

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SAVUNMA SANAYİ İÇİN BİR ORNİTHOPTER MEKANİZMASI TASARIM
VE İMALATI**

SAİT BÜYÜKKAYA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAYIS 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SAVUNMA SANAYİ İÇİN BİR ORNİTHOPTER MEKANİZMASI TASARIM
VE İMALATI**

**SAİT BÜYÜKKAYA
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

MAYIS 2023

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAVUNMA SANAYİ İÇİN BİR ORNİTHOPTER MEKANİZMASI TASARIM
VE İMALATI**

SAİT BÜYÜKKAYA
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAYIS 2023

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAVUNMA SANAYİ İÇİN BİR ORNİTHOPTER MEKANİZMASI TASARIM
VE İMALATI**

SAİT BÜYÜKKAYA
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 03/05/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Volkan KOVAN

Prof. Dr. Metin SAYER

Doç Dr. Ersin DEMİR

ÖZET

SAVUNMA SANAYİ İÇİN BİR ORNİTHOPTER MEKANİZMASI TASARIM VE İMALATI

SAİT BÜYÜKKAYA

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Volkan KOVAN

Mayıs 2023; 55 sayfa

Bu çalışma insanlarda yüzyıllardır uçuş merakı uyandıran kuşlar ve böcekler gibi uçucuların uçuş prensibine dayanan savunma sanayiye yönelik bir sistem oluşturulmasını içermektedir. Literatürde ornithopter diye adlandırılan bu sistemlerin ilk örneğine 9. yüzyılda rastlıyoruz. Bu tezde ilk olarak 9. asırdan günümüze kadar yapılmış ornithopter sistemleri incelenmiştir. Çoğunluğu başarısızlıkla sonuçlanan bu denemelerden geliştirme fikirleri çıkarılmış ve hedef uçuş sistemi olarak kaya kartalları seçilmiştir. Çünkü kaya kartalları hem ısı sütunlarını kullanabilme kabiliyeti sayesinde verimli bir uçuş sistemine sahip hem de kendi ağırlığının 4 katı yük taşıma kabiliyetine sahiptir. Bu da savunma sanayiye uygun bir sistem olduğunu göstermektedir.

Çalışmada hesaplama yöntemi olarak Horst Rabiger'in oluşturduğu Almanca bir eser olan "Bir ornithopter nasıl uçar?" adlı kitabında geçen ornithopterlerin matematiksel modellemesi kullanılarak tasarım ve hesaplama yapılmıştır. Üretim aşamasında ise basitten karmaşığa doğru gidilerek önce çok basit bir çubuk sistemiyle ornithopter kanat çırpma mekanizması oluşturulmuştur. Sonrasında gerçek boyutlarda bir kanat mekanizması yapılmış fakat kanat mesnetleri üzerindeki dinamik yüklerin fazla olduğu görülmüş ve bunun üzerine sistemin daha küçük ve geliştirilmiş versiyonu tasarlanmıştır.

Nihai üretim esnasında FDM(Fused Deposition Modeling) eklemeli imalat yöntemi kullanılmıştır. İmalat malzemesi olarak ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) plastik ve PLA (Polylaktik Asit) plastik kullanılarak aralarındaki farklar tespit edilmiştir. ABS plastiği daha esnek ve mukavemetli iken PLA plastiğin daha rijit ve gevrek yapıda olduğu görülmüştür.

Son üretim çalışmasında tasarlanan kuş modelinin tüm mekanik ve elektronik parçaları takılmış ve sisteme ilk hareketi verilmiştir. Sistem çalışır durumda olmasına rağmen uçuş yapılabilmesi için birçok modifikasyona ihtiyacı olduğu gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Eklemeli imalat, FDM yazıcı, İlk uçan insan, Kuşlar nasıl uçar?, Ornithopter, , RC kuş, Robot kuş

JÜRI: Prof. Dr. Volkan KOVAN

Prof. Dr. Metin SAYER

Doç Dr. Ersin DEMİR



ABSTRACT

DESIGN AND MANUFACTURE AN ORNITHOPTER MECHANISM FOR THE DEFENSE INDUSTRY

Sait BÜYÜKKAYA

MSc Thesis in Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Volkan KOVAN

May 2023; 55 pages

This study includes the creation of a system for the defense industry, based on the flight principle of volatiles, such as birds and insects, which have aroused the curiosity of people for centuries. We encounter the first example of these systems, which are called ornithopters in the literature, in the 9th century. In this project, ornithopter systems made from the 9th century until today were examined. Development ideas were extracted from these trials and golden eagles were chosen as the target flight system. Because golden eagles both have an efficient flight system thanks to their ability to use heat columns and can carry 4 times their own weight. This shows that it is a suitable system for the defense industry.

As a calculation method in the study, "How does an ornithopter fly?", a German work created by Horst Rübiger. The design was made using the mathematical modeling of ornithopters mentioned in his book. In the production phase we have made progress from simple to complex. Therefore the wing flapping mechanism of the ornithopter was created with a very simple rod system, Afterwards, a real-size wing mechanism was built, but the dynamic loads on the wing supports were found to be high. For this reason a smaller and improved version of the system was designed.

During the final production FDM(Fused Deposition Modeling) additive manufacturing method was used. The differences between them were determined by using ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) plastic and PLA (Polylactic acid) plastic as manufacturing materials. It has been observed that while ABS plastic is more flexible and durable, PLA plastic is more rigid and brittle.

In the last production all mechanical and electronic parts of the designed bird model were installed and the system was given its first movement. Although the system is in working condition, it has been observed that it needs many modifications in order to be able to fly.

KEYWORDS: Additive manufacturing, FDM printer, First human to fly, How do birds fly?, Ornithopter, , RC bird, Robot bird

COMMITTEE: Prof. Dr. Volkan KOVAN

Prof. Dr. Metin SAYER

Assoc.Prof. Dr. Ersin DEMİR



ÖNSÖZ

Kuşlar ve böcekler gibi doğal uçucular, tarih boyunca insanlarda hayranlık uyandırmıştır. Uçuşlarındaki doğal kolaylık uçaklara ve kontrol sistemlerindeki teknolojiye hala ilham kaynağı olmaktadır.

Ancak kuşların boyutları ve ağırlıkları incelendiğinde taşıyabilecekleri yük miktarı sınırlı kalmaktadır. Bu sebeple kuşların uçuş tekniğine göre uçuş gerçekleştiren ornithopterlerin savunma sanayii de kullanımı için daha fazla bilimsel çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Savunma sanayii teknolojileri son yıllarda çok önemli gelişme göstermiştir. Özellikle ülkemiz de bu ilerleme ve yarışta büyük bir atak yapılmış ve savunma sanayii konusunda hem elektronik hem de mekanik teknolojiler konusunda ciddi mesafeler alınmıştır. Yine ülkemizde bu çalışmalar içerisinde olan İnsansız Hava Araçları (İHA) hususunda savaş metotlarını değiştirecek kadar başarılı projelere imza atılmıştır. Lakin yapılan araştırmalara göre savunma sanayimizde ornithopter sistemlerinin kullanımı gibi bir durum söz konusu değildir. Bu tez çalışmasında savunma sanayiye uygun bir ornithopter geliştirme çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için bana ışık tutan, manevi ve maddi desteğini esirgemeyen kıymetli Danışman Hocam Prof. Dr. Volkan KOVAN'a ve devamlı bilgi ve tecrübesini bize aktaran saygıdeğer Dr. Öğr. Üyesi Tuğçe TEZEL'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca SAVHATEK ARGE Merkezinin imkânlarını bana sunan Öğr. Gör. İbrahim YILDIRIM Hocam'a ve bu merkezde bana yardımlarını esirgemeyen meslektaşlarım Mert ÖZCAN ve Canberk ÖRENBOZ kardeşlerime teşekkürü borç bilirim. Yine ARGE imkânlarından faydalandığım Dam Alüminyum A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunarım. Sistemin montaj çalışmaları esnasında gecesiyle ve gündüzüyle yanımda olan kıymetli kardeşim Yusuf KILIÇ'a başarılarla dolu bir hayat dilerim. Bu safhaya gelmemde bana emeği geçen tüm Öğretmen ve Hocalarıma şükranlarımı sunarım.

