında 15,5 m/s akış giriş hızında 5°’de hücum açısındaki meydana gelen basınç (Pa) ve hız (m/s) olarak değerleri gösterilmektedir. Hava aracı üzerinde maksimum 137,60 (pa), minimum -166,8 (pa) basınç ve maksimum 21,02 (m/s), minimum 0-1,168 (m/s) hız meydana gelmektedir. Çizelge 5.13’te dört farklı hücum açısı içinde Altay-0020 D İHA’sının akış giriş hızının 15,5 m/s olduğu dört farklı hücum açısındaki C_L ve C_D değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.13. Altay-0020 T 5° hücum açısındaki C_L ve C_D değerleri

Hücum açısı	Altay-0020 T 15,5 m/s	
	C_L	C_D
0	5,3993	0,6312
5	11,261	1,0416
10	16,819	1,9478
15	21,132	3,2488

Altay-0020 D ve Altay-0020 T İHA'ların da meydana gelen basınç ve hız parametrelerinin İHA üzerinde elde edilen verilere göre C_L değeri ile C_D değeri de 0° 'dan 15° hücum açısına doğru artış göstermekte ama C_L değeri daha fazla ölçüde artmaktadır. Altay-0020 D'nin Altay-0020 T'ye göre C_L değerinin daha çok arttığı ama C_D değerinin de aynı şekilde Altay-0020 T'ye göre daha fazla arttığı görülmektedir. Düşük Reynolds sayılarında yapılan diğer çalışmalarda da 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarından elde edilen grafikler çizelge 5.14'te ki elde edilen grafik ile benzerlik göstermektedir (Görgülü, Özgür ve Köse, 2021).

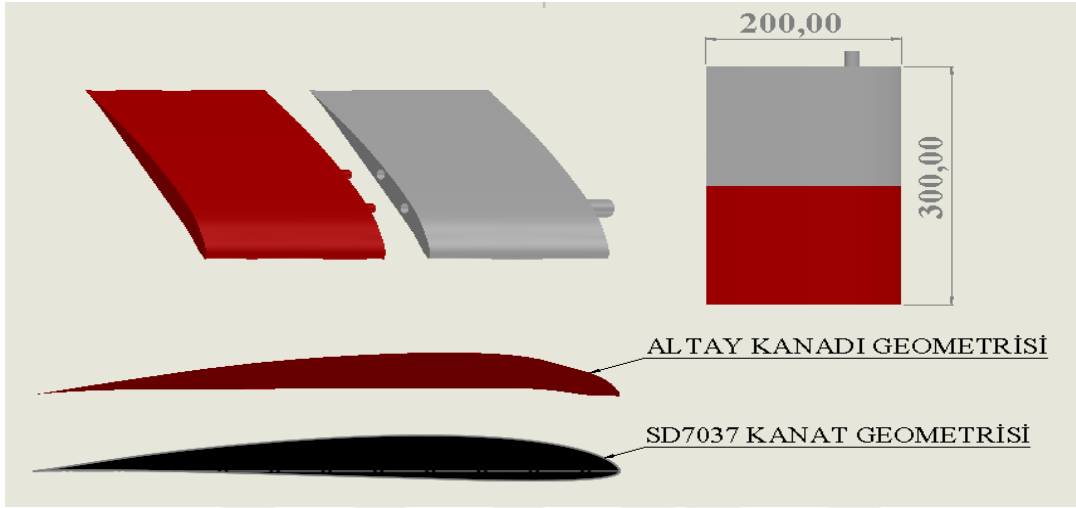
Çizelge 5.14. Altay-0020 D ile Altay-0020 T İHA'larının $15,5 \text{ m/s}$ hızındaki beş farklı açıdaki C_L/C_D değerleri



5.3 SOLİDWORKS Tasarım

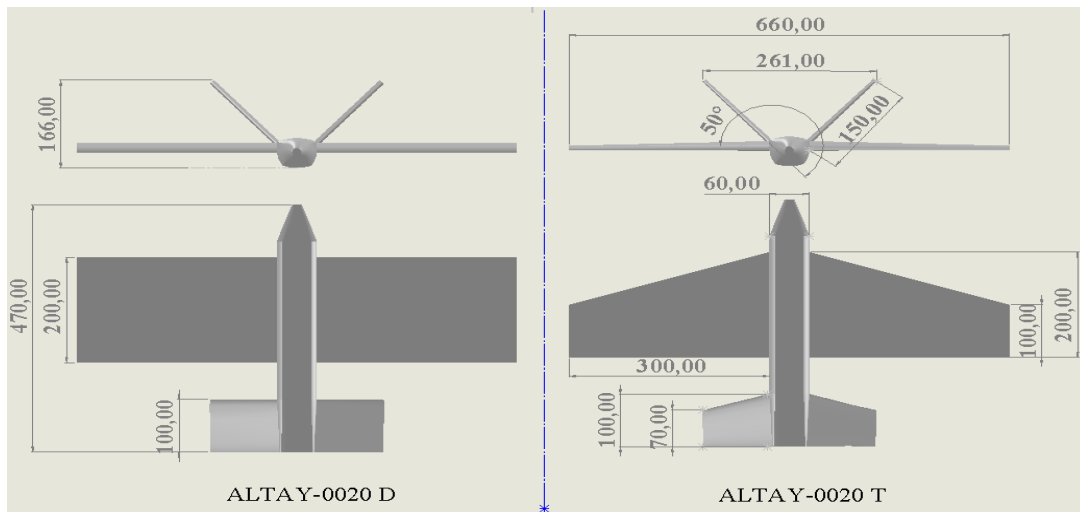
SOLİDWORKS programı oluşturulacak katı modellerin ilk olarak iki boyutlu çizim yapıldığı sonra da biten iki boyutlu çizimlerin üç boyutlu katı modellere dönüştürüldüğü tasarım programıdır. Tasarlanan birçok katı model istenilen ürüne göre montajlanıp akış, mukavemet vb. analizlerde yapılabilmektedir. Bu çalışmada kanatların geometrilerini oluşturduğu 61 noktalık serileri XFLR5 programından SOLİDWORKS programına yüklendi. Yüklenen noktalar excel programında x, y ve z koordinatlarına göre düzenlendikten sonra SOLİDWORKS programında xyz noktalarından geçerek eğri oluştur komutu kullanılarak tasarım programına ön düzleme sketch açılıp chord 200 mm ölçüsüne göre iki boyutlu çizim yapıldıktan sonra 50 mm aralıklarla 3 tane düzlem atanıp her bir düzlemde sırayla sketchler açılıp kanat geometrileri çizilmiştir. Düz (küt) chord uzunluğu 200 mm kanattan sonra şekil 5.25' te Altay-0020 T İHA'sına montajlı bir

şekilde bulunan dik trapez bir kanat tasarımı yapılmıştır. İlk olarak ön düzleme sketch açılıp chord 100 mm çizilip sonra 150 mm ilerisine bir düzlem atanıp bu düzlemde chord 150 mm çizilip en sonunda bir daha 150 mm ilerisine bir düzlem atanıp chord 200 mm olarak çizilmiştir. Bu 150 mm aralıklarla çizilen 3 düzlemdeki çizimler loft komutuyla katı modele dönüştürülmüştür. Katı modele dönüştürülen bütün tasarımlar malzeme olarak termoplastik polimer yapıda olan PLA (Polilaktik Asit) yapısındadır.



