

Kuşlardan Esinlenmiş Motorlu Bir İnsansız Planör Konsept Tasarımı

Göksel Keskin

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Biyoloji Anabilim Dalı

Ekim 2019

Conceptual Design of a Bird-Inspired Unmanned Motoglider

Göksel Keskin

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Biology

October 2019

Kuşlardan Esinlenmiş Motorlu Bir İnsansız Planör Konsept Tasarımı

Göksel Keskin

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmelięi Uyarınca
Biyoloji Anabilim Dalı
Zooloji Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. İsmühan Potoğlu Erkara

Bu tez Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 2018-2252 no'lu proje çerçevesinde desteklenmiştir.

Ekim 2019

ONAY

Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Göksel Keskin'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Kuşlardan Esinlenmiş Motorlu Bir İnsansız Planör Konsept Tasarımı" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İsmühan POTOĞLU ERKARA

İkinci Danışman : Doç. Dr. Melih Cemal KUŞHAN

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. İsmühan POTOĞLU ERKARA

Üye : Prof. Dr. İbrahim Mete MISIRLIOĞLU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Seyhun DURMUŞ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. İsmühan POTOĞLU ERKARA danışmanlığında hazırlamış olduğum “Kuşlardan Esinlenmiş Motorlu Bir İnsansız Planör Konsept Tasarımı” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 14/10/2019

Göksel KESKİN

İmza

ÖZET

Kuşların uçuşu, havacılık bilimindeki birçok alanda araştırmacılara ilham kaynağı olmuştur. Günümüzdeki teknolojik gelişmeler ile birlikte yaygınlaşan insansız hava aracı (İHA) sistemlerinin geliştirilmesinde de oldukça yardımcı olmaktadır. İnsan taşıyan sistemlere nazaran, mini insansız hava araçları boyutlarının kuşlara yakın olması biyomimetik ilkeleri doğrultusunda farklı bir avantaj sağlamaktadır.

Mini insansız hava araçlarının sahip olduğu sınırlı gövde hacimleri nedeniyle büyük yakıt tankları veya bataryaların taşınamaması, en az enerji harcanacak şekilde tasarımının yapılmasını oldukça önemli bir konu haline getirmektedir. Bu bağlamda biyologların kuşların uçuşu hakkındaki bilgileri büyük önem arz etmektedir. Ülkemizde ve Dünyada birçok kuş türü, kanatlarını çırpmadan çeşitli meteorolojik oluşumları kullanarak kilometrelerce mesafe kat edebilmekte ve uzun süreler havada kalabilmektedir. Süzülme, termik dönme performansları gelişmiş bu kuş türlerinin, süzülerek uçan ve meteorolojik oluşumları kullanan planör hava araçlarının tasarımında kullanılması mümkün olduğu daha önce ki çalışmalarda görülmüştür. Yapılan literatür taramasında, gezgin albatrosun (*Diomedea exulans*) en uzun kanat açıklığına ve en yüksek açıklık oranına sahip olması nedeniyle en yüksek süzülme performansını gösterdiği görülmüştür. Diğer yırtıcıların çok daha iyi termik dönme performansı olmasına karşın, süzülme uçuşunun uçuş süresi boyunca daha sık kullanılması ve dönüş performansının istikamet dümeni ve kanatçıklar ile daha iyi seviyeye çıkartılacağı öngörüsü ile albatros kuşunun ölçülerine yakın bir İHA tasarımı yapılmıştır.

Yapılan tasarım sonucunda, yaklaşık 1:23 süzülme oranına sahip olan gezgin albatrosun süzülme performansını, İHA 1:28 süzülme oranı ile geçmiştir. Bunun nedeni ise gezgin albatrosun yaklaşık 15 olan açıklık oranına ve daha geniş gövde kesitine karşı, İHA'nın 20,6 olan açıklık oranı ve daha dar gövde kesiti gösterilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kuşların uçuşu, Planör, İHA, Aerodinamik, Süzülme, Termik, Konsept tasarım

SUMMARY

The flight of birds has inspired researchers in many areas of aviation science. It is also very helpful in the development of unmanned aerial vehicle (UAV) systems, which have become widespread with current technological developments. Compared to manned systems, the fact that the dimensions of mini unmanned aerial vehicles are close to birds provides a different advantage in line with the biomimetic principles.

Due to the limited fuselage capacity of mini unmanned aerial vehicles, fuel tanks or batteries cannot be carried which makes crucial the design of airplane with least energy consumed. In this context, biologists' knowledge of the flight of birds is of great importance. Many bird species in our country and the world can cover a great distance in the air for long periods by using various meteorological formations without flapping their wings. It has been shown in previous studies that these bird species with improved gliding and thermal rotation performances can be used in the design of glider aircraft using gliding and meteorological formations. In the literature review, it has been found that wandering albatross (*Diomedea exulans*) shows the highest gliding performance thanks to its longest wingspan and highest aspect ratio. Although other predators have a much better soaring performance, an UAV design was designed close to the measurements of the albatross bird, with the idea that the glide flight would be used more frequently during the flight time and that the turning performance would be improved with the rudder and aileron.

As a result of the design, the gliding performance of the wandering albatross, which has a glide rate of approximately 1:23, exceeded the UAV 1:28 glide rate. This is due to the aspect ratio of about 15 and wider body cross-section of the wandering albatross, the aspect ratio of 20.6 and narrower cross-section of the UAV.

Keywords: Bird flight, Sailplane, UAV, Aerodynamic, Soaring, Gliding, Conceptual Design

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim esnasındaki desteklerinden dolayı danışmanlarım sayın Prof. Dr. İsmühan POTOĞLU ERKARA'ya, Dr. Öğr. Üyesi Ünal ÖZELMAS'a ve Doç. Dr. Melih Cemal KUŞHAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca, her konuda maddi ve manevi imkânlarını seferber eden değerli babam Sinan KESKİN'e ve annem Hanife KESKİN'e, karşılatığım zorluklarda hep yanımda olan değerli arkadaşım Aylın KARACAKAYA'ya teşekkürü borç bilirim.

Bana özgür bir şekilde uçmayı öğreten, planör pilot lisansımı almamda ve bu hava aracına olan sevgimin oluşmasında en önemli paya sahip olan, 2011 yılında kaybettiğimiz planör uçuş öğretmenim Metin ÖZBEY ve devrem Semih UZUNLAR huzur içinde uyuyunuz.

Bu tezi 2018-2252 no'lu proje çerçevesinde destekleyen Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na teşekkürlerimi sunarım.

Planör uçuş eğitimim boyunca her konuda konuşabildiğim, fikirlerimi özgürce tartışabildiğim değerli abilerim ve arkadaşlarım Erşen KAVUŞTURAN, Barış ÖZİL, Talat MUTLU ve tüm Türk Hava Kurumu Planör Uçuş Eğitim okuluna teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarında ve teorik çalışmalarda bilgisini ve tecrübesini benden esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Seyhun DURMUŞ'a, Arş. Gör. Dr. Muharrem KARAKAYA'ya ve uzman biyolog Mehmet Mahir KARATAŞ'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1. Tasarım İçin Gerekli Olan Verilerin Tespiti	24
3.2. Benzer Yapıdaki İnsansız Planörlerin İncelenmesi.....	26
3.3. İnsansız Planörlerin Tasarımı için İlham Alınacak Kuş Türlerinin Özellikleri.....	28
3.4. İnsansız Planör Tasarımında Hedeflerin Belirlenmesi	32
3.5. İnsansız Planör Maksimum Kalkış Ağırlığını Belirlenmesi.....	33
3.6. Kanat Tasarımı.....	33
3.6.1. Performans Analizi.....	33
3.6.2. Tasarım Yönetimi.....	47
3.6.3. Kanat Açıklık Oranı ve Kanat Alanının Belirlenmesi.....	48
3.6.4. Kanat Geometrisinin Belirlenmesi	49
3.7. Sürükleme Poları	53
3.8. Performans ve Hız Poları	55
3.9. Dönüş Performansı.....	57
3.10. Motor ve Pervane Seçimi	58
3.11. Yatay, Dikey Stabilize ve Kanatçık Seçimi	59
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR DİZİNİ	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Kuşun kana kökündeki kanat profili (A) daha fazla taşıma kuvveti oluşmasını sağlarken, kanat ucu tarafındaki kanat profili (B) daha fazla itki kuvvetinin oluşmasını sağlamaktadır.....	3
1.2. Kuşlardaki temel kanat yapıları ve şekilleri	4
1.3. Otto Lilienthal'ın ilk planör uçuşunu gerçekleştirdiği planör	5
1.4. II. Dünya Savaşında Amerikan Hava Kuvvetlerine ait Waco CG-4A planörü	5
1.5. Lockheed U-2 casus uçağı uzun zamandır ABD tarafından kullanılmaktadır	6
1.6. Airbus tarafından desteklenen projede, proje için tasarlanmış planör	7
1.7. Türk Hava Kurumuna ait SZD-50 Puchacz tipi planör vinç kalkışında (İnönü, 2018) ve Vinç Kalkışı görseli.	8
1.8. Tayyare Römorku (Uçak arkasında) ile kalkış	8
1.9. Termik Uçuşu	9
1.10. Yelken Uçuşu	9
1.11. VA001 insansız planörü.....	10
2.1. Tucker Tarafından yapılan çalışma kesilen primer tüyler sürüklemeye etkisi.....	14
3.1. Kızıl şahinin (<i>Buteo rufinus</i>) termik dönerken kullandığı kanat alanı yaklaşık 0,270 m ² ve kanat yüklemesi yaklaşık 3,70 kg/m ² dir. Süzülme uçuşunda ise 0,218 m ² kanat alanına ve 4,58 kg/m ² kanat yüklemesi ile uçmaktadır. Kanat açıklığı ise kanat açma-kapama davranışı ile değiştiği için açıklık oranlarının değerlendirmeye alınmaması gerekmektedir.....	25
3.2. Albatroslar ve yelkovangillerde ise radius ve ulna kemikleri iki farklı pozisyonda (Esnek ve Tam açık) kilitlenerek kanat açıklığını ve dolayısıyla açıklık oranını arttırmaktadır.....	25
3.3. Ventus-2ax planörünün önden, yandan ve üstten görünümü	27
3.4. DG-800 S planörünün orijinal boyutlu ölçüleri ve önden, yandan ve üstten görünümü. Bu model İcare RC tarafından ölçeklendirilerek insansız hava araçları sistemleri için boyutlandırılmıştır	27
3.5. Mısır akbabası vücuduna göre geniş kanat alanlarıyla termikleri verimli kullanabilmeleri sayesinde, kuvvetli olmayan termikleri bile dönerek irtifa kazanabilmektedir.....	29
3.6. Karabaş martı yüksek açıklık oranına sahip kanatları ile uzun mesafeleri süzülerek uçabilirken, aynı zamanda çatı, tekne vb. yapılara çarpan rüzgâr sayesinde yelken uçuşu yaparak uzun mesafeleri kat edebilirler.....	30

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.7. Fregat kuşlarında, kanadın aluladan önce ve sonraki kısmındaki kanat alanı farkı termik dönüşlerinde verimi arttırırken hem de süzülme performansında başarılı olmasını sağlamaktadır	30
3.8. Leylek gibi göçmen kuşlar ortalama kanat açıklıkları ve kanat alanları sayesinde termikten termiğe süzülüşlerde hem de termik içerisinde oldukça verimlidir.....	32
3.9. AH 79-100 B kanat profilinin özellikleri.....	34
3.10. Süzülme uçuşunda, herhangi bir itki kuvveti olmadığı için, yatay vektör (ufuk hattı) değil, süzülüş hattı takip edilir.....	36
3.11. Kanat yüklemesine göre sürat ve taşıma katsayısı arasındaki ilişki.....	38
3.12. 2 boyutlu (sonsuz kanat) ve 3 Boyutlu (sonlu kanat) için taşıma katsayı eğrileri.	38
3.13. Tam bir hava aracının sürüklenme poları	41
3.14. Martı kanat profilinin literatür ve fotoğraf verilerinden çıkartıldıktan sonra Ansys programında ağ atılması ve analizi.....	45
3.15. AH 79-100 B kanat profili.....	45
3.16. Ah 79-100 B kanat profilinin 200.000 Reynolds'daki analizi.....	46
3.17. AH 79-100 B kanat profilinin iki boyutlu analizi.....	46
3.18. Uçuş sürati ile sürüklenme kuvveti arasındaki ilişki.....	47
3.19. Reynolds sayısının kanattaki parazit sürüklemeye olan etkisi.	48
3.20. Ortalama C_L için optimum kanat açıklık oranı	48
3.21. Farklı koniklik oranları ve C_l üzerindeki etkisi	50
3.22. 1 koniklik oranı ile elde edilen sonuçlar.....	51
3.23. Tam kanatta 0,4 koniklik oranı ile elde edilen sonuçlar.....	51
3.24. Yarım kanat 2/3'den itibaren 0,4 koniklik oranı ile elde edilen sonuçlar.....	52
3.25. Kanat geometrisi ve ölçüleri.....	52
3.26 Planörün dönüşünü etkileyen kuvvetler	57
4.1. Tasarlanan İHA'nın yandan görünüşü	62
4.2. Tasarlanan İHA'nın yandan görünüşü.....	62
4.3. Tasarlanan İHA'nın üstten görünüşü.....	62
5.1. 3,5 m kanat açıklığına sahip gezgin albatros ve tasarlanan planör insansız hava aracının boyutsal karşılaştırılması.....	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan performans ve yarışma planörlerinin birebir ölçeklendirilerek tasarlanmış modellerinin aerodinamik özellikleri ve kullanılan kanat profilleri.....	26
3.2. Deniz kuşlarında açıklık oranına göre yapılan sıralama.....	31
3.3. Belirtilen görevlerin yapılabilmesi için gerekli olan hedef tasarımın parametreleri.....	32
3.4. 6 kg için kanat yüklemesi ile açıklık oranı arasındaki ilişki.....	34
3.5. Sabit kanat açıklığı için kanat açıklık oranı değişiminin bilgileri.....	35
3.6. Sabit kanat açıklığı ve ağırlıkla, kanat açıklık oranının kanat alanı ve kanat yüklemesi ile değişiminin grafiği.....	35
3.7. ICAO standart atmosfer değerleri	43
3.8. Diğer insansız planörlerde kullanılan kanat profilleri.....	44
3.9. Sürüklenme polarının girdileri.....	53
3.10. C_L ve C_L^2 grafiği.....	54
3.11. Hız polarının oluşturulması için gerekli girdiler.....	55
3.12. Hız-performans poları.....	56
4.1. İHA tasarım sonuçları.....	61
4.2. Planör İHA'nın perdövites, minimum çöküş ve En iyi süzülme sürati.....	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Φ	Yatış açısı
Ω	Dönüş oranı
γ	Süzülme açısı
τ	Kök veterinin uç veterine oranı
ρ	Hava yoğunluğu
$\Lambda_{1/4}$	Çeyrek veter sivrilik oranı

Açıklama

Kısaltmalar

b	Kanat açıklığı
S	Toplam kanat alanı
c	Veter
g	Yerçekimi ivmesi
m	Kütle
AR	Kanat açıklık oranı
L	Taşıma kuvveti
D	Sürüklenme kuvveti
C_L	Taşıma katsayısı
C_D	Sürüklenme katsayısı
V	Hava aracı uçuş sürati
W	Ağırlık
T	İtke
F	Etkiyen hava yükü
V_s	Çökme oranı = $V_s \sin \gamma$
C_{D0}/ C_{DF}	Sıfır taşıma sürüklenme katsayısı
C_{Di}	İndüklenmiş sürüklenme katsayısı
e	Oswald etkinlik faktörü
k	Profil sürüklenme katsayısı
S_{ref}	Referans kanat alanı
S_{wet}	Islak kanat alanı
K_F	Kanat şekil faktörü
C_F	Yüzey sürtünme katsayısı
K_v	Vorteks sürüklenme faktörü
CFD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
Re	Reynolds sayısı
t	Zaman
V_g	Süzülme hava hızı
r	Dönüş yarıçapı
C_{DP}	Parazit sürüklenme katsayısı

Açıklama

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Kuşların süzülme ve termik dönme uçuşlarındaki morfolojik özellikleri, planörlerin icadına ilham olmuştur. Günümüzde planör pilotları tıpkı kuşlar gibi uzun mesafeler kat edebilmek için termikleri ve süzülme uçuşunu kullanmaktadırlar. Dünya genelinde uzun sürelerdir çalışılan kuşların uçuş performanslarına etki eden morfolojik, anatomik ve fizyolojik özellikleri, havacılığın birçok alanına esin kaynağı olmuştur. Başlı başına kuşların uçuşu ilk ornitopter planını çizen Leonardo da Vinci için en önemli ilham kaynağıdır. Aynı şekilde günümüzdeki modern planörlerin mucidi olarak kabul edilen mühendis Sir George Cayley ve Alman havacı Otto Lilienthal'in kuşların uçuşları hakkında eserleri ve gözlemleri mevcuttur. Modern havacılığın en popüler örneklerinden biri olan primer tüylerden esinlenmiş winglet tasarımı ile önemli havacılık firmaları büyük başarılar elde etmiş ve özellikle yakıt tasarrufu konusunda ilerleme kat edilmiştir. Aynı şekilde kuşlarda yavaş uçuşta ve askıda kalma uçuşunda sıklıkla kullanılan kanatlardaki alula yapısından esinlenen hava akışı düzenleyici sistem olan "slot-slat" yapıları ticari uçuşlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde ise azalan fosil yakıt kaynakları nedeniyle alternatif enerjilere olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle çok az enerji harcayarak uzun süreler uçabilen kuşlardan esinlenerek yapılacak hava aracı tasarım çalışmaları, enerji verimliliğinin sağlanabilmesi için büyük önem arz etmektedir.

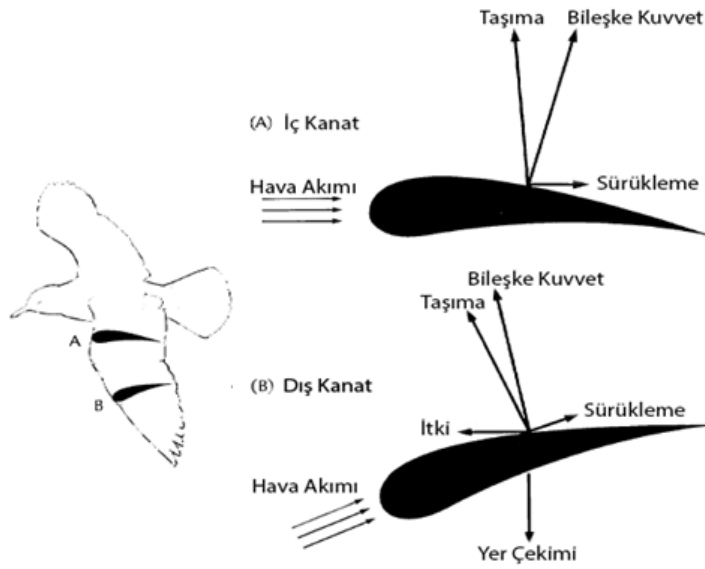
Kuşları dünya üzerindeki diğer omurgalılarından ayıran en bariz özellikleri şüphesiz ki ön ayaklarını kanat olarak kullanabilmesi sayesinde edinebildikleri uçabilme yetenekleridir. Bu yetenek yıllarca süren adaptasyon sonucu ortaya çıkmıştır. Her ne kadar bazı kuş türleri uçamasa da ve bazıları da uçuş yeteneklerini sonradan kaybetse de balıklar nasıl suyun ustaları ise kuşlar da gökyüzünün hakimidirler. Yaklaşık 10000 türle temsil edilen kuşların 8500'ü kendilerine özgü çeşitli yöntemlerle uçabilmektedir. Bu yöntemlerin birçoğu oldukça büyüleyicidir. Örneğin bazı kuş türleri oldukları yerde askıda kalabilmekte veya çok süratli hızlarda dalış yapabilmektedir. Bazıları ise sadece üreme döneminde karaya ayak basmakta, geri kalan zamanını uçarak geçirmektedir. Tüm bu farklılıkların nedeni kuşların yaşadığı yerlere veya beslenme şekillerine adaptasyonlarındaki farklılıklar olarak gösterilmekte ve açıklamaları matematiksel yöntemlerle yapılmaktadır. Kuşların kanat yapısının uçakların

kanatlarına olan benzerliği bilinen bir gerçektir. Bu yakınlık neticesinde, kuşların uçuşuna dair birçok keşif aerodinamik biliminin getirdiği verilerle ortaya çıkmıştır. Fakat gene de kuşların kanatlarıyla, uçakların kanat yapıları arasında belirgin farklılıklar vardır. Kuşlar kanatlarını uçuş esnasında çırparak itki kuvvetini elde ederken, uçaklar itki sistemlerine ihtiyaç duyarlar. Ayrıca kuşlar uçuşun tarzına göre kanatlarını tamamen toplayıp dalış yaparken, termik içerisinde olabildiğince açarak termikten en verimli şekilde faydalanabilirler.

Basit bir kuş uçuşunun birçok bileşeni vardır; kalkış, manevra, pozisyon dengesi ve iniş ve her biri kendi başına karmaşıktır. Uçuş, kanatların ve kuyruğun hızlı ve sürekli kontrol edilmesine ihtiyaç duyar. Duyusal sistem kuşların tüy örtüsündeki binlerce bireysel tüyden beyindeki uçuş kontrol merkezine ve vücudun her tarafındaki sinir reseptörlerine bilgi gönderir. Uçuş kısa vadeli enerji çıkışı açısından pahalıdır, ancak uçulan birim mesafe başına harcanan enerji bu yatırımın karşılığıdır. Uçuş hareketin en ekonomik biçimidir: 1 kilometreyi uçmak aynı mesafeyi yürümekten, koşmaktan veya yüzmekten daha az enerji harcar. Örneğin uçan 10 gramlık bir kuş, 10 gramlık bir farenin aynı mesafeyi koşmak için gereken toplam enerjisinin %1'inden daha az enerji harcar (Gill,1995). Bu nedenle kuşların uçuşu, aerodinamik, fonksiyonel morfoloji, evrim, kinematik, fizyoloji, enerji ve ekoloji konularının hepsini kapsamaktadır.

Havada kalmak için, kuşlar sürüklenme ve ağırlık kuvvetlerinin üstesinden gelmek, bu kuvvetlere ters ve onlara eşit kuvvetler oluşturmak zorundadır. Bu kuvvetler itki ve taşımadır. Taşıma yukarı doğru olan basınç kuvvetidir ve aşağı doğru olan ağırlık kuvvetinin aksi yönündedir, ağırlık kuşun ağırlığı olarak ifade edilir. İtki, toplam olarak sürüklenme diye ifade edilen, yavaşlatıcı etkisi olan türbülans ve sürtünme kuvvetlerini dengeleyen ileri doğru olan kuvvettir. Bu dört kuvvetler (itki, sürüklenme, ağırlık, taşıma) dinamik dengede olduğunda, kuş sabit bir hızda düz uçuştadır. İtkiyi motorlarından, taşımayı kanatlarından üreten uçaklardan farklı olarak, kuşlar her ikisini de kanatlarından sağlar (Şekil 1.1). Kuşların en dikkat çekici özelliklerinden biri ise hafifliktir. Kuşlar yer çekiminden daha az etkilenmek için seneler süren bir adaptasyona uğramıştır ve oldukça hafiflemiştir. Karşılaştırma yapmak gerekirse aynı boyutlardaki bir memeli ile kuş arasında 3 katlık bir ağırlık farkı vardır. Kuşların adaptasyon sürecinde geçirdiği bazı morfolojik- fizyolojik ve anatomik özellikleri sayarsak;

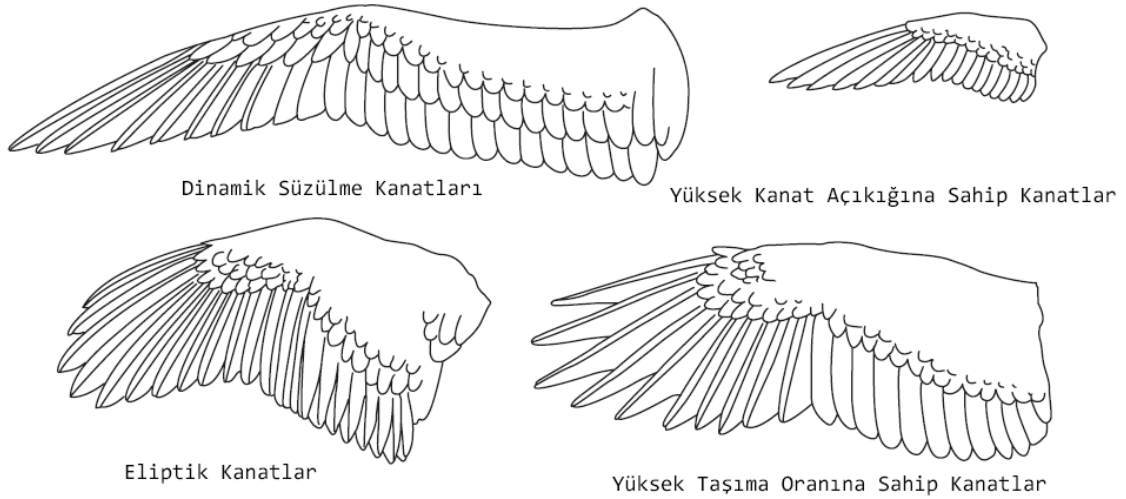
- Dişleri yoktur, gaga çok hafiftir.
- Devekuşu hariç, idrar keseleri yoktur.
- Ter bezleri yoktur. Derilerinde yer alan tek eksokrin bez bir yağ bezidir.
- Ovipar çoğalırlar, dolayısıyla yavruyu vücutta taşımazlar.
- Aynı anda hem nefes alıp hem nefes verebilmeleriyle ağırlık değişimini engelliyorlar.
- Genellikle sağ ovaryumun körelmiş olup sol ovaryumun aktif olması
- Boşaltım ürünü çok sulandırma gereken ürik asit yerine, üredir.



Şekil 1.1. Kuşun kana kökündeki kanat profili (A) daha fazla taşıma kuvveti oluşmasını sağlarken, kanat ucu tarafındaki kanat profili (B) daha fazla itki kuvvetinin oluşmasını sağlamaktadır (Gill,1995).

Kuşların aerodinamik özellikleri kuşlarda yaygın olarak görülen göç davranışlarını da etkilemektedir. Örneğin Amerika kara akbabası (*Coragyps atratus*), yazları Kanada'nın güneyine ulaşamazken, Hindi akbabaları (*Cathartes aura*) ulaşabilmektedir. Bunun nedeni ise, termikleri kullanan bu iki yarı akbaba türünün kanat yüklemeleri arasındaki farktır. Kanat yüklemesi fazla olan Amerika kara akbabası bu termikleri verimli şekilde kullanamazken, daha düşük kanat yüklemesine sahip Hindi akbabası bu termikleri verimli şekilde kullanabilmektedir. Aynı şekilde bu aerodinamik özellikler kuşların avlanma ve uçuş tarzlarına da etki etmiştir. Kerkenezler askıda kalma (hover) uçuşlarını hem kanat çırparak hem de kanat çırpmadan rüzgârın hızını kullanarak yapabilirler ve potansiyel avlarını bu

şekilde gözlemleyebilirler. Albatroslar ve martılar ise oldukça yüksek süzülme performansları sayesinde kanatları çırpmadan, enerji harcamadan hareketlerini sürdürebilirler. Aynı şekilde diğer yırtıcı kuşlar ve bazı göçmen kuşlar geniş kanat alanları sayesinde, termikleri kullanarak enerji harcamadan uçabilirler. Kartallar dalış yaparken kanatlarını tam kapatmadan stabilite ve kontrol sağlamak için ağırlıklarını kullanırlar, fakat bir gökdoğan dalışı esnasında tam bir mermi formuna bürünerek, sürüklenme kuvvetini minimize ederek dalışlarını gerçekleştirirler. Kuşların bu kadar farklı tekniklere sahip olmasının sebebi farklı adaptasyonlardır. Kanatlar temelde farklı 4 farklı şekilde tanımlanabilir (Şekil 1.2). Fakat farklı türlerin kendilerine ait farklı kanat yapıları oldukları da bilinen bir gerçektir. Dinamik süzülme kanatlarına sahip olan albatros ve martı gibi deniz kuşları oldukça uzun mesafeleri süzülerek kat edebilmektedir. Aynı şekilde yüksek taşıma oranına sahip kanatları sayesinde yırtıcıların büyük bir çoğunluğu termiklerden en verimli şekilde yararlanmakta ve düşük enerjili uçuşlar gerçekleştirebilmektedir. Eliptik kanat yapısına sahip olan ötücüler, güvercinler, kargalar yüksek manevra kabiliyetlerini ve çabuk kalkış-iniş yapabilme yeteneklerini bu kanat yapısına borçludur.