Bu eseri bugüne gelmemde emeği olan can aile üyelerim; bu çalışmanın devam ettiği esnada Rahmeti-i Rahman'a uğurladığımız Babam Feyaz BÜYÜKKAYA'ya, annem Gülten BÜYÜKKAYA'ya, Eşim Meryem, Ağabeyim Tayfun ve Ablam Mehtap'a atfediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ.....	v
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. Ornithopterlerin Tarihi Gelişimi	3
2.2. Günümüzün Ornithopterleri	14
3. MATERYAL VE METOD	25
3.1. Hesaplama Yöntemi	25
3.2. Tasarım Yöntemi	31
3.2.1. Üç Boyutlu Tasarım Çalışmaları	33
3.3. Üretim Yöntemi.....	34
3.4. Nihai Tasarım Ve Üretim Çalışmaları.....	36
3.4.1. Nihai Tasarım Çalışmaları	37
3.4.1. Nihai İmalat Çalışmaları	42
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	47
5. SONUÇLAR.....	50
6. KAYNAKLAR	51
7. EKLER	54
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Savunma Sanayi İçin Otonom Bir Ornitopter Tasarım Ve İmalatı” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

03/05/2023

Sait BÜYÜKKAYA

İmza

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

μ	: azaltılmış frekans
b	: kanat açıklığı
c_α	: kaldırma açısı
$c_{a(y)}$	: kaldırma katsayısı
$c_{aG(y)}$	: kaldırma katsayısı
C_{amG}	: ortalama kanat profili kaldırma katsayısı
c_w	: profil sürüklenme katsayısı
c_{wr}	: parazit sürüklenme katsayısı
$c_{\Gamma 1}$	: üst strok sirkülasyonu karakteristik numarası
$c_{\Gamma 2}$	: alt strok sirkülasyonu karakteristik numarası
$C_{\Gamma G}$	: süzülme sirkülasyonu karakteristik numarası
d_{CL}	: kaldırma eğimi
F_{AE}	: final strok kaldırma kuvveti
F_{AF1}	: yukarı strok
F_{AF2}	: aşağı strok kaldırma kuvveti
F_{AG}	: süzülürken oluşan kaldırma kuvveti
F_{AK}	: motorlu uçuş kaldırma kuvveti
F_I	: dönme yarıçapı üzerindeki atalet kuvveti
$F_{Q[y]}$	: çapraz kuvvet
$F_{QG[y]}$	: çapraz kuvvet
F_{SK}	: itme gücüyle çalışan uçuş parazit sürüklenme kuvveti
F_{V1}	: yukarı tahrik vuruşu
F_{V2}	: aşağı tahrik vuruşu

F_{VK}	: motorlu uçuş kaldırma kuvveti
F_{Wi1}	: yukarı strok sürüklenme kuvveti
F_{Wi2}	: aşağı strok sürüklenme kuvveti
F_{WiE}	: son vuruş pozisyonlarında sürüklenme kuvveti
F_{WiG}	: süzülme uçuşu sürüklenme kuvveti
F_{WiK}	: motorlu uçuş sürüklenme kuvveti
F_{WpG}	: süzülme uçuşu profil sürüklenme kuvveti
F_{WpK}	: motorlu uçuş profil sürüklenme kuvveti
F_{WrG}	: süzülme uçuşu parazit sürüklenme kuvveti
F_{WrK}	: motorlu uçuş parazit sürüklenme kuvveti
g	: yerçekimi ivmesi
I	: dönme kütle atalet momenti
j	: yarım açıklık için istasyon sayısı
k_A	: kaldırma oranı
k_v	: uçuş hızı faktörü (kayma gücü oranı)
k_Γ	: sirkülasyon katsayısı
l	: kanat akoru
m_F	: kanadın tüm kütlesi
M_L	: kaldırmanın eğilme momenti.
m_M	: modelin kütlesi
M_{S1}	: üst strok orta nokta bükülme momenti
M_{S2}	: alt strok orta nokta bükülme momenti
M_{SE}	: son vuruş pozisyonundaki eğilme momenti.
M_{SG}	: süzülürken eğilme momenti
M_{SI}	: atalet nedeniyle eğilme momenti
n	: toplam kanat istasyonları sayısı

η : toplam verimlilik derecesi

P_{A1} : yukarı strok ortasındaki aerodinamik vuruş gücü

P_{A2} : vuruşun ortasındaki aerodinamik vuruş gücü (enerji kaynağı ile)

P_{Mot} : motorun gerekli giriş gücü

P_{Sa1} : yukarı strok için gereken güç

P_{Sa2} : aşağı strok için gereken güç

P_{SaK} : motorlu uçuş için gereken güç

Re_G : Reynolds sayısı

R_g : dönme yarıçapı

t_p : çırpma periyodu uzunluğu (sinüzoidal)

$v_{e(y)}$: serbest akış hızı (etkili hız)

v_G : uçuş hızı

$v_{iG(y)}$: indüklenen aşağı rüzgar hızı

v_K : uçuş hızı

$v_{u(y)}$: dikey hız

$V_{\Delta\alpha}$: kanat burulma katsayısı

$V_{\Delta\alpha K}$: toplam kanat burulma katsayısı

y_Γ : kanat kökünden aerodinamik merkez mesafesi

$y_{\Gamma G}$: kanat kökünden aerodinamik merkez mesafesi

α_0 : kalkış için hücum açısı

α_{avMax} : açısal ivme maksimum

$\alpha_{EG(y)}$: Hücum açısı

$\alpha_{G(y)}$: Hücum açısı

$\alpha_{iG(y)}$: indüklenen aşağı hücum açısı

$\Gamma_{(y)}$: dolaşım

γ_G : kayma açısı

$\Gamma_{G(y)}$: dolaşım
 γ_K : motorlu uçuşta eğim açısı [$\pm$]
 Γ_m : ortalama dolaşım
 Γ_{mG} : ortalama sirkülasyon
 $\delta_{(y)}$: yumuşatılmış açısı
 ρ : havanın yoğunluğu
 σ : alt yüzeyin teğet açısı
 Φ_E : çırpma açısı ($\pm$ vuruşun ortası)
 ω_{max} : maksimum açısal hız

Kısaltmalar

ABS : Akrilonitril Bütadien Stiren
FDM : Fused Deposition Modeling
İHA : İnsansız Hava Aracı
MAV : Mini İnsansız Hava Aracı
NAV : Nano İnsansız Hava Aracı
PETG : Polietilen Tereftalat Glikol
PLA : Polilaktik Asit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Abbas İbn Firnas'ın 875 yılındaki uçuş betimlemesi.....	3
Şekil 2.2. Leonardo Da Vinci'nin Ornihopter Tasarımı	4
Şekil 2.3. Joao Torto'nun Uçuş Betimlemesi.....	5
Şekil 2.4. Hezarfen Ahmet Çelebinin Uçuş Tasviri	5
Şekil 2.5. Çilingir Besnier'in Uçuş Mekanizması	6
Şekil 2.6. Victor Tatin'in İnsansız Ornihopter Tasarımı	7
Şekil 2.7. Lawrence Hargrave'in Buharlı Motor Tahrikli Ornihopteri (1891)	7
Şekil 2.8. Edward P. Frost'un içten yanmalı motorla tahrik ettiği ornihopter tasarımı ..	8
Şekil 2.9. Lippich'in insan gücü ile tahrik edilen ornihopteri	9
Şekil 2.10. Schmid'in kanat çırpma mekanizması	9
Şekil 2.11. Percival Spencer'in oyuncak olarak piyasaya sürdüğü "WhamOBird"	10
Şekil 2.12. QN Ornihopter	11
Şekil 2.13. Mr. Bill'in Teknik Çizimi.....	12
Şekil 2.14. Flapper İsimli Ornihopter	12
Şekil 2.15. Entomopter Ve Tasarımcısı Robert C. Michelson	13
Şekil 2.16. Krister Wolff ve Peter Nordin'in Kuşların uçuş davranışlarını öğrenen sistemi.....	14
Şekil 2.17. Ornicopter'in çalışma prensibi.....	15
Şekil 2.18. Ornicopter Prototipleri	15
Şekil 2.19. Kinkade'nin teknik çizimleri	16
Şekil 2.20. Snowbird'ün Uçuş Anı.....	17
Şekil 2.21. Robert Musters'in Ornihopteri: "Horck"	17
Şekil 2.22. "Kestrel" isimli ornihopter	18
Şekil 2.23. Phoenix'in uçuş anı	18
Şekil 2.24. Nano Hummingbird	19
Şekil 2.25. HummingBird için tasarlanmış farklı tip kanatlar	19
Şekil 2.26. HummingBird geliştirme evreleri	20
Şekil 2.27. SmartBird'ün başarı adımları	21
Şekil 2.28. "Microrobotic Fly" isimli ornihopter.....	22
Şekil 2.29. "Skeeter" isimli ornihopterin prototipi.....	22
Şekil 2.30. Animal Dynamics'in istediği ticari Skeeter modeli	23
Şekil 2.31. "MetaFly" isimli oyuncak ornihopter	23