Şekil 5.26. ALTAY ve SD-7037 Kanat Geometrileri

ALTAY kanadın da kanatları montaj yapabilmek için şekil 5.25'te görüldüğü gibi kanadın kırmızı bölümüne iki pim ve kanadın beyaz bölümüne de iki pimin tatlı sıkı olarak montaj edilebileceği şekilde iki yuva oluşturulmuştur. Beyaz bölümde kanadın hava aracına montajını sağlayacak ya da laboratuvar gibi ortamlarda test edilebilmesi için servomotor milinin bağlanabileceği bir kaplinli şekilde üretilmiştir.

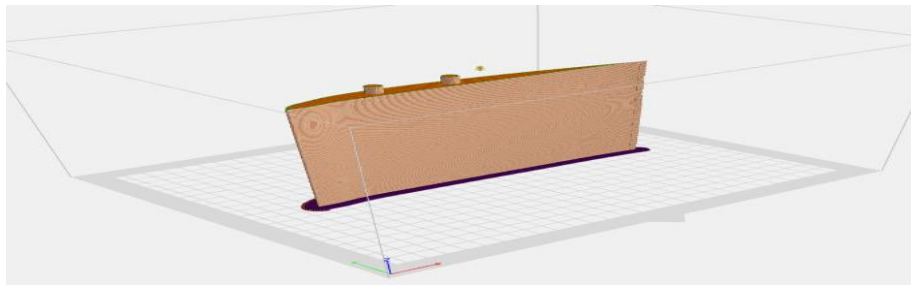


Şekil 5.27. Altay-0020 D ve Altay-0020 T kanat geometrileri

Şekil 5.26'ya göre tasarlanan Altay-0020 D ve Altay-0020 T İHA'larının ölçüleri mm cinsinden gösterilmektedir. İHA'lara bu isimlerin verilmesi ana kanatları ALTAY kanadı ve 20 cm chord mesafesi olmasından kaynaklanmaktadır. D ve T olarak tasarlanmasının sebebi kanatlardaki geometrik olarak düz ve trapez olmasının İHA üzerinde etkilerini görmektir. Tasarımlarda ana kanat olarak ALTAY kanadı, kuyruk kanadı olarak SD7037 kanadı kullanılmıştır. Altay-0020 D İHA'sının ana kanadı 200 mm (chord), 300 mm (span) mesafesinde düz bir ALTAY kanadıdır. Kuyruk kanadı 100 mm (chord), 150 mm (span) mesafesinde düz bir SD7037 kanadıdır. Altay-0020 T İHA'sının ana kanadının uç veter 100 mm (chord), kök veter 200 mm (chord), 300 mm (span) mesafesinde trapez bir ALTAY kanadıdır. Kuyruk kanadı uç veter 70 mm (chord), kök veter 100 mm (chord), 150 mm (span) mesafesinde trapez bir SD7037 kanadıdır. Ana kanatlar İHA'lara (Bkz. Şekil 4.9. (a))'da belirtildiği gibi üstten kanatlı olacak şekilde montajı yapılmıştır. Kanat genişliği 660 mm'dir. Kuyruk kanatları (Bkz. şekil 3.7.)'de gösterilen Bayraktar mini İHA'nın kuyruk yapısından esinlenerek v şeklinde tasarlanmıştır. Analizlerde dikkat çeken bir ayrıntı kuyruk kanadının yatay eksenle açısı arttıkça verimliliği arttığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple kuyruk kanatları yatay eksenle 50° açılı olacak şekilde tasarlanmıştır.

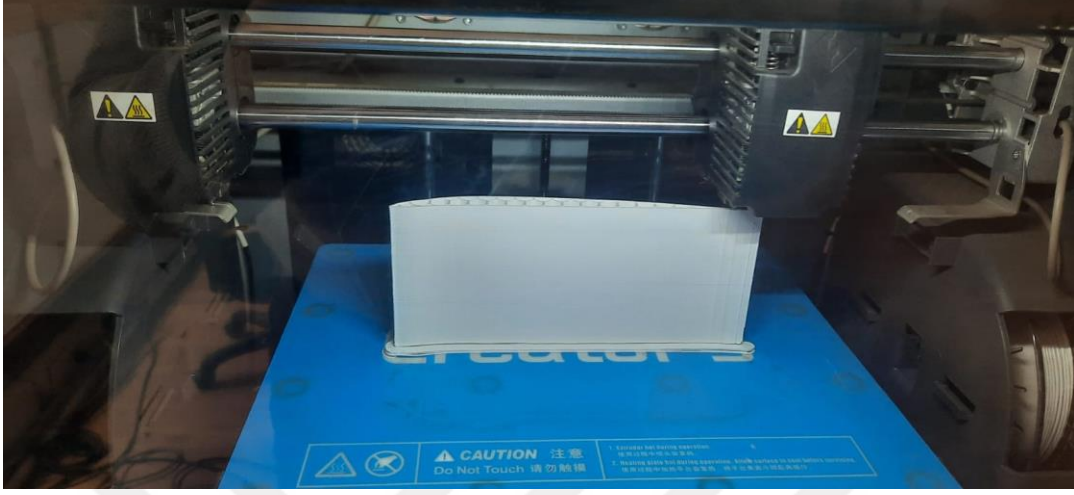
5.4 Kanat Modelleri Üretimi

Kanat modeli üretiminde hızlı ve pratik bir üretim tekniği olan katlamalı imalat yöntemi ile ALTAY kanadının chord (200 mm), span (300 mm), SD-7037 kanadının chord (200 mm), span (30 mm) ölçülerinde üretilmesine karar verilmiştir. Burada önemli olan kanatların chord ölçülerinin aynı olmasıyla gözle bakarak geometrideki farklılıklar görülmesi amaçlanmıştır. SOLIDWORKS programında katı model olarak çizilen kanatlar stl formatında kaydedilerek. Şekil 5.27'de gösterildiği gibi Flashprint programında tablada kanat modeli, tablaya yapışmaması ve destek olması açısından mor renkli olarak gösterilen desteği ile yazdırıldı.