Şekil 1.2. Kuşlardaki temel kanat yapıları ve şekilleri.

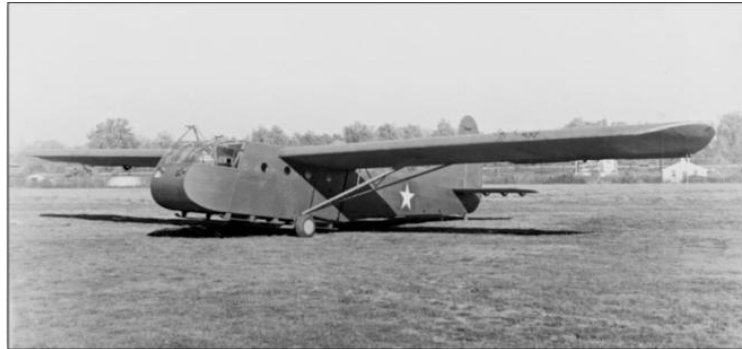
Kuşlarda uçuşu etkileyen bir diğer önemli adaptasyon ise tüylerdir. Tüyler sayesinde vücudun korunması daha hafif bir yapı sayesinde sağlanmakla beraber, tüylerin kuşun üzerindeki hava akımını etkisi oldukça fazladır. Gövde daha kısa tüyler ile kaplı olmasına rağmen, kanatların daha uzun tüylerden oluşmasının da bir sebebi akışın bozulmasını engellemekte ve sürüklemeyi azaltmaktadır.

Planör kelimesi dilimize Fransızca "Planeur" sözcüğünden girmiştir. Fransızca karşılığı "Süzülerek uçmak, süzülerek mesafe kat etmek" demektir. Uluslararası Sportif Havacılık Federasyonu (FAI) tarafından "Sabit kanatları sayesinde taşıyıcı güç oluşturarak havada süzülme kabiliyetine sahip, havadan ağır motorsuz hava aracı" olarak tanımlanmıştır. Planörün ilk mucidi olarak gösterilen İngiliz havacı Sir George Cayley yaptığı planör ile uçuşunu gerçekleştirmesine rağmen iniş esnasında meydana gelen kaza sebebiyle uçuşu başarılı olarak sonlanmamış, daha sonra Alman havacı Otto Lilienthal ilk başarılı uçuşu gerçekleştirmiştir. Bu uçuşun ardından modern planörcülük başlamış ve günümüze kadar gelişmiştir.



Şekil 1.3. Otto Lilienthal'in ilk planör uçuşunu gerçekleştirdiği planör (Thomas,2003).

Bu gelişmeler esnasında planörler askeri amaçla dahi kullanılmıştır. II. Dünya Savaşında Amerikalılar tarafından kullanılan ve Hadrian olarak da bilinen Waco CG-4A planörü, düşman sınırlarının arkasına sessiz bir şekilde personel ve kargo sevkiyatında kullanılmıştır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. II. Dünya Savaşında Amerikan Hava Kuvvetlerine ait Waco CG-4A planörü (NFA, 2018).

Dünya savaşları sırasında gelişen havacılık, planörcülüğün gelişiminde rol oynarken planörcülükteki gelişmelerde havacılıktaki gelişmeler de rol oynamaya başlamıştır. Azalan fosil yakıt kaynakları neticesinde modern havacılıkta daha düşük enerji harcama özelliklerine sahip olan hava araçlarına olan eğilim artmıştır. Ayrıca motorsuz uçuşu sağlayan yüksek aerodinamik performans birçok farklı hava aracında kullanılmıştır. Günümüzde Amerikan Hava Kuvvetleri tarafından kullanılan U-2 casus uçağı bu hava araçlarından en önemlilerindedir. Yüksek kanat açıklık oranı sayesinde, 1'e 23 olan süzülme oranı ile birçok motorlu planöre yakındır.



Şekil 1.5. Lockheed U-2 casus uçağı uzun zamandır ABD tarafından kullanılmaktadır (Lockheed Martin, 2019).

Tüm bunların yanında Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından kullanılan uzay mekikleri görevleri tamamlayıp atmosfere girdikten sonra bir planör olarak süzülerek inişe kadar gelmektedirler (NASA, 2019). Bu nedenle, bu uçuşun öğrenilmesi için NASA astronotlarına planör uçuş eğitimi verilmektedir.

Planörler; meteorolojik olayları kullanarak havada kalabilmek, meteorolojik oluşumların dışında ise yüksek performans ile uçabilmek için tasarlanmıştır. Bu nedenle meteorolojik olayların keşfi ve bu olaylardan planörlerin ne kadar faydalanabileceğine dair çalışmalar mevcuttur. Perlan projesi bu konuda yapılan çalışmalardan en önemlisidir. 2. etabına geçilen bu çalışma 3009 km uçuş ile planörle mesafe uçuşu rekorunu kıran Alman

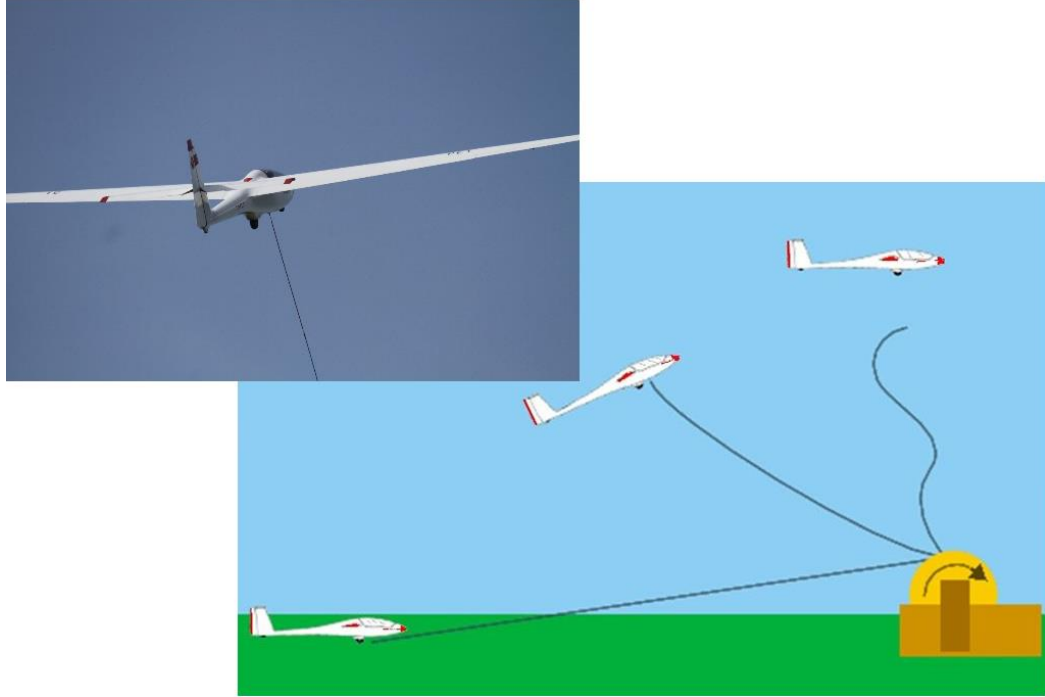
planör pilotu Klaus Ohlmann'ın uçtuğu Arjantin'de devam etmektedir. Bu projede amaç dağ dalgası uçuşu ile yüksek irtifalara kadar çıkmaktır. Projede çıkılan en yüksek irtifa ise 28 Ağustos 2018 tarihinde ulaşılan 19,9 km (65,605 feet) seviyesidir (Perlan Project, 2015).



Şekil 1.6. Airbus tarafından desteklenen proje için tasarlanmış planör (Perlan Project, 2015).

Planörün havalanması için oldukça fazla yöntem vardır. Kendi kendine havalanabilen motorlu planörler haricinde planör kalkışında en sık kullanılan ve en ucuz yöntem olan kalkış türü, vinç kalkışıdır. Bu kalkışta pistin diğer ucunda duran makara sistemine sahip vincin çelik teli, pistin diğer ucundaki planörün dikeydeki (x eksenin) ağırlık merkezindeki kancaya takılır. Vincin çekişe başlaması ile birlikte, kanat üzerinden hava akımı geçmeye başlar ve planör havalanır. Çekiş, planörün ufuk ile 45-50° açı yapmasına kadar sürer ve daha sonra otomatik veya pilot kontrolünde planör telden ayrılır. Bu kalkışta pist uzunluğunun 1/3'üne yakın irtifa kazanılır. Bir diğer kalkış yöntemi ise tayyare römorku (uçak arkasında) kalkıştır (Şekil 1.7). Bu kalkışta römork uçağına bağlanan 15-20 m uzunluğundaki halat ile planörün yatay ağırlık merkezindeki (y eksenin) kancaya bağlanır. Daha sonra uçakla beraber tırmanan planör daha önce belirlenen bir yükseklikte halatı bırakır ve uçuşuna devam eder. En yaygın kullanılan bu iki kalkış yöntemi haricinde, tepeden

kuvvetli yaylı halatlarla bungee kalkışı denilen yöntem ile planör fırlatılarak uçuş sağlanır fakat bu uçuş için planörün tepeye çıkartılması gerektiğinden çok fazla tercih edilmez. Aynı şekilde vinç kalkışına benzer bir yöntem ile arabaya halat bağlanarak çekilerek de kalkış yapılabilir.

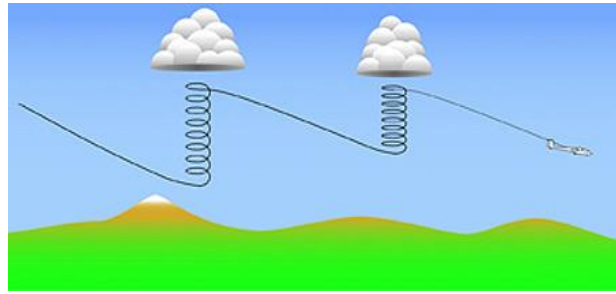


Şekil 1.7. Türk Hava Kurumuna ait SZD-50 Puchacz tipi planörün vinç kalkışında (İnönü, 2018) ve Vinç Kalkışı (Anonim, 2019a) görseli.

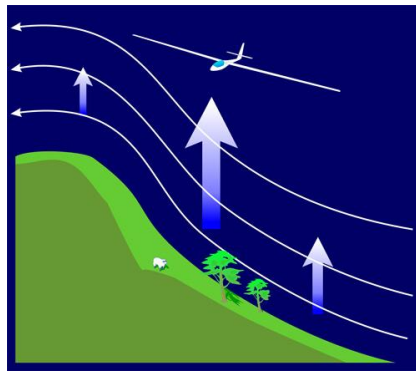


Şekil 1.8. Tayyare Römorku (Uçak arkasında) ile kalkış (Anonim, 2016).

Planörler uçaktan veya vinçten ayrıldıktan sonra serbest uçuşa başlar. Bu uçuş 3 dakika sürebileceği gibi saatlerde sürebilmektedir. Tamamen o günün meteorolojik koşullarına ve planör pilotunun becerisine bağlı olarak uçuş süresi değişiklik gösterir. Planörler temelde yelken ve termik uçuşları ile irtifa alırlar veya mevcut irtifasını muhafaza ederler. Yelkenler, rüzgârın bir dağ silsilesine, bir tepeye veya herhangi başka bir yükseltiye çarpması ve yükselmesi sonucu oluşurlar (Şekil 1.10). Bu hava akımının içine giren bir rüzgârın kuvvetine bağlı olarak yükselir. Termikler ise ısınma farklılığı esasıyla oluşur. Güneşin dik geldiği bir yamaç etrafındaki araziye oranla daha yüksek sıcaklıklara ulaşacaktır. Dolayısıyla temas ettiği havayı ısıtacak, ısınan hava ise yükselmeye başlayacaktır. Aynı şekilde, ısıyı daha fazla absorbe eden renklere sahip coğrafi oluşumlar da aynı durumu sağlayacaklardır. Planör pilotu, bu hava akımının içine girer ve dönerek yükselmeye başlar. Bu konuda planör pilotunun en önemli referansı kümülüs (cumulus) bulutlarıdır (Şekil 1.9). Termiklerin yerden aldığı nemi yukarı çıkarması ve inversiyon tabakasında yoğunlaşması sonucu oluşan bu bulutların altında termik olması oldukça muhtemeldir. Planör pilotu bu taşıyıcı hava katmanlarının dışında ise bir sonraki irtifa kazanacağı bölgeye kadar planörünün performansını oldukça iyi kontrol etmelidir.



Şekil 1.9. Termik Uçuşu (Anonim, 2019b).



Şekil 1.10. Yelken Uçuşu (Anonim, 2019c).

İHA'larda özellikle mini İHA'larda başlıca sorunlardan birisi olan uçuş süresini arttırmak için planör benzeri hava araçları kullanılmıştır. Bu çalışmaların en başarılısı ise Vanilla aircraft tarafından geliştirilen VA001 model insansız hava aracıdır (Şekil 1.11). Tamamen motorlu planör mantığı ile tasarlanan bu hava aracı, 10 günlük uçuş süresine ulaşılabilme amacıyla tasarlanmıştır. Yapılan denemede ise 5 gün 1 saat havada kalan hava aracının indiğinde 3 gün daha yetecek kadar yakıtı olduğu anlaşılmıştır. Kendi kendine havalanabilme yeteneği olmayan bu hava aracında kalkış esansında araba tarafından çekilmesine ihtiyaç vardır. Verimli dizel motoruna bağlı, itici (Pusher) şeklindeki pervaneden güç olan hava aracında pervane kullanılmadığı anlarda katlanmakta ve sürüklenme azaltılmaktadır. Tam otonom planör insansız hava araçları için ise en zor kısım, termiklerin kullanım safhasıdır. Bu nedenle NASA yaptığı çalışmada, otonom olarak termik dönme üzerine geliştirdiği yazılımla 23 adet termik tespit edilmiş bu termiklerden ise ortalama olarak 172 m irtifa kazanılmıştır (Allen, 2008).



Şekil 1.11. VA001 insansız planörü.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kuşların uçuşu araştırmacıların dikkatini uzun zamandır çekmektedir. Uçuşa adaptasyonu evrimlerinin en önemli parçası ve bu kadar başarılı bir sınıf olmasının nedeni olarak görülmektedir. Bu nedenle evrimlerine yönelik yapılan birçok çalışmada kuşların atalarının ilk tüylere sahip olmasından uçuşa başlangıca ve günümüzde farklı koşullara adapte olmuş oldukça başarılı türlere kadar, kanatlarının ve diğer uçuşa yardımcı uzuvlarının evrimi sıkça çalışılmıştır. Paleontolojik çalışmalarla birlikte ilk tüye sahip olan *Archaeopteryx* sürüngenlerden kuşlara evrimin önemli bir ara basamağı, geçiş formu olarak görülmeye başlanmıştır. Ayrıca uçuşun evrimiyle ilgili olarak iki teori bulunmaktadır. Bu teoriler, “Cursorial” teori (kanat çırparak koşma ve kısa sıçramalarla havada kısa süreler zaman geçirmek) ve “Arboreal” (yüksek bir yerden uzuvların arasındaki perde benzeri yapılarla süzülme uçuşu yapmak) teoridir. Fakat ağaç veya yüksek yerlere tırmanarak süzülme uçuşu yapmak, tırmanma kabiliyeti sınırlı olan bu canlılar için oldukça zor olduğundan, sıçrama hareketi ile uçuşa başlanması yani cursorial teori daha çok kabul görmektedir. Ayrıca tüy yapısının mükemmelleşmesi ile uçuşun da daha iyi hale geldiği bir gerçektir (Hedenström, 2002; Videler, 2006; Heers vd., 2014; Kaiser ve Dyke, 2014; Heers vd., 2016).

Günümüzde yapılan çalışmalarda kuşların uçuşları, uçuş safhalarına göre ayrılarak şekillenmektedir. Uçuşun temel safhalarına etki eden özelliklerin ilki kanat alanı (S), kanat açıklığı (b), gövde ağırlığı, veter uzunluğu (c), kanat ağırlığı ve toplam ağırlığın (W) birbiriyle korelasyonu üzerine olduğu düşünülmüştür (Greenewalt, 1962). Bu parametrelerin hepsi havacılık biliminde olduğu gibi anlamlandırılarak; kanat açıklığının veter uzunluğuna bölümü ve kanat açıklığının karesinin kanat alanına bölümünün açıklık oranı (AR), toplam kuş ağırlığının kanat alanına bölümünün kanat yüklemesi (W/S) gibi önemli aerodinamik faktörler şeklindedir (Greenewalt, 1962; Greenewalt, 1975). Tüm bu faktörlerin kuşların uçuş tarzına olan etkileri farklı çalışmalar ile ispatlanmaya çalışılmıştır. Örneğin uzun kanatlı, yüksek açıklık oranına sahip kuşların kanat çırpma frekansının, kanat açıklığı az olan, düşük açıklık oranlı kuşlara göre daha az olmasının sebebi bu parametreler ile açıklanmıştır (Greenewalt, 1975; Rayner, 1988; Norberg, 2012). Tüm bu aerodinamik özelliklerin ise kuşların baskın uçuş tarzını belirledikleri de önemli çalışma konularındandır.

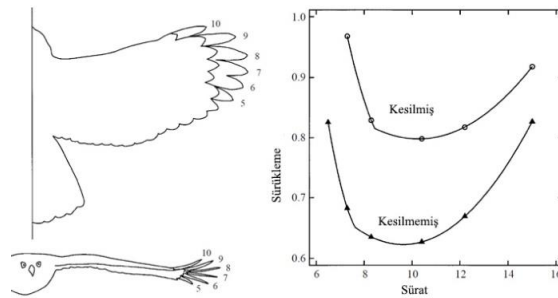
Örneğin yüksek açıklık oranına sahip kuşların (albatroslar, martılar ve sumrular gibi) süzülme uçuşuna yatkın oldukları, geniş kanat alanına sahip düşük açıklık oranlı kuşların ise (akbabalar, şahinler ve kartallar gibi) verimli bir şekilde termal aktiviteleri kullandıkları açıklanmıştır (Savile, 1957; Rayner, 1988). Kanat çırpma dahi kuşlar için çok fazla enerji harcanmayan bir yöntemdir. Fakat kanat çırpma frekansları ve kanat morfolojisi de bu uçuş esnasındaki enerji tüketimini ve uçuş tarzını belirlemektedir. Yapılan çalışmalarda genel olarak kanat çırpma uçuşunun performansının belirlenmesi; kas yapısı, kalp atış hızı gibi fizyolojik ve biyomekanik aktivitelerin izlenmesi ile başarılmıştır (Tobalske, 2007; Altshuler vd., 2015). Örneğin farklı irtifalarda yaşayan yaygın bir tür olan ağaç serçesinin (*Passer montanus*) kanat çırpma frekansı ve bunun kalkış performansına olan etkisi etkin bir şekilde gözlemlenmiştir. Bu etki hava yoğunluğunun azalmasının aerodinamiğe olan etkisi olduğu gibi, oksijen miktarının kuşun metabolizmasına olan etkisi olarak da açıklanabilir (Sun vd., 2016). Aynı şekilde farklı irtifalarda yaşayan yakut boğazlı sinek kuşu (*Archilochus colubris*) uçuşlarında metabolizma farklılıkları ve limitleri olduğu görülmüş ve yüksek irtifada yaşayanların daha yüksek bir anaerobik kapasiteye sahip olması sayesinde yüksek irtifanın neden olduğu aerodinamik dezavantajları kapattıkları görülmüş olmasına rağmen bunun da bir limiti olduğu belirtilmiştir (Chai ve Dudley, 1996).

Temel olarak uçuşun safhaları ikiye ayrılarak incelenmiştir. Kanat çırpma ve sabit kanatlı olarak incelenen bu uçuş türlerinden sabit kanatlı uçuş, inceleme kolaylığı bakımından oldukça sık çalışılmıştır (Shreyas vd., 2012; Aldheeb vd., 2016). Kanat dihedral (yukarı doğru pozitif açı) yapılarının uçuşa olan etkisinin tespiti için yapılan CFD simülasyon çalışmalarının sonucuna göre, yüksek dihedral oranının taşıma ve sürüklemeye etkisi oldukça fazladır ve yalpa ile sapma hareketi üzerine de etkili olduğu görülmüştür (Sachs ve Moelyadi, 2010). Kuşlarda alula yapısının kanat hücum kenarı ile bir aralık oluşturarak -tıpkı uçaklardaki slot-slat gibi- hava akımını düzenlediği ve bu şekilde daha düşük süratlerde havada kalmaya yardımcı olduğu ortaya çıkmıştır (Ge vd., 2013; Dvořák, 2016). Aynı şekilde kanatlarının üstündeki ikincil örtü tüylerini inişte ve yavaş uçuş esnasında kullanarak hava akımlarını düzenleyerek perdövitesi (Stol: Düşük sürat nedeniyle ani taşıma kuvveti kaybı) engellerler ve düşük süratte taşıma kuvvetinin korunmasını sağlarlar (Aldheeb vd., 2016). Kuşlarda uçuşu kolaylaştıran ve insanoğlunun en fazla taklit ettiği yapı olan primer tüyler ise indüklemeye sürüklemeye kuvvetini azaltarak kanat ucu vorteks oluşumlarını azaltır, böylelikle performans artışı sağlarlar (Tucker, 1995; Aldheeb vd.,

2016). Kuşların kemik yapılarının yivli ve kirişli olması sebebiyle içi boş kemiklerin sağlam olması sağlanmaktadır, bu sayede en önemli özellikleri olan ağırlığın en düşük seviyede tutulmasına yardımcı olmaktadır. Aynı şekilde primer tüylerin yapısı da düşük ağırlık sağlamaktadır (Wang ve Meyers, 2017; Sullivan vd., 2017). Ayrıca yapılan rüzgâr tüneli çalışmasında kuşlarda kuyruğun sürüklenme azaltma üzerine etkisi olduğu gibi, taşıma kuvveti sağladığı da belirlenmiştir (Maybury vd., 2001).

Bu bağlamda tasarımı planlanan insansız planör için kuşların sabit kanatlı uçuşu incelenmiştir. Enerji kaybetmeden yapılan süzülme uçuşu, enerji harcamadan yapılan bir uçuş türü olduğu için bu tür kuşlardan esinlenilmesi, çalışmayı başarıya kavuşturacaktır. Kuş türü göz etmeksizin, kuşlar sıklıkla süzülme uçuşunu kullanmaktadırlar. Süzülme performansları yeterince iyi olmasa bile güvercinler dahi belirli irtifaya çıktıktan sonra, yere iniş veya uçuş irtifasından alçak fakat yerden yüksek noktalara enerji harcamadan süzülürler (Robertson ve Biewener, 2012). Fakat süzülme uçuşu, aylarca uçup, binlerce kilometre mesafe kat eden albatroslar ile özdeşleşmiştir. Tabi ki bu uçuş tarzının coğrafik oluşumları kullanmadan yapılması imkansızdır. Yüksek açıklık oranı sayesinde yüksek süzülme performansına sahip albatroslar aynı zamanda dalgalara ve tepelere çarpan rüzgârın taşıyıcı sathlarını kullanarak, irtifa kaybetmeden uçuşlarını yapmaktadırlar (Richardson, 2011). Ayrıca diğer deniz kuşları da bu özelliklerin birçoğunu barındırmaktadır (Hertel ve Ballance, 1999). Bu nedenle yapılan çalışmalarda, kuşların kanat morfolojileri oldukça önem taşımaktadırlar. Aerodinamik olarak belirleyici unsurların en önemlilerinden biri olan kanat profili yapıları da bu morfolojik özelliklerin başında gelmektedir. Kanat profilinin taşıma ve sürüklenme kuvveti analizinde yapılan simülasyon (CFD) çalışmalarına oldukça sık rastlanmaktadır (Xin vd., 2010; Brewer ve Hertel, 2007). Kuşların tam kanat yapılarının üç boyutlu olarak modellenmesi ve bu modellerden kesit alarak kanat profillerinin elde edilmesi de bir başka yöntemdir (Carruthers, 2010). Ayrıca yapılan morfolojik çalışmalarda, kanat ucu profillerinin, kanat kök profillerine göre daha düşük bir hücum açısına sahip olduğu belirtilmiştir. Bu farklılık sonucunda kanat ucu, kanat kök kısmına göre daha az taşıma kuvveti sağlamasına rağmen, kanat ucu daha geç perdövites olmaktadır. Bu sayede kuşun yalpalamamasını sağlayan kanat ucu bölümünde hava akışının bozulmaması sağlanıyor, ayrıca kanat çırpma uçuşunda da bu bölüm itki kuvveti de sağlamaktadır (Gill, 1995; Corvidae vd., 2006; Brewer ve Hertel, 2007; Claramunt vd., 2011; Altshuler vd., 2015). Süzülme uçuşunda ise kuşlar herhangi bir itki kuvveti üretmediği için, ağırlığını kullanarak

yatay doğrultuda hızlanmaktadır. Bu da düşük kanat alanına sahip, görece ağır deniz kuşlarının süzülme uçuşunda yatkın olmasının başka bir sebebidir. Yüksek kanat yükleri sayesinde süzülme hattı açısı çok daha az iken yeterli hıza ulaşılabilirler (Norberg, 1985; Pennycuick, 2008a). Bu nedenle farklı kuş türlerinde diğer uçuş safhalarında da olduğu gibi süzülme uçuşlarının takım ve familya bazında incelenmesi oldukça önemlidir (Lees vd., 2016). Bu çalışmalarda ise süzülme performansının hesaplanmasında farklı yollar izlenmiş ve hesaplama yöntemleri kullanılmıştır. Şahinlerin süzülme performansı rüzgâr tüneline test edilmiş, farklı süratlerde değişken kanat ve kuyruk yapılarını kullandığı ve bu yapılar göre farklı sürüklenme kuvvetine maruz kaldıkları ve farklı morfolojiler de maksimum taşıma ve sürüklenme kuvveti oranının ($(L/D)_{maks}$) değiştiği gözlemlenmiştir (Tucker vd., 1970). Benzer bir çalışma Harris şahini (*Parabuteo unicinctus*) üzerinde yapılmış, bu kuşun maksimum taşıma sürüklenme oranı 10.9 ve en düşük çökme hızının da 0,81 m/s olduğu, tıpkı diğer şahinler gibi değişik kanat morfolojilerini değişik süratlerde kullandığı, ayrıca performansının Laggar doğanı (*Falco jugger*) ile benzeştiği belirtilmiştir (Tucker ve Haine, 1990). Tucker'a göre (1992) Harris şahini düşük süratlerde süzülme uçuşunda kanat açıklığını 0,68 m'den 1,7 m çıkartıyordu, ayrıca ulaşabileceği maksimum kanat açıklığının %87'sine ulaşıncaya dek, kuyruğunu sürüklemeyi düşürmek amacı ile kapalı şekilde tutuyordu. Ayrıca kuyruğu tam açıkken toplam taşımanın %10'unu kapalı iken de %5'ini oluşturmaktaydı. Primer tüylerin sürüklemeyi azalttığı da Harris şahini ve primer tüyleri geniş ve belirgin olan kuşlarda işe yaradığı da deneysel çalışmalar ile ispatlanmıştır. Modelleme sonucu ile yapılan bir hava aracında kanat uçlarını kuşlardaki primer tüylerin benzeri bir yapı eklenerek sürüklenme performansındaki farklılıklar belirlenmiştir (Tucker, 1993). Harris şahinin primer tüylerinden 5 tanesi kesilerek rüzgâr tüneline teste tutulmuştur. Bu test neticesinde sürüklenme kuvvetinin farklı süratlerin hepsinde oldukça arttığı ve performansın düştüğü gözlemlenmiştir (Tucker, 1995).



Şekil 2.1. Tucker (1995) Tarafından yapılan çalışmada kesilen primer tüylerin sürüklemeye etkisi.