Şekil 2.32. “Atmaca” isimli ornithopter	24
Şekil 3.1. Solidworks motion simülasyon programına motor atama	29
Şekil 3.2. Solidworks motion simülasyon programına kütle atama	29
Şekil 3.3. Solidworks motion simülasyon programına kaldırma kuvveti atama	29
Şekil 3.4. Solidworks motion simülasyon programına çapraz kuvvet atama	30
Şekil 3.5. Solidworks motion simülasyon programına sürüklenme kuvveti atama	30
Şekil 3.6. Solidworks Motion üzerinden elde edilen zaman göre güç tüketimi grafiği	30
Şekil 3.7. Kanat üst noktası açısının belirlenmesi (45.98°)	31
Şekil 3.8. Kanat alt noktası açısının belirlenmesi (-7.64°)	31
Şekil 3.9. Kanat mesnet mesafelerinin belirlenmesi.....	32
Şekil 3.10. Gerçek kanat ölçülerinin mesnetli kanat profiline sahip bir ornithopter mekanizmasına uyarlanması.....	32
Şekil 3.11. Örnek bir ornithopter kuyruk mekanizması (Baggaley 2016)	33
Şekil 3.12. Çırpın kanat mekanizmasının dişli ve mesnet bağlantıları	33
Şekil 3.13. Sabitleyici parçanın tasarımı.....	34
Şekil 3.14. Ornithopter mekanizmasının basit bir şekilde modellemesi	35
Şekil 3.15. Üretilen mekanizma modeli parçalarının montaj aşaması	35
Şekil 3.16. Gerçek boyutlarda üretilen mekanizma modelinin kanat hareketleri	36
Şekil 3.17. Modelin elektrik motoru ile tahrik edilmesi	36
Şekil 3.18. Kanat uç profilinin Ender 3 V2 tablasındaki ölçeksiz hali.....	37
Şekil 3.19. Kanat uç profilinin Ender 3 V2 tablasındaki 1:4 ölçekli hali	37
Şekil 3.20. Dişli-motor-kanat grubunun montajlanmış hali.....	38
Şekil 3.21. Sistemin iskeleti üzerindeki yüzeylerin detaylı anlatımı.....	39
Şekil 3.22. Kanat ana giriş profili.....	39
Şekil 3.23. Kanat mesnet yuvası ile kanat ana giriş arasındaki oturma yüzeyi	40
Şekil 3.24. Veter uzunluğu ve kanat açıklığının görünümü.....	40
Şekil 3.25. Yeni tasarıma göre sistemin genel görünümü	41
Şekil 3.26. Sistemi oluşturan parçaların tanıtılması	42
Şekil 3.27. Parçaların üretilmeye başlanması	43
Şekil 3.28. Gövdenin PLA plastik malzeme ile üretim anı.....	43
Şekil 3.29. ABS ve PLA plastikten üretilmiş bazı parçalar	44
Şekil 3.30. Sistemin mekanik parçalarının montajı.....	44
Şekil 3.31. Ornithopter sisteminin elektronik bağlantı şekli.....	45

Şekil 3.32. Ornithopter sistemine elektronik parçaların bağlanmış hali.....	45
Şekil 3.33. Türk Kartalı Tuğrul’un bitmiş hali.....	46
Şekil 4.1. Creality Ender 3 V2 için dış ortamdan ısı alışverişini kesici kasa yapımı	48
Şekil 4.2. Jackowski’nin PhoneX isimli ornithopterinin dişli kutusu tasarımı (Jackowski 2009)	49



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kartal ölçülerine ve ağırlığına sahip bir ornithopter için hesaplama programı.....	26
--	----



1.GİRİŞ

İnsanlar için uçuş hayali gerçekleşmeden çok önce, hava sahası diğer canlılar tarafından zaten fethedilmiştir. Kuşlar ve böcekler gibi doğal uçucular, tarih boyunca insanlarda hayranlık uyandırmıştır. Uçuşlarındaki doğal kolaylık ve zarafet, uçaklara ve kontrol sistemlerindeki teknolojiye hala ilham kaynağı olmaktadır. Modern uçak tasarımları birçok açıdan mükemmel olsa da asla yükselen bir kuşun manevra kabiliyetine ulaşamaz.

Havacılığın ilk günlerinden bugünün uçaklarına kadar özellikle kuşlar, doğal bir model olarak hizmet etmişlerdir. Doğal modelin gözlemlenmesinin aerodinamiği anlamak için belirleyici olduğu, ancak tahrik mekanizmasının bir kopyasının yapılamayacağı düşünülmüştür. Çünkü insanların aksine, kuşların kanatlarını çırpma hareketini sağlayan son derece güçlü tahrik kasları bulunmaktadır. Kas gücüyle çalışan, uçuşa elverişli bir ulaşım aracı, bu nedenle, nispeten zayıf insan kasları nedeniyle başarısız olmuştur. Ancak kanat çırpma hareketi uçuşun havacılık için uygun olmadığı ortaya çıkmasına rağmen, yaydığı büyü tarih boyunca hiçbir zaman kaybolmamıştır.

Bilindiği kadarıyla tarihte uçuşu ilk deneyen kişi 810-877 yılları arasında yaşamış Endülüslü bilgin Abbas İbn Firnas'tır (Anonim 1 2023; Hitti 1980). Portekizli João Torto St. Mateus (1540) (Anonim 2 2023; Hare 2012; Çelebi 1848), ressam Leonardo da Vinci (16 yy.) (Yavçin 2014; Pushka 2023), Hezarfen Ahmet Çelebi (1632) (Anonim 2 2023; Küçük vd. 1993), Çilingir Besnier (1678) (Anonim 2 2023; Botham 2023), Marquis de Bacqueville (1742) (Anonim 2 2023) ve Pierre Desforges (1772) (Anonim 2 2023; Fuller 2023) adlı kişiler uçuş konusunda kuşlardan esinlenmişler ve kısmi şekilde başarılı olmuşlardır. Bunca denemeye rağmen yüzyıllar sonra yani neredeyse 21. yy. başlangıcına kadar insanoğlu gerçek ve kontrollü manada uçuşu başaramamıştır (Yavçin 2014). Milyonlarca yıldır kuşların dünyada bulunması, yüzlerce çeşit kuşun yüzlerce uçuş metodu olmasına rağmen ne var ki insanoğlu kendisinin kontrol edebildiği uçuş mekanizmalarını sabit kanatlı olarak imal edebilmiştir (Hunt 2017). Buradaki sorun, hareketin tekerlek veya bacaklar ile sağlanması ile daha iyi anlaşılabilir. Tekerlekler hareket için sağlam, analizi kolay ve çok verimli bir yol sağlar. Mevcut uygulamalarda bacakların kontrol edilmesi herkesin bildiği gibi zordur ve enerji verimsiz olsa da çok çeviktir. Sabit kanat ile kanat çırpışları da buna paraleldir. Çırpınan kanatların kararsız akışkan dinamikleri tam olarak anlaşılammamıştır ve bir ornithopterin (kanat çırpma bir kanatlı aracı ifade etmek için kullanılan terim) istenildiği gibi manevra yapması zordur.