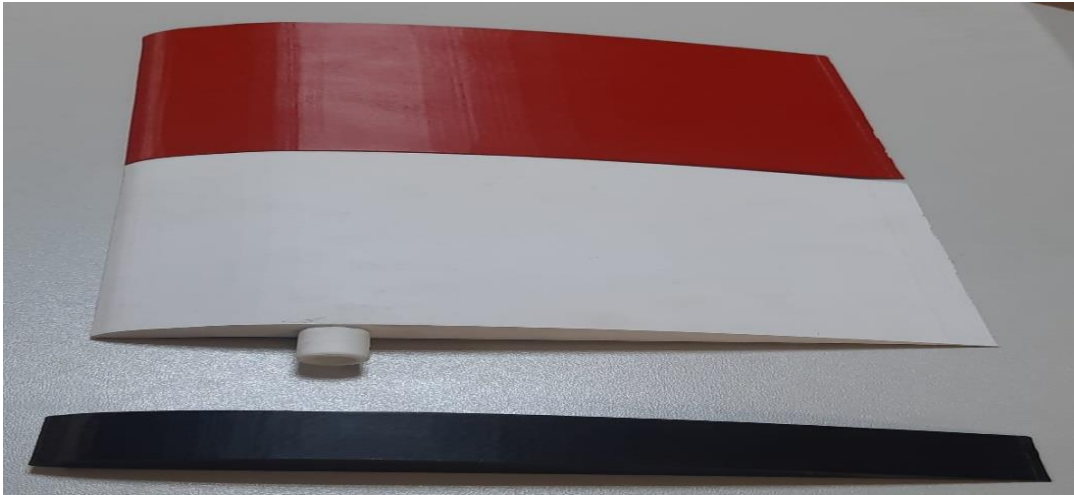
Şekil 5.28. Flashprint 5 tablada kanat modeli

Kanat modellerinin üretildiği üç boyutlu yazıcı şekil 5.28’de gösterilen Creator 3’tür. Creator 3 yazıcısının hacmi 300x250x200 ölçülerindedir. Yazıcıda kullanılan nozul 0.4 mm, extruder sıcaklığı 200 °C ve modelin oluşturulduğu platform sıcaklığı 60 °C’dir.



Şekil 5.29. Katlamalı imalat ile tasarım

Üç boyutlu yazıcıda kanatlar yazdırıldıktan sonra şekil 5.29’da gösterildiği gibi Altay-0020 D ve Altay-0020 T İHA’larının ana kanatları olan ALTAY kanadının yarısı sprey boyalar ile kırmızıya (Ral 3000), diğer yarısı da beyaz renge boyanmıştır. SD-7037 kanadı geometriler arasındaki farkı daha net görebilmek için parlak siyah renk ile boyanmıştır.



Şekil 5.30. Altay-0020 D ve Altay-0020 T İHA’larında kullanılan kanat geometrileri

6. SONUÇ

Yapılan çalışmalar düşük Reynolds sayılarında kanat geometrisinin değişiminin aerodinamik özelliklerden biri olan C_L/C_D sayısının üzerinde meydana gelen etkileri incelemek için üç kanat tipinin (NACA-0012, NACA-4415 ve SD-7037) XFLR5 programında üç farklı Re (5×10^4 , 15×10^4 ve 25×10^4) analizleri sonucu SD7037 kanadının bu çalışma koşullarında daha verimli olduğu tespit edilmiştir.

SD-7037 kanadının verimini bu koşullarda arttırabilmek için sadece geometrisinde değişiklikler yaparak (Bkz. şekil 5.8.)’de ki ALTAY kanadı tasarlanmıştır. ALTAY kanadının tasarımında kanadın üstünde hızı arttırabilmek amacıyla havanın ilk temas ettiği yere yakın kanadın üst bölgesinde ani hava hızı artışı için aerodinamik yapıyı türbülans oluşturmayaacak şekilde bir çukur bölge oluşturulmuştur. Tasarlanan ALTAY kanadının SD-7037 kanadına göre XFLR5 programında analiz sonuçları (Bkz. şekil 5.9.)’da görüldüğü gibi Re 5×10^4 ve 15×10^4 sayılarında daha verimli olduğu görülmektedir. Re 25×10^4 sayısında ise SD-7037 kanadının daha verimli olduğu görülmektedir. XFLR5 programından elde edilen bu sonuçlara göre Re sayısı arttıkça SD-7037 kanadı ALTAY kanadına göre verimliliği daha fazla bir artış göstermektedir. ALTAY kanadı SD7037 kanadına göre %1,7 daha ince ve %2,07 oranında daha kambur bir özelliğe sahiptir.

ANSYS programında ALTAY ile SD-7037 kanatlarının Re (5×10^4 , 15×10^4 ve 25×10^4) sayılarında chord 200 mm ölçülerinde (Bkz. çizelge 5.9, çizelge 5.10 ve çizelge 5.11)’de -5° ; 0° ; 5° ; ve 15° hücum açıları ALTAY kanadının C_L/C_D değerinin SD-7037 kanadına göre daha iyi değerlerde olduğu, 10° hücum açısında ise SD7037 kanadının daha iyi değerlerde olduğu tespit edilmiştir. SD-7037 kanadı 10° hücum açısı harici Re 25×10^4 sayında 15° hücum açısında da az da olsa daha iyi değere sahiptir. Kanatlar üzerinde irtifa sağlayacak olan en verimli hücum açısı 5° tespit edilmiştir. Yapılan analiz çalışmalarında yalnızca XFLR5 programında Re 50 000 sayısında $6,5^\circ$ hücum açısı en verimli olduğu tespit edilmiştir. Hem ANSYS hem de XFLR5 programında ALTAY kanadının daha verimli C_L/C_D kaldırma oranına sahip olduğu için kanadın geometrisinin

incelmesi, kamburlaşması ve aerodinamiği etkilemeyecek şekilde kanadın üstünde hızı arttırıp basınç düşüşünü sağlamak kanatta kaldırma oranında verimi arttırmaktadır.

XFLR5 programı ile ANSYS programı sonuçları karşılaştırıldığında XFLR5 programındaki sonuçlar maksimum 83 C_L/C_D değerine çıkarken, ANSYS'teki sonuçlar ise 50,57 C_L/C_D değerine kadar çıkmıştır. XFLR5 programında SD-7037 kanadı, ALTAY kanadına göre $Re\ 25 \times 10^4$ sayısında C_L/C_D değerinde daha fazla bir değere ulaşmıştır.

ANSYS programında $Re\ 25 \times 10^4$ sayısında maksimum değer elde edildiği 5° hücum açısında SD7037 kanadı, ALTAY kanadının C_L/C_D değerinden daha düşük değerlerdedir.