Kerkenez de (*Falco tinnunculus*) uçuş tarzı bakımından araştırmacıların oldukça fazla dikkatini çekmiştir. Genellikle en önemli uçuş özelliği olarak göze çarpan, kanat çırparak askıda kalma (hover) uçuşunun yanı sıra, askıda kalma eylemini kanat çırpmadan süzülüş açısını bağıl rüzgâr hızı ile eşleyip askıda kalma uçuşunu kanat çırpmadan başarabilmesidir (Videler vd., 1983). Kerkenezin süzülme uçuşunda ise kuyruk geometrisi oldukça önemlidir. Vücuduna oranla oldukça büyük olan kuyrukları aşırı sürüklemeye neden olacağı için süzülme uçuşunda yine katlanmış kuyruk yapısı gözlemlenmektedir (Spedding, 1987). Süzülme uçuşu çalışılan bir başka kuş ise aksırtlı akbabadır (*Gyps africanus*). Bu kuş optik takip sistemiyle takip edilmiş ve süzülme uçuşu sırasındaki maksimum 39,1 m/s ve minimum 5,4 m/s olarak, çökme hızı ise minimum 0,2 m/s ve maksimum 8,3 m/s olarak belirlenmiştir (Tucker, 1988). Aynı kuş üzerinde yapılan başka bir çalışmada ise motorlu planör aracılığı ile kuş takip edilmiş, süzülme ve termik uçuşunda planör performansı ile ilgili karşılaştırmalar yapılmış, süzülme oranı 1'e 14 olarak hesaplanmıştır (Pennycuick, 1971a). Benekli akbaba için ise (*Gyps rueppellii*) 1.0 taşıma sayısı sabiti için 12 m/s sürat ihtiyacı duyulduğu, minimum çöküşün 11 m/s hızda, maksimum süzülüşün ise 14-15 m/s hızda sağlandığı, ayrıca yüksek veter uzunluğu nedeniyle Reynolds sayısının 140.000 olduğu belirtilmiştir (Pennycuick, 1971a). 1,79 kg olan bir karga akbabası (*Coragyps atratus*) için ise maksimum L/D (Taşıma/Sürüklenme) oranı olan 11,6'ya 13,9 m/s hızda ulaştığı, süzülme açısının da 4,9° olduğu belirlenmiştir (Parrott, 1970). 11,7 kg'lık, 3 m kanat açıklığına ve 7,9 açıklık oranına sahip And kondoru (*Vultur gryphus*) için ise süzülme açısı yaklaşık 3°, süzülme uçuşundaki hızı ise 15 m/s olarak hesaplanmış ve maksimum taşıma ve sürüklenme kuvveti oranı 14 olarak belirlenmiştir (McGahan, 1973). Kuzey fulmarı (*Fulmarus glacialis*) için yapılan deneylerde ise, kuşun kanatlarını dört farklı süzülme pozisyonunda kullandığı, buz pozisyonlarda sırasıyla kanat açıklığının 0,12; 0,10; 0,08 ve 0,075 m² olduğu, ayrıca maksimum C_L (Taşıma katsayısı) oranının 1,8 ve minimum çöküş hızının 1,21 m/s olduğu görülmüştür (Pennycuick, 1960). Rüzgâr tüneline karga akbaba ve Laggar doğanının karşılaştırmalı süzülme uçuşu testinde ise farklı süzülme açıları kullandıkları, aynı zamanda iki türde de kanat açıklığının azalmasının ve kanat alanının sabit kalmasının veya artmasının indüklenme sürüklemesini arttırdığı gözlemlenmiştir (Tucker, 1987). Rüzgâr tüneline testlerinden alınan bir başka sonuç ise, süzülme uçuşunda kuşların kafa pozisyonunun kanat çırpma uçuşundan farklı olduğu ve bu farkın parazit sürüklenme katsayısını azalttığı adi doğan (*Falco peregrinus*) üzerinde görülmüştür (Tucker, 2000). Laggar doğanı, Harris şahini ve küçük karganın kanatlarının koniklik oranı ve süzülme

performansları arasında yapılan karşılaştırmalı çalışmada, humerus kemiği ile kuş gövdesi arasındaki açının açıklık oranı hakkında tahmin yapılabileceği ve bunun süzülme performansına olan etkisinin belirlenebileceği tespit edilmiştir (Zahedi ve Khan, 2007). Accipitridae, Falconidae ve Strigidae familyasındaki 13 tür üzerinde yapılan deneysel çalışmada, süzülme uçuşuna olan yatkınlığına -kanat açıklığının kanat çırpma frekansına olan etkisinin- olan kanat uzunluğuna kalkış performansına olan etkisi değerlendirilmiş ve familyalar bazında performans farklılıkları ortaya konulmuştur (van Oorschot vd., 2016). Ebabillerde (*Apus apus*) ise akkarınlı ebabiller (*Tachymarptis melba*) gibi uzun süreler boyunca havada kalabilen bir tür olduğu için süzülme uçuşunu sıklıkla kullanmakta, bu uçuşa yatkın morfoloji sayesinde minimum çöküş hızı 8,1 m/s, maksimum taşıma ve sürüklenme kuvveti oranı da 9,5 m/s hızda 12,5 olarak belirlenmiştir (Henningsson ve Hedenström, 2011; Liechti vd., 2013). Ebabillerin açıklık oranı, süzülme kabiliyeti yüksek olan diğer kuşlara oldukça yakın, bazılarında ise yüksektir. Fakat gövde ağırlığı az ve boyutu küçük olduğu için boyutsal olarak küçük kanat yapısı sebep olmuş, bu nedenle veter uzunluğu oldukça kısadır, bu nedenle süzülme uçuşu diğer kuş türlerine göre oldukça düşük reynolds sayılarında olmaktadır (Muijres vd., 2012; van Bokhorst vd., 2015). Düşük süratlerde daha fazla performansı sağlamak için ise pürüzlü kanadının avantajını kullanarak hava akımının ayrılmasını engellemektedirler (Lentink ve de Kat, 2014; van Bokhorst vd., 2015). Ayrıca yapılan rüzgâr tüneli deneylerinde, farklı süzülme süratleri için farklı kanat açısını kullandıkları ve kanatları tam açıkken düşük reynolds sayılarında 5-10° arasındaki farklı hücum açılarında sabit bir hücum kenarı türbülansı oluşturabildikleri görülmüştür (Videler vd., 2004; Lentink vd., 2007; Henningsson vd., 2008; Muir vd., 2017). Küçük karga (*Corvus monedula*) da yapılan rüzgâr tüneli denemelerinde ise süzülme uçuşunda 5 derece gövde sürüklemesinin, süzülme uçuşundaki sürat ile orantısının optimum olduğu, ayrıca kuyruk geometrisinin kanat açıklığına negatif etkileri olduğu görülmüştür (KleinHeerenbrink vd., 2016). Martılarda ise kanat çırpma, kapalı kanat ve açık kanatlı süzülme uçuşlarının sürüklenme ve taşıma katsayılarının analizi CFD simülasyonu ile sağlanmış ve rüzgâr hızına göre optimal süratin seçilmesiyle yan rüzgâr ve kafa rüzgarının kullanımının avantaja çevrilmesi deneysel çalışmalar ile gözlemlenmiştir (Han, 2009; McLaren vd., 2016). Süzülme göç esnasında da oldukça belirleyici bir performans kriteridir fakat süzülme açısının azlığı veya çokluğu göçü tehlikeye atabilir. Gün içindeki termiklerin kuvvetine göre kuşların bir termikten diğer termiğe geçişi esnasında en optimum süzülme hızını doğru seçebilmeleri oldukça önemlidir (Horvitz vd., 2014). Kuşların süzülme uçuşları

sırasında dağa çarpan rüzgârı kullanarak irtifa kaybetmeden uçmaları (yelken uçuşu) çok sık kullanılan bir yöntemdir. Genellikle dağ silsilesine paralel olarak yapılan bu uçuşta, rüzgâr uçuş boyunca yandan alınacağı için kuşun uçuş boyunca yan rüzgâr önlemesi vermesi yani kurs tutarak (rüzgârın savurmaması için rüzgâr içine belli bir açıda istikametini çevrilmesi) uçuşun istikametini koruması gerekmektedir. Fakat uçaklarda olduğu gibi bir istikamet dümeni olmadığı için kuşlar kurs tutmak için primer tüylerinin açılarını değiştirerek kafalarını rüzgâr içine alacak şekilde aksi tarafa sürüklenme yaratırlar veya kuyrukları yardımıyla aksi tarafa kayış yaparak uçuşun istikametini sağlarlar (Sachs, 2005; Sachs ve Moelyadi, 2006). Albatros türleri ise bu uçuş tarzını dalgalara çarpan şiddetli okyanus rüzgarlarının taşıyıcı hava sathlarına adapte olarak kullanmışlar ve bu sayede binlerce kilometre mesafeyi enerji harcamadan uçabilme yeteneği kazanmışlardır (Suryan vd., 2008).

Isı farklılıkları sonucu meydana gelen termiklerin özellikle uzun süreler havada kalan yırtıcı ve göçmen kuşların uçuşlarında, enerji harcamadan uçuş imkânı sağladığı için oldukça büyük önemi vardır. Termikler yükselen dikey hava sütunları oldukları için, kuşlar genel olarak bu hava sütunlarının içinde dönerek yükselirler (Aldheeb vd., 2016; Dvořák, 2016). Kuşlar göç esnasında önemli meteorolojik oluşumlar ile karşı karşıya kalırlar, termiklerde bu oluşumlar neticesinde oluştuğu için termikleri kullanarak uçan çayır tuygunu (*Circus pygargus*) gibi kuşlar daha çok kümülüs bulutları altında termik oluşturan bulutların izlediği rotayı takip ederken, küçük kerkenez (*Falco naumanni*) gibi kanat çırpma uçuşunu daha sık kullanan kuşlar daha direkt rotaları tercih ederek göçlerini gerçekleştirirler (Limiñana vd., 2013). Termikleri kullanan ve termikler arası geçişlerde süzülme uçuşunu kullanan karga akbabası, süzülme uçuşu esnasında kanadını katlayarak sürüklenme azaltırken, termik dönme uçuşu esnasında ise en geniş kanat alanını kullanmaktadır (Newman, 1958). Aynı şekilde ağırlıkları 7,5 ve 7,7 kg olan Himalaya akbabası (*Gyps himalayensis*) ve kızıl akbabanın (*Gyps fulvus*) oldukça sık termikleri kullandığı, kalp atış hızlarının üzerlerine takılan atmosferik basınç sensörü ve altimetreye sahip GPS tarafından ölçülen verilerin kıyaslanması sonucu ortaya çıkartılmış ve termik uçuşu esnasında tüneme pozisyonundan bile daha az kalp atış hızına sahip olması, termik uçuşunun ne kadar az enerji tüketimi sağladığını göstermektedir (Duriez vd., 2014). Termiklerin kuvvetleri yapıları gereği termiğin farklı bölgelerinde değişim göstermektedir, bu nedenle kuşlar termiklerin daha kuvvetli bölgelerini kullanarak daha verimli bir şekilde irtifa kazanmayı amaçlarlar fakat bu kısımlar daha dar oldukları için kuşların aerodinamik özellikleri önem kazanır

(Pennycuick, 2008b). Bu aerodinamik özelliklerden en önemlisi termik dönen kuşlarda coğrafik izolasyona neden olan, dönüş yarı çapını direkt olarak etkileyen kanat yüklemesidir. Geniş kanat alanları sayesinde kanat yüklemesi daha düşük olan büyük yırtıcı kuşlar (Akbabalar, kartallar, şahinler) ile kanat alanlarına göre hafif olan leylekler ve bazı göçmen kuşlar termikleri oldukça verimli bir şekilde kullanmaktadır (Videler, 2006). Pennycuick'e göre farklı kanat yüklemelerine sahip olan kuşlardan Fregat kuşu (*Fregata magnificens*) 23,7° yatış açısı ile yaklaşık 12 m dönüş yarıçapına, karga akbabası 24,7 ° yatış açısı ile yaklaşık 17,1 m dönüş yarı çapına, kahverengi pelikan (*Pelecanus occidentalis*) ise 22,9° yatış açısı ile 18 m dönüş yarıçapına sahiptir (Pennycuick, 1983). Aynı şekilde GPS takibi ile elde edilen verilere göre adi doğan için dönüş yarıçapı 20,2 m iken leyleğin (*Ciconia ciconia*) dönüş yarı çapı 22,3 m'dir (Akos vd., 2008). Bir başka GPS ile takip çalışmasına göre ise Himalaya akbabasının ortalama yatış açısı 27° ile dönüş yarıçapı 26 m, kızıl akbaba için ise dönüş yarıçapı ortalama 32° yatış açısı ile 26,5 m'dir (Williams vd., 2018). Kerkenezlerin termikleri kullanarak ve kullanmadan yaptıkları uçuşların süreleri ve kullandıkları zaman, mesafe kat etmek için yaptıkları süzölmelerin süratleri ile normal uçuştaki süratleri arasındaki farklılıklar da bireylere GPS takılarak izlenmiştir (Hernández-Pliego, 2015). Bozkır kartalının (*Aquila nipalensis*) üstüne takılan kamera ve yerden çekilen görüntüler ile termik dönüşü esnasında kanadının bükülme oranının atak açısına etkisi ve termik üzerindeki performansa olan etkisi çalışılmıştır (Gillies vd., 2011; Reynolds vd., 2014). Tüm bu aerodinamik farklılıklardan kanat yapısının değil, kanat alanının dolayısı ile kanat yüklemesinin etkisinin göç yolları ve zamanı üzerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür (Careau vd., 2006; Grilli vd., 2017). GPS ile yapılan kuşların termik içindeki takipleri, termik içi davranışları, uçuş performanslarının yanısıra atmosferimiz de meydana gelen ve gözle görülemeyen bu olay için bilgi vermektedir (Weinzierl vd., 2016).

İlk planör tasarımcısı olarak kabul edilen İngiliz mühendis Sir George Cayley her ne kadar başarılı uçuş yapamayıp, uçuş denemesi esnasında hayatını kaybetse de bıraktığı notlar ve yaptıklarından esinlenen Alman havacı Otto Lilienthel, tasarladığı yelken kanat benzeri planör ile başarılı uçuşlar yapmış ve basit süzölmelerin yanısıra havada uzun süre kalabilmiş fakat 1896 yılında geçirdiği kazada aldığı yaralar sebebiyle hayatını kaybetmiştir (Thomas, 2003). Bu süreçten sonra ahşap planör tasarımları devam etmiş, savaşlar zamanında sekteye uğrasa da gelişimini sürdürmüş ve en önemli gelişme Eppler ve Nagele'in ilk fiberglas

planörü icat etmeleri ve 1957 yılında uçurmalarıyla yaşanmış, daha sonrasında ise bu buluş daha performanslı kanat tasarımlarının önünü açmıştır (Thomas, 2003; Maughmer, 2003).

Günümüzde ise Avrupa, Amerika ve Okyanusya kıtasında oldukça popüler olan bu hava aracı hem sportif anlamda hem de eğitim uçuşları için oldukça sık kullanılmakla beraber, günbegün daha performanslı hava araçları haline getirilmektedirler (Thomas, 2003). Her hava aracının tasarımında etkili olduğu gibi, planör tasarımında da oldukça önemli bir rol oynayan kanat profili şekli geçmişten günümüze birçok evrim geçirmiştir. İlk uçuşların gerçekleştirildiği yıllarda planörlerin tahta olması, düşük kanat yüklemesine sahip olması sebebiyle oldukça düşük süratlerde uçuyordu, bu nedenle daha düşük reynolds sayılarında taşıma sağlaması için birçok tasarımda Göttingen serisi gibi kamburluğu oldukça fazla olan şişman kanat profilleri kullanılıyordu. Planör aerodinamiğinin gelişimi ile birlikte fiberglasa geçiş öncesi KA 6 gibi NACA 6 serisi laminar akım kanat profili kullanan planörler zamanın planör şampiyonalarını domine etmiştir. Fiberglasa geçiş ile birlikte kanat yüklemeleri artan, doğal olarak daha yüksek hızlarda ve reynolds sayılarında uçan planörlerde Dr. F.X. Wortmann tarafından geliştirilen ve kendi adıyla kodlanan kanat profili serileri kullanılmıştır. Ayrıca bu yüksek süratli planörlerin termik içerisinde daha yavaş uçabilmesi için yapılan rüzgâr tüneli testlerinde ise laminar akış kanat profillerinin düşük süratler için flap ile optimizasyonunun sağlanması çalışılmıştır (Wortmann, 1971; Boermans ve Selen, 1981; Boermans ve Van Garrel, 1997; Thomas, 2003; Maughmer, 2003).

Her sınıf planörün aerodinamik özelliği farklıdır, örneğin açık sınıfın iddialı planörlerinden olan Nimbus 2, mesafe uçuşu esnasında termik dönmeden, termikten yararlanmak için yaptığı çekişlerle (Sürati düşürmek için kullanılan manevra) 100 m yarı çaplı termikte maksimum 5,0 m/s tırmanma sağlarken, ASW 15 standart sınıf planörde bu oran 2,0 m/s olmuştur. Fakat termik dönülmüş olsaydı daha düşük kanat açıklığına sahip standart sınıf planör daha dar termik dönüşleriyle avantajlı olacaktı (Gedeon, 1976). Gövde sürüklemesini, sadece gövde baz alınarak, gövde-kanat kombinasyonu ise flap ile kamburluk oluşturan kanat profili yapısı ve kanat boyunca kamburluğa sahip modern kanat profilleri ile CFD simülasyonunda hesaplanmıştır (Boermans vd., 1998). Düşük süratlerde yüksek indüklemeye sürüklemeye sorununu çözmek için winglet kullanımının, yüksek süratlerde profil sürüklemeye problemini çözmek için ise %12,7 kalınlığında kanat profili kullanımının standart sınıf planörlerde termik içinde düşük reynolds sayılarında daha çok avantaj sağlarken,

yüksek süratlerde sürüklemeyi azalttığı görülmüştür (Boermans, 2006). Standart sınıf ASW-24 planörünün dizaynını ele alan bir çalışmada ise, 3'lü koniklik oranının, ASW-19B'deki 2'li koniklik oranına göre daha fazla açıklık oranını düşüreceğini bu sayede daha düşük indüklenme sürüklemesinin oluşacağını, aynı zamanda farklı kanat-gövde konfigürasyonun avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuştur (Boermans ve Waibel, 1989). SZD-56 Diana planörünün Diana-2 versiyonuna kadar olan gelişimleri, aerodinamik karakteristiği ve süreç içerisinde gelişen yeni üretim teknolojilerinin tespit edilen zafiyetleri ortadan nasıl kaldırdığına dair çözüm yolları ve versiyonlar arasındaki kanat profili etkileri de tartışılan bir konu olmuştur (Kubrynski, 2006). PW-6U planörünün performans ölçümü kanat üzerine yerleştirilen düşük sıcaklık belirleme kapasitesine sahip bölgelerin, gövde üzerine yerleştirilen kızıl ötesi kameralar ile farklı hızlarda ve farklı atak açılarında gözlemlenmesi ile yapılmıştır (Rzucidlo vd., 2016). Bir başka uçuş testinde, GL-1 motorlu planörünün uçuş testleri yapılmış, veriler uçuş kaydedicisinden alınmış ve test sonuçlarına göre uçuşun büyük bir kısmının teorik hesaplamalar ile örtüştüğü, yalnızca kontrol yüzeylerinin geliştirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır (Zulkarnain vd., 2018). AOS-71 motorlu planörünün tasarımındaki temel amaç ise kendi kendine havalanabilme yeteneği olan motorlu bir planör tasarımını enerji kaynağı olarak yakıt hücreleri kullanarak daha çevreci ve verimli bir uçuş yöntemi uygulamaktır (Marjanowski vd., 2017). Tasarım aşamasında, mesafe uçuşundaki problemlerin değerlendirilmesi sonucu tersine mühendislik ilkeleriyle kanat sathında ve bölgelerinde optimizasyon yapılmış ve sparlar (kanat profilleri) arasında optimum süzülme ağırlığına ulaştıracak şekilde su safrası tanklarında iyileştirmeye gidilmiştir (Kubrynski, 2007). Yarışmalarda ise gün içindeki termik kuvvetine göre bir sonraki termiğe kadar olan süzülme uçuşu, bu uçuşun hızı, uçuş boyunca çöküş hızı oldukça büyük önem taşımaktadır, bu nedenle pilotların kullandığı MacCready bileziği üzerine yapılan teorik çalışmalarda mevcuttur (Cochrane, 1999; Almgren ve Tourin, 2015). Modern yüksek kanat yüklemesine sahip planörlerin termik içindeki dezavantajlarını ortadan kaldırmak için değişken geometrili mini flapların kullanılmasının, LAK-17 planöründe %6,5'lik kanat alanı artışı sağladığı, bu sayede düşen kanat yüklemesi ile birlikte önemli ölçüde minimum çöküş süratini azalttığı belirlenmiştir (Lauk vd., 2017). Ön tasarımın için ise kanat profili seçimi düşük reynolds sayılarında olacağı için, xfoil programının kullanılması önerilmiştir (Drela, 1989). Planör tasarımı ve imalatı konusundaki tek Türkçe kaynak, eğitim ve sportif amaçlı uçuşlar için çift kişilik motorlu bir planörün tasarımı ve optimizasyonu için gerekli bilgileri

vermektedir (Kabasakal, 2010). Planör tasarımı için yazılan baştan sona en kapsamlı eser ise *Fundamentals of Sailplane Design* isimli kitaptır (Thomas ve Milgram, 1999).

Gelişen insansız hava araçları (İHA) sistemleri ile birlikte planör hava araçlarının yüksek verimliliği sebebiyle planör uçuşuna uygun hale getirilmeye çalışılmış, otonom uçuşlar ile termikleri kullanarak uzun süreler havada kalınarak enerji verimliliği arttırılmıştır (Gao, 2015). Otonom uçuşun temeli harita üzerinden güneş ve rüzgâr koşulları baz alınarak oluşabilecek taşıyıcı hava satırlarının tahmin edilmesi ve bu bölgelerde termik bulunması halinde termiği düzgün bir şekilde ortalayarak en verimli şekilde kullanmaktır (Depenbusch vd., 2018). Klasik kullanılan yöntem olan termiğin temasının variometre aracılığı ile algılanmasının yanısıra termik oluşumunun saptanmasında iki ısı sensörü kullanılarak denemeler yapılmış, bu denemelerde uçuş süresinin uzadığı belirlenmiştir (Reddy, 2016). Kuşlar gibi termik içinde sürü halinde uçmanın avantajları ise mini İHA'lar tarafından test edilmiş, sonuç olarak termiğin daha kolay saptandığı ve termiğin merkezinde dönüşün daha kolay bir şekilde yapıldığı görülmüştür (Hanson, 2008). İrtifa rüzgârı farklılığını sağladığı, özellikle deniz kuşlarının kullandığı dinamik süzülme uçuşu ise insansız planör araçlarında denenerek uçuş süresinin arttırılması düşünülmüştür (Koessler, 2018). Bu gelişmeler ile birlikte tam otonom insansız planör yarışmaları düzenlenmiş, 5 kg ile sınırlı modellerde 3,5 saate kadar havada kalma süresine ve 70 km uçuş mesafesine erişilmiştir (Edwards ve Silberberg, 2010). NASA tarafından yapılan insansız planörün verileri ile kuşların termik performansı karşılaştırıldığında ise, kuşların İHA'ya göre oldukça verimli olarak termikleri kullandıkları ortaya çıkmıştır (Ákos vd., 2010).

Ward vd. göre (2015) havacılıkta biyomimetiğin başlangıcı olarak görülen kanıtlanmış ilk ornitopter çizimi Leonardo Da Vinci'ye aittir ve tamamen kuşlardan esinlenen Otto Lilienthal'in yaptığı planör ile uçuşları ve onun kuşlar hakkında yazdığı kitaptan ve başarılarından etkilenen Wright Kardeşler'in ilk motorlu uçuşu yapmış olması kuşlardan esinlenerek geliştirilen havadan ağır hava araçlarının ilk başarısı olarak görülmektedir. Wright Kardeşler ilk motorlu uçuştan önce Kuzey Carolina sahillerinde uzun süreler boyunca kuşları gözlemlemişler, kuşların kanat profilini taklit ederek yaptıkları rüzgâr tüneline test ederek motorlu uçuş öncesinde yaptıkları planörde kullanmışlardır (Short, 2005; McCullough, 2015).

Günümüzde biyomimetikten en çok yararlanan alanlardan biri olan mikro İHA tasarımlarında, böceklerden ilham alınarak esnek kanat yapıları, stabilite ve kontrol üzerine çalışılmış, küçük boyutlarda olmasına rağmen faydalı yük kapasitesi artırılmış, kanatlardaki çırpma frekansı ve döner kanatlar için en verimli kanat yapısı belirlenmesinde simülasyon metodu ve rüzgar tüneli metodu kullanılmış, bu sayede mikro İHA'ların en verimli versiyonları ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır (De Margerie vd., 2007; Ang vd., 2009; Tsai ve Fu, 2009; McDonald ve Agrawal, 2010; Nakata vd., 2011; Palmer vd., 2013; Hart vd., 2016; Liu vd., 2016; Shyy vd., 2016; Hassanalian vd., 2017; Sivasankaran vd., 2017; Wu vd., 2017).

Kanat profili dizaynı ve yeni kanat profilleri araştırmacıların uzun süredir üzerinde durdukları konulardan biridir. Havacılıkta hala tam olarak performansın sağlanamadığı konularda çözüm arayışı devam etmektedir. Stabilite, perdövites kontrolü sağlanması, slot yapısına uygun ve değişkin şekilli kanat profilleri çalışmalarında doğadan ilham alınmıştır. Kanat çırpma hava araçlarının tasarımında oldukça popüler olan kuşların kanat profili şekli ile maksimum L/D performansı sağlanmaya çalışılmaktadır. Kanat çırpma uçuşunda, en önemli özelliklerden biri olan askıda kalma (hover) performansının, kanat çırpma İHA modellerine uygulanmaya çalışılması oldukça önemli bir konu olup bu sayede, VTOL (Dikey kalkış-iniş) performansı sağlanacaktır. Ayrıca kuşların değişken kanat şekli ve yapısından ilham alınarak, kanat profilinin uzunluğu, kamburluk ve şişmanlık oranı çalışmaları yapıp, sürata göre optimizasyonu sağlanmaktadır. Baykuş gibi düşük reynoldslarda gece sessiz bir şekilde uçabilen yırtıcının kanat profilinin simülasyon üzerinde ses denemeleri yapılmış ve helikopter pali gibi yüksek ses yaratan yapılarda kullanılabileceği öngörülmüştür. Perdövites durumunun engellenmesi için ise alulayı slotlu yapıya benzetip kanat profillerinin slot ile verimliliği de önemli bir çalışma konusudur (Johnston ve Gopalarathnam, 2012; Sengupta vd., 2005; Boller vd., 2008; Li ve Liu, 2016; Geissler ve van der Wall, 2017; Mandadzhiev vd., 2017).

Kanat boyutu ve geometrisi verimli uçuş için oldukça önemli olmakla beraber, biyomimetik kanat çalışmaları konusunda en önemli çalışmalardan biri teleskobik yöntemle kanat açıklığını ve aynı zamanda kanat açıklık oranını sürekli değiştirerek uçuşun fazına göre performansın ayarlanmasıdır (Daniele vd., 2012). İndükleme sürüklemeyi düşürüp toplam sürüklemeyi azaltmanın bir başka yolu olan vinglet dizaynı için kuşlardan esinlenerek tasarlanan 60°lik açığa sahip vinglet, 0° ve vingletsiz kanat yapısına karşı

yapılan PIV denemelerinde oldukça büyük fark oluşturmuştur (Hossain vd., 2011). Değişken kanat yapısı, katlanan kanat uçları ile azaltılan veya arttırılan koniklik oranları, dihedral ve anhedralin yapılarının uçuştaki stabileye ve burulma (twist) açısının yalpa kontrolüne olan etkisi kuş verileri ile çalışılmış ve farklı süratlerde uçuşun farklı safhalarında olan etkisi ortaya çıkartılmıştır (Abdulrahim, 2005; Di Luca vd., 2017). Dikey stabilize kuşlarda bulunmadığı için, genel olarak bu konu da çalışma yoktur fakat pterezor (pterezour)'dan esinlenerek yapılan çalışmada, bir mini İHA'nın burun kısmına yerleştirilen dikey stabilizenin dönüş yarıçapını %14 azalttığı ortaya çıkmıştır (Roberts vd., 2011). Genel olarak uçak tasarımlarında, kanat üzerinde akım ayrılmasını önleyen veya geciktiren türbülans flabı (eddy flap), slot-slat yapısının önemini ortaya koyan, farklı vinglet ve kanat ucu dizaynları ile dihedral/anhedral açılarının uçuş tarzına olan önemini açıklayan çalışmaların ve yeniliklerin birçoğu doğadan esinlenerek ortaya çıkmıştır (Bannasch, 2001; Ward vd., 2015).

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Tasarım İçin Gerekli Olan Verilerin Tespiti

Bu tez çalışması enerji harcamadan süzülerek mesafe kat eden ve termikleri kullanarak irtifa kazanan kuşlardan esinlenmiş aynı zamanda elektrik motoru ile havalanabilen ve olası harici inişi engelleyebilen insansız bir motorlu planör tasarımının konsept aerodinamik tasarımını araştırma amacıyla yapılmıştır.