Günümüz teknolojisindeki ilerlemeler, bugün bilim adamlarının kanat çırpmanın nasıl çalıştığına daha yakından bakmalarını ve sırlarını yavaş yavaş ortaya çıkarmalarını sağlamaktadır. Neredeyse tükenmez tür çeşitliliği nedeniyle, araştırmacılar, kanat çırpmanın çok çeşitli aerodinamik koşullara uyumunu ve hareket tarzını araştırma fırsatına sahiptirler. Farklı türler arasındaki muazzam büyüklükteki farklılıklar, tahrik sistemlerinde de önemli farklılıklar gerektirmektedir. Sürtünme kuvvetlerinin 1,2cm büyüklüğündeki bal arısı üzerindeki etkisi ile 2,6m kanat açıklığına sahip toy kuşundan tamamen farklıdır. Hâlihazırda nesli tükenmiş türler düşünüldüğünde daha da uç noktalar bulunabilir.

Hayvan uçuşu ile aynı Reynolds sayısı aralığında olan Mikro Hava Araçlarının (MAV) geliştirilme ihtiyacı nedeniyle, hem kuş hem de böcek uçuşuna olan ilgi giderek artmaktadır. Uzun bir süre boyunca araştırmalar esas olarak biyologların tüm karmaşıklığı içinde hayvan uçuşunu daha iyi anlamalarına hizmet etmiştir. Artık kanatlı uçuş tahrik sistemi ve düşük Reynolds sayıları ile ilgili kazanılan bilgiler teknik uçan cisimlerin yapımında kullanılabilir. Bununla birlikte, hayvan uçuşu sadece aerodinamik açıdan bir model olarak hizmet etmekle kalmaz, aynı zamanda malzemeler, sensörler ve kontrol ile ilgili öneriler de sunabilir.

Kanat çırparak uçuşun pratik ve teknik uygulamasının uygulanmasının zor olduğu ve gerçekten yararlı olmadığı düşünüldüğü için bu alandaki araştırmalar ihmal edilmiştir. Mikro hava araçlarına ilgi arttığı için, ornithopterlerin tasarımına ve kontrolüne olan ilgi son yıllarda artmıştır. Bu küçük uçan makineler, göze çarpmayacağı ve daha büyük sabit kanatlı uçan araçlara göre sınırlı alanlarda daha iyi erişime sahip olacağı için izleme ve gözetleme gibi çeşitli görevler için ideal platformlar olarak göze çarpmaktadır. Kuşların boyutları ve ağırlıkları incelendiğinde ornithopterlerin taşıyabilecekleri yük miktarı sınırlı kalmaktadır. Bu sebeple kuşların uçuş tekniğine göre uçuş gerçekleştiren ornithopterlerin savunma sanayii de kullanımı için daha fazla bilimsel çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Savunma sanayii teknolojileri son yıllarda çok önemli gelişme göstermiştir. Özellikle ülkemizde bu ilerleme ve yarışta büyük bir atak yapılmış ve savunma sanayii konusunda hem elektronik hem de mekanik teknolojiler konusunda ciddi mesafeler alınmıştır. Yine ülkemizde bu çalışmalar içerisinde olan İnsansız Hava Araçları (İHA) hususunda savaş metotlarını değiştirecek kadar başarılı projelere imza atılmıştır. Lakin yapılan araştırmalara göre savunma sanayimizde ornithopter sistemlerinin kullanımı gibi bir durum söz konusu değildir. Yine ornithopter kapsamında çok az sayıda sivil uygulamalara rastlanmaktadır. Bu hususlar göz önüne alındığında bu çalışmada İHA'ların kamufle dezavantajını gidermek, havada kalma süresini arttırmak, enerji tasarrufu için termal hava sütunlarından faydalanma gibi kuşlarda bulunan uçuş tekniklerinden faydalanmak, üretim maliyeti düşük bir sistem olması sebebiyle tasarımının ve imalatının yapılması hedeflenmektedir.

Bu tez kapsamında, büyük kuşların seyir uçuşunu taklit eden ve uzun süre uçuş gerçekleştiren kuşların uçuş mekanizmaları ve vücut yapıları incelenerek hem havada kalma süresi fazla hem de taşıyabileceği faydalı yük oranı fazla bir ornithopter tasarlanmıştır. Bunun yanında termal sütunlardan faydalanarak enerji tasarrufu da sağlamaktadır. Tasarım ve imalat işlemleri esnasında kuşların uçuş verimliliğini arttırıcı alula mekanizması (Yavçin 2014), kanat ucu kıvrırma mekanizması (Nergiz 2016) gibi hareketleri incelenerek ornithopter uçuş verimliliği de arttırılmıştır.

Bu tezin 2. bölümünde, kanat çırparak uçuşun daha önce yayınlanmış analitik, deneysel ve sayısal araştırmalarının ayrıntılı bir kaynak taraması bulunurken, 3. bölümde kullanılan sayısal hesap yöntemi anlatılmıştır. Hesaplama sonucu mikro hava aracının tasarımı, mikro hava aracının hareketi ve kontrolü sunulmuştur. Bölüm 4'te ise üretilen biyonomik kuş üzerinde yapılması gereken geliştirme ve modifikasyonlar değerlendirilmiştir. Son olarak, sonuçlar ve gelecekteki çalışmalar için öneriler sıralanarak tez çalışması tamamlanmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Ornithopterlerin Tarihi Gelişimi

İnsanoğlu teknolojik olarak ilerleme kaydederken doğadan esinlendiği teknikleri yılmadan deneyerek yeni buluşlara imza atmıştır. Tarih boyunca insanoğlunun doğadan esinlenerek en çok yapmak istediği aktivitelerden biri de uçmak olmuştur ve bunu cesurca deneyimlemeler sonucu başarmıştır.

Bazı kaynaklarda Çin İmparatoru Wang Mang döneminde yani I. yy. da bir adama İmparator tarafından kuş tüylerinden kanat yaptırılarak 100 m kadar uçtuğu söylene de bildiğimiz kadarıyla tarihte uçmayı ilk deneyen kişi 810 – 877 yılları arasında yaşamış Endülüslü bilgin Abbas İbn Firnas'tır (Anonymous 1 2023). Bu durumu Hitti (1980); "Siyasî ve Kültürel İslâm Tarihi" adlı eserinde şu cümlelerle ifade eder: "İbn-i Firnas, insanoğlunun uçabilmesi husunda ilk ilmî ve pratik teşebbüsü yapan kimse olarak bilinmektedir." Abbas İbn Firnas ipek ve kartal tüylerinden yaptığı elleri ile tahrik ettiği çırpın kanat mekanizmasıyla ısrarcı bir şekilde uçmayı deniyordu. 65 yaşında yüksek bir yerden kendini bıraktı ve rivayetlere göre 10 dk. uçmayı başardıysa da sert bir şekilde yere çakılarak omurgalarından yaralandı (Jamsari vd. 2013). İnsanoğlunun ilk uçuş deneyimini gerçekleştirmiş olsa da sadece uçmaya yoğunlaşmasından dolayı ve iniş hakkında herhangi bir mekanizma önlemi almamış olmasını ağır bir bedelle ödemişti Firnas. Bazı rivayetlere göre İbni Firnas kuşlardaki gibi kuyruk mekanizmasının iniş için gerekli olduğunu ifade etse de yaralandığından dolayı mekanizmasına kuyruk ekleyerek tekrar uçuş gerçekleştirememiştir (Anonim 3 2023).