Kanatlara yapılan hava hızı değerlerinde en iyi sonucu veren $Re\ 25 \times 10^4$ sahip 15,5 m/s hava hızıyla düz küt kanatlı tasarlanan Altay-0020 D ile dik trapez kanatlı tasarlanan Altay-0020 T İHA'sı -5° ; 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarında çizelge 5.14'te ki C_L ve C_D değerleri incelendiğinde -5° hücum açısında Altay-0020 D'nin 0,03 değeri gibi çok küçük bir değerle Altay-0020 T'den daha iyi sonuç vermiştir. Altay-0020 T ise 0° ; 5° ; 10° ve 15° dört farklı hücum açısında da Altay-0020 D' den daha iyi sonuçlar vermiştir. En fazla C_L/C_D sonuç farkının verdiği hücum açısı değeri 5° hücum açısında 0,90 C_L/C_D farkla Altay-0020 T dik trapez İHA'sının Altay-0020 D düz küt kanatlı tasarlanan İHA'sına göre aynı hava koşullarında hava aracını daha iyi kaldırma oranına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Ekler bölümünde bulunan Şekil C1'deki Altay-0020 D İHA'sı ile Şekil C2'deki Altay-0020 T İHA'sının 15,5 m/s akış giriş hızında meydana gelen basınç ve hız dağılımında en iyi C_L/C_D değerinin yakalandığı 5° hücum açısı incelendiğinde; Dik trapez kanatlı İHA'nın, düz (küt) kanatlı İHA'ya göre kanadın üzerindeki düşük basıncı kanadın ucuna kadar sürdürebilmesi, Bu iki İHA içinde maksimum C_L/C_D değerinin en iyi Dik trapez kanatlı İHA da ve 5° hücum açısında meydana gelmesinde de etkisi bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Adam A., Sezer-Uzol N., Ertem S & Ayan E.** (2020). Farklı Kanat /Gövde Konfigürasyonlarının Panel Metodu ile Aerodinamik İncelenmesi, Mühendis ve Makina Guncel, Kasım 2020.
- Akdemir A.** (2021). *Biyomimetik tabanlı uçak kanadı tasarımı* (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Akyürek S.** (2012). “İnsansız Hava Araçları Muharebe Alanında ve Terörle Mücadelede Devrimsel Dönüşüm”, Bilge Adamlar Stratejik Araştırma Merkezi Raporu, Rapor No:53, İstanbul.
- Aşıcı V.** (2019). *İnsansız hava araçlarının kontrolüne yönelik olarak sentetik jet kullanımının kanat üzerindeki akışa etkisinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çaldır, T. B.** (2017). *İnsansız hava araçları için performans ve verim artırılmasına yönelik deneysel çalışma* (Yüksek lisans tezi). Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.
- Çengel, Y.A. ve Cimbala, J.M.** (2006). *Akışkanlar Mekaniği: Temeller ve Uygulamalar*. McGraw-Hill Bilim/Mühendislik/Matematik.
- Çoban, B.A.** (2016). *İnsansız hava araçlarında kullanılan kanatçıkların sayısal incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Demir, H.H.** (2021). *Doğadaki canlılardan esinlenilerek aerodinamiği iyileştirilmiş kanat yapısının insansız hava araçlarında kullanımı* (Yüksek lisans tezi). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Dilmaç E.** (2019). *Naca-4415 rüzgâr türbini kanat profilinde firar kenarı etkisinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Durhasan, T.** (2019). Naca 0015 kanat profilinin etrafındaki akışın firar kenarından akış emme ile kontrol edilmesi. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi* 6. Cilt- Prof. Dr. Fuat SEZGİN Bilim Yılı Özel Sayısı, 153-160, 2019.
- Genç M., Özışık G. & Kahraman, N.** (2008). Düz Flaplı Naca0012 Kanat Profilinin Aerodinamik Performansının İncelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28, 1, 1-8, 2008.
- Görgülü, Y. F., Özgür, M. A., & Köse, R.** (2021). NACA 0009 profilili bir kanadın düşük bir Reynolds sayısında had analizi. *Politeknik Dergisi*, 24(3), 1237–1242. <https://doi.org/10.2339/politeknik.877391>

- İlhan Y.** (2022). *Sabit kanatlı insansız hava araçlarında kanat uç vortekslerin aerodinamik kuvvetlere etkisi* (Yüksek lisans tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Kahveci M. ve Can N.** (2017). İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki Yasal Durumu”, *Selçuklu Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5, 511-535.
- Kaynak B.** (2022). *Sabit kanatlı insansız hava aracında kanat geometri optimizasyonunun performansa etkisi* (Yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Korchenko, A.G. ve Illyash, O.S.** (2013). “The Generalized Classification of Unmanned Air Vehicles”. *IEEE 2nd International Conference “Actual Problems of Unmanned Air Vehicles Developments” Proceedings* pp.28-34.
- Korkmaz Y., İyibilgin O., & Fındık F.** (2016). Geçmişten Günümüze İnsansız Hava Araçlarının Gelişimi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 20(2), 103-109.
- Özüdoğru F.** (2023). Drone Yapımı ve Kodlama Eğitimi. *Altın Kariyer Akademi*. <https://www.akaeskisehir.com/student/course-document/133>.
- Ramanan G., Krishnan P & Ranjan H.** (2021). An Aerodynamic Performance Study And Analysis Of SD7037 Fixed Wing UAV Airfoil. *Materials Today: Proceedings* 47 (2021) 2547-2552.
- Sadraey, M.H.** (2012). Wing Design. *AIRCRAFT DESIGN A Systems Engineering Approach*, pp. 161-264.
- Saltan, A.M.** (2021). *Sabit kanatlı insansız hava araçlarına ait kanat profillerinin aerodinamik özelliklerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Arel Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Uğur M.** (2019). *İnsansız hava araçlarında rüzgâr enerjisi yolu ile enerji verimliliğinin artırılması* (Yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Url-1**<<https://www.designation-systems.net/dusrm/app4/sperry-fb.html>>, erişim tarihi 12.09.2023
- Url-2**<<https://www.thk.org.tr/>>, erişim tarihi 17.09.2023
- Url-3**<https://tr.wikipedia.org/wiki/Kategori:Türkiye%27nin_insansız_hava_aracıları>, erişim tarihi 25.09.2023
- Url-4**<<https://web.shgm.gov.tr/>>, erişim tarihi 02.10.2023
- Url-5**<<https://www.flir.com/products/black-hornet-3/?vertical=uas-norway&segment=%20uis>>, erişim tarihi 08.10.2023
- Url-6**<https://tr.wikipedia.org/wiki/AAI_RQ-7_Shadow>, erişim tarihi 17.10.2023
- Url-7**<https://www.israeli-weapons.com/weapons/aircraft/uav/hermes_1500/Hermes_1500.html>, erişim tarihi 11.12.2023
- Url-8**<https://tr.wikipedia.org/wiki/RQ-4_Global_Hawk>, erişim tarihi 22.12.2023

- Url-9<https://tr.wikipedia.org/wiki/Baykar_Bayraktar_Akinci>, erişim tarihi 27.12.2023
- Url-10<<https://baykartech.com/tr/uav/bayraktar-diha/>>, erişim tarihi 08.01.2024
- Url-11<<https://baykartech.com/tr/uav/bayraktar-mini-ih/>>, erişim tarihi 14.01.2024
- Url-12<<https://www.baykartech.com/tr/uav/bayraktar-tb2/>>, erişim tarihi 23.01.2024
- Url-13<<https://www.baykartech.com/tr/uav/bayraktar-tb3/>>, erişim tarihi 27.01.2024
- Url-14<<https://www.havelsan.com.tr/>>, erişim tarihi 02.02.2024
- Url-15<<https://www.tusas.com/>>, erişim tarihi 11.02.2024
- Url-16<https://tr.wikipedia.org/wiki/Vestel_Karayel#cite_note-6>, erişim tarihi 17.02.2024
- Url-17 <<https://hobbyking.com/>>, erişim tarihi 25.02.2024
- Url-18<<https://lincolnaeromodellers.com/understanding-propellers/>>, erişim tarihi 28.02.2024
- Url-19<<https://avdesodrone.com/model-ucaklarda-ve-sabit-kanatli-ihalarda-kullanilan-yapisal-malzemeler/>>, erişim tarihi 02.03.2024
- Url-20<<https://rocketturk.com/kompozit-urunler/cam-elyaf-kumas/300-gr-cam-elyaf-kumas-1x11-m/>>, erişim tarihi 11.03.2024
- Url-21<<https://avdesodrone.com/karbon-fiber-nedir-havacilikteki-onemi-nelerdir/>>, erişim tarihi 17.03.2024
- Url-22<<http://www.airfoiltools.com>>, erişim tarihi 20.03.2024
- Uzun M. (2018). *İnsansız hava araçlarının aerodinamik performansının geometrik değişiklikler ile iyileştirilmesi* (Doktora tezi). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Ünler T., Dağ T., & Öztürk M. (2022). Sabit Kanatlı Bir İnsansız Hava Aracının Konsept Tasarımı. *3rd International Conference On Applied Engineering And Natural Sciences*, ICAES 2022, Konya, Türkiye.
- Yiğit E., Yazar I., & Karakoç H. (2018). İnsansız Hava Araçları (İHA) ‘nın Kapsamlı Sınıflandırması Ve Gelecek Perspektifi. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 10-19.
- Zhang, Y., Zhou, Z., Wang, K., & Li, X. (2020). Aerodynamic Characteristics of Different Airfoils under Varied Turbulence Intensities at Low Reynolds Numbers. *Applied Sciences*, 10(5), 1706. <https://doi.org/10.3390/app10051706>