Tasarlanacak olan İHA, mini İHA kategorisinde yer alacağından dolayı modern planörlerin mesafe uçuşu için gerekli özelliklerinden ziyade, termikleri yavaş ve dar dönerek bir termikten maksimum seviyede faydalanacak ve termikler arasında yüksek süzülme performansı ile minimum irtifa kaybıyla uçuş özelliğine sahip olacaktır. Bu sayede mini İHA kategorisinde önemli sorun teşkil eden servis süresinin uzatılması amaçlanmıştır. Bu nedenle öncelikli tutulacak performans grupları saf performans (L/D oranı) ve süzülme performansı olacaktır.

Tasarımda limitler, süzülen kuş türlerinin ve rakip çalışması sonucu tespit edilen insansız planör modellerinin verileri ile kıyaslanarak belirlenecek ve tasarımın için en iyi aralığa ulaşılmaya çalışılacaktır. Aynı zamanda tasarımın mini İHA kategorisinde yer alması sebebiyle elde taşınmaya uygun boyutlarda olması tasarımın bir başka önemli parametresi olacaktır. Bu nedenle belirlenmesi gereken öncelikli parametreler şunlardır;

1- Kanat Açıklığı

2- Kanat Açıklık Oranı

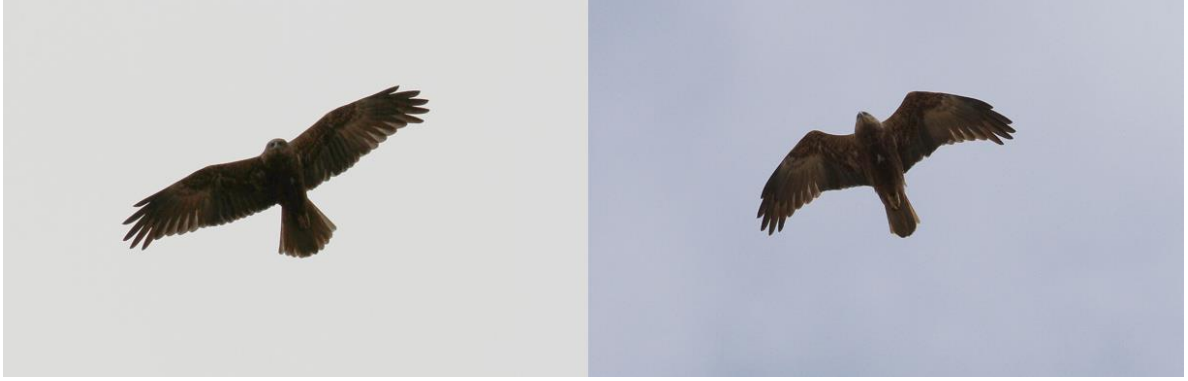
3- Kanat Yüklemesi

4- Kanat Şekli

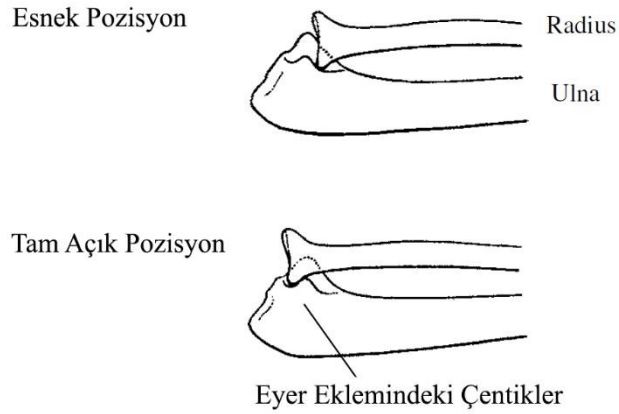
5- Kanat Profili

Sabit kanatlı bir İHA tasarımı ile kuşların arasındaki en büyük fark değişken kanat yapısıdır. Kuşlar kanat çırpmadan yaptıkları uçuşlarda sabit kanatlı olarak değerlendirilse bile uçuş stillerine göre farklı kanat şekillerini kullanabilirler. Örneğin termik içerisinde daha geniş kanat alanı kullanarak kanat yüklemesini azaltırlar, bu sayede daha dar ve yavaş

dönüşlerle termikten daha verimli bir şekilde yararlanabilirler. Aynı şekilde termikten termiğe süzülürken kanat alanlarını azaltarak, kanat yüklemelerini artırır ve kanat uçlarına daha konik bir şekil vererek daha yüksek süratlerde süzülme uçuşu yapabilirler. Bu nedenle termik ve süzülme uçuşlarını en verimli şekilde kullanabilirler (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Kızıl şahinin (*Buteo rufinus*) termik dönerken kullandığı kanat alanı yaklaşık $0,270 \text{ m}^2$ ve kanat yüklemesi yaklaşık $3,70 \text{ kg/m}^2$ 'dir. Süzülme uçuşunda ise $0,218 \text{ m}^2$ kanat alanına ve $4,58 \text{ kg/m}^2$ kanat yüklemesi ile uçmaktadır. Kanat açıklığı ise kanat açma-kapama davranışı ile değiştiği için açıklık oranlarının değerlendirmeye alınmaması gerekmektedir.



Şekil 3.2. Albatroslar ve yelkovangillerde ise radius ve ulna kemikleri iki farklı pozisyonda (Esnek ve Tam açık) kilitlenerek kanat açıklığını ve dolayısıyla açıklık oranını arttırmaktadır (Joudine, 1955).

Planörlerde ise havada kanat yapısını değiştirmek mümkün olmadığı için yardımcı kumandalar ve su safraları ile günün meteorolojik şartlarına göre değişiklikler yapılabilmektedir. Örneğin termiklerin kuvvetli olduğu günlerde kanatlarda bulunan

depoları su konularak daha yüksek bir uçuş ağırlığına ulaşılabilir, bu sayede termikler arası uçuşlarda daha yüksek süzülme hızı elde edilebilir. Fakat bu durum termik içinde dönüş yarıçapını arttırması dolayısıyla ve perdövites süratini arttıracığı için dezavantaj oluşturacaktır. Bu nedenle standart flaplar ve kanat alanına arttıran fowler flap kullanımlarıyla termik içinde daha düşük sürat kullanımını mümkün kılmaktadır. Fakat tasarlanacak olan İHA zaten düşük ağırlık gözönüne alınarak tasarlanacağından dolayı bu tür yardımcı kumandalara ve su safrasına gerek yoktur.

3.2. Benzer Yapıdaki İnsansız Planörlerin İncelenmesi

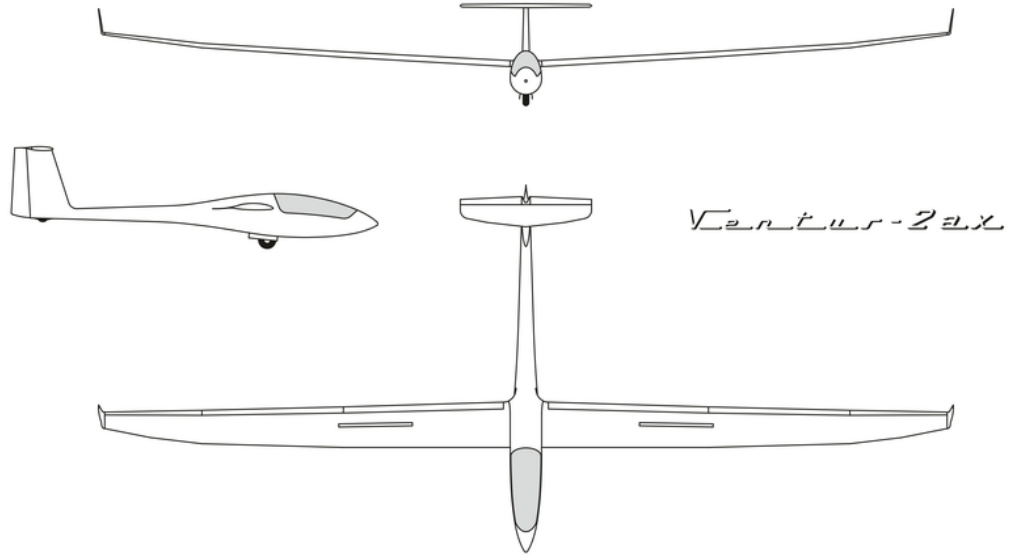
İnsansız planör olarak nitelendirilebilecek hava araçları genel olarak hobi-eğlence amaçlı kullanılan radyo kontrollü planörlerdir. Bu planörler ilk olarak gerçek planörlerin birebir ölçeklendirilerek tasarlanan (Çizelge 3.1), ikinci olarak ise FAI nezdinde düzenlenen yarışma sınıflarına uygun olacak şekilde tasarlanan insansız planörlerdir.

Çizelge 3.1. Dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan performans ve yarışma planörlerinin birebir ölçeklendirilerek tasarlanmış modellerinin aerodinamik özellikleri ve kullanılan kanat profilleri.

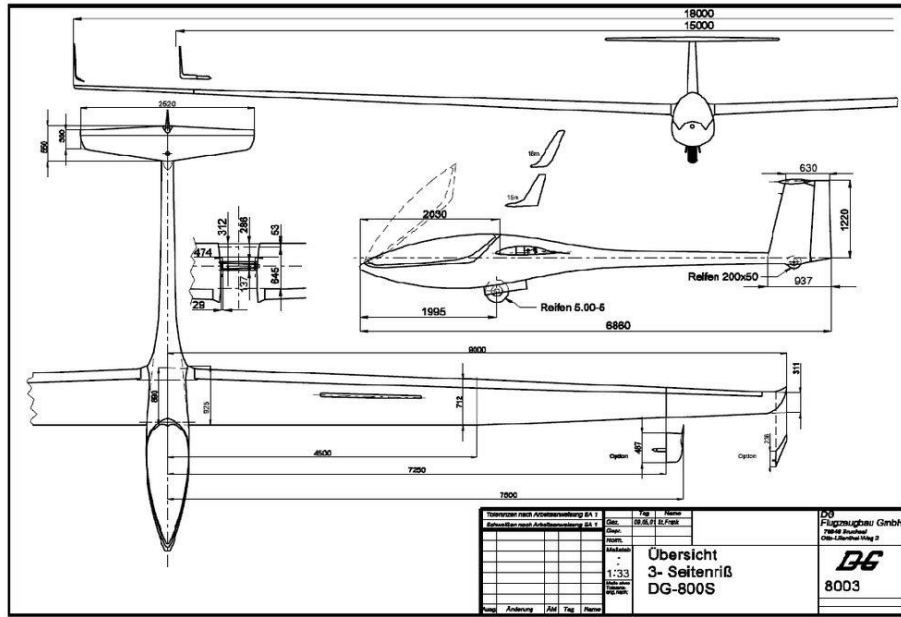
Planör Tipi	Kanat Açıklığı (m)	Kanat Alanı (m ²)	AR	Ağırlık	Kanat Yükleme (kg/m ²)	Ortalama Veter
Discus 2b	2,5	0,285	21,92	1,1 kg	3,85	0.11
DG- 600	3-3,6	0,58-0,64	15,51-20,25	3 kg	5,17-4,68	0.19-0.17
HpH 304 CZ	3,13-3,64	0,434-0,472	22,57-28,07	2,6 kg	6-5,5	0.13-0.13
L33-Solo	3,5	0,66	18,65	4,2 kg	6,36	0.165
Ventus-2ax	3,5	0,58	21,12	3,9 kg	6,72	0,165
DG-505	3,64	0,50	26,49	2,8 kg	5,6	0.137
DG-1000	3,7	0,53	25,83	3,5 kg	6,6	0.143
DG-800S	3,5-4,2	0,63-0,697	19,44-25,30	3,5 kg	5,02-5,5	0.18-0.16

Bu aşamada en önemli nokta kanat profili seçimidir. Planörlerin tam boyut tasarımlarını bakıldığı zaman birçoğunun planörlerde genel olarak kullanılan Dr. Wortmann tarafından tasarlanan FX serisi kanat profilleri kullanıldığı görülmektedir. Fakat

ölçeklendirilerek tasarlanmış bu modellerde doğal olarak hız ve veter uzunluğu değişeceği için daha düşük reynolds sayılarında daha iyi performans veren kanat profilleri kullanılmıştır. Tasarlanacak olan İHA içinde en önemli unsur belirlenecek hız ve kanat tasarımına uygun laminar akım kanat profili kullanılacaktır.



Şekil 3.3. Ventus-2ax planörünün önden, yandan ve üstten görünümü (Schempp-Hirth, 2019).



Şekil 3.4. DG-800 S planörünün orijinal boyutlu ölçüleri ve önden, yandan ve üstten görünümü. Bu model İcare RC tarafından ölçeklendirilerek insansız hava araçları sistemleri için boyutlandırılmıştır (Anonim, 2019d).

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de görülebileceği üzere planörler tasarlanırken yüksek açıklık oranına sahip kanatlarının yanı sıra, sürüklenme artışını engellemek için oldukça dar ve küçük kokpitlere sahiptirler. Ayrıca uzun kanatları sebebiyle yalpalama hareketinin hızı düşecektir, bu nedenle flapların kanatçık görevinde kullanılabilmesi için flaperon kullanılmıştır. Aynı zamanda, iki planörde de kanat ucu türbülansının azaltılması ve indüklenme sürüklenmenin düşürülmesi için vinglet tasarımı mevcuttur.

3.3. İnsansız Planörlerin Tasarımı için İlham Alınacak Kuş Türlerinin Özellikleri

Kuşlar genel olarak kanat çırpma uçuşları ile bilinmekle beraber, bazı kuş türleri uçuşlarını kanat çırpma aktivitesini minimize ederek gerçekleştirmek üzere adapte etmişlerdir. Bu konuda süzülme uçuşu için adapte olan kuş türleri ile termikleri kullanmak üzere adapte olan kuş türlerini ayırabiliriz.

Yırtıcı kuşlar genel olarak termikleri kullanmak üzere adapte olmuşlardır. Bu sayede enerji harcamadan uzun süreler havada kalabilirken, bu süre içerisinde potansiyel avlarını rahatlıkla arayabilirler. Bu kuşlarda, kanat alanının yüksek olması sebebiyle açıklık oranı 5.5-7 arasında değişiklik gösterir. Bu yüksek kanat alanı daha düşük kanat yüklemesine yol açar, bu sayede çökme hızı ve dönüş yarı çapı azalır ve termiğin daha verimli kullanılması sağlanır (Şekil 3.5). Yırtıcı kuşlar aynı zamanda termik içerisinde daha yavaş kalabilmek için alula ve primer tüyleri sürekli olarak kullanmaktadır. Alula bu uçuşta, slot-slat görevi yaparak daha düşük süratlerde kanat üzerindeki hava akışını düzenlemektedir. Primer tüyler ise vinglet olarak kullanılarak indüklenme sürüklenme kuvvetinin ve kanat ucu türbülansının düşürülmesinde rol almaktadır. Termik içerisindeki tüm bu avantajlara rağmen yırtıcı kuşların süzülme performansı çok iyi değildir. Fakat bu dezavantajı kapatmak, süzülme uçuşu esnasında kanat alanlarını azaltarak ve kanat morfolojilerini değiştirerek süzülme uçuşu için avantaj sağlarlar.



Şekil 3.5. Mısır akbabası vücuduna göre geniş kanat alanlarıyla termikleri verimli kullanabilmeleri sayesinde, kuvvetli olmayan termikleri bile dönerek irtifa kazanabilmektedir (Göksel KESKİN, Eskişehir, 2018).

Deniz kuşları ise, dar ve uzun kanatları sayesinde oldukça yüksek açıklık oranına ve bu sayede yüksek süzülme performanslarına sahiptirler. Ülkemiz kıyılarında ve sulak alanlarında bulunan martı ve sumru türleri yüksek süzülme performansına sahip en belirgin türlerdir (Şekil 3.6). Dünya genelinde ise albatroslar yüksek açıklık oranları ve süzülme performansları ile birçok çalışmanın konusu olmuştur. Fakat bu tür kuşlarda termik dönme davranışı yüksek kanat yüklemesi ve genel termik oluşmayan olarak denizel iklim dolayısıyla oldukça nadir görülmektedir. Fakat ülkemizde, iç bölgelerdeki barajlar etrafında yaşayan martıların termik döndükleri gözlemlenmiştir. Dünyada ise, yüksek kanat açıklığına sahip Fregat kuşu (*Fregata magnificens*) yüksek açıklık oranına sahip olmasına rağmen, alulaya kadar olan kısmının geniş, aluladan sonra kanat ucuna doğru olan kısmın giderek daralan bir yapıda olması sebebiyle termikleri rahat bir şekilde kullanırken aynı zamanda süzülme konusunda da oldukça performanslıdır (Şekil 3.7).



Şekil 3.6. Karabaş martı yüksek açıklık oranına sahip kanatları ile uzun mesafeleri süzülerek uçabilirken, aynı zamanda çatı, tekne vb. yapılara çarpan rüzgâr sayesinde yelken uçuşu yaparak uzun mesafeleri kat edebilirler (Göksel KESKİN, Yalova, 2019).



Şekil 3.7. Fregat kuşlarında, kanadın aluladan önce ve sonraki kısmındaki kanat alanı farkı termik dönüşlerinde verimi arttırırken hem de süzülme performansında başarılı olmasını sağlamaktadır (Robinson, 2019)

Çizelge 3.2. Deniz kuşlarında açıklık oranına göre yapılan sıralama.

İsim	Ağırlık (N)	Kanat Alanı	Kanat Açıklığı	Ortalama Veter	Kanat Yüklemesi (N/m ²)	Açıklık Oranı
Gezgin Albatros	85	0,8	3,5	0,233333	106,25	15
Sümsük Kuşu	29,43	0,24	1,85	0,1275	122,625	14,5
Sooty Albatros	28	0,34	2,18	0,155963	82,35294	13,97765
Kara Kaşlı Albatros	38	0,36	2,16	0,166667	105,5556	12,96
Fregat Kuşu	14,9112	0,408	2,29	0,178906	36,5	12,8
Sumru	1,2	0,056	0,83	0,06747	21,42857	12,30179
Kuzey Sumrusu	4,7	0,108	1,15	0,093913	43,51852	12,24537
Uzun Kuyruklu Korsan Martı	2,97	0,0891	1,01	0,088218	33,33333	11,44893
Kutup Sumrusu	1,1	0,0571	0,8	0,071375	19,26445	11,20841
Martı	4,11	0,1246	1,11	0,112252	32,98555	9,888443
Büyük Kara Sırtlı Martı	16,7	0,288	1,67	0,172455	57,98611	9,683681
Karabaş Martı	2,69775	0,0983	0,96	0,102396	27,44405	9,375381

Göçmen kuşlar ise oldukça farklı türleri içermekle beraber bu türler arasında termikleri kullanan, termikler arasında süzülme uçuşunu kullanarak hareket eden birçok tür bulunmaktadır. Bu türlerin ortak özellikleri ise, ne termik dönme performansının yarıtıcı kuşlar kadar yüksek değil ne de deniz kuşları kadar yüksek süzülme oranına sahip olmamalarıdır. Fakat deniz kuşlarından daha yüksek bir termik dönme performansına ve yarıtıcılardan da daha yüksek bir süzülme performansına sahiptir. Bu nedenle herhangi bir baskın performans özelliği olmamasına rağmen, görmezden gelinemeyecek kadar iyi uçuculardır. Ak leylek bu özellikleri taşıyan en önemli kuş türlerinden biridir (Şekil 3.8). Havaların ısınmaya başlaması ile birlikte oluşmaya başlayan termikleri verimli bir şekilde kullanıp, kuzeye göç ederken aynı şekilde soğumaya başlaması ile birlikte kuzey yarım kürede yılın son termikleri ile güneye göç ederler.

Gezgin albatros (*Diomedea exulans*) en fazla açıklık oranına sahip olan kuşlardır (Çizelge 3.2). Fakat sadece yüksek kanat açıklık oranına sahip olması, değerlendirmede kriter olması hata olacaktır. Örneğin, sümsük kuşu gezgin albatrosu en yakın kuş olmasına rağmen baskın uçuş tarzı kanat çırpma olduğu için süzülen bir hava aracı tasarımında kullanılması uygun değildir (Tennekes, 2009).



Şekil 3.8. Leylek gibi göçmen kuşlar ortalama kanat açıklıkları ve kanat alanları sayesinde termikten termiğe süzülüşlerde hem de termik içerisinde oldukça verimlidir.

3.4. İnsansız Planör Tasarımında Hedeflerin Belirlenmesi

Tasarlanacak olan İHA, mini İHA sınıfına gireceği için maksimum 6 kilogram civarında olması gerekmektedir. Güç ünitesi olarak elektrik motor kullanılacak olup, motora katlanır pervane bağlanılacaktır. Motor, planörün ön kısmına konulacaktır. Faydalı yük olarak bir adet anlık görüntü aktarıcı kamera ile bir adet keşif kamerası taşınması planlanmıştır. Pervanenin uçağın önünde olması dolayısıyla, görüntü aktarıcı kamera kuyruğa konuşlandırılacak, bu sayede pervanenin görüntüyü bozması engellenecektir.

Tüm bu amaçlara ulaşılması için, tasarlanacak olan İHA için belirlenen hedef parametreler, önceki adımlardan elde edilen veriler doğrultusunda çizelge 3.3'deki gibidir.

Çizelge 3.3. Belirtilen görevlerin yapılabilmesi için gerekli olan hedef tasarımın parametreleri.

Düz Uçuş Hızı	65 km/s
Maksimum L/D	>25
Perdövites (Stol, Stall Hızı)	30 km/s
Kanat Açıklığı	3,5 m
Geçilmemesi Gerek Sürat	150 km/s
Maksimum Kalkış Ağırlığı	6 kg

3.5. İnsansız Planör Maksimum Kalkış Ağırlığını Belirlenmesi

6 kilogramlık maksimum kalkış ağırlığını oluşturan yükler aşağıdadır;

- Kamera ağırlıkları: 2 kilogram.

7 gramlık anlık görüntü aktarım kamerasını çıkartırsak, geri kalan 2 kilogram ağırlık ile oldukça kaliteli görüntü çekip ve anlık iletebilen kamera kullanımı mümkün olacaktır.

- Alıcı, Otopilot, GPS ağırlıkları: 700 gram.

Uzaktan kumanda alıcısı ile programlanabilir otopilot ve otopilot üzerinden görüntü aktarıcısı ve GPS modülü uçakta bulunacaktır.

- Motor, ESC, Servo, Pervane ağırlıkları: 1 kilogram.

Motor olarak, 350 gram ağırlığında, 14x8 inç pervane ile 5,2 kg itki üretebilen 490 KV'lık fırçasız elektrik motor kullanılması planlanmaktadır.

- Kanat, Gövde, İstikamet ile İrtifa Dümeni ve İniş Takımı Ağırlığı: 2 kilogram.

Gövde kontraplak-balsa karışımı ile karbon boru, istikamet ve dönüş dümenleri karbon çubuk ile güçlendirilmiş şekilde ve iniş takımlarının 2 kg ağırlığa ulaşması beklenmektedir.

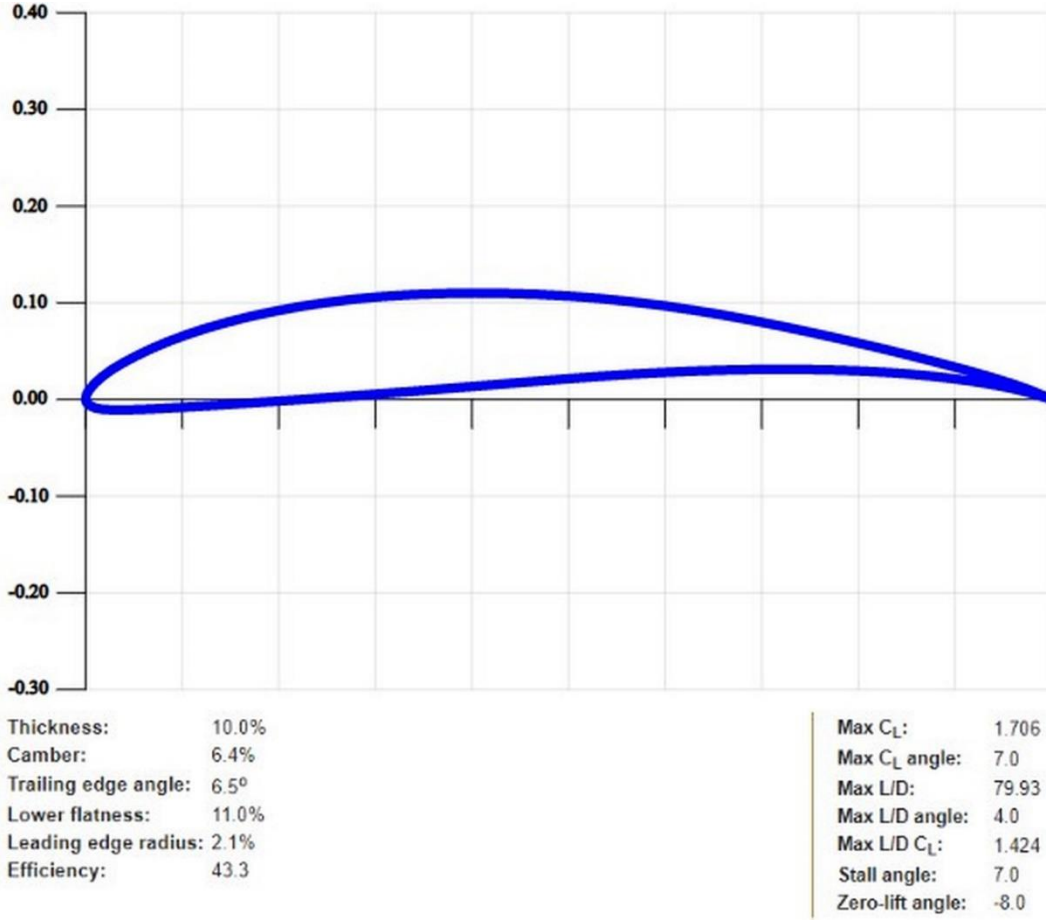
3.6. Kanat Tasarımı

3.6.1. Performans Analizi

6 kilogram kalkış ağırlığı olan planör için 3,5 m kanat açıklığı sabit kanat açıklığı olarak kabul edilmesi gerekmektedir. 3.5 kanat açıklığı için ise ilk değişkenimiz açıklık oranıdır (AR).

$$AR = \frac{b^2}{S} = \frac{b}{c} \quad (3.1)$$

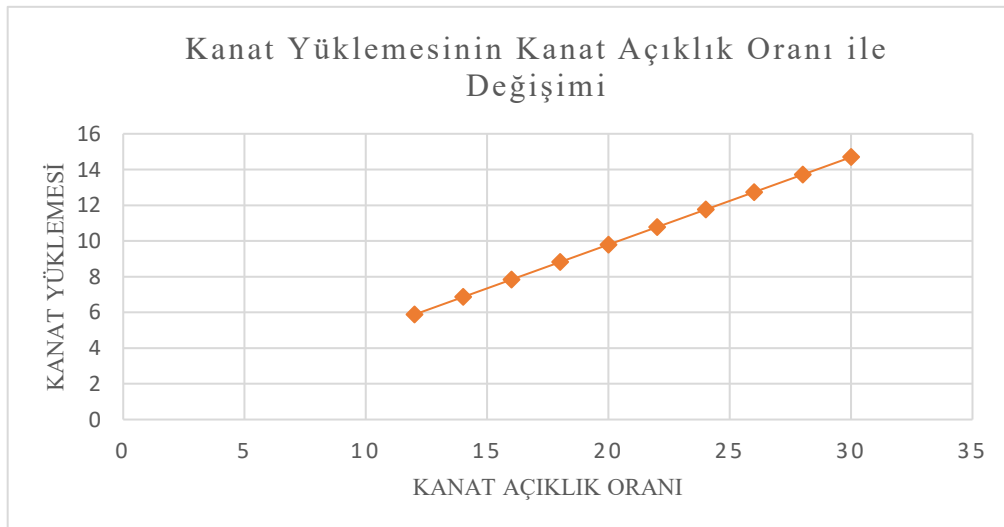
Başlangıçta uygulanacak kanat profili için seçim yapılmalıdır. Başlangıç kanat profili olarak AH 79-100 B'yi seçiyoruz (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. AH 79-100 B kanat profilinin özellikleri.