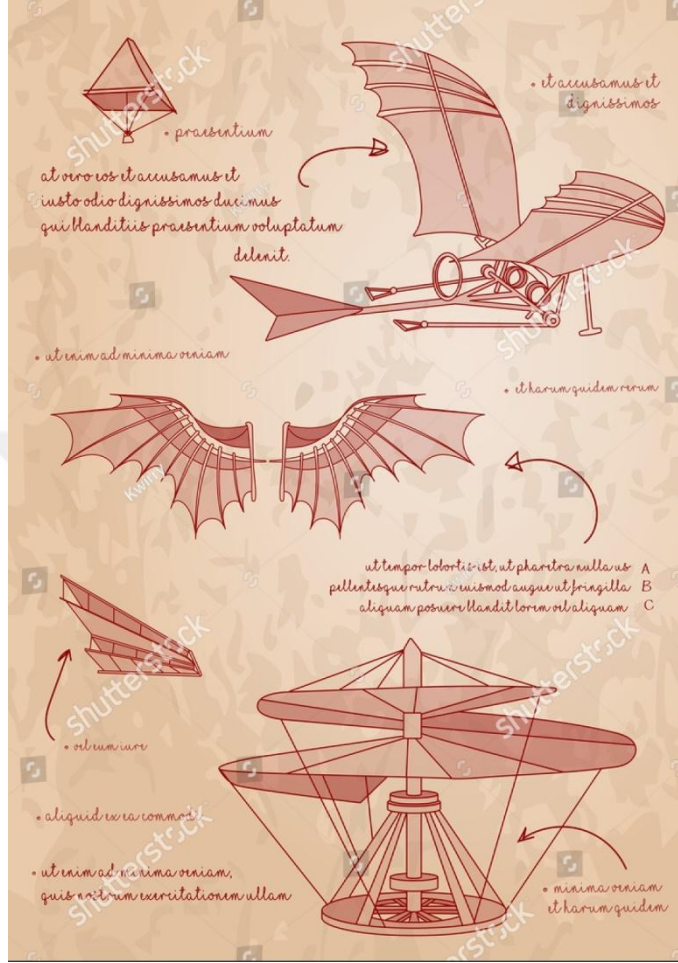


Şekil 2.1. Abbas İbn Firnasın 875 yılındaki uçuş betimlemesi (Botam 2023)

Firnas'ın uçuş denemesinin ardından aslen Türk olup Farab'da doğmuş olan CEVHERÎ, İsmâil b. Hammâd yaklaşık 2 asır sonra uçmayı deneyimleyen ikinci insan olmuştur. Yine sadece kanat takarak çıktığı yüksek yerden kendini bırakıp uçmayı denese de düşerek hayatını kaybetmiştir (Küçük 1993).

1485 senesinde karşımıza Leonardo Da Vinci'nin çizimleri ortaya çıkıyor. Da Vinci Ornithopter sisteminde insanların kuşlara oranla daha ağır olduğunu ve bu ağırlığı

kaldıracak kadar gücünün olmadığını görür. Bunun üzerine el manivelalı, ayak pedallı ve palanga mekanizmalı bir tasarımı ortaya çıkarmıştır fakat tasarımını hayata geçirememiştir (Anonymous 2 2023).



Şekil 2.2. Leonardo Da Vinci'nin Ornihopter Tasarımı (Pushka 2023)

1540 senesine geldiğimizde Portekizli Joao Torto'nun uçuş deneyimine rastlıyoruz. Joao Torto; Farnas ve Hammad gibi çok yönlü eğitime ve mesleki altyapıya sahip biri olması hasebiyle uçmaya karar vermişti. 20 Haziran 1540'da, saat 18:00'de başına bir kartal görünümlü bir kask (Hare 2012) taktı ve kollarına kumaş kaplı kanatlarını aldı, St. Mateus meydanındaki katedral kulesine çıktı ve atlayışını gerçekleştirdi (Çelebi 1848). Uçuş esnasında kaskının gözlerini kapatması dolayısıyla kontrol ve dengesini kaybedip yere çakıldı. Ölümcül şekilde yaralandı (Anonim 4 2023).



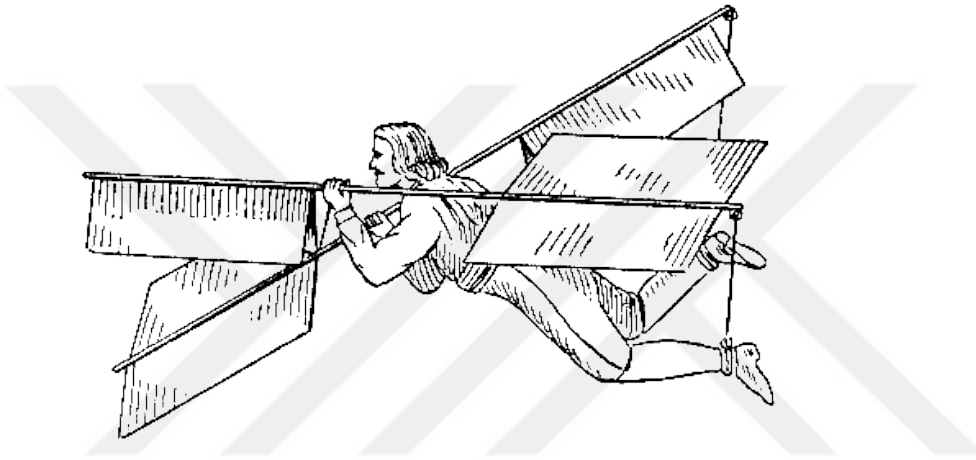
Şekil 2.3. Joao Torto'nun Uçuş Betimlemesi (Hare 2012)

1632 yılına geldiğimizde bin fenli anlamına gelen ünvanıyla Hezarfen Ahmet Çelebinin uçuş serüveni karşımıza çıkıyor. Tasarladığı uçuş sistemi ile önce Okmeydanı Mimberi üzerinde 8-9 kez uçuş talimi yapan Ahmet Çelebi başarılı olması neticesinde Galata Kulesinin tepesine çıkarak Üsküdar'daki Doğancılar Meydanına inmiştir (Çelebi 1848). Teknik olarak bakıldığında iki nokta arasındaki düşey mesafe 62 metre, yatay mesafe ise 3358 metredir. Bu uçuşta Hezarfen ortalama 54 metre ilerlemesinde en fazla 1 metre alçalması gerekmektedir. Yani süzülme oranı 54:1 olmalıdır. Bu konuda tartışmalar olsa da 2010 yılı verilerine göre açık tip yelken kanat sistemlerinde bu oran 60:1'lere kadar ulaşmıştır (Anonim 4 2023). Bu vesileyle böyle bir uçuşun gerçekleştirilebileceği ortaya koyulmuştur.



Şekil 2.4. Hezarfen Ahmet Çelebinin Uçuş Tasviri (Anonim 5 2023)

Önceki uçuş serüvencilerinden daha farklı bir mekanizma tasarlayan Çilingir Besnier ile karşılaşırız.1670’lerde uçmayı takıntı haline getiren Besnier 1678 yılında uçmak için her birinde iki açılır kapanır kanatçıga sahip iki adet çubuktan oluşan bir mekanizma geliştirdi (Anonim 6 2023). **Şekil 2.5**’de görüldüğü gibi bir çubuğu sağ eline alıp omuzunun üstünden geçirip sağ ayağına bağlamış ve yine diğer çubuğu sol eline alıp omuzunun üstünden geçirip sol ayağına bağlamış vaziyette mekanizmasını tamamlamıştır. Çaprazlama şekilde kol ve bacağı kaldırarak uçuşunu gerçekleştirebilmiştir. Bu mekanizmada hava ile temas eden kanatçıların temas yüzeyini arttırarak kanada etki eden basıncın arttırılması gözetlenirken hava ile teması olmayan kanatçıların kapalı durumda kalarak hava direnci oluşturmaması düşünülmüştür. Lakin uçuş mesafesi yine de çok kısa ve çok düşük irtifalı olduğu kayıtlara geçmiştir (Botham 2023).