EKLER

EK A: Kanat Profillerine Ait Polar Koordinatlar

Çizelge A.1 : NACA-0012 kanat profiline ait koordinatlar

X	Y		X	Y
1,0000000	0,0012600		0,0007886	-0,0049430
0,9816213	0,0038097		0,0033672	-0,0100805
0,9441975	0,0088292		0,0078178	-0,0151474
0,9011703	0,0143314		0,0143896	-0,0202386
0,8569742	0,0197029		0,0237542	-0,0255435
0,8125639	0,0248291		0,0373064	-0,0313023
0,7680925	0,0296977		0,0572309	-0,0376302
0,7235997	0,0343046		0,0852282	-0,0441327
0,6791101	0,0386407		0,1200443	-0,0498879
0,6346473	0,0426897		0,1587270	-0,0543007
0,5902356	0,0464279		0,1993696	-0,0573389
0,5459013	0,0498230		0,2411285	-0,0591658
0,5016736	0,0528343		0,2836143	-0,0599565
0,4575858	0,0554112		0,3266151	-0,0598611
0,4136778	0,0574925		0,3699993	-0,0590050
0,3699993	0,0590050		0,4136778	-0,0574925
0,3266151	0,0598611		0,4575858	-0,0554112
0,2836143	0,0599565		0,5016736	-0,0528343
0,2411285	0,0591658		0,5459013	-0,0498230
0,1993696	0,0573389		0,5902356	-0,0464279
0,1587270	0,0543007		0,6346473	-0,0426897
0,1200443	0,0498879		0,6791101	-0,0386407
0,0852282	0,0441327		0,7235997	-0,0343046
0,0572309	0,0376302		0,7680925	-0,0296977
0,0373064	0,0313023		0,8125639	-0,0248291
0,0237542	0,0255435		0,8569742	-0,0197029
0,0143896	0,0202386		0,9011703	-0,0143314
0,0078178	0,0151474		0,9441975	-0,0088292
0,0033672	0,0100805		0,9816213	-0,0038097
0,0007886	0,0049430		1,0000000	-0,0012600
0,0000000	0,0000000			

Çizelge A.2 : NACA-4415 kanat profiline ait koordinatlar

X	Y		X	Y
1,0000000	0,0015750		0,0000049	0,0004918
0,9807805	0,0074278		0,0005592	-0,0051000
0,9438156	0,0182396		0,0026948	-0,0107645
0,9001886	0,0302684		0,0065553	-0,0160976
0,8538817	0,0421958		0,0121016	-0,0209303
0,8067008	0,0534791		0,0193343	-0,0252650
0,7591922	0,0639651		0,0284799	-0,0291852
0,7115314	0,0736014		0,0400614	-0,0327629
0,6638059	0,0823516		0,0550050	-0,0360189
0,6160855	0,0901755		0,0747574	-0,0388775
0,5684421	0,0970239		0,1011660	-0,0411046
0,5209601	0,1028373		0,1355097	-0,0423161
0,4737589	0,1075444		0,1770508	-0,0422335
0,4270749	0,1110586		0,2235021	-0,0409568
0,3816263	0,1132408		0,2728599	-0,0388490
0,3375742	0,1136652		0,3238798	-0,0363123
0,2944155	0,1122262		0,3754165	-0,0337157
0,2522156	0,1088736		0,4267424	-0,0312410
0,2112676	0,1035693		0,4780825	-0,0285145
0,1721103	0,0963405		0,5298000	-0,0255785
0,1356684	0,0873829		0,5818129	-0,0225477
0,1033150	0,0772166		0,6338390	-0,0195263
0,0764075	0,0667061		0,6857259	-0,0165878
0,0553594	0,0566939		0,7374933	-0,0137740
0,0394327	0,0475925		0,7891755	-0,0111065
0,0274495	0,0394058		0,8407125	-0,0085945
0,0183851	0,0319603		0,8915926	-0,0062501
0,0115292	0,0250580		0,9396315	-0,0041388
0,0064395	0,0185271		0,9797095	-0,0024300
0,0028865	0,0122636		1,0000000	-0,0015750
0,0007557	0,0062004			

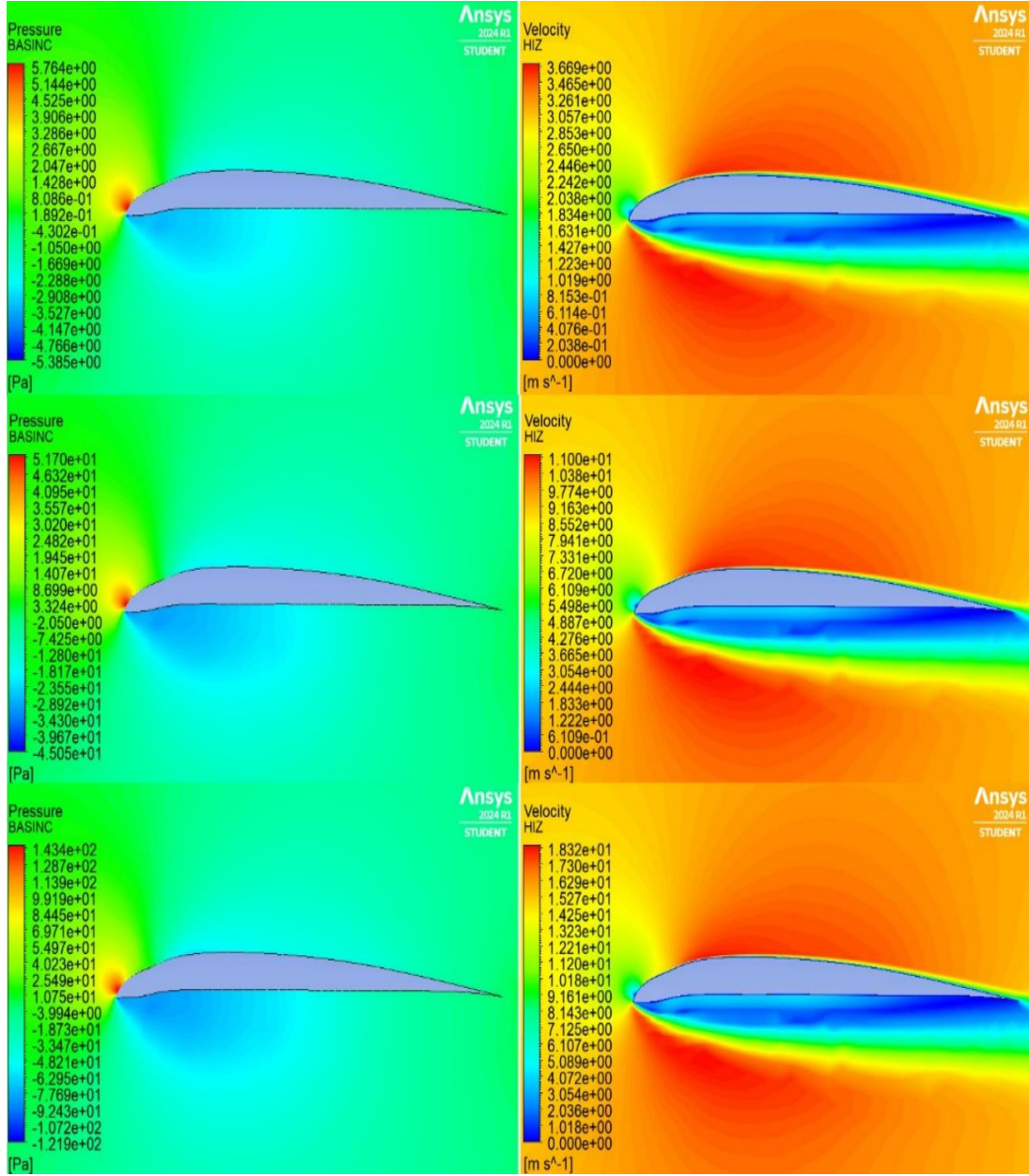
Çizelge A.3 : SD-7037 kanat profiline ait koordinatlar