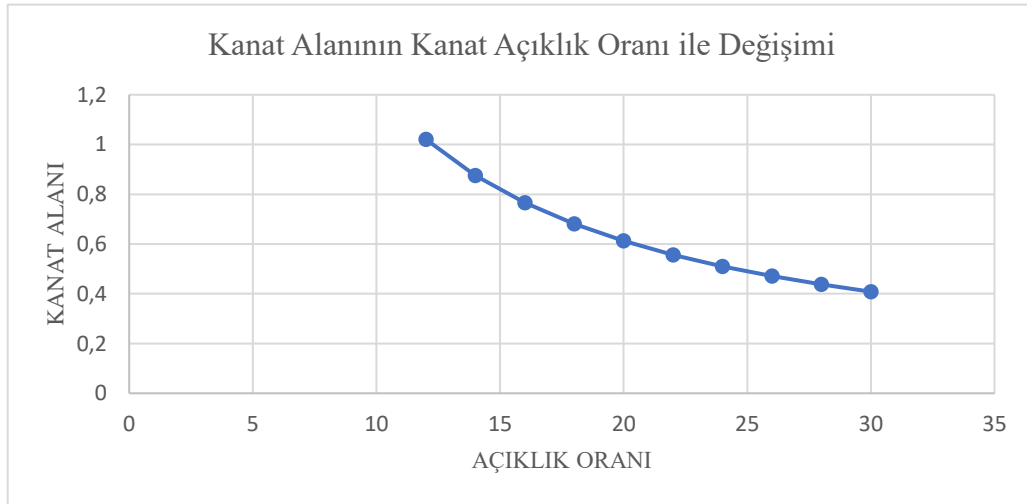
Süzülme performansının belirlenmesinde en önemli etkenlerden olan açıklık oranı ve kanat yüklemesinin 3,5 m kanat açıklığına göre grafiksel değişimleri aşağıdaki gibidir (Çizelge 3. 4, 3.5, 3.6).

Çizelge 3.4. 6 kg için kanat yüklemesi ile açıklık oranı arasındaki ilişki



Çizelge 3.5. Sabit kanat açıklığı için kanat açıklık oranı değişiminin bilgileri

Kanat Açıklığı (m)	Kanat Açıklık Oranı	Kanat Alanı (m ²)	Kanat Yüklemesi (kg/m ²)
3,5	12	1,020833333	5,87755102
3,5	14	0,875	6,857142857
3,5	16	0,765625	7,836734694
3,5	18	0,680555556	8,816326531
3,5	20	0,6125	9,795918367
3,5	22	0,556818182	10,7755102
3,5	24	0,510416667	11,75510204
3,5	26	0,471153846	12,73469388
3,5	28	0,4375	13,71428571
3,5	30	0,408333333	14,69387755

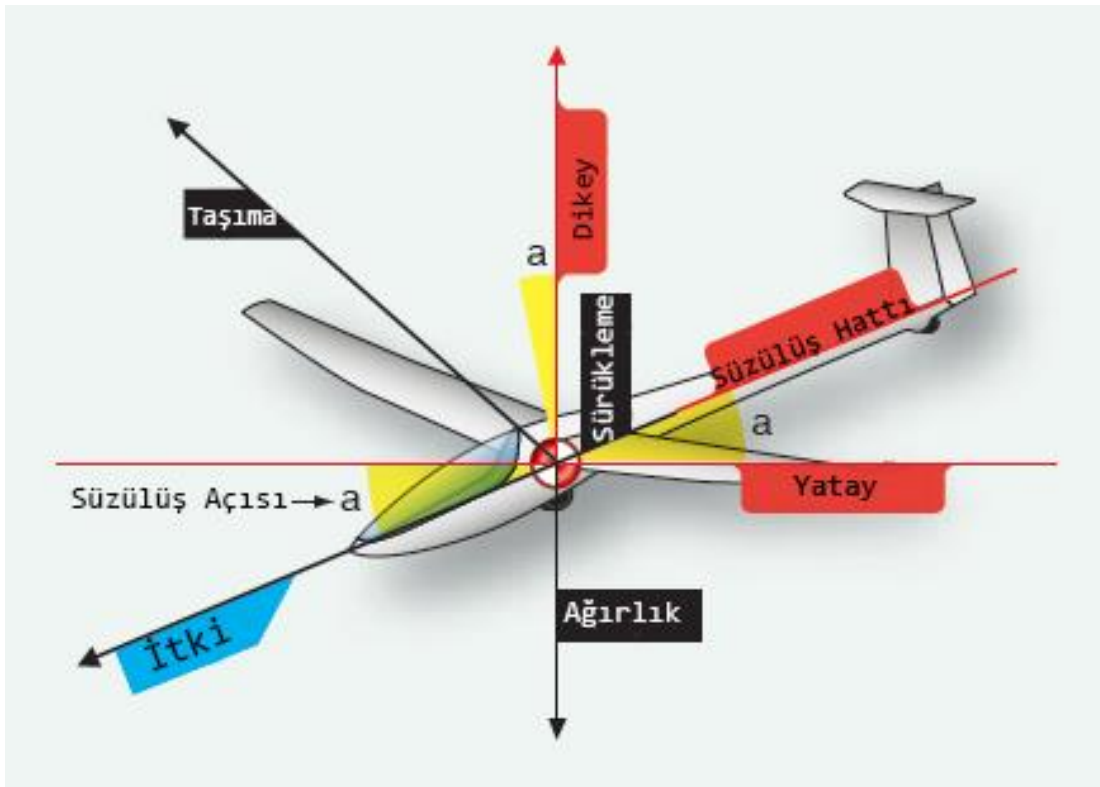
Çizelge 3.6. Sabit kanat açıklığı ve ağırlıkla, kanat açıklık oranının kanat alanı ve kanat yüklemesi ile değişiminin grafiği.

İnsansız planöre etkiyen aerodinamik kuvvetlerin incelenmesi sonucu, kuvvetler, taşıma, sürüklenme, itki ve ağırlık olmak üzere uçuş hattına paralel ve dik bileşenlere ayrılarak aşağıdaki denklemler kullanılır (Thomas ve Milgram, 1999).

$$L = C_L \frac{1}{2} \rho V^2 S \quad (3.2)$$

$$D = C_D \frac{1}{2} \rho V^2 S \quad (3.3)$$

İnsansız planör, motorunu sürekli kullanmayacağı ve sürekli termik veya yelken uçuşu yapamayacağı için normal süzülme uçuşunda taşıma, sürüklenme, itki ve ağırlık kuvvetlerinin de olması gerekmektedir. Fakat süzülme uçuşunda itki kuvveti olmaması dolayısıyla planörlerde düz uçuş ufuk hattını takip ederek olmamaktadır. Bunun yerine, ağırlığın sürat için kullanılması gereklidir. Bu nedenle planör, burnu ufuk hattının altında bir şekilde süratini muhafaza ederek uçmaktadır. Motorsuz bir hava aracının düz uçuş pozisyonu ve vektörleri şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10. Süzülme uçuşunda, herhangi bir itki kuvveti olmadığı için, yatay vektör (ufuk hattı) değil, süzülme hattı takip edilir (FAA, 2007).

Sabit hızdaki düzgün bir süzülme uçuşunda, uçuş açısı (γ = şekil 3.9’da “a” olarak gösterilmiştir) asıl kuvvetler arasındaki dengeyi sağlar. Bu nedenle 2. ve 3. denklemlerden:

$$L = W \cos \gamma \quad (3.4)$$

$$D = W \sin \gamma \quad (3.5)$$

Uçuş hattı açısı, denge durumundaki süzülmedeki, süzülme açısıdır ve süzülme açısının tanjantını takip eder. Bu aynı zamanda, planör tasarım parametrelerinin en önemlisi olan süzülme oranı yani taşımanın sürüklenme kuvvetine olan oranının aynısıdır. Süzülme oranı ne kadar yüksek ise, planör dikeyde kaybettiği irtifaya göre yatayda bu oran kadar ileri gidecektir.

$$\tan\gamma = \frac{D}{L} = \frac{C_D}{C_L} \quad (3.6)$$

$$\frac{L}{D} = \frac{C_L}{C_D} = \frac{1}{\tan\gamma} \quad (3.7)$$

Planörlerin birçoğunda süzülme oranı 20 ile 50 arasında değişirken, süzülme açısı yaklaşık 3° ile 1° arasındadır.

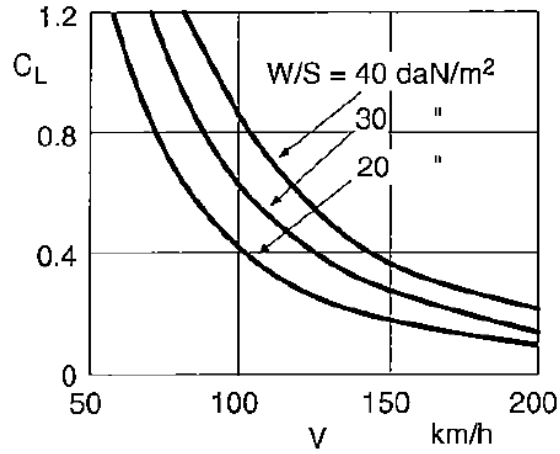
Performans analizinde sabit hızda ve süzülme uçuşundan devam edecek olursak, taşıma formülünde açıklandığı üzere:

$$W \cos\gamma = C_L \frac{1}{2} \rho V^2 S \quad (3.8)$$

Planörlerde süzülme performansı çok yüksek, süzülme açısı ise çok küçük olması nedeniyle $\cos\gamma$ değeri, hatalar ihmal edilerek 1 alınabilir.

$$V = \sqrt{\frac{2 W}{\rho S} \frac{1}{C_L}} \quad (3.9)$$

Bu durumda, denklem 3.9'a göre sürat kanat yüklemesi ve taşıma katsayısı ile ilişkilidir. Sürat, kanat yüklemesi ve taşıma katsayısı planör tasarımının temelidir.

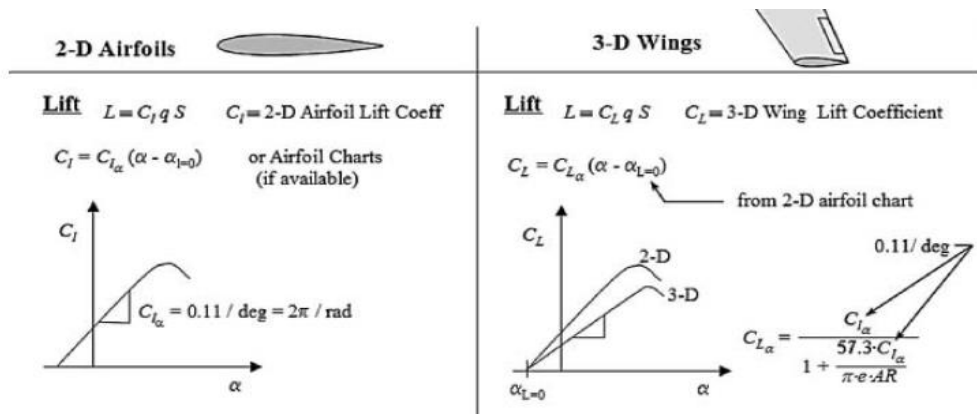


Şekil 3.11. Kanat yüklemesine göre sürat ve taşıma katsayısı arasındaki ilişki (Thomas ve Milgram, 1999).

Şekil 3.11 ayrıca;

- 1- Yüksek süratte, taşıma katsayısındaki küçük değişim hızdaki büyük değişime bağlıdır.
- 2- Düşük süratte, taşıma katsayısındaki büyük değişim hızdaki küçük değişime bağlıdır.

Bu ilişkiler, kanat profilinin C_{Lmaks} 'a özelliğine dayanan laminar akım kanat profili seçiminde kullanılacaktır. C_l ile C_L arasındaki fark ise 2 boyutlu kanat profili performansı ile 3 boyutlu kanat performansından gelmektedir. Kanat profili seçimi yapıldıktan sonra, kanadın 3 boyutlu performansı şekil 3.12'deki gibi bulunabilir.



Şekil 3.12. 2 boyutlu (sonsuz kanat) ve 3 Boyutlu (sonlu kanat) için taşıma katsayısı eğrileri (Brandt vd., 2004).

Taşıma katsayısının sınır tabakası ayrımı ile sınırlı olması sebebiyle, minimum uçuş hızı için belirli kanat yüklemesinde devamlı süzülme uçuşu sürekli olarak gerçekleşmez.

$$V_{min} = \sqrt{\frac{2w}{\rho s} \frac{1}{C_{Lmaks}}} \quad (3.10)$$

Belirli C_{Lmaks} için, minimum sürat kanat yüklemesi ile birlikte yükselir.

Çöküş oranı (V_s) süzülme açısı ve uçuş hızı ile belirlenir.

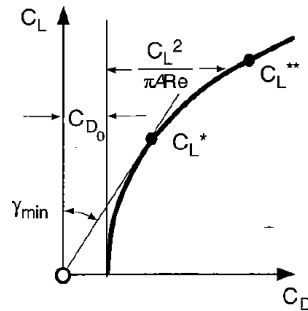
$$V_s = V \sin \gamma \quad (3.11)$$

Hız (V) formülündeki (3.11) açıklamaya göre, yine küçük açı varsayımı yapılırsa $\sin \gamma = \tan \gamma = C_D / C_L$ sabit süzülme uçuşunda çökme süratine neden olur.

$$V_s = \frac{C_D}{C_L} \sqrt{\frac{2w}{\rho s} \frac{1}{C_L}} = \frac{C_D}{C_L^{3/2}} \sqrt{\frac{2w}{\rho s}} \quad (3.12)$$

$C_D / C_L^{2/3}$ terimi aynı zamanda planörün çökme oranını gösteren tırmanma endeksidir. Ayrıca bu formül (3.12) çökme hızının kanat yükündeki değişimden etkilendiğini göstermektedir.

Bir önceki bölümde geliştirilen uçuş hızının ve çökme hızının ifadesi, taşıma ve sürüklenme katsayıları arasındaki ilişkinin önemini vurgulamaktadır. Her planör kendi taşıma ve sürüklenme katsayıları arasındaki fonksiyonel ilişkiyi gösteren bir şemaya ve sürüklenme polarına sahiptir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Tam bir hava aracının sürüklenme poları (Thomas ve Milgram, 1999).

Uçağı etkileyen sürüklenme kuvveti; basınç, sürtünme ve indüklenme sürüklenme kuvvetlerinden oluşmaktadır. Taşıma kuvveti yokken, sürüklenme kuvveti sadece sürtünme ve basınç sürüklenme kuvvetlerini (C_{D0}) içerir. Toplam sürüklenme ise taşıma katsayısının karesi ile değişmektedir, bir diğer deyişle sadece indüklenme sürüklenme değil ayrıca basınç ve sürtünme sürüklenmesi de vardır. Bu Oswald faktörü (e) ile hesaplanır:

$$C_D = C_{D0} + \frac{C_L^2}{\pi A R e} \quad (3.13)$$

Eğrinin her noktası özel bir süzülme oranı ve tırmanma indeksine bağlıdır. En iyi süzülme oranı, orijinden çizilen doğrunun sürüklenme poları eğrisinin teğetine göre belirlenir. Doğrunun eğriye değdiği her nokta en iyi süzülme oranına ulaşmak için C_L 'in değerini belirler. En iyi tırmanma oranı yani en düşük çökme oranı her zaman en yüksek süzülme oranının $\sqrt{3}$ katındadır.

Bu veriler doğrultusunda amaç her zaman sürüklenmeyi düşük tutmaktır. Kanat açıklık oranının artırılmasının basit bir şekilde indüklenme sürüklenmeyi (C_{Di}) azaltacağı düşünülse de sabit kanat açıklığında açıklık oranını arttırmak, ortalama veter uzunluğunu azaltacağı için reynolds sayısını düşürecek, bu da kanat profilinin verimliliğinin düşmesine neden olacaktır. Kanat yüklemesinin artmasında, planörün süzülme hızı daha yüksek süratlerde olacağından C_{D0} artacaktır.

Kanadın ölçüleri ve geometrisi belirlendikten sonra, sürüklenmenin azaltılması için koniklik oranı ve burkulma açısı oldukça önemli parametreler haline gelmektedir. Burkulma açısı, kanadın kök kısmı ile uç kısmındaki hücum açısının arasındaki farktır. Kanat ucunun daha düşük açılarda hücum etmesi sayesinde, kanat ucunda daha düşük basınç oluşacak dolayısıyla sürüklenme azalacaktır. Aynı zamanda, kanat ucunda bulunacak olan kanatçıklar üzerinden daha düzgün bir akışı olacağı için planörde daha iyi bir kontrol sağlanacak, bu sayede viril veya yatışlı perdövites gibi durumlar önlenecektir. Koniklik oranı sayesinde, ise kanat ucuna doğru reynolds sayısı düşürülecek ve kanat profili üzerindeki basınç azaltılarak daha düzgün bir akış sağlanacaktır. Modern planörlerde, üçlü veya dörtlü koniklik oranı kullanılmasına rağmen, insansız planörün kanat açıklığının tam boyutlu planörler kadar olmaması sebebiyle tekli veya ikili olarak kullanılacaktır.

Sürüklenme polarındaki minimum çökme hızının önemi termik içerisinde ortaya çıkmaktadır. Planöre irtifa kazandıracak termikler oldukça kuvvetli olabileceği gibi, meteorolojik koşullara bağlı olarak oldukça zayıfda olabilir. Tasarlanacak olan hava aracı, insansız bir planör olacak olması sebebiyle, planörlere göre oldukça hafif ve kanat yüklemesi düşük olacaktır. Bu sayede zayıf termiklerden oldukça verimli bir şekilde yararlanması gerekmektedir. Yani minimum çöküş hızı 0,5 m/s olan insansız planör, saniyede 0,5 m/s irtifa kazandıran bir termiğin içinde irtifa kazanmadan mevcut irtifasını sürdürerek kalabilirken, 0,3 m/s minimum çökme hızına sahip olan insansız planör aynı termikte saniyede 0,2 m/s irtifa kazanarak kalabilmektedir. Bu nedenle bizim için önemli olan, maksimum süzülüş oranını çok fazla düşürmeden, minimum çöküş oranını azaltmak olacaktır.

Kanat profili sürüklenme katsayılarını hesaplamak için, sürüklenme poları denklemleri kullanılmalıdır:

$$C_D = C_{D0} + \frac{C_L^2}{\pi A R e} = C_{D0} + K C_L^2 \quad (3.14)$$

$$C_{D0} = C_F K_F \left(\frac{S_{wet}}{S_{ref}} \right) \quad (3.15)$$

S_{ref} = Toplam Kanat Alanı

S_{wet} = Islak kanat Alanı

K_F = Form Faktörü

C_F = Yüzey Sürtünme Katsayısı

Islak kanat alanı (S_{wet}), hava aracının dış yapısının (kanadının) suyun içerisine batırıldığında taşan su miktarına eşittir. Islak kanat alanı sürtünme sürüklenme kuvvetinin içindeki büyük bir kısım olduğu için, sürüklenme tahmini hesaplanması gerekmektedir.

$$S_{wet} = 2 S_{ref} \left[1 + 0.25 \left(\frac{t}{c} \right)_r \left(\frac{1 + \tau \lambda}{1 + \lambda} \right) \right], \tau = \frac{\left(\frac{t}{c} \right)_r}{\left(\frac{t}{c} \right)_t}, \tau = \frac{c_t}{c_r} \quad (3.16)$$

$$C_F = \left[0.0048 - (0.006 \log_{10} 10.7 S_{ref}) (1 - 0.2M) \left(1 - \frac{2c_{lam}}{\left(\frac{S_{wet}}{S_{ref}} \right)} \right) \right] \quad (3.17)$$

İndükleme sürüklemeye içinse,

$$C_{Di} = \frac{K_v C_L^2}{\pi AR} \quad (3.18)$$

K_v : kanat ucu türbülansı (vorteks) sürüklemeye faktörü.

$$K_v = \left[\left(1 + \frac{(0.142 + 0.062AR) \left(10 \frac{t}{c} \right)^{0.33}}{\left(\cos \frac{\Lambda_1}{4} \right)^2} + \frac{0.1}{(4 + AR)^{0.8}} \right) \right] \quad (3.19)$$

$\Lambda_{1/4}$ = Çeyrek veter koniklik oranı

Bu formüllerle farklı kanat yüklemeleri, kanat açıklık oranları, kanar profilleri ve hızlarda sürüklemeye kuvveti ve sürüklemeye katsayıları hesaplanabilir.

Çalışmadaki amaç, yüksek süzülme oranına ve düşük çökme oranına sahip bir insansız planör tasarımıdır. Her iki parametrede L/D'nin yüksek olması avantaj sağlayacaktır. İnsansız hava araçlarında gövde diğer hava taşıtlarına oranla oldukça küçük ve dardır. Aynı zamanda kullanılacak pervane, süzülme uçuşu sırasında kapanacaktır. Bu sayede her iki parametrede de oldukça düşük bir sürüklemeye oluşacaktır. Bu nedenle kanadın L/D oranınının 30'u geçmesi, hedef tasarım parametrelerininin yakalanmasını sağlayacaktır.

Bu analizlerin yapılması için, XFOIL algoritmasını kullanan, iki boyutlu (2D) sonsuz kanat ve üç boyutlu (3D) sonlu kanat analizlerini yapabilen XFLR5 uygulaması

kullanılacaktır. Bu sayede tam kanadın, seçilen kanat profilinin ve tam kanadın L/D oranı bulunacaktır. Kanat profili seçimi için;

Öncelikle düz uçuş sürati 65 km/h saat olacaktır. Açıklık oranını aşırı arttırarak kanat alanını azaltıp, yüksek kanat yüklemesi sebebiyle çöküş oranını arttırmamak için açıklık oranı 20'nin üzerinde olacak şekilde düşünülmektedir. Bu durumda 3,5 m kanat açıklığına sahip insansız planör için, ortalama veter (c) 0,17 m ve kanat alanı 0,60 m olduğunda açıklık oranı 20,59 olacaktır.

Bu durumda reynolds sayısı:

$$R_e = \frac{Vc}{U} \quad (3.20)$$

U: havanın kinematik viskozitesi. V (Düz uçuş sürati): 65 km/s= 18 m/s

Çizelge 3.7. ICAO standart atmosfer değerleri (Thomas ve Milgram, 1999)

Altitude	Pressure	Density	Temp.	Kinematic Viscosity	Speed of Sound
h m	p [hPa]	ρ [kg/m ³]	T °K	ν 10 ⁻⁵ [m ² /s]	a [m/s]
0	1013.3	1.225	288.2	1.46	340.3
500	954.6	1.167	284.9	1.52	338.4
1000	898.7	1.112	281.7	1.58	336.4
1500	845.6	1.058	278.4	1.65	334.5
2000	795.0	1.007	275.2	1.71	332.5
2500	746.8	0.957	271.9	1.79	330.6
3000	701.1	0.909	268.7	1.86	328.6
4000	616.4	0.819	262.2	2.03	324.6
5000	540.2	0.736	255.7	2.21	320.5
8000	356.0	0.525	236.2	2.91	308.1
11000	226.3	0.364	216.7	3.91	295.1
15000	120.4	0.194	216.7	7.34	295.1
20000	54.7	0.088	216.7	16.15	295.1
30000	11.7	0.018	226.7	81.95	301.8

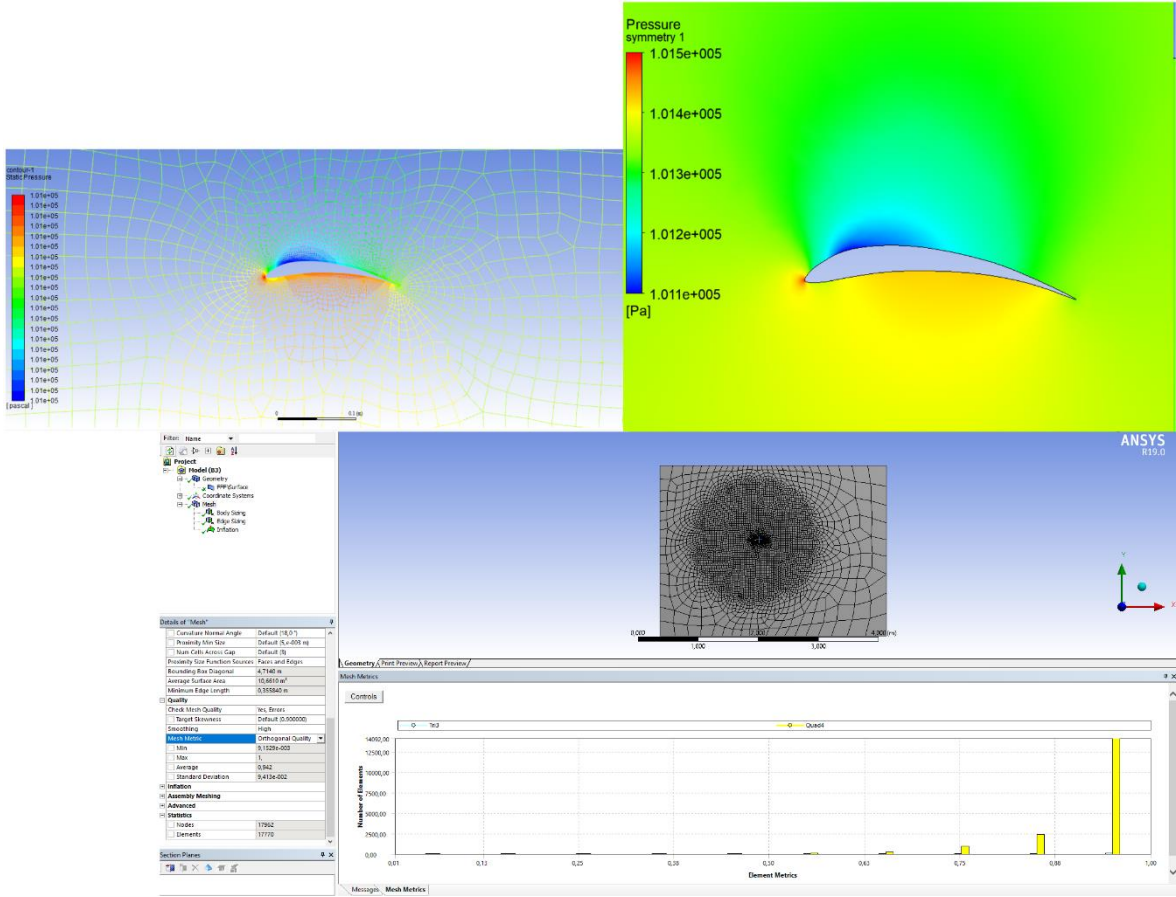
Bu durumda düz uçuş süratinde reynolds sayısı 200000 olması beklenmektedir. Farklı irtifalarda, süratlerde ve kanadın farklı bölgelerinde farklı reynolds sayıları olacağı

şüphesizdir. Bu nedenle aralık 50000 ve 500000 olarak belirlenerek bu aralıklarda analiz yapılacaktır.

Kanat profili seçimi 200000 reynoldsdaki performansa göre yapılmıştır. Yapılan rakip çalışmasında, diğer insansız ve R/C planörlerde kullanılan kanat profilleri listelenmiştir (Çizelge 3.7). Ayrıca airfoiltools.com ve airfoildb.com sitelerindeki kanat profili özellikleri incelenmiş ve tarama sırasında aynı kanat profilleri arasındaki farklar bulunmuştur. Elde edilen veriler daha önce yapılmış deneysel çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda kuşların kanat kesitlerinden bulunan kanat profillerinin analizleri, koordinatların bilinmemesi nedeniyle Ansys programında analizler yapılmış, analiz sonucunda literatür bilgilerindeki sonuçlar doğrulanmıştır (Şekil 3.14).

Çizelge 3.8. Diğer insansız planörlerde kullanılan kanat profilleri.