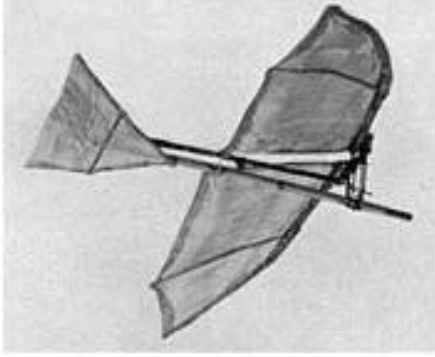
Şekil 2.5. Çilingir Besnierin Uçuş Mekanizması (Anonymous 3 2023)

1770’lere geldiğimizde kendisi de Katolik bir din adamı olan Pierre Desforges’in Uçuş Gondoluna rastlıyoruz. 1658 yılında Kilise rahiplerinin evlenmesi konusunda risale yayınlayan Desforges hapishaneye atılır ve hapishanede kirlenmişliğin çiftleşme alışkanlıkları için bir çalışma yaptı ve olasıdır ki bu çalışması sırasında kuşların uçuş mekaniğini de incelemiş oldu. 1.8 metre uzunluğa, 6.1 metre kanat açıklığına sahip mekanizmasıyla yüksek bir kuleden kendini bıraksa da uçuş serüveni başarısızlıkla sonuçlandı (Fuller 2023).

Kasım 1841’de kararlı ve coşkulu bir demirci kalfası Manojlo bir katedralin tepesinden atlanmasının engellenmesinden sonra vazgeçmeyerek Sava Nehri Kıyısındaki Gümrük Bina’sı üzerinden nehri geçmeyi düşünmektedir. Kuş kanadına benzer mekanizması ve düşme riskini azaltıcı bir paraşüt sistemi ile kendini binanın üzerinden bırakır. Kendisini izleyen kalabalığın üstünden geçse de uçuşu düşüşle sonuçlanır. Kullanmış olduğu paraşüt sistemi ve yerde ki kar sayesinde hayatta kalır (инфо 2014).

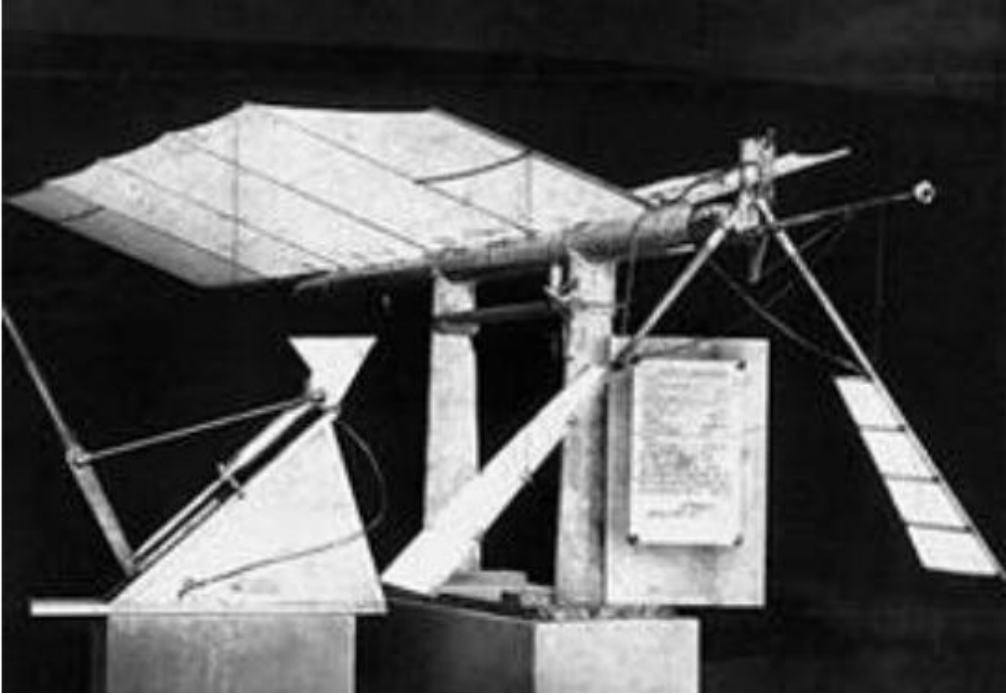
1874 yılına gelindiğinde farklı bir düşünce ile yola çıkan Victor Tatin insansız ornithopter tasarımı ortaya koymuştur. Tasarımı oldukça basit olmakla beraber akılcı bir yöntem olarak litertürde yerini almıştır. Önceki ornithopterlere nazaran oldukça küçük olan bu tasarımda kanat çırpma mekanizmasını bir krank mili ve lastik oluşturmaktadır

(Anonymous 4 2023). Burada lastik kurmalı oyuncaklarda olduğu gibi önce mile sarılarak potansiyel enerji depolanması sağlanır ve lastik serbest bırakıldığında krank mili tahrik edilerek kanat çırpma hareketi gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 2.6. Victor Tatin'in İnsansız Ornithopter Tasarımı (Anonymous 4 2023)

1890'larda ise uçakların semalarda uçmasına ilham kaynağı olmuş Lawrence Hargrave'in teknolojik mekanizması ile karşılaşıyoruz. Bu tasarımda tahrik elemanları olarak lastik, yay ve buharlı motor (Anonymous 2 2023) kullanılmıştır. Buradaki düşünce bir ornithopter'in uçabilmesi için daha kuvvetli bir güce sahip olması gerekmektedir. Bunu da buharlı motor karşılamak istenmiştir. **Şekil 2.7'**de gösterilen bu mekanizma ile 95m uçuş gerçekleştirilmiştir (Anonymous 5 2023).



Şekil 2.7. Lawrence Hargrave'in Buharlı Motor Tahrikli Ornithopteri (Anonymous 5 2023)

Gustave Trouvé 1890’larda içten yanmalı motoru ornithopter üzerinde ilk kullanan kişi olmuştur. Burada içten yanmalı motorda yakıt olarak barut kullanılmıştır. Bu sistemle 80 metre uçuş gerçekleştirilmiştir (Anonymous 2 2023).

İngiliz havacılığının öncülerinden olan Edward Purkis Frost 1868 yılında Buhar Motoru ile tahrik ettiği bir ornithopter tasarımı ortaya çıkarır. Motor gücü olarak 25 hp güç elde etmek isteyen Frost sadece 5 hp güç elde edebilmiştir. Bu güç de haliyle ornithopteri yerden kaldırmak için yeterli olmamıştır. Çalışmalarına yılmadan devam eden 1904 yılında yine büyük bir ornithopter tasarımı yapmış bu sefer gelişen teknolojinin de yardımıyla tek silindir içten yanmalı Antoniette Motoru ile sistemini tahrik etmiş, istediği güce ulaşmış ve ornithopterini yerden kaldırmayı başarmıştır (Anonymous 6 2023).