X	Y		X	Y
1,0000000	0,0000000		0,0002100	0,0018500
0,9967200	0,0004200		0,0012700	-0,0039300
0,9870700	0,0018000		0,0080600	-0,0083900
0,9714600	0,0043600		0,0203800	-0,0122700
0,9504100	0,0081100		0,0380000	-0,0154100
0,9245000	0,0129500		0,0607400	-0,0177700
0,8942500	0,0186500		0,0884400	-0,0193400
0,8601500	0,0249000		0,1208400	-0,0201700
0,8226100	0,0314100		0,1576500	-0,0203200
0,7820100	0,0378800		0,1985000	-0,0198700
0,7386500	0,0441300		0,2429600	-0,0189100
0,6929400	0,0501100		0,2905500	-0,0175400
0,6453900	0,0557200		0,3407100	-0,0158600
0,5965500	0,0608500		0,3928800	-0,0139600
0,5469300	0,0653800		0,4464300	-0,0119000
0,4970600	0,0691700		0,5007400	-0,0097600
0,4474500	0,0721100		0,5551900	-0,0076000
0,3986200	0,0741000		0,6091400	-0,0054900
0,3510100	0,0750400		0,6619700	-0,0034900
0,3050800	0,0748800		0,7130500	-0,0016800
0,2612500	0,0735800		0,7617800	-0,0001400
0,2198900	0,0711300		0,8075200	0,0010400
0,1813700	0,0675400		0,8496400	0,0018200
0,1460100	0,0628600		0,8875600	0,0022000
0,1141000	0,0571500		0,9207100	0,0021800
0,0858600	0,0504900		0,9485900	0,0018500
0,0614600	0,0430000		0,9707700	0,0013200
0,0410200	0,0348600		0,9869000	0,0007100
0,0246200	0,0263200		0,9967100	0,0002100
0,0123200	0,0177000		1,0000000	0,0000000
0,0041800	0,0093600			

Çizelge A.4 : ALTAY kanat profiline ait koordinatlar

X	Y		X	Y
1,0000000	0,0002580		0,0002100	0,0016865
0,9967202	0,0007209		0,0012705	-0,0024769
0,9870704	0,0027522		0,0080615	-0,0023682
0,9714608	0,0058941		0,0203830	-0,0017927
0,9504112	0,0101727		0,0380044	-0,0017332
0,9245017	0,0153129		0,0607457	-0,0001892
0,8942522	0,0211368		0,0884469	0,0048862
0,8601527	0,0275509		0,1208482	0,010099
0,8226131	0,0344672		0,1576594	0,0128745
0,7820135	0,0417894		0,1985103	0,013751
0,7386539	0,0493156		0,2429709	0,0137277
0,6929442	0,0566934		0,2905612	0,0135295
0,6453945	0,0635815		0,3407213	0,0135517
0,5965548	0,0697554		0,3928912	0,0137257
0,5469350	0,0750811		0,4464410	0,0137289
0,4970651	0,0794897		0,5007506	0,0130427
0,4474551	0,0829459		0,5552001	0,0124524
0,3986251	0,0858152		0,6091494	0,0120304
0,3510150	0,0877236		0,6619786	0,0117602
0,3050849	0,0884963		0,7130576	0,0116537
0,2612547	0,0881156		0,7617866	0,0116284
0,2198944	0,0863694		0,8075256	0,0114709
0,1813740	0,0828301		0,8496445	0,0108957
0,1460135	0,0767461		0,8875635	0,0097243
0,1141029	0,0673616		0,9207125	0,0079530
0,0858622	0,0572175		0,9485917	0,0058266
0,0614616	0,0496792		0,9707710	0,0036965
0,0410211	0,0409486		0,9869005	0,0019112
0,0246207	0,031084		0,9967102	0,0005739
0,0123203	0,0203484		1,0000000	0,0002580
0,0041799	0,0092652			