Planör Tipi	Kanat Profili
Discus 2b	S 3010
DG- 600	HQ2-12
HpH 304 CZ	S 4233
L33-Solo	HQ 2.5/13
Ventus- 2ax	HQ 3/12
DG-505	HQ 3/12
DG-1000	HQ 3/15
DG-800S	HQ 2.5/13.5-11



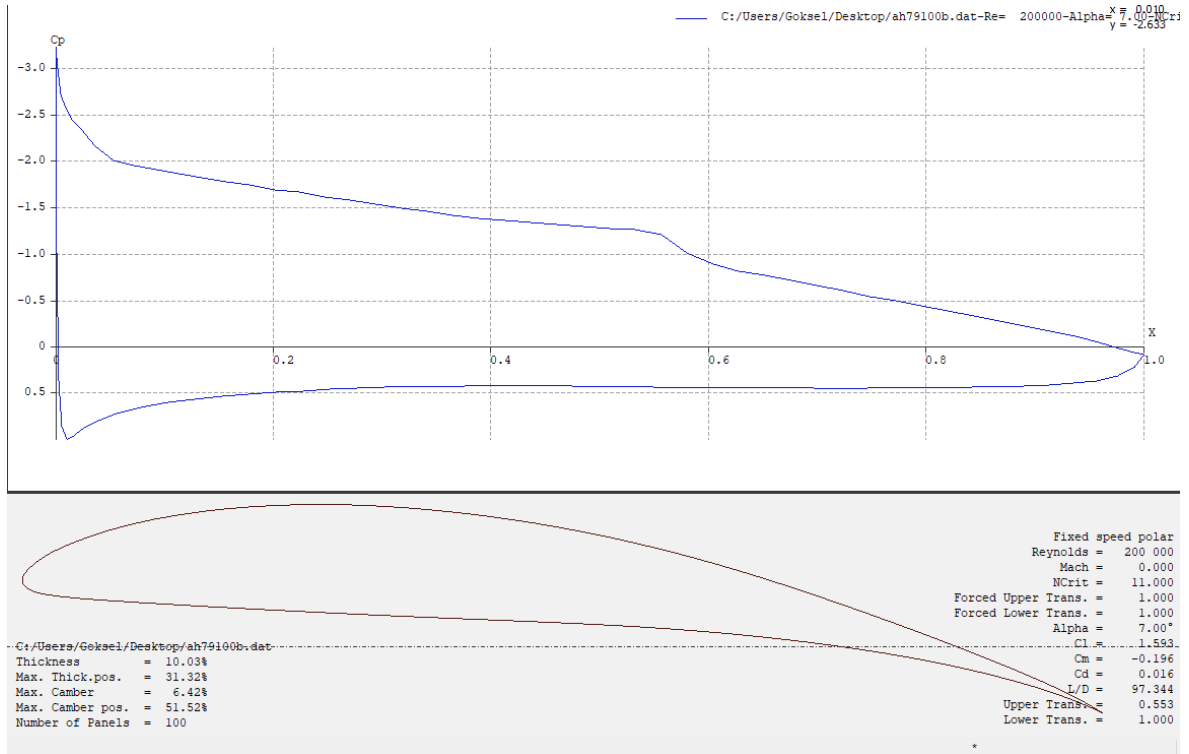
Şekil 3.14. Martı kanat profilinin literatür ve fotoğraf verilerinden çıkartıldıktan sonra Ansys programında ağ atılması ve analizi.

Bu verileri sonucunda, AH 79-100 B kanat profili, tasarımında kullanılacak olan kanat profili olarak seçilmiş ve analizlerine XFLR5 programı üzerinden başlanmıştır.

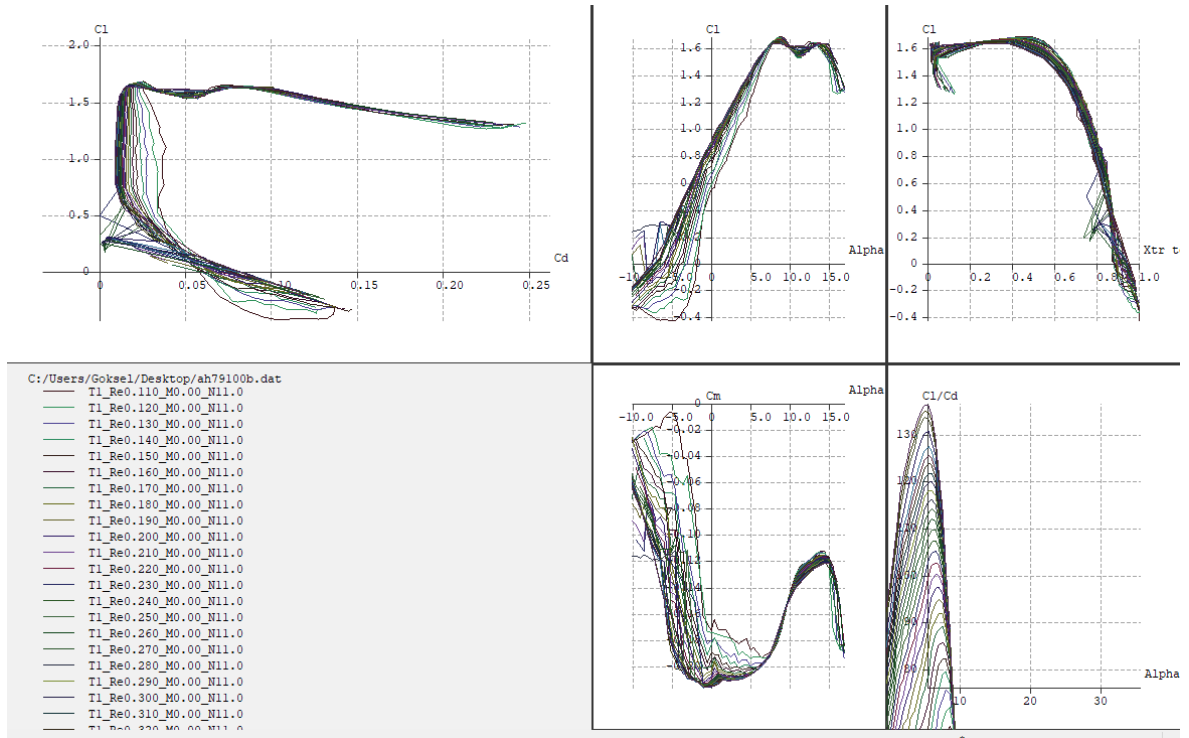


Şekil 3.15. AH 79-100 B kanat profili.

Kanat kökü ve ucu profillerinin aynı olmasının sebebi, koniklik oranı ile oransal olarak küçülse dahi düşük reynolds sayılarında iyi performans göstermektedir.



Şekil 3.16. Ah 79-100 B kanat profilinin 200.000 Reynolds'daki analizi.



Şekil 3.17. AH 79-100 B kanat profilinin iki boyutlu analizi.

AH 79-100 B kanat profili 1,7 civarına en yüksek reynolds sayısında ulaşmaktadır (Şekil 3.15). Seçilen kanat profili 200000 reynoldsda, 97,35 olan en iyi L/D oranına 7 derece

hücum açısında ulaşmaktadır (Şekil 3.16). 135'e yakın L/D oranına ise 400000 reynolds'da ulaşılmaktadır (şekil 3.17). Yunuslama momenti ise bu aralıkta 0,196'dır. Taşıma katsayısı ise 1,59'dur. Profil veterinin %31,32'sinde maksimum kalınlığı olan %10,3 değerine ulaşmaktadır.

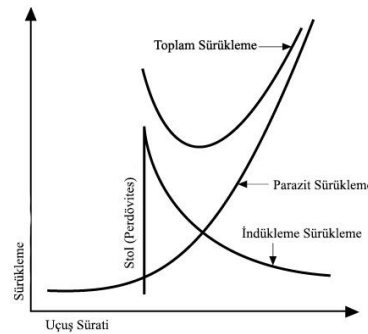
3.6.2. Tasarım Yönetimi

İnsansız planörün tüm komponentlerine etkileyen sürüklenme kuvveti 2 parçada incelenebilir:

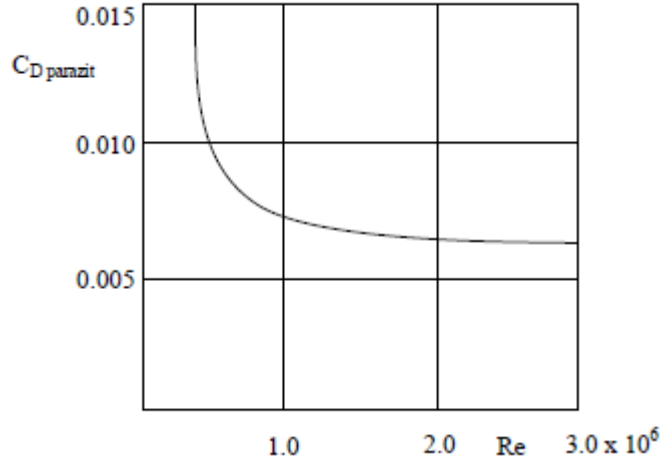
$$C_{DT} = C_{D_{Parazit}} + C_{D_{indüklenme}} \quad (3.21)$$

Stol (Perdövites) hızına kadar hava aracını etkileyen indüklenme sürüklenme yoktur, hava aracının uçuş hızına ulaşması yani stol süratini geçmesinden hemen sonra indüklenme sürüklenme en yüksek noktasındadır. İndüklenme sürüklenme, uçuş hızındaki artış ile azalmaya başlar. Parazit sürüklenme ise en düşük değeri en düşük uçuş hızında gösterir fakat uçuş hızı arttıkça parazit sürüklenme artar. Şekil 3.18 de, her iki eğrinin kesiştiği yer ise toplam sürüklemenin en az olduğu sürattir.

Şekil 3.18'deki polarlar tam hava aracında olduğu gibi, kanat açıklık oranı içinde geçerlidir. Sabit bir kanat açıklığı için açıklık oranının arttırmak ortalama veteri azaltacaktır. Azalan ortalama veter, reynolds sayısını düşürecektir. Düşük reynolds sayısı daha yüksek parazit sürüklemeye neden olacaktır (Şekil 3.19). Yükselen açıklık oranı ise indüklenme sürüklemenin azalmasını sağlayacaktır. Bu nedenle iki sürüklemenin kesişim noktasının yani optimum kanat açıklık oranının belirlenmesi gereklidir.



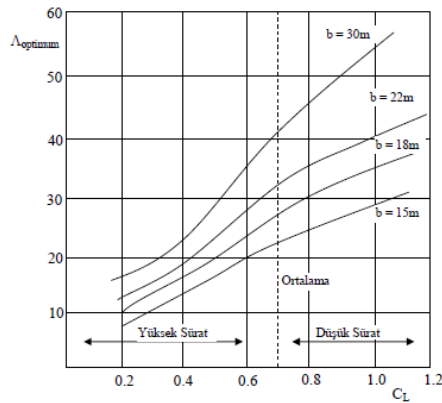
Şekil 3.18. Uçuş sürati ile sürüklenme kuvveti arasındaki ilişki



Şekil 3.19. Reynolds sayısının kanattaki parazit sürüklemeye olan etkisi (Kabasakal, 2010)

3.6.3. Kanat Açıklık Oranı ve Kanat Alanının Belirlenmesi

Sabit kanat açıklığı için açıklık oranının belirlenmesinde toplam sürüklenme ve kanat açıklık oranı arasındaki ilişki ele alınmalıdır (Kabasakal, 2010). Aynı zamanda optimum C_L için kanat açıklık oranının etkisi de önemlidir. Planörlerde aralıklar arasındaki en verimli açıklık oranları şekil 3.20’de gösterilmiştir (Kabasakal, 2010). Verilen şekil tam boyut planörler için geçerli olduğundan ve daha önce bahsedilen rakip çalışması sonucu İHA planör tasarımı için en verimli eğri 15 m kanat açıklığına sahip planörler ile kullanılacak olan eğridir. Bu durumda kanat açıklık oranının C_L 0,7 ortalaması için 20 ile 23 arasında olması beklenmektedir. Fakat insansız planör çalışması için süzülme oranından daha çok minimum çöküş hızı önemli olduğu için kanat yüklemesini arttırmamak için 20’ye en yakın değer seçilecektir.



Şekil 3.20. Ortalama C_L için optimum kanat açıklık oranı (Kabasakal, 2010).

Planörler için ağırlığına bağlı olarak belli bir düz uçuş sürati olsa da uçuşta kullanılacak sürat, uçuş günündeki hava koşullarına ve pilot inisiyatifine bağlıdır. Kendi ismini verdiği bilezik ile termik ve süzülme optimizasyonunu yapan MacCready'e göre (MacCready, 1958) uçuş gününde termiklerin kuvvetine bağlı olarak termikten termiğe süzülüşte kaybettiğin irtifayı termik içerisinde o irtifa alınana kadar geçen sürede ortaya çıkartılan hıza V_{ort} denir.

$$V_{ort} = V / (1 + V_s / V_u) \quad (3.22)$$

Termiklerin kuvvetli olduğu günde V_{ort} maksimum $V_{L/D}$ ye yaklaşacaktır. Bu nedenle taşıma katsayısı C_{Lort} 'dan büyük olmalıdır. Hesaplanması için (Kabasakal, 2010):

$$e = f(\Lambda) = 1,1 - 0,0016(\Lambda) \quad (3.23)$$

$$C_{L@L/Dmaks} = \sqrt{C_{D0} e \pi \Lambda} \quad (3.24)$$

$$\Lambda = 20,6; e = 0,77; C_{L@L/Dmaks} = 0,988$$

$$C_{Lort} = 0,7; C_{Lort} < C_{L@L/Dmaks}$$

Daha önce yapılan sonsuz kanat profili analizinde kanat profili L/D_{maks} oranına 7° hücum açısında ulaşmaktaydı. Bu hücum açısında C_1 katsayısı 1,593 olduğu için C_L ortalama 0,9 seçilebilir. Bu durumda kanat açıklık oranı belirlendikten sonra açıklık oranı denkleminde:

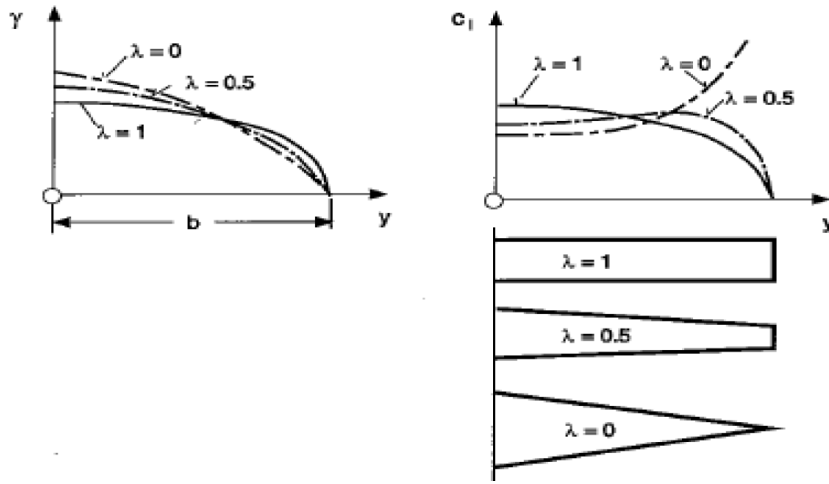
$$\Lambda = b^2 / S \quad (3.25)$$

Toplam kanat alanı $0,60 \text{ m}^2$ olarak belirlenecektir.

3.6.4. Kanat Geometrisinin Belirlenmesi

Kanat alanı, açıklık oranı ve kanat açıklığı belli olduktan sonra planörün performansını etkileyecek en önemli faktörlerden biri kanadın geometrisidir. Yapılan literatür çalışmasında görüldüğü üzere 3° lik bir burkulma açıları kullanılacaktır. Burkulma kanadın 2/3'lük kısmından itibaren başlayacak, kanat ucunda 3° ye ulaşacaktır. Bu burkulma açısı, stol karakteristiği açısından oldukça önemlidir. Aynı zamanda koniklik oranı

performansı etkileyen en önemli unsurlardan biridir (Şekil 3.21). Yine yapılan literatür çalışmalarında modern yüksek performanslı planörlerde 2'li koniklik oranları bile 3'lü koniklik oranlarına yerini bırakmaktadır. İnsansız planörde ise 2'li veya 3'lü koniklik oranları ile kanat uç kısmı çok ince olacaktır. Bu nedenle tek koniklik oranı kullanılacaktır. Tek koniklik oranı kullanıldığında ise kanadın 2/3'ünden başlayan 0,4 oranındaki koniklik oranının çok verimli olduğu daha önceki çalışmalar ile ispatlanmıştır.



Şekil 3.21. Farklı koniklik oranları ve C_L üzerindeki etkisi (Thomas ve Milgram, 1999).

Bu durumda kanat kök ve uç veterleri aşağıda denklemler ile hesaplanacaktır (Kabasakal, 2010):

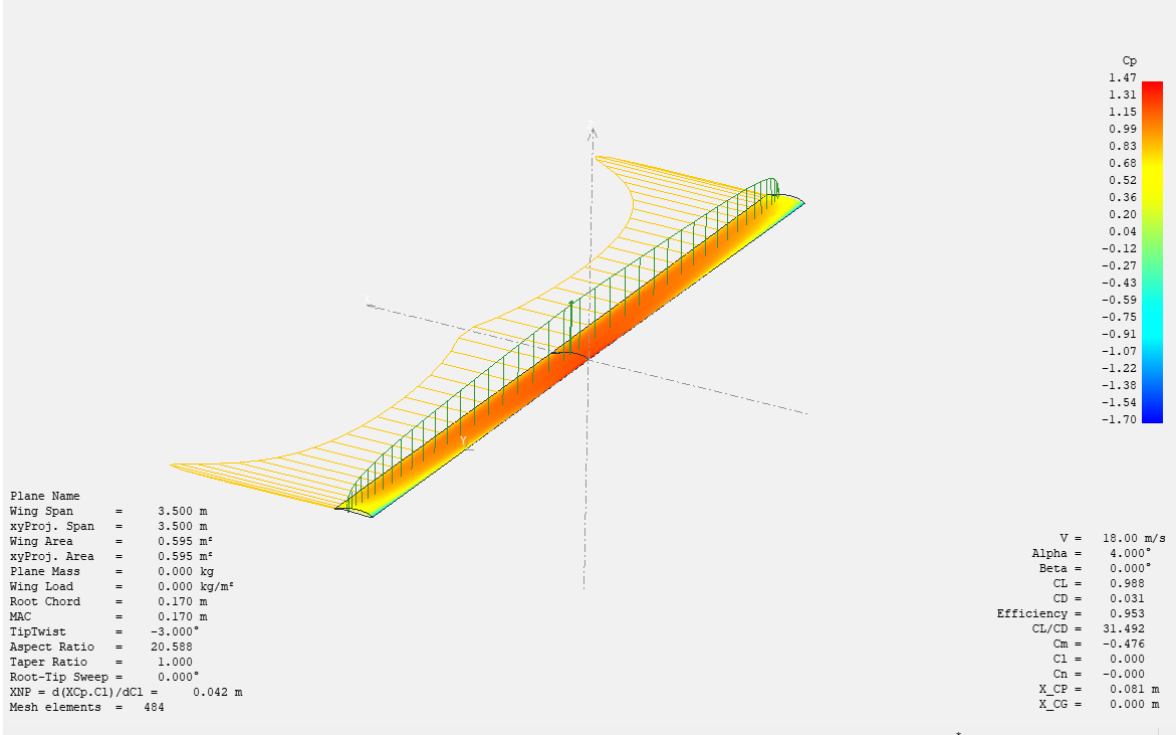
$$\frac{2b}{3} C_R + \frac{b}{3} \frac{C_r + C_R}{2} = S \quad (3.26)$$

$$\lambda = \frac{C_T}{C_R} = 0.4 \quad (3.27)$$

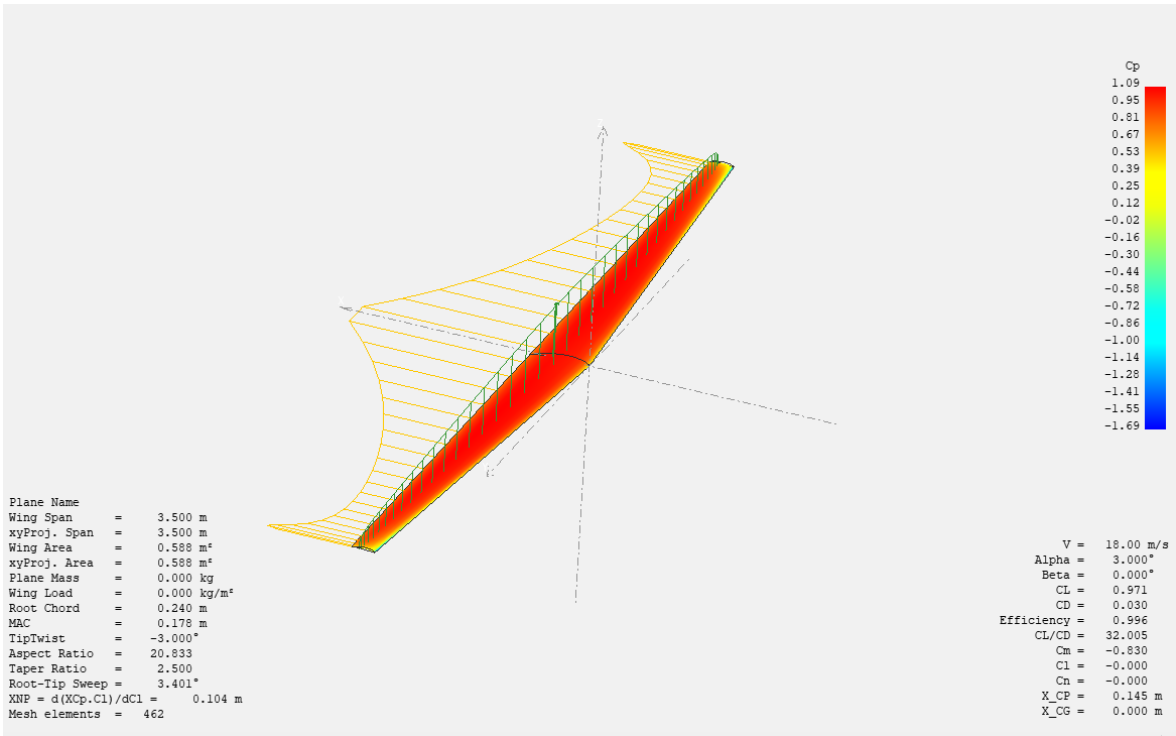
Bu durumda $C_R = 0,24$ m, $C_T = 0,096$ m olacaktır.

Fakat bu durum kanadın tamamı için geçerlidir, kanat alanı ve açıklık oranında değişiklik olmaması için kanadın 2/3'ünden itibaren hesaplanırsa:

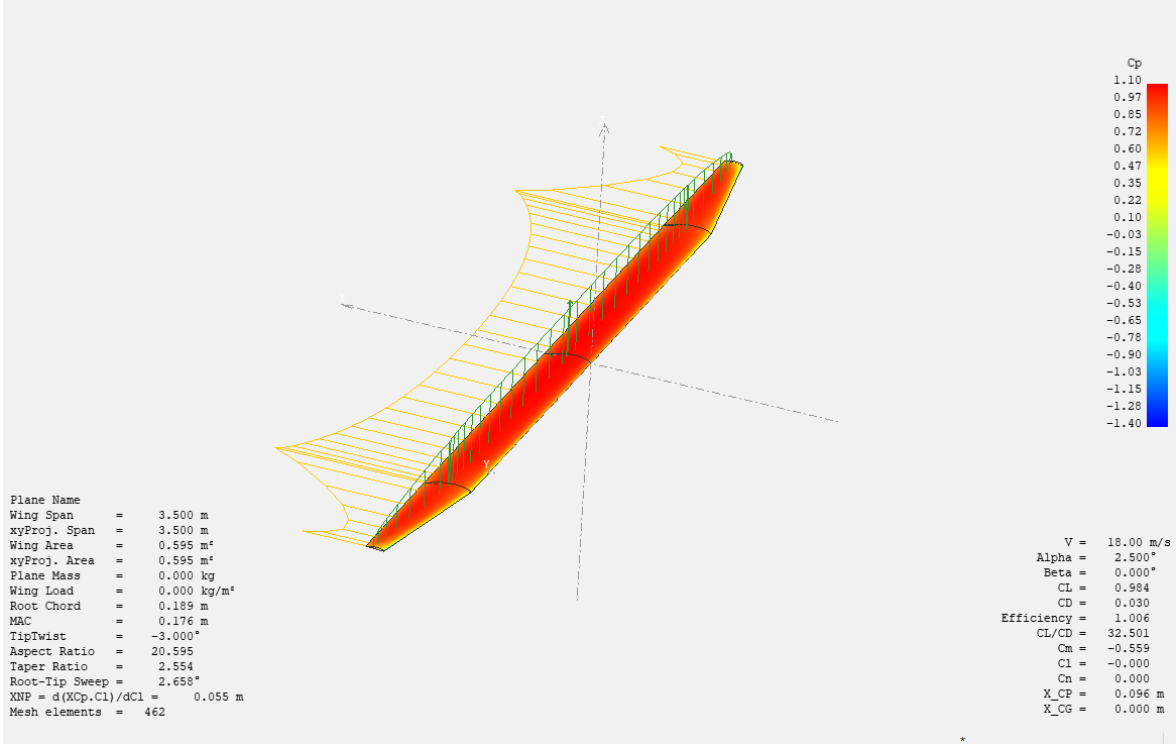
Bu durumda $C_R = 0,189$ m, $C_T = 0,074$ m olacaktır.



Şekil 3.22. 1 koniklik oranı ile elde edilen sonuçlar.

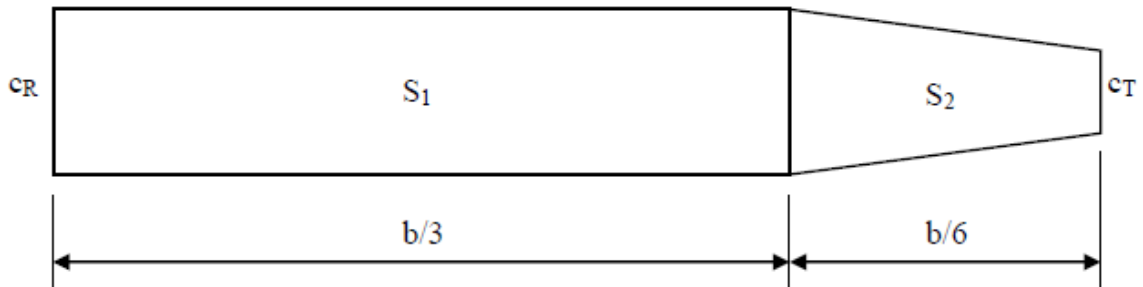


Şekil 3.23. Tam kanatta 0,4 koniklik oranı ile elde edilen sonuçlar.



Şekil 3.24. Yarım kanat 2/3'den itibaren 0,4 koniklik oranı ile elde edilen sonuçlar.

Tüm koniklik oranları düz uçuş sürati olan 18 m/s hızda değerlendirilerek, kanadın performansına olan etkisi değerlendirilmiştir. Bir koniklik oranı ile yapılan analizde, kanat 4° hücum açısında 31,492 oranında C_L/C_D oranını yakalamıştır (Şekil 3.22). Aynı şekilde tam kanattaki 0.4 koniklik oranında 3° hücum açısında C_L/C_D oranı 32,005'e yükselmiştir (Şekil 3.23). Kanadın 2/3'den itibaren 0,4'lük koniklik oranında ise C_L/C_D oranı 2,5° derece hücum açısında 32,501'e yükselmiştir (Şekil 3.24). Bu veriler doğrultusunda, kanadın 2/3'nden başlayan 0,4'lük koniklik oranının tek koniklik oranına sahip planör kanadında en verimli olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Kanat geometrisi ve ölçüleri

Bu veriler ile ortalama aerodinamik merkez için ise (Kabasakal, 2010);

$$\bar{c} = C_R S_1 + \frac{\frac{2S_2}{3} \left[C_R + C_T - \frac{C_R C_T}{C_R + C_T} \right]}{S_1 + S_2} \quad (3.28)$$

$$\bar{c} = 0,176 \text{ m}$$

3.7. Sürüklenme Poları

Çizelge 3.9. Sürüklenme polalarının girdileri.