Şekil 2.8. Edward P. Frost’un içten yanmalı motorla tahrik ettiği ornithopter tasarımı (Anonymous 7 2023)

Tarihin ilk roket itki gücüyle havalanan savaş uçağı Me 163 Komet’in tasarımcısı Alexander Martin Lippisch; 1929 yılında insan gücü ile tahrik edilen bir ornithopter tasarımı ortaya koymuştur. Genç bir atlet tarafından uçurulan sistem hedeflenen 300 metreye ulaşmıştır. Hedefe ulaşılmasına rağmen Lippisch bu ornithopter üzerinden belli çıkarımlar yapmıştır. Bu ornithopterinin daha uzun mesafe uçuşu için;

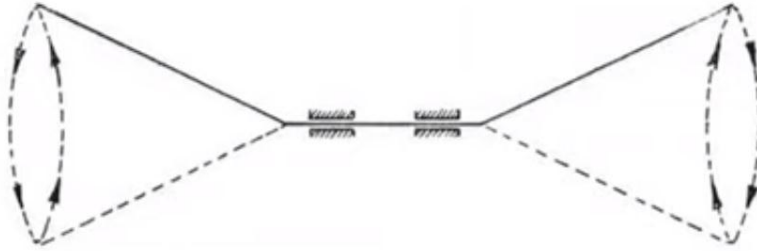
1. Daha fazla kanat alanı gerektiğini,
2. Kanatların elastik olmasından dolayı güç kaybının oluştuğunu,
3. Kalkış esnasında kinetik enerjinin belirli bir değerin altına düşmemesi gerektiğini,

4. Yukarıdaki 3 madde bir araya getirildiğinde ornithopter için insan gücünün yetersiz kalacağını tespit etmiştir (Anonymous 8 2023).



Şekil 2.9. Lippich'in insan gücü ile tahrik edilen ornithopteri (Anonymous 8 2023)

Tarih sahnesinde biraz daha ilerlediğimizde 1942 yılında Adalbert Schmid'in sabit kanat ve çırpır kanat sisteminin birleştirilmiş tasarımı önümüze çıkıyor. Burada kuşların kanat sisteminde sadece yukarı aşağı hareket olmadığı keşfedilmiş olacak ki burada **Şekil 2.10**'da olduğu gibi dönel bir mekanizma kullanılıyor[28]. Yani kuşlar uçuş esnasında kanatlarını sadece aşağı yukarı hareket ettirmiyor üç boyutlu bir hareket grafiği göstermiş oluyor. Tabi bu tasarımda iki boyutlu bir harekete yer verilmek isteniyor.



Şekil 2.10. Schmid'in kanat çırpma mekanizması (Ornithopter Zone 2017)

26 Haziran 1942 yılında uçuş denemesi yapılan Schmid Ornithopteri 20 metre irtifaya yükselerek 900 metre kadar bir uçuş menziline ulaşmıştır. Bu testin ardından Schmid de Lippich gibi Ornithopterlerin uçuş menziline, irtifasının ve süresinin artırılabilmesi için insanüstü bir güç ile sistemin tahrik edilmesi gerektiği çıkarımını ortaya atmıştır. Bunun üzerine tasarımına 3 hp gücünde bir motorsiklet motoru ekleyerek saatte 60 km hıza ulaşmış ve 15 dk havada kalmayı başarabilmiştir. Bunun üzerine sistemine tekrar güç arttırımı yapan Schmid motor gücünü 6 hp'ye çıkararak saatte 80 km hıza ulaşmıştır. Fakat bu alandaki çalışmaları II. Dünya Savaşı sebebiyle yarıda kalmıştır (Arndt 2023).

1960'lara gelindiğinde Percival Spencer'in yaklaşık 2.4 m kanat açıklığına ve küçük bir benzin motoruna sahip ornithopter tasarımı ile karşılaşırız (Preethi et al. 2016). Hücüm kenarı membranla desteklenmiş üçgen profile sahip kanat tasarımı başarısız olsa da basitliği ve sağlamlığı ile sonraki çalışmalara öncü olmuştur (Duffin 1997). "Republic Seabee" uçağının da tasarımcısı olan Spencer; binlerce çocuğu çırpar kanat mekanizması ile uçuş fikri ile tanıştıran "Wham-O Bird" oyuncakını piyasaya çıkarmıştır (Preethi et al. 2016).



Şekil 2.11. Percival Spencer'in oyuncak olarak piyasaya sürdüğü "Wham-O-Bird"

Nisan 1984'de yapımına başlanan "Quetzalcoatus northropi (QN)" ismiyle anılan dinazor replikası ornithopter "On the Wing" isimli film için tasarlanmış olup izleyicilere uçan varlıklar ile uçakların arasındaki ilişkiyi göstermeyi amaçlamıştır. Projeye ilham olan olay ise 1972 yılında Teksas'ta iki ayrı bölgede bulunan uçan dinazor fosillerinin bulunması olmuştur. Bu fosiller sayesinde bilim insanları dinazorların uçuş biyomekanikliği üzerinde çalışmaya başlamışlardır. Bunun yanında kuşların, yarasaların ve insanların kanat- kol sistemini de incelemişlerdir. Söz konusu canlıların kas-kemik sistemi ana hatları ile aynı olmasına karşın uçabilmeleri için yani beden ağırlığını ve faydalı yükünü kaldırabilmesi için yeterli kanat açıklığına sahip olmaları, gerekli kanat alanını karşılayabilecek kas gücüne sahip olmaları ve uçuş için gerekli aerodinamik yapıya sahip olmaları gerektiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmada ayrıca aynı şekle ve özkütleyle sahip iki farklı ölçekteki hava aracının büyük olanının daha fazla uçuş hızına ulaştığı tespit edilmiştir. Eğer bir hava aracı iki kat ölçeğe ulaşırsa burada kanat alanı 4 kat artarken, ağırlığı 8 kat artmaktadır.. Tüm bunların sonucuna bakarak tasarımda üç iyileştirme yapılmıştır:

- 1- Boyut arttıkça ölçek etkisi devreye girmesi ve daha verimli uçuş sağlanması,
- 2- Aerodinamik yapısı daha iyi bir canlı örnek alınması,
- 3- Özkütlenin sabit tutularak ağırlığın daha düşük seviyede tutulması.

Paleontoloji/paleobiyoloji, ornitoloji, aerodinamik, mekanik bilim dallarını bir araya getiren bu projede ornithopterın şu özellikleri taşıması sonucuna varmıştır:

Kanat açıklığı : 11m

Birim kanat alanına düşen ağırlık: 8 kg/m^2

Kanat alanı: 8 m^2

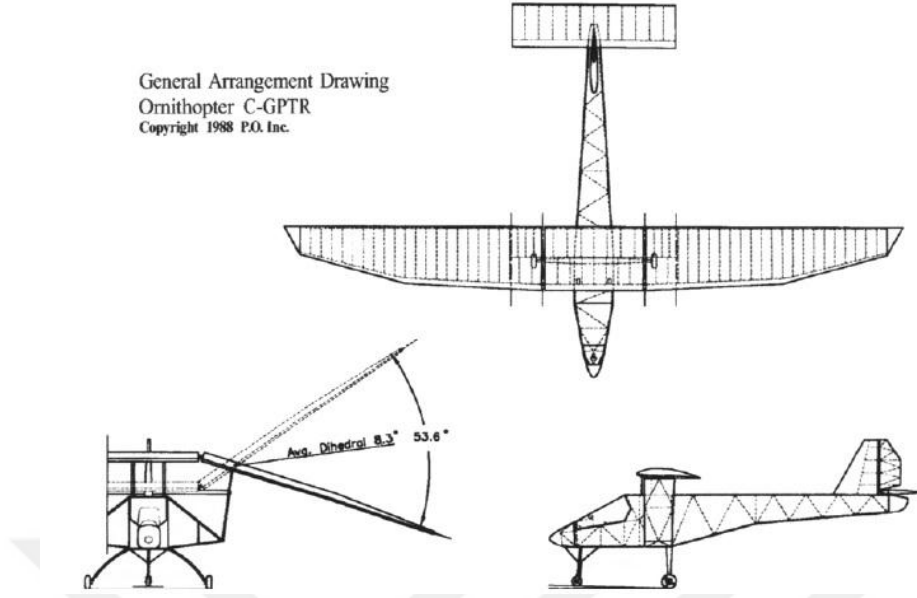
Ağırlık: 64 kg

Bu verilere göre yapılan çalışmalar sonucunda **Şekil 2.12**'de görülen ornithopter ortaya çıkarılmıştır. 5 dakika kadar motor gücü ile uçuş ve sonrasında süzülme hareketi ile uçuş gerçekleştirilmiştir [32].