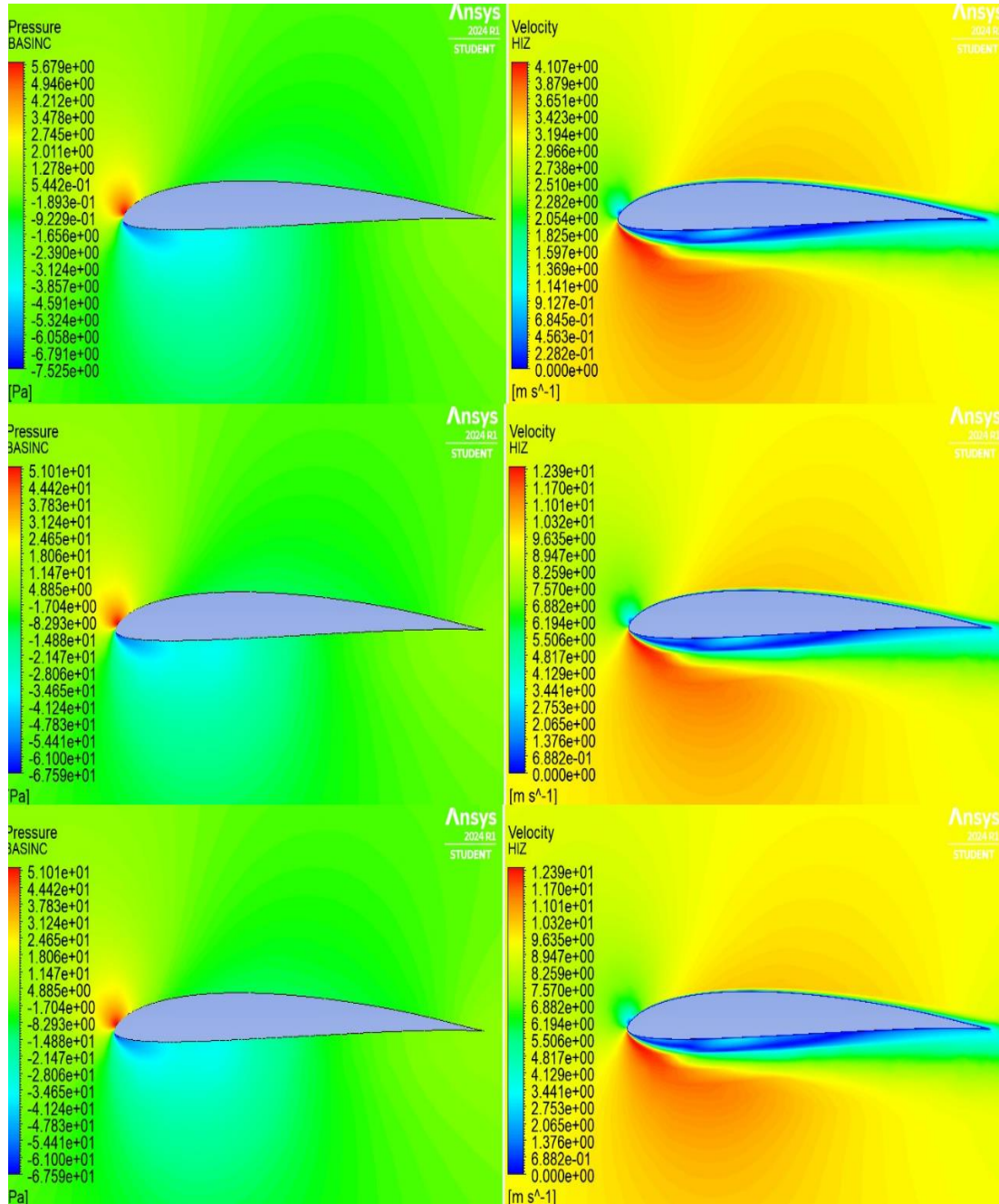
EK B: ALTAY ve SD-7037 kanatlarının -5° hücum açısında sırasıyla $Re\ 5 \times 10^4$; 15×10^4 ve 25×10^4 sayılarında basınç, hız değerleri ve C_L ve C_D değerleri



Şekil B.1 : ALTAY kanadı -5° hücum açısında sırasıyla $Re\ 5 \times 10^4$; 15×10^4 ve 25×10^4 basınç ve hız değerleri

Çizelge B.1 : ALTAY kanadı -5° hücum açısında sırasıyla $Re\ 5 \times 10^4$; 15×10^4 ve 25×10^4 C_L ve C_D değerleri

ALTAY Re (200 mm)	ALTAY -5° hücum açısı	
	C_L	C_D
5×10^4	-0,0463	0,0239
15×10^4	-0,3933	0,2076
25×10^4	-1,0568	0,5689

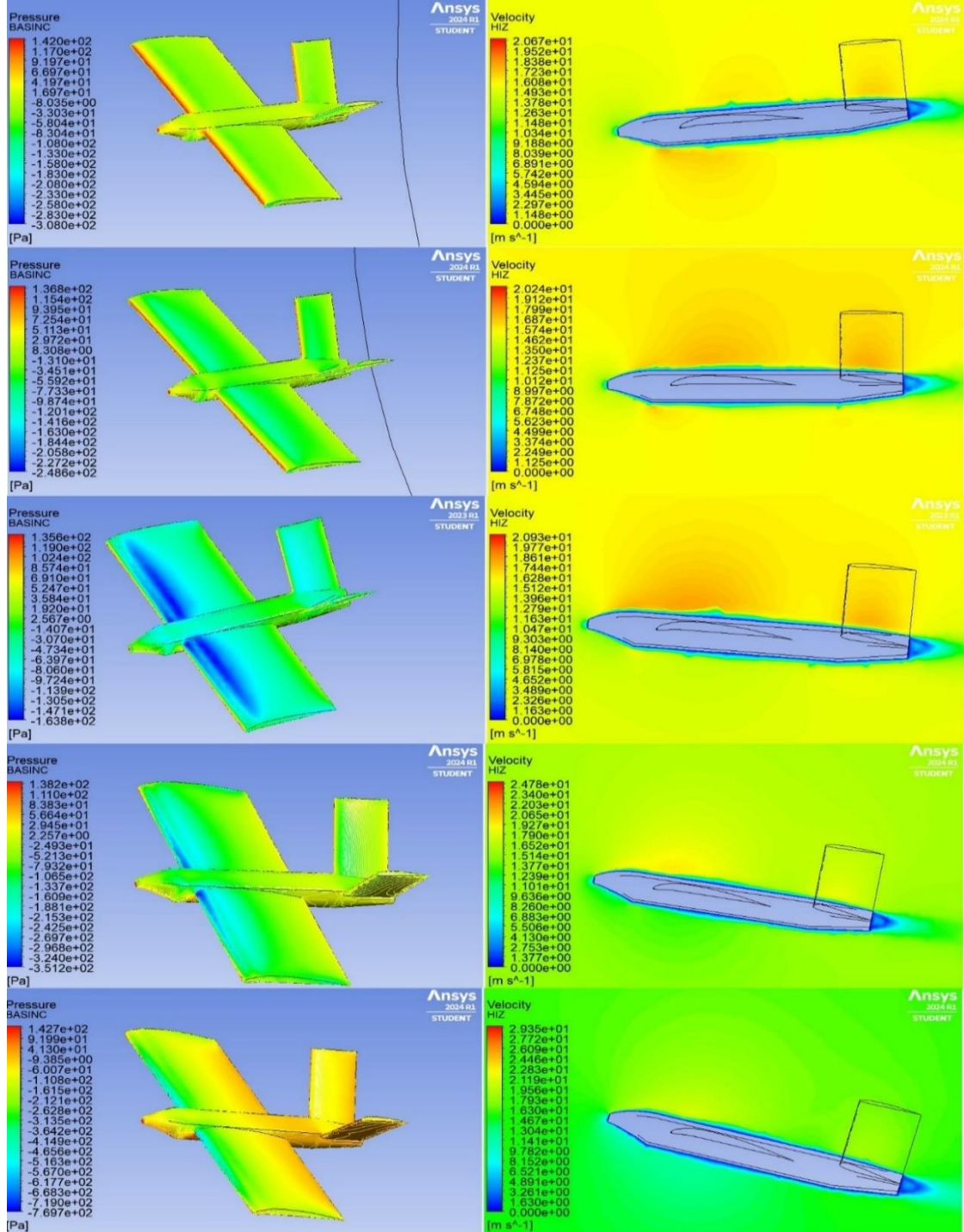


Şekil B.2 : SD-7037 kanadı -5° hücum açısında sırasıyla $Re\ 5 \times 10^4$; 15×10^4 ve 25×10^4 basınç ve hız değerleri