Kanat		Gövde		Kuyruk	
Kanat Alanı	0,6 m ²	Ön Kesit Alanı	0,058 m ²	İrtifa ve İstikamet Dümeni Alanı	0,142 m ²
C _{Dkanat}	0,0055	C _{Dgövde}	0,008	C _{Dkuyruk}	0,006
Sürüklenme	0,0033		0,0044		0,000852
Toplam Sürüklenme	0,008552				

C_{D0} değerini bulmak için (Çizelge 3.9):

$$f = 1,05 \times 0,008552 = 0,0089796 \quad (3.29)$$

$$C_{D_0} = \frac{f}{S} = \frac{0,0089798}{0,6} = 0,014966 \quad (3.30)$$

Formül 3.22'den;

$$e = f(\Lambda) = 1,1 - 0,0016(\Lambda)$$

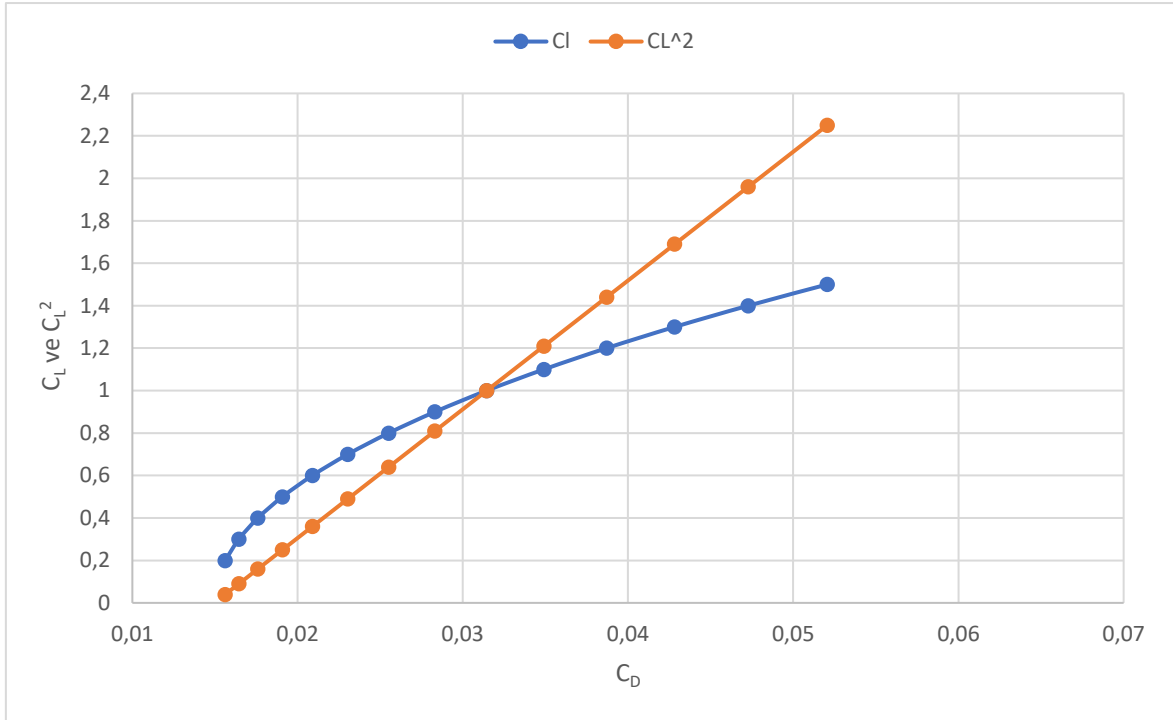
$$\Lambda = 20,6; e = 0,77$$

Veriler 3.13'e aktarırsa;

$$C_D = C_{D_0} + \frac{C_L^2}{e\pi\Lambda} \quad (3.31)$$

$$C_D = 0,014966 + 0,0164865096 C_L^2$$

Çizelge 3.10. C_L ve C_L^2 grafiği.



Çizelge 3.10'a göre bulunabilecek:

$$L/D_{maks} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{e\pi\Lambda}{C_{D_0}}} = 28,8 \quad (3.32)$$

$$\theta = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{1}{\frac{L}{D_{maks}}} \right) = 1,98^\circ \quad (3.33)$$

$$C_{L@V_{zmin}} = \sqrt{3C_{D_0}e\pi\Lambda} = 2,237 \quad (3.34)$$

$$C_{L@L/Dmaks} = \sqrt{C_{D_0}e\pi\Lambda} = 0,745 \quad (3.35)$$

3.8. Performans ve Hız Poları

$$\frac{C_L}{C_D} = \frac{\frac{2W}{\rho S C_{D0}}}{V^4 + \frac{4W^2}{C_{D0} \rho^2 S^2 \pi A e}} V^2 \quad (3.32)$$

$$V_z = \frac{V}{C_L/C_D} \quad (3.33)$$

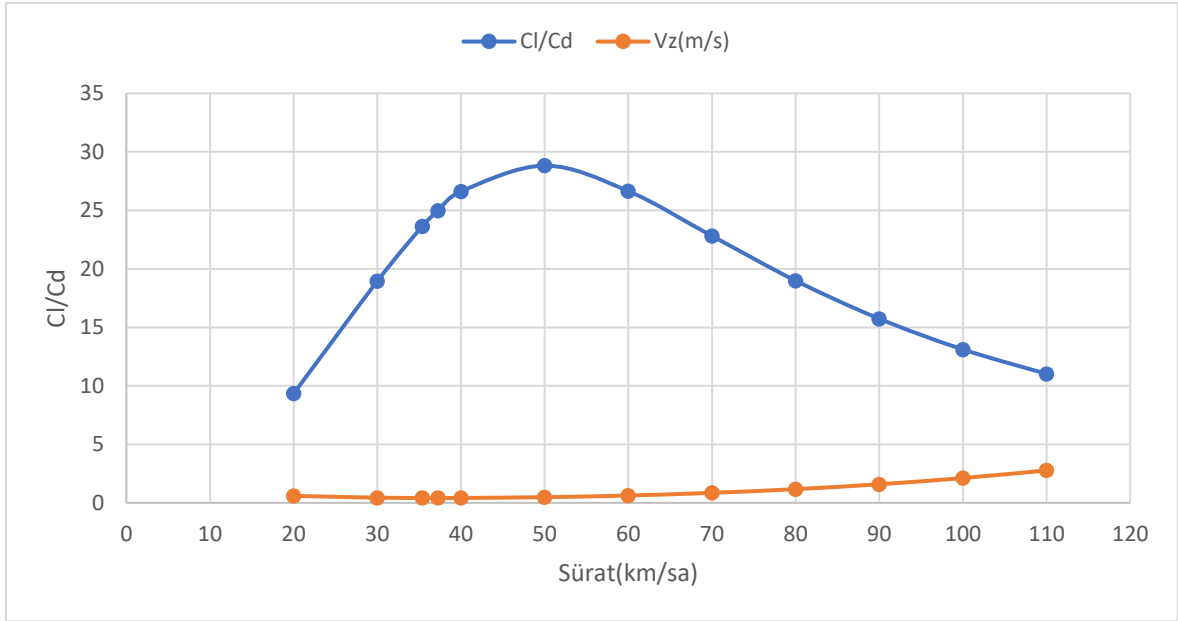
$$\frac{C_L}{C_D} = \frac{\frac{2(6 \times 9,81)}{1,225 \times 0,6 \times 0,014966}}{V^4 + \frac{4(6 \times 9,81)^2}{0,014966 \times (1,225)^2 \times 0,6^2 \times \pi \times 20,6 \times 0,77}} V^2 \quad (3.34)$$

$$\frac{C_L}{C_D} = \frac{10701,81}{V^4 + 34396,34} V^2 \quad (3.35)$$

Çizelge 3.11. Hız polarının oluşturulması için gerekli girdiler.

V (km/h)	V(m/s)	C _L /C _D	V _z
20	5,56	9,344063	0,594555
30	8,33	18,94958	0,439764
40	11,1	26,61697	0,417445
50	13,9	28,82938	0,481762
60	16,7	26,64762	0,625447
70	19,4	22,81538	0,852252
80	22,2	18,99236	1,170061
90	25	15,73716	1,588596
100	27,8	13,11203	2,118496
110	30,6	11,0273	2,770901

Çizelge 3.12. Hız-performans poları.



Bu polara göre, minimum çökme oranında sürat için:

$$V_{@V_{zmin}} = \sqrt{\frac{2W}{\rho S \sqrt{3C_{D_0}} \pi \Lambda e}} \quad (3.36)$$

$$V_{@V_{zmin}} = \sqrt{\frac{2(6 \times 9,81)}{1.225 \times 0,6 \sqrt{3 \times 0,014966 \times \pi \times 20,6 \times 0,77}}} \quad (3.37)$$

$$= 10,347 \text{ m/s} = 37,25 \text{ km/s}$$

Minimum çökme oranının hesaplanmasında ise kanat yüklemesi belirlendikten sonra:

$$W = 6 \times 9,81 \text{ ve } W/S = 98,1 \text{ daN/m}^2$$

$$V_{zmin} = \frac{4C_{D_0}^{0,25}}{(3\pi \Lambda e)} \sqrt{\frac{2W}{\rho S}} \quad (3.38)$$

$$V_{zmin} = \frac{4 \times 0,014966^{0,25}}{(3 \times \pi \times 20,6 \times 0,77)} \sqrt{\frac{2 \times 6 \times 9,81}{1.225 \times 0,6}} = 0,355 \text{ m/sn} \quad (3.39)$$

En iyi süzülme oranı yani L/D_{maks} 'daki sürat için:

$$V_{@ \frac{L}{D_{maks}}} = \sqrt{\frac{2W}{\rho S \sqrt{\pi \Lambda C_{D_0} e}}} \quad (3.40)$$

$$V_{@ \frac{L}{D_{maks}}} = \sqrt{\frac{2(6 \times 9,81)}{1,225 \times 0,6 \sqrt{\pi \times 20,6 \times 0,014966 \times 0,77}}} = 13,87 \text{ m/s} = 49,2 \text{ km/s} \quad (3.41)$$

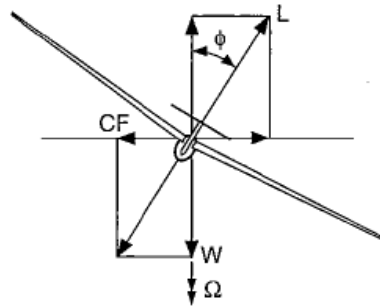
Stol (Perdövites) süratının belirlenmesinde ise:

$$V_{stol} = \sqrt{\frac{mg}{\frac{1}{2} \rho S C_{Lmaks}}} \quad (3.42)$$

$$V_{stol} = \sqrt{\frac{6 \times 9,81}{\frac{1}{2} \times 1,225 \times 0,6 \times 2,15}} = 9,82 \text{ m/s} = 35,38 \text{ km/s} \quad (3.43)$$

3.9. Dönüş Performansı

Planörün dönüş performansı oldukça önemlidir çünkü planörlerin uçuşunun büyük bir çoğunluğu termik dönüşleriyle gerçekleşmektedir. Geçmiş dönemlerde düşük kanat yüklemesine sahip planörlerin termik dönüşü büyük problem teşkil etmemekteydi, fakat günümüzdeki yüksek kanat yüklemesine sahip planörlerde bu oldukça önemlidir. Dönüş açısının artması ile artan çöküş hızı ve değişen ağırlık merkeziyle mücadele için firmalar, termik içi uçuşu basitleştirmek için flap kullanmaya başlamıştır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 Planörün dönüşünü etkileyen kuvvetler (Thomas ve Milgram, 1999).

$$V_z = \frac{C_D^2}{C_L^{1,5}} \sqrt{\frac{2W}{\rho S} \frac{1}{\cos\phi^{1,5}}} \quad (3.44)$$

$$C_L = \frac{W}{S} \frac{2}{\rho g} \frac{1}{r \sin\phi} \quad (3.45)$$

$$V_{z\phi,r} = C_{D_0} + \frac{\left(\frac{W}{S} \frac{2}{\rho g} \frac{1}{r \sin\phi}\right)}{\pi \Lambda e} \sqrt{\frac{2W}{\rho S} \frac{1}{\cos\phi^{1,5}}} \quad (3.46)$$

Termik içerisinde:

$$C_{L@V_{zmin}} = \sqrt{3C_{D_0} \pi \Lambda e} \quad (3.47)$$

$$\sqrt{3C_{D_0} \pi \Lambda e} = \frac{W}{S} \frac{2}{\rho g} \frac{1}{r \sin\phi} \quad (3.48)$$

$$\phi = \sin^{-1} \left[\frac{W}{S} \frac{2}{\rho g} \frac{1}{r \sqrt{3C_{D_0} \pi \Lambda e}} \right] \quad (3.49)$$

$$V_{zmin_{f(r)}} = \frac{4C_{D_0}^{0,25}}{(3\pi \Lambda e)} \sqrt{\frac{2W}{\rho S} \frac{1}{\left\{ \cos \left[\sin^{-1} \left(\frac{W}{S} \frac{2}{\rho g} \frac{1}{r \sqrt{3C_{D_0} \pi \Lambda e}} \right) \right] \right\}^{1,5}}} \quad (3.50)$$

3.10. Motor ve Pervane Seçimi

Gerçek ölçekli motorlu planörler düşünüldüğünde motorlar mümkün olduğunca hafif seçilmektedir. Bunun nedeni önde bulunacak motorun ağırlık merkezine olan etkisinin fazla oluşu, toplam ağırlığı arttırarak kanat yüklemesini arttırması gibi faktörlerdir. Ayrıca sürüklemenin artmaması için pervaneler de oldukça küçük ve hatveli seçilmektedir. Hatveli pervane ile pervane "feather" pozisyonuna getirilerek sürüklemeye oldukça azaltmaktadır. Bu nedenle, kendi kendine havalanabilen yarışma planörlerinde motor ve pervane, gövde

içine geri çekilebilecek şekildedir. Ayrıca motor, kanat bağlantı noktasının arasına yerleştirilerek olabildiğince ağırlık merkezinde tutulur. Bu şekilde yarışma planörlerinin yüksek süzülme hızı elde etmesi için gerekli olan fazladan ağırlığı (kanat yüklemesinin artması için) sağlamaktadır. Her iki motorlu planör için de genel olarak itki-ağırlık (T/W) oranı 0,3 civarı olmaktadır.

İnsansız planörde ise, itki-ağırlık (T/W) oranını ağırlığın mümkün kıldığı sürece yüksek tutmak oldukça önemlidir. Çünkü, mümkün olduğunca hızlı şekilde termiklerin irtifasına çıkmak ve uçuşun geri kalanına coğrafi oluşumları kullanarak uçma şansının kullanılması önemlidir. Ayrıca, olası bir durumda planör kalkış konumuna geri gelemez ve harici iniş durumu oluşursa, bu motor ile oldukça hızlı bir şekilde irtifa kazanabilecek ve geri dönebilecektir. Son olarak, mini İHA'ların elden atılması oldukça büyük bir avantaj sağlamaktadır, bu nedenle mevcut motorlardan belli bir ağırlığa en kuvvetli olanı seçilecektir. Buna göre 490 KV'lik elektrik motoru ve 35,5 cm pervane ile 5,2 kg itki üretilebilecektir. Böylelikle 0,86'lık bir itki-ağırlık oranı mümkündür.

3.11. Yatay, Dikey Stabilize ve Kanatçık Seçimi

Yatay stabilizenin alanı, kanat alanının %10-12'sine göre seçilmeli ve açıklık oranı 6 ile 8 arasında olmalıdır. Elevator kısmı ise genel olarak yatay stabilizenin veter boyunun %40'ı olarak yapılmaktadır.

Dikey stabilize ise kanat alanının %6-8 ve 1.5-2 arasında bir açıklık oranında seçilmelidir. Planörde ileri doğru bir itiş gücü bulunmadığı için dönüşlerde kanatçık ve istikamet dümeninin sürekli olarak koordineli kullanılması gerekmektedir. Ayrıca kuvvetli termikler planörü dışarı atma eğiliminde olmaktadır. Bunu engellemek için çok kuvvetli bir dikey stabilize kullanımı gerekmektedir. Bu nedenle, rudder yatay stabilizenin %50'si olarak belirlenebilir.

Dikey stabilize ve yatay stabilizenin pozisyonu için ise termik içerisinde planörler, düşük süratlerde ve minimum çökme hızına yakın uçmaktadır. Bizim verilerimize göre, minimum çökme hızının, stol hızına yakın olması sebebiyle stol riski büyüktür. Stoldan çıkış için, elevatorun aktif olarak kullanılması gerekmektedir. T kuyruk yapısında, elevatorun stol esnasında kanat türbülansından dolayı kullanım dışı kalma durumuna karşı, yatay stabilize altta kullanılacaktır.

Planörde genel olarak kanat veterinin firar kenarından %25-30'u olarak, kanat ucundan başlayan kanatçıklar kullanılmaktadır. Yüksek kanat açıklığı sebebiyle tasarlanacak İHA'da flapayleron (flapaileron) kullanılması yalpa hızını arttıracak ve dönüşü verimli kılacaktır. Ayrıca pozitif ve negatif flap kullanımı planör için oldukça önemlidir. Negatif flap yüksek süratlerde kaçan hava firelerini yakalayıp performans artışı sağlarken, pozitif flap düşük süratlerde özellikle termik içinde kamburluğu arttırarak stol süratini azaltacak ve daha düşük hızlarda dönmeyi sağlayacaktır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Materyal ve yöntem kısmında yapılan hesaplara göre özetlenecek olursa ortaya çıkacak İHA'nın performansı (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. İHA tasarım sonuçları.

$S = 0,6 \text{ m}$	$CL_{seyir} = 0,7$
$AR = \Lambda = 20,6$	$CL_{@L/D \text{ maks}} = 0,745$
$B = 3,5 \text{ m}$	Minimum Çöküş Oranı: 0,355 m/s
$C_{D0kanat} = 0,0055$	Minimum Çöküş Hızı: 37,25 km/s
$C_{D_0} = 0,014966$	$L/D_{maks} = 28,8 @ 49,2 \text{ km/s}$.
$\theta = 1,98^\circ$	$V_{stol} = 35,38 \text{ km/s}$
$MAC = 0,176$	$T/W = 0.86$
$Cl_{@V_{zmin}} = 2,237$	Dönüş Yarıçapı= 6 m

Yüksek itki oranı sayesinde, uçuş ağırlığının 10 kg çıkartılması durumunda bile itki oranı 0,5 olacak ve İHA hala kalkış yapabilecek durumda olacaktır. Bu durumda MTOW için 10 kg belirlenebilir. 10 kg ağırlıkta ise İHA'nın maksimum süzülme yani L/D_{maks} oranı değişmeyecek fakat minimum çöküş oranı 0,45 m/s'ye yükselecektir.

Kanat ağırlık merkezi (C.G) için $MAC/2$ 'den 0,088 m olarak belirlenir. Tüm planörün ağırlık merkezi hesaplamasında:

Gövde iskeleti: 450 gr

Kamera: 2 kg

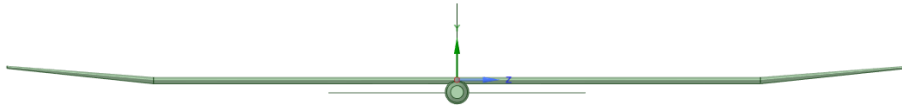
Motor ve Pervane: 400 gr (Moment uzunluğu 60 cm)

Batarya, Otopilot, Servo, ESC ve Alıcı Sistemi: 1750 gr olacaktır.

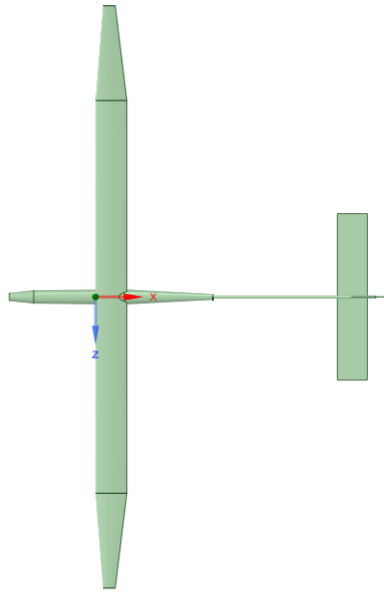
Kamera, elektronik parçalar gövde içerisinde homojen ve dengeli bir şekilde olacağı için gövde ile iskeleti içinde değerlendirilecektir. Moment kolunun en uç noktasında pervane ve motor ise ayrı değerlendirilecektir. Bu durumda ise gövdenin ağırlık merkezi x düzleminde 5 cm'de bulunacaktır (Şekil 4.1, 4.2, 4.3).



Şekil 4.1. Tasarlanan İHA'nın yandan görünüşü.

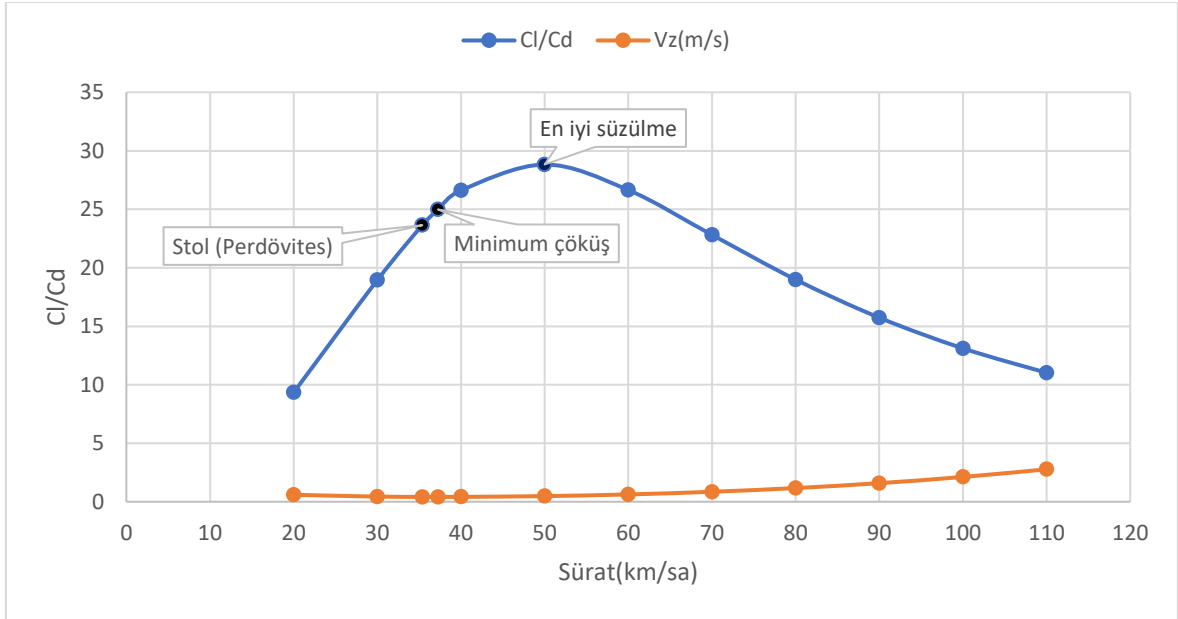


Şekil 4.2. Tasarlanan İHA'nın yandan görünüşü.



Şekil 4.3. Tasarlanan İHA'nın üstten görünüşü.

Çizelge 4.2. Planör İHA'nın perdövites, minimum çöküş ve En iyi süzülme sürati.



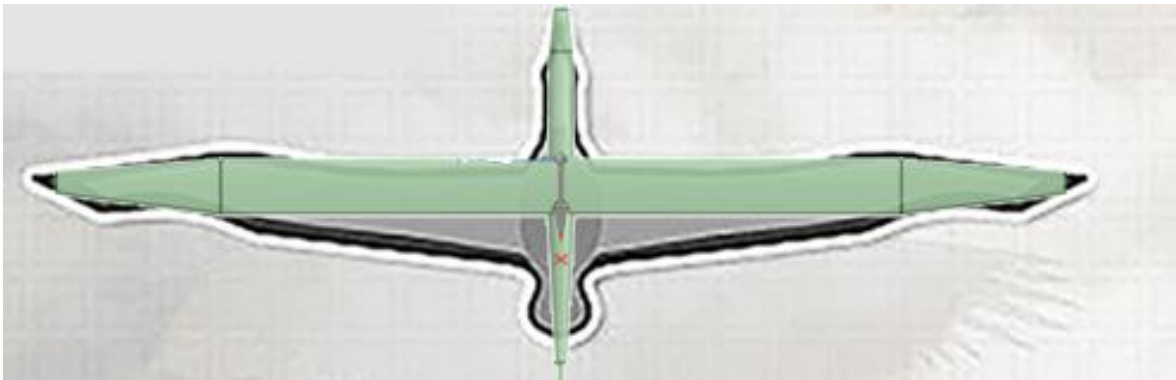
6 kg insansız planör için maksimum süzülme oranı 50 km'de sağlanırken, MTOW'a eşit olan 10 kg İHA için yaklaşık 63 km/s'de sağlanmaktadır. Bu durum görev tanımına göre değiştirilebilme avantajını sağlamaktadır (Çizelge 4.2). 6 kg uçuş ağırlığı ile 5 km'lik mesafeyi yaklaşık 6 dakikada uçacak, 10 kg ağırlıkla ise 4 dakika 45 saniyede aynı uçuş tamamlanacaktır.

6 kg ağırlık ile uçan İHA, minimum çöküş oranında uçuşunda dakikada 21 m irtifa kaybedecektir, MTOW ile uçuşta ise dakikada 27 m kayıp olacaktır. Bu durumda 6 kg olan İHA, 5 dakikalık uçuşta 105 m irtifa kaybedecekken, MTOW'daki İHA 135 m kayıp ile uçacaktır.

Tüm bu ağırlık ve süzülme performanslarının sağlanabilmesi için dikkatli bir imalat süreci gereklidir. Kanat yapımı için 1 mm balsa ve deniz tutkalı ile kaplanmış köpük kanat kalıbı ayrıca lonjoron olarak kullanılacak karbon çubuk ve kanadın kaplanması için gerekli olan kaplama filmi uygundur. Gövde iskeleti için ise balsa-kontraplak şeklinde devam eden bulkhead yapısı uygundur. Gövdenin kuyruk kısmına kadar olan bölümü için ise karbon boru kullanılabilir. Kanat ayleron (aileron) yapısı için ise 9 gram servo yeterli olacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyamızın sahip olduğu eşsiz canlıların belki de en fazla dikkat çeken olan kuşlardan 10000'e yakın tür arasından süzülme performansı ile öne çıkan gezgin albatrostan esinlenerek tasarladığımız planör İHA, tasarımın başında hedeflenen kriterlerin tamamını sağlamıştır. Gezgin albatrosun 1:23 olan süzülme oranı (Brook, 2004) bu boyutlar için oldukça iyi olmasına rağmen, tasarlanan planör insansız hava aracında süzülme oranı 1:28'e ulaşmıştır. Bu orana ulaşırken en bariz farklılık olarak açıklık oranı görülebilir. Gezgin albatros 15 açıklık oranı ile 20,6 açıklık oranına sahip olan hava aracından geridedir (Şekil 5.1). Albatrosun avantajı ise daha yavaş geçişlere sahip kanat morfolojisi ve daha geniş olan ortalama veteri sayesinde daha yüksek reynolds sayısında uçabilmesidir. İHA için kanat açıklığı 3,5 m ile sınırlandırıldığından, açıklık oranını artırmanın tek yolu veteri kısaltmaktır. Kısa veter ise daha düşük reynolds sayıları demektir. Örneğin eğer İHA'nın kanat açıklığı 7 m'ye çıkartılsaydı ve veter uzunluğu 0,34 m olarak belirlenseydi aynı açıklık oranında aynı kanat profili ve aynı sürat ile yaklaşık 1:40 oranı sağlanacaktı. Bu nedenle MALE sınıfı bir İHA'nın bu şekilde tasarlanması durumunda daha yüksek kanat açıklığı, açıklık oranı ve optimize bir veter uzunluğu yüksek performans sağlayacaktır. Kuşkusuz, bu çalışmanın ana amacı olan daha düşük enerji sarfiyatıyla, daha uzun uçuş için gerekli koşulları sağlamak oldukça önemlidir. Fakat hali hazırda uzun süre havada kalabilen MALE sınıfı İHA'larda süzülme performansının artırılması önemli bir sessiz uçuş avantajı sağlayacaktır.



Şekil 5.1. 3,5 m kanat açıklığına sahip gezgin albatros ve tasarlanan planör insansız hava aracının boyutsal karşılaştırılması.

Tasarlanmış olan mini İHA için ise, sonuçlar kısmında verilen bilgiler doğrultusunda 10 kg ağırlık ile uçuşunun sorun teşkil etmeyeceği açıktır. Aynı mesafeyi daha kısa sürede uçarken, fazladan taşınabilecek ağırlığın batarya için kullanılması durumunda uçuş süresi oldukça artacaktır. Mevcut kullanılması düşünülen motor tam güç ile 70 A tüketim yapmakta ve 1 kg'lık 7000 mAh kapasiteli batarya ile tam güçte 14-15 dk uçuş yapabilmektedir. Basit olarak 2 kg'lık 14000 mAh kapasiteli batarya ile 30 dk uçacaktır. Bu nedenle çökme oranının çok önemli olmadığı durumlarda, operasyon yarı çapının önem kazandığı durumlarda 10 kg'lık uçuş ağırlığı daha olumlu olacaktır.