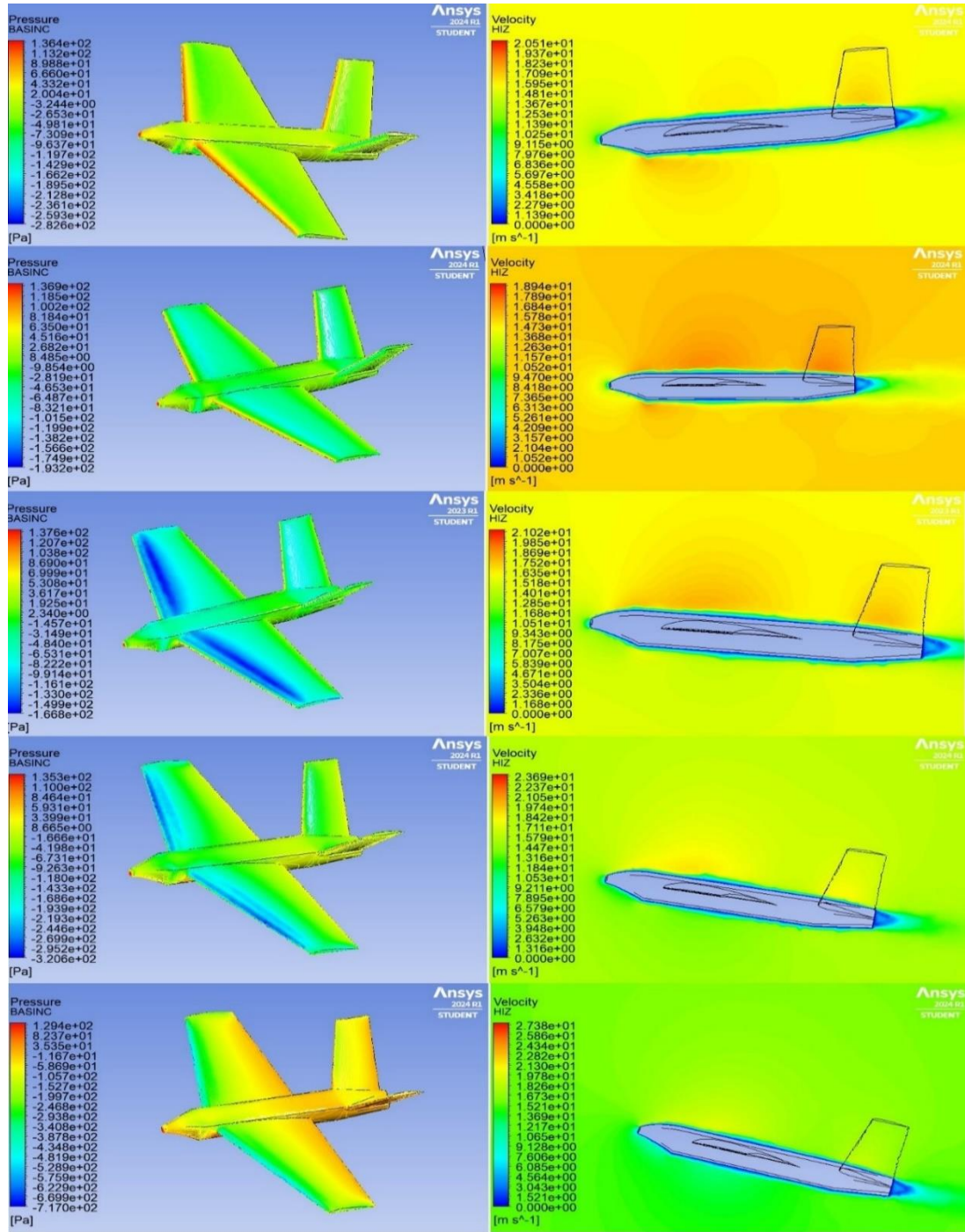
Çizelge B.2 : SD-7037 kanadı -5° hücum açısında sırasıyla $Re\ 5 \times 10^4$; 15×10^4 ve 25×10^4 C_L ve C_D değerleri

SD-7037 Re (200 mm)	SD-7037 -5° hücum açısı	
	C_L	C_D
5×10^4	-0,083	0,0169
15×10^4	-0,7445	0,1456
25×10^4	-2,062	0,4267

EK C: Altay-0020 D ve Altay-0020 T İHA'larının -5° ; 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarındaki $15,5 \text{ m/s}$ akış giriş hızında basınç, hız değerleri ve -5° hücum açısında C_L ve C_D değerleri



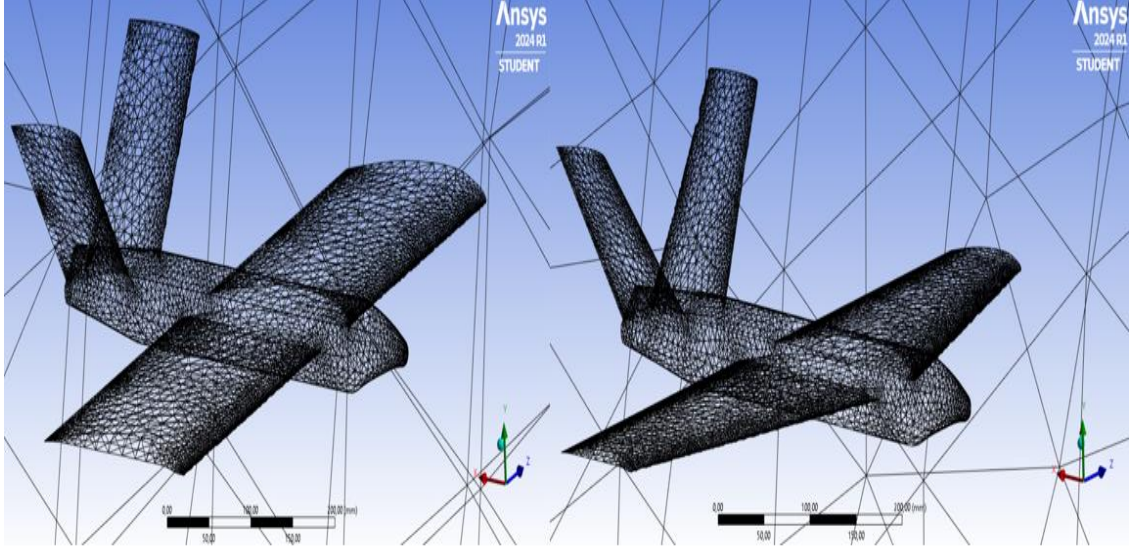
Şekil C.1: Sırasıyla -5° ; 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarındaki Altay-0020 D İHA'larının basınç ve hız değerleri



Şekil C.2 : Sırasıyla -5°; 0°; 5°; 10° ve 15° hücum açılarında Altay-0020 T İHA' sının basınç ve hız değerleri

Çizelge C.1 : Altay-0020 D ve Altay-0020 T İHA' larının -5° hücum açısında 15,5 m/s akış girişi hızında C_L ve C_D değerleri

İHA ismi	-5° hücum açısında 15,5 m/s akış girişi hızında C_L ve C_D değerleri	
	C_L	C_D
ALTAY-0020 D	-0,7799	1,1813
ALTAY-0020 T	-0,6353	0,9112



Şekil C.3 : Altay-0020 D ile Altay-0020 T İHA'larının mesh ağlarının görüntüsü