Sonuç olarak mevcut teknolojiler ile her alanda kuşlardan daha performanslı hava araçları yapmak mümkündür. Örneğin tasarımı yapılan İHA için sürüklemeye etki eden gövde ön kesit alanı oldukça küçüktür, çünkü mevcut teknoloji ile birçok parça bu alana sığabilmektedir. Fakat, uçuş kullanılan enerji birimi başına maliyete çevrilirse kuşların oldukça verimli olduğu ortaya çıkacaktır. Binlerce km mesafeyi sadece yolda yakaladıkları avlar ile beslenerek kat eden kuşlar ile litrelerce yakıt tüketen piston ve jet motorları ile üretiminde dünyaya oldukça fazla zarar verilen pil türlerinin maliyeti kıyaslanamaz. Ayrıca, belli bir performans kriterinde kuşlar hava araçları tarafından geçilebilirken, aynı tür kuş o performans kriterinin dışındaki uçuş tarzlarını da sergileyebilmektedir. Konumuz olan albatroslar, binlerce kilometre mesafeyi uçarken kullandığı yüzey rüzgarları çok alçakta oluşur, bu nedenle insansız planör uçuşlarında kullanılması oldukça büyük risk teşkil etmektedir. Yine kuşların en önemli avantajı olan, değişken kanat morfolojisi çok büyük avantajlar sağlamakta ve değişik uçuş tarzlarına adaptasyonu kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle ileride yapılacak İHA çalışmalarında değişken kanat morfolojisi kullanımları önemsenmeli ve kuşların bu özelliğinden de ilham alınmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdulrahim, M., 2005, Flight performance characteristics of a biologically-inspired morphing aircraft, In 43rd AIAA aerospace sciences meeting and exhibit, p. 345.
- Akos, Z., Nagy, M., Vicsek, T., 2008, Comparing bird and human soaring strategies, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(11), 4139-4143.
- Ákos, Z., Nagy, M., Leven, S., Vicsek, T., 2010, Thermal soaring flight of birds and unmanned aerial vehicles, *Bioinspiration & biomimetics*, 5(4), 045003.
- Aldheeb, M. A., Asrar, W., Sulaeman, E., Omar, A. A., 2016, A review on aerodynamics of non-flapping bird wings, *Journal of Aerospace Technology and Management*, 8(1), 7-17.
- Allen, M. J., 2008, U.S. Patent No. 7,431,243. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Almgren, R., Tourin, A., 2015, Optimal soaring via Hamilton–Jacobi–Bellman equations, *Optimal Control Applications and Methods*, 36(4), 475-495.
- Altshuler, D. L., Bahlman, J. W., Dakin, R., Gaede, A. H., Goller, B. vd., 2015, The biophysics of bird flight: functional relationships integrate aerodynamics, morphology, kinematics, muscles, and sensors, *Canadian Journal of Zoology*, 93(12), 961-975.
- Ang, H., Xiao, T., Duan, W., 2009, Flight mechanism and design of biomimetic micro air vehicles, *Science in China Series E: Technological Sciences*, 52(12), 3722.
- Anonim, 2016, <https://www.reddit.com/r/videos/comments/4o99fc/>, erişim tarihi: 02.10.2019.
- Anonim, 2019a, Winch Launch, https://images.slideplayer.com/39/10996587/slides/slide_4.jpg, erişim tarihi: 02.10.2019.
- Anonim, 2019b, Cross-Country, <http://www.soaringacademy.org/about-soaring.php>, erişim tarihi: 02.10.2019.
- Anonim, 2019c, Ridge Lift, <https://www.union.ic.ac.uk/rcc/gliding/about-gliding/how-do-gliders-fly/>, erişim tarihi: 02.10.2019.
- Anonim, 2019d, DG800s, http://www.icare-rc.com/dg800s_5_6m.htm, erişim tarihi: 02.10.2019.
- Bannasch, R., 2001, From soaring and flapping bird flight to innovative wing and propeller constructions, *Fixed and Flapping Wing Aerodynamics for Micro Air Vehicle Applications*, 195, 453-472.
- Boermans, L., Selen, H., 1981, On the design of some airfoils for sailplane application, *Technical Soaring*, 7(1), 13-35.
- Boermans, L., Waibel, G., 1989, Aerodynamic design of the standard class sailplane ASW-24, *Technical Soaring*, 13(3), 72-83.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Boermans, L., Van Garrel, A., 1997, Design and wind tunnel test results of a flapped laminar flow airfoil for high-performance sailplane applications, *Technical Soaring*, 21(1), 11-17.
- Boermans, L. M. M., Nicolosi, F., Kubrynski, K., 1998, September, Aerodynamic design of high-performance sailplane wing-fuselage combinations, In XXI ICAS Congress, Melbourne, Australia Vol. 18.
- Boermans, L., 2006, Research on sailplane aerodynamics at Delft University of Technology, *Technical Soaring*, 30(1-2), 10-12.
- Boller, C., Kuo, C. M., Qin, N., 2008, Biologically Inspired Shape Changing Aerodynamic Profiles and Their Effect on Flight Performance of Future Aircraft, In *Advances in Science and Technology*, Trans Tech Publications, Vol. 56, pp. 534-544.
- Brandt, S. A., Bertin, J. J., Stiles, R. J., Whitford, R., 2004, *Introduction to aeronautics: a design perspective*, American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Brewer, M. L., Hertel, F., 2007, Wing morphology and flight behavior of pelecaniform seabirds, *Journal of Morphology*, 268(10), 866-877.
- Brooke, M., 2004, *Albatrosses and petrels across the world*, Oxford University Press.
- Careau, V., Therrien, J. F., Porras, P., Thomas, D., Bildstein, K., 2006, Soaring and gliding flight of migrating broad-winged hawks: behavior in the Nearctic and Neotropics compared, *The Wilson Journal of Ornithology*, 118(4), 471-478.
- Carruthers, A. C., Walker, S. M., Thomas, A. L., Taylor, G. K., 2010, Aerodynamics of aerofoil sections measured on a free-flying bird, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 224(8), 855-864.
- Chai, P., Dudley, R., 1996, Limits to flight energetics of hummingbirds hovering in hypodense and hypoxic gas mixtures, *Journal of Experimental Biology*, 199(10), 2285-2295.
- Claramunt, S., Derryberry, E. P., Remsen Jr, J. V., Brumfield, R. T., 2011, High dispersal ability inhibits speciation in a continental radiation of passerine birds, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1733), 1567-1574.
- Cochrane, J. H., 1999, MacCready theory with uncertain lift and limited altitude, *Technical Soaring*, 23, 88-96.
- Corvidae, E. L., Bierregaard, R. O., Peters, S. E., 2006, Comparison of wing morphology in three birds of prey: correlations with differences in flight behavior. *Journal of Morphology*, 267(5), 612-622.
- Daniele, E., De Fenza, A., & Vecchia, P. D., 2012, Conceptual adaptive wing-tip design for pollution reductions, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 23(11), 1197-1212.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- De Margerie, E., Mouret, J. B., Doncieux, S., Meyer, J. A., 2007, Artificial evolution of the morphology and kinematics in a flapping-wing mini-UAV, *Bioinspiration & biomimetics*, 2(4), 65.
- Depenbusch, N. T., Bird, J. J., Langelaan, J. W., 2018, The AutoSOAR autonomous soaring aircraft, part 1: Autonomy algorithms, *Journal of Field Robotics*, 35(6), 868-889.
- Di Luca, M., Mintchev, S., Heitz, G., Noca, F., Floreano, D., 2017, Bioinspired morphing wings for extended flight envelope and roll control of small drones, *Interface focus*, 7(1), 20160092.
- Drela, M., 1989, XFOIL: An analysis and design system for low Reynolds number airfoils. In *Low Reynolds number aerodynamics*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 1-12.
- Duriez, O., Kato, A., Tromp, C., Dell'Omo, G., Vysotski vd., 2014, How cheap is soaring flight in raptors? A preliminary investigation in freely-flying vultures, *PLoS One*, 9(1), e84887.
- Dvořák, R., 2016, Aerodynamics of bird flight, In *EPJ Web of Conferences*, EDP Sciences, Vol. 114, p. 01001.
- Edwards, D. J., Silberberg, L. M., 2010, Autonomous soaring: The Montague cross-country challenge, *Journal of Aircraft*, 47(5), 1763-1769.
- FAA, 2007, *Glider Flying Handbook*, Skyhorse Publishing Inc.
- Fluck, M., Crawford, C., 2014, A lifting line model to investigate the influence of tip feathers on wing performance, *Bioinspiration & biomimetics*, 9(4), 046017.
- Gao, C., 2015, *Autonomous soaring and surveillance in wind fields with an unmanned aerial vehicle*, Doctoral dissertation
- Ge, C., Ren, L., Liang, P., Zhang, C., Zhang, Z., 2013, High-lift effect of bionic slat based on owl wing, *Journal of Bionic Engineering*, 10(4), 456-463.
- Gedeon, J., 1976, *The influence of sailplane performance and thermal strength on optimal Dolphin-flight transition piloting techniques*, OSTIV Publications, 14.
- Geissler, W., & van der Wall, B. G. (2017). Dynamic stall control on flapping wing airfoils. *Aerospace Science and Technology*, 62, 1-10.
- Gill, F. B., 1995, *Ornithology*, Macmillan, p.116.
- Gillies, J. A., Thomas, A. L., Taylor, G. K., 2011, Soaring and manoeuvring flight of a steppe eagle *Aquila nipalensis*, *Journal of Avian biology*, 42(5), 377-386.
- Greenewalt, C. H., 1962, *Dimensional relationships for flying animals*.
- Greenewalt, C. H., 1975, The flight of birds: the significant dimensions, their departure from the requirements for dimensional similarity, and the effect on flight aerodynamics of that departure, *Transactions of the American philosophical society*, 65(4), 1-67.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Grilli, M. G., Lambertucci, S. A., Therrien, J. F., Bildstein, K. L., 2017, Wing size but not wing shape is related to migratory behavior in a soaring bird, *Journal of avian biology*, 48(5), 669-678.
- Han, C., 2009, Investigation of unsteady aerodynamic characteristics of a seagull wing in level flight, *Journal of Bionic Engineering*, 6(4), 408-414.
- Hanson, C. E., 2008, Cooperative autonomous thermal soaring for small uninhabited aerial vehicles, ProQuest.
- Hart, A., Sytsma, M., Ukeiley, L., 2016, An aerodynamic characterization facility for micro air vehicle research, *International Journal of Micro Air Vehicles*, 8(2), 79-91.
- Hassanalian, M., Throneberry, G., Abdelkefi, A., 2017, Wing shape and dynamic twist design of bio-inspired nano air vehicles for forward flight purposes, *Aerospace Science and Technology*, 68, 518-529.
- Heers, A. M., Dial, K. P., Tobalske, B. W., 2014, From baby birds to feathered dinosaurs: incipient wings and the evolution of flight, *Paleobiology*, 40(3), 459-476.
- Heers, A. M., Baier, D. B., Jackson, B. E., Dial, K. P., 2016, Flapping before flight: high resolution, three-dimensional skeletal kinematics of wings and legs during avian development, *PLoS One*, 11(4), e0153446.
- Hedenström, A., 2002, Aerodynamics, evolution and ecology of avian flight, *Trends in Ecology & Evolution*, 17(9), 415-422.
- Henningson, P., Spedding, G. R., Hedenström, A., 2008, Vortex wake and flight kinematics of a swift in cruising flight in a wind tunnel, *Journal of Experimental Biology*, 211(5), 717-730.
- Henningson, P., Hedenström, A., 2011, Aerodynamics of gliding flight in common swifts, *Journal of Experimental Biology*, 214(3), 382-393.
- Hernández-Pliego, J., Rodríguez, C., Bustamante, J., 2015, Why do kestrels soar?, *PLoS One*, 10(12), e0145402.
- Hertel, F., Ballance, L. T., 1999, Wing ecomorphology of seabirds from Johnston Atoll, *The Condor*, 101(3), 549-556.
- Horvitz, N., Sapir, N., Liechti, F., Avissar, R., Mahrer, I., vd., 2014, The gliding speed of migrating birds: slow and safe or fast and risky?, *Ecology Letters*, 17(6), 670-679.
- Hossain, A., Rahman, A., Hossen, J., Iqbal, P., Shaari, N., Sivaraj, G. K., 2011, Drag reduction in a wing model using a bird feather like winglet, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 5(3).
- Johnston, J., Gopalarathnam, A. (2012). Investigation of a bio-inspired lift-enhancing effector on a 2D airfoil, *Bioinspiration & biomimetics*, 7(3), 036003.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Joudine, K., 1955, A propos du mécanisme fixant l'articulation du coude chez certains Oiseaux (Tubinares), Congr Int Ornith Acta XI, 279-283.
- Kabasakal, M., 2010, Çift kişilik motorlu planör tasarımı ve ağırlık-süzülme oranı optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi.
- Kaiser, G., Dyke, G., 2014, The development of flight surfaces on the avian wing, Zoologicheskyy Zhurnal, 93(10), 1155-1165.
- KleinHeerenbrink, M., Warfvinge, K., Hedenström, A., 2016, Wake analysis of aerodynamic components for the glide envelope of a jackdaw (*Corvus monedula*), Journal of experimental Biology, 219(10), 1572-1581.
- Koessler, J. H., 2018, Dynamic Soaring UAV Gliders, The University of Arizona, Doctoral dissertation.
- Kubrynski, K., 2006, Aerodynamic design and cross-country flight performance analysis of Diana-2 sailplane, Technical Soaring, 30(3), 79-88.
- Kubrynski, K., 2007, High performance sailplane design strategy using inverse design and optimization techniques. In Inverse Problems, Design and Optimization Symposium.
- Lauk, P., Seegel, K. E., Tähemaa, T., 2017, Impact of variable geometry miniflaps on sailplane flight characteristics, Aviation, 21(4), 119-125.
- Lees, J. J., Dimitriadis, G., Nudds, R. L., 2016, The influence of flight style on the aerodynamic properties of avian wings as fixed lifting surfaces, PeerJ, 4, e2495.
- Lentink, D., Müller, U. K., Stamhuis, E. J., De Kat, R., Van Gestel, W. vd., 2007, How swifts control their glide performance with morphing wings, Nature, 446(7139), 1082.
- Lentink, D., de Kat, R., 2014, Gliding swifts attain laminar flow over rough wings, PloS one, 9(6), e99901.
- Li, D., Liu, X., 2016, June, Aerodynamic performance and acoustic characteristics of bionic airfoil inspired by three-dimensional long-eared owl wing under low Reynolds number. In ASME Turbo Expo 2016: Turbomachinery Technical Conference and Exposition, American Society of Mechanical Engineers, pp. V02AT41A006-V02AT41A006.
- Liechti, F., Witvliet, W., Weber, R., Bächler, E., 2013, First evidence of a 200-day non-stop flight in a bird, Nature Communications, 4, 2554.
- Limiñana, R., Romero, M., Mellone, U., Urios, V., 2013, Is there a different response to winds during migration between soaring and flapping raptors? An example with the Montagu's harrier and the lesser kestrel, Behavioral Ecology and Sociobiology, 67(5), 823-835.
- Liu, H., Ravi, S., Kolomenskiy, D., Tanaka, H., 2016, Biomechanics and biomimetics in insect-inspired flight systems, Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 371(1704), 20150390.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lockheed Martin, 2019, The U-2 Dragon Lady, <https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/history/u2.html>, erişim tarihi: 02.10.2019.
- MacCready, P. B., 1958, Optimum airspeed selector, *Soaring*, 10–11.
- Mandadzhiev, B. A., Lynch, M. K., Chamorro, L. P., Wissa, A. A., 2017, An experimental study of an airfoil with a bio-inspired leading edge device at high angles of attack, *Smart Materials and Structures*, 26(9), 094008.
- Marjanowski, J., Tomaszewicz, J., Frączek, W. (2017). The electric-powered motor glider AOS-71—the study of development. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 89(4), 579-589.
- Maughmer, M., 2003, The Evolution of Sailplane Wing Design, In *AIAA International Air and Space Symposium and Exposition: The Next 100 Years*, p. 2777.
- Maybury, W. J., Rayner, J. M. V., Couldrick, L. B., 2001, Lift generation by the avian tail, *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 268(1475), 1443-1448.
- McGahan, J., 1973, Gliding flight of the Andean condor in nature, *Journal of Experimental Biology*, 58(1), 225-237.
- McLaren, J. D., Shamoun-Baranes, J., Camphuysen, C. J., Bouten, W., 2016, Directed flight and optimal airspeeds: homeward-bound gulls react flexibly to wind yet fly slower than predicted, *Journal of avian biology*, 47(4), 476-490.
- McCullough, D., 2015, *The Wright Brothers*. Simon and Schuster.
- McDonald, M., Agrawal, S. K., 2010, Design of a bio-inspired spherical four-bar mechanism for flapping-wing micro air-vehicle applications, *Journal of Mechanisms and Robotics*, 2(2), 021012.
- Muijres, F. T., Henningsson, P., Stuiver, M., Hedenström, A., 2012, Aerodynamic flight performance in flap-gliding birds and bats, *Journal of theoretical biology*, 306, 120-128.
- Muir, R. E., Arredondo-Galeana, A., Viola, I. M., 2017, The leading-edge vortex of swift wing-shaped delta wings, *Royal Society open science*, 4(8), 170077.
- Nakata, T., Liu, H., Tanaka, Y., Nishihashi, N., Wang, X., Sato, A., 2011, Aerodynamics of a bio-inspired flexible flapping-wing micro air vehicle. *Bioinspiration & biomimetics*, 6(4), 045002.
- NASA, 2019, Space Shuttle as a Glider, <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/glidshuttle.html>, erişim tarihi: 02.10.2019.
- Newman, B. G., 1958, Soaring and gliding flight of the black vulture, *Journal of experimental biology*, 35(2), 280-285.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- NFA, 2018, Silent Wings: Glider Lands at Dumfries, <https://nationalfundforacquisitions.wordpress.com/2018/12/05/silent-wings-glider-lands-at-dumfries/>, erişim tarihi: 02.10.2019.
- Norberg, U. M., 1985, Evolution of vertebrate flight: an aerodynamic model for the transition from gliding to active flight, *The American Naturalist*, 126(3), 303-327.
- Norberg, U. M., 2012, Vertebrate flight: mechanics, physiology, morphology, ecology and evolution (Vol. 27), Springer Science & Business Media, p.24.
- Palmer, J. L., Jones, M. B., Drobik, J., 2013, Design Elements of a Bio-Inspired Micro Air Vehicle, *IFAC Proceedings Volumes*, 46(10), 235-241.
- Parrott, G. C., 1970, Aerodynamics of gliding flight of a black vulture *Coragyps atratus*, *Journal of Experimental Biology*, 53(2), 363-374.
- Pennycuik, C. J., 1960, Gliding flight of the fulmar petrel, *Journal of experimental Biology*, 37(2), 330-338.
- Pennycuik, C. J., 1971a, Gliding flight of the white-backed vulture *Gyps africanus*, *Journal of Experimental Biology*, 55(1), 13-38.
- Pennycuik, C. J., 1971b, Control of gliding angle in Rüppell's griffon vulture *Gyps rüppellii*, *Journal of Experimental Biology*, 55(1), 39-46.
- Pennycuik, C. J., 1983, Thermal soaring compared in three dissimilar tropical bird species, *Fregata magnificens*, *Pelecanus occidentalis* and *Coragyps atratus*, *Journal of Experimental Biology*, 102(1), 307-325.
- Pennycuik, C. J., 2008a, Mechanics of Level Flight, *Theoretical Ecology Series*, 5, 37-78.
- Pennycuik, C. J., 2008b, Modelling the flying bird (Vol. 5). Elsevier.
- Perlan Project, 2015, AIRBUS PERLAN 2 FIRST FLIGHT, <http://www.perlanproject.org/>, erişim tarihi: 02.10.2019.
- Rayner, J. M., 1988, Form and function in avian flight, In *Current ornithology*, Springer, p. 1-66.
- Reddy, D., 2016. Autonomous thermal soaring of a fixed wing UAV using temperature sensors, California State University, Long Beach.
- Reynolds, K. V., Thomas, A. L., Taylor, G. K., 2014, Wing tucks are a response to atmospheric turbulence in the soaring flight of the steppe eagle *Aquila nipalensis*, *Journal of The Royal Society Interface*, 11(101), 20140645.
- Richardson, P. L., 2011, How do albatrosses fly around the world without flapping their wings?, *Progress in Oceanography*, 88(1-4), 46-58.
- Roberts, B., Lind, R., Chatterjee, S., 2011, Flight dynamics of a pterosaur-inspired aircraft utilizing a variable-placement vertical tail. *Bioinspiration & biomimetics*, 6(2), 026010.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Robertson, A. M. B., Biewener, A. A., 2012, Muscle function during takeoff and landing flight in the pigeon (*Columba livia*), *Journal of Experimental Biology*, jeb-075275.
- Robinson, M., 2019, Magnificent Frigatebird (*Fregata magnificens*), <https://tr.pinterest.com/pin/470415123561979262/>, erişim tarihi: 02.10.2019
- Rzucidlo, P., Kopecki, G. H., deGroot, K., Kucaba-Pietal, A., Smusz, R. Vd., 2016, Data acquisition system for PW-6U in flight boundary layer mapping, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal*, 88(4), 572-579.
- Sachs, G., 2005, Yaw stability in gliding birds, *Journal of Ornithology*, 146(3), 191-199.
- Sachs, G., Moelyadi, M. A., 2006, Effect of slotted wing tips on yawing moment characteristics, *Journal of theoretical biology*, 239(1), 93-100.
- Sachs, G., Moelyadi, M. A., 2010, CFD based determination of aerodynamic effects on birds with extremely large dihedral, *Journal of Bionic Engineering*, 7(1), 95-101.
- Savile, O. B. O., 1957, Adaptive evolution in the avian wing. *Evolution*, 11(2), 212-224.
- Sengupta, T. K., Vikas, V., Johri, A., 2005, An improved method for calculating flow past flapping and hovering airfoils. *Theoretical and Computational Fluid Dynamics*, 19(6), 417-440.
- Schempp-Hirth, 2019, Ventus2ax, <https://www.schempp-hirth.com/en>, erişim tarihi: 02.10.2019.
- Short, S., 2005, Birth of American soaring flight: A new technology, *AIAA journal*, 43(1), 17-28.
- Shreyas, J. V., Devranjan, S., Sreenivas, K. R., 2012, Aerodynamics of Bird and Insect Flight, *Journal of the Indian Institute of Science*, 91(3), 315-328.
- Shyy, W., Kang, C. K., Chirarattananon, P., Ravi, S., Liu, H., 2016, Aerodynamics, sensing and control of insect-scale flapping-wing flight, *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 472(2186), 20150712.
- Sivasankaran, P. N., Ward, T. A., Salami, E., Viyapuri, R., Fearday, C. J., Johan, M. R., 2017, An experimental study of elastic properties of dragonfly-like flapping wings for use in biomimetic micro air vehicles (BMAVs), *Chinese Journal of Aeronautics*, 30(2), 726-737.
- Spedding, G. R., 1987, The wake of a kestrel (*Falco tinnunculus*) in gliding flight, *Journal of Experimental Biology*, 127(1), 45-57.
- Sullivan, T. N., Wang, B., Espinosa, H. D., Meyers, M. A., 2017, Extreme lightweight structures: avian feathers and bones, *Materials Today*, 20(7), 377-391.
- Sun, Y. F., Ren, Z. P., Wu, Y. F., Lei, F. M., Dudley vd., 2016, Flying high: limits to flight performance by sparrows on the Qinghai-Tibet Plateau, *Journal of Experimental Biology*, 219(22), 3642-3648.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Suryan, R. M., Anderson, D. J., Shaffer, S. A., Roby, D. D., Tremblay, Y. vd., 2008, Wind, waves, and wing loading: morphological specialization may limit range expansion of endangered albatrosses, *PLoS One*, 3(12), e4016.
- Tennekes, H., 2009, *The simple science of flight: from insects to jumbo jets*. MIT press.
- Thomas, F., Milgram, J., 1999, *Fundamentals of sailplane design (Vol. 3)*, College Park, Maryland: College Park Press.
- Thomas, F., 2003, 100 Years Of Sailplane Design and Beyond, *Technical Soaring*, 27(3-4), 61-74.
- Tobalske, B. W., 2007, Biomechanics of bird flight. *Journal of Experimental Biology*, 210(18), 3135-3146.
- Tucker, V. A., Parrott, G. C., 1970, Aerodynamics of gliding flight in a falcon and other birds, *Journal of Experimental Biology*, 52(2), 345-367.
- Tucker, V. A., 1987, Gliding birds: the effect of variable wing span, *Journal of Experimental Biology*, 133(1), 33-58.
- Tucker, V. A., 1988, Gliding birds: descending flight of the whitebacked vulture, *Gyps africanus*, *Journal of Experimental Biology*, 140(1), 325-344.
- Tucker, V. A., Heine, C., 1990, Aerodynamics Of Gliding Flight in a Harris'hawk, *Parabuteo unicinctus*, *Journal of Experimental Biology*, 149(1), 469-489.
- Tucker, V. A., 1992, Pitching equilibrium, wing span and tail span in a gliding Harris' Hawk, *Parabuteo unicinctus*, *Journal of Experimental Biology*, 165(1), 21-41.
- Tucker, V. A., 1993, Gliding birds: reduction of induced drag by wing tip slots between the primary feathers, *Journal of experimental biology*, 180(1), 285-310.
- Tucker, V. A., 1995, Drag reduction by wing tip slots in a gliding Harris' hawk, *Parabuteo unicinctus*, *Journal of experimental biology*, 198(3), 775-781.
- Tucker, V. A., 2000, Gliding flight: drag and torque of a hawk and a falcon with straight and turned heads, and a lower value for the parasite drag coefficient, *Journal of Experimental Biology*, 203(24), 3733-3744.
- Tsai, B. J., Fu, Y. C., 2009, Design and aerodynamic analysis of a flapping-wing micro aerial vehicle, *Aerospace Science and Technology*, 13(7), 383-392.
- Wang, B., Meyers, M. A., 2017, Seagull feather shaft: correlation between structure and mechanical response, *Acta biomaterialia*, 48, 270-288.
- Ward, T. A., Rezadad, M., Fearday, C. J., Viyapuri, R., 2015, A review of biomimetic air vehicle research: 1984-2014, *International Journal of Micro Air Vehicles*, 7(3), 375-394

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Weinzierl, R., Bohrer, G., Kranstauber, B., Fiedler, W., Wikelski, M. vd., 2016, Wind estimation based on thermal soaring of birds, *Ecology and evolution*, 6(24), 8706-8718.
- Williams, H. J., Duriez, O., Holton, M. D., Dell'Omo, G., Wilson, R. P. vd., 2018, Vultures respond to challenges of near-ground thermal soaring by varying bank angle, *Journal of Experimental Biology*, 221(23), jeb174995.
- Wortmann, F., 1971, *The sailplane*, OSTIV Publications, 11.
- Wu, J., Qiu, J., Zhang, Y., 2017, Automated Kinematics Measurement and Aerodynamics of a Bioinspired Flapping Rotary Wing, *Journal of Bionic Engineering*, 14(4), 726-737.
- van Bokhorst, E., de Kat, R., Elsinga, G. E., Lentink, D., 2015, Feather roughness reduces flow separation during low Reynolds number glides of swifts, *Journal of Experimental Biology*, 218(20), 3179-3191.
- van Oorschot, B. K., Mistick, E. A., Tobalske, B. W., 2016, Aerodynamic consequences of wing morphing during emulated take-off and gliding in birds, *Journal of Experimental Biology*, 219(19), 3146-3154.
- Videler, J. J., Weihs, D., Daan, S., 1983, Intermittent gliding in the hunting flight of the kestrel, *Falco tinnunculus*, L. *Journal of experimental Biology*, 102(1), 1-12.
- Videler, J. J., Stamhuis, E. J., Povel, G. D. E., 2004, Leading-edge vortex lifts swifts, *Science*, 306(5703), 1960-1962.
- Videler, J. J., 2006, *Avian flight*, Oxford University Press, p.91-92.
- Xin, H. U. A., Rui, G. U., JIN, J. F., LIU, Y. R., Yi, M. A. vd., 2010, Numerical simulation and aerodynamic performance comparison between seagull aerofoil and NACA 4412 aerofoil under low-reynolds, *Advances in Natural Science*, 3(2), 244-250.
- Zahedi, M. S., Khan, M. Y. A., 2007, A mechanical model of wing and theoretical estimate of taper factor for three gliding birds, *Journal of biosciences*, 32(2), 351-361.
- Zulkarnain, M. F., Rahman, M. F., Nurhakim, M. L. I., Arifianto, O., Mulyanto, T., 2018, Flight Test of GL-1 Glider Half Scale Prototype. In *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, Vol. 1005, No. 1, p. 012031.