Şekil 2.12. QN Ornithopter (Engineering & Science Dergisi 1985)

1991 yılında başarılı bir şekilde ilk kez uzaktan kontrol edilebilen motor tahrikli ornithopter ünvanını alan tasarımcısının ismini taşıyan “Mr Bill” olmuştur (Mau 2003). Mr. Bill bu projeye 20 yılını vererek (Benjamin 2011) sonraki tasarımcılara yeni ufuklar açmıştır.



Şekil 2.13. Mr. Bill’in Teknik Çizimi

1999 yılında De Leaurier ve Harris teknik resmi **Şekil 2.13**'de gösterilen Mr. Bill'in $\frac{1}{4}$ ölçekli modelini yaparak, bu model üzerinden teoriler üretmek için kolları sıvamışlardır. Sonrasında Toronto Üniversitesi ile birlikte Mr. Bill'in gerçek boyutunda yaptıkları pilotlu versiyonunun adını "Big Flaper" koymuşlardır. Bu ornithopteri ultra hafif uçak prensiplerine göre yapan takım ayrıca bu aracın ticarileşmesi ümidi ile Kanada havacılık kriterlerini de göz önüne alarak ornithopterlerini ortaya çıkarmışlardır (Benjamin 2011). 12,35 metre kanat açıklığına sahip ve üzerinde 24 beygir gücünde 4000 devir/dk Konig marka 3 silindirli 2 zamanlı motor bulunan bu ornithopterin deney ve analizleri yapılarak birçok çalışma için örneklik teşkil etmiştir (Mau 2003).



Şekil 2.14. Flapper İsimli Ornithopter (Mau 2003)

1998 yılında uçuş, yüzmeye ve yürümeye özelliklerini bir arada bulunduran mikro hava aracı “entomopter” tasarlandı. Bu cihazdan bulunduğu mekanda hem kimyasal ve radyasyon tespiti yapması hem de ultrason teknolojisi ile buradaki cisimleri tarama işlemlerini yapması bekleniyordu. Bu aracın Mars’a keşif için gönderilmesi planlanıyordu. Entomopter düşük Reynolds katsayısında da uçabilme yeteneği bu sebeple oluşturulmuştu. Sabit kanatlı araçların tersine Entomopter; detaylı tarama için yavaş uçabilir, herhangi aksilik durumunda karada yürüyebilir, yakıt ikmali için uzay üssüne geri dönebilir şekilde tasarlanmış otonom bir yapıya sahip olması onu diğer ornithopterlerden ve sabit kanatlı hava araçlarından ayırmaktaydı. Entomopteri diğer hava araçlarından farklı kılan özelliklerinden biri de pistonlu kimyasal kas sistemine sahip olması idi.



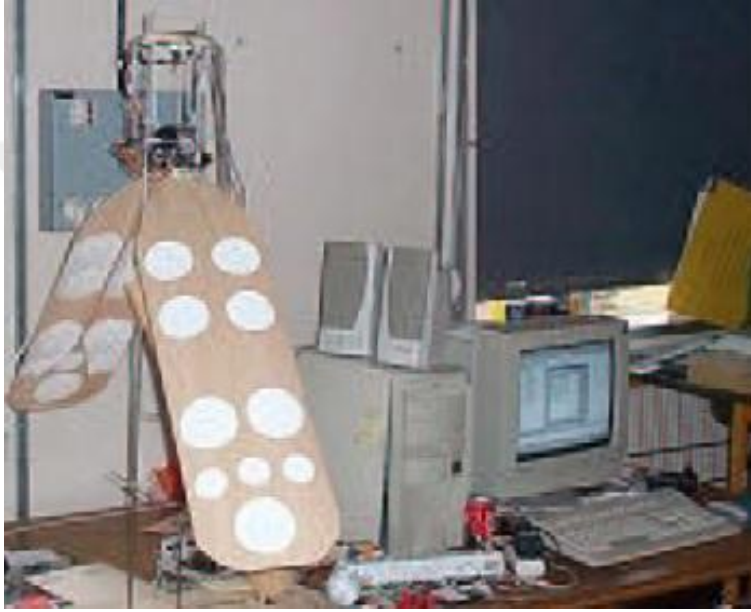
Şekil 2.15. Entomopter Ve Tasarımcısı Robert C. Michelson (Michelson 2006)

Entomopter tasarlanırken latince ismi “Manduca sexta” olan 80 mm uzunluğa sahip, güçlü ön kanatları sayesinde çiçekler üzerinde sabit duracak şekilde uçabilen atmaca güvesinden ilham alınmıştır. Ebatları ve ağırlığı ilham alındığı canlıya göre oldukça fazla olan entomopter 15 cm kanat açıklığına, Yakıtla beraber 50 gr ağırlığa ve 10 gr faydalı yük taşıma kapasitesine sahip bir mikro hava aracı olarak literatürde yerini almıştır.

Küçük yapıya sahip bu mikro hava aracının savaş bölgelerinde de kullanılması hedeflenmiş ki normal İnsansız Hava Araçlarının(İHA) fark edilmeden gözlem yapabilmeleri için 1000 feet’in üzerinde uçuş yapmaları gerekirken Entomopter’de bu rakam birkaç metreye kadar düşmektedir. Bu da Entomopterin hava şartlarından etkilenmemesini hem de daha ayrıntılı gözlem yapabilmesini ve ayrıca daha düşük maliyetlerle bu operasyonları gerçekleştirmesini sağlamaktadır (Michelson 2022).

2.2. Günümüzün Ornithopterleri

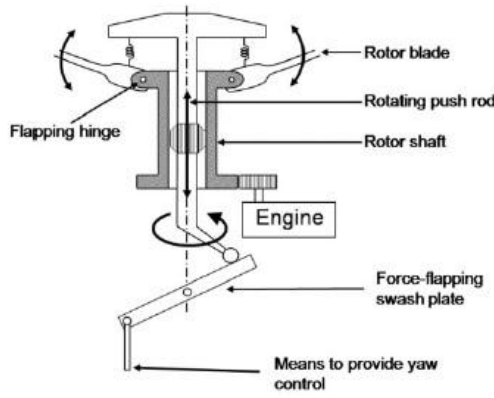
2002 yılında Krister Wolff ve Peter Nordin kuşların uçuş davranışlarını öğrenebilen bir sistem tasarlamışlardır. Burada sistemden iki farklı uçuş metodu öğrenmesini sağlamaya çalışmışlardır. Birisi irtifa alabilmesi için dikey yönde uçuş, diğeri ise belli bir irtifada yatay yönde uçuş tekniklerini söz konusu sistemin öğrenmesi ve geliştirmesi hedeflenmiştir. Dikey yönde uçuş denemelerinde verimli bir uçuş için en üst kanat konumunda sistemin kanadı bükmesi gerektiği, en alt kanat konumunda ise kanadın yatay durumda olması gerektiği tespit edilmiştir. Yatay uçuş için deney düzeneğindeki menzilin yetersiz olması ve sisteme bağlı kabloların ilerlemeye engel olmasına rağmen sistem kürekleme gibi davranışlar öğrenmiş oldu (Wolff et al. 2002).



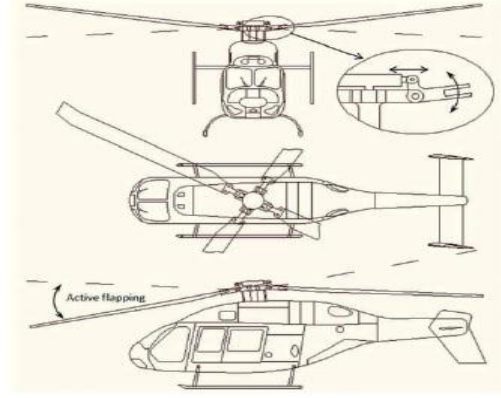
Şekil 2.16. Krister Wolff ve Peter Nordin'in Kuşların uçuş davranışlarını öğrenen sistemi

Öğrenen yapay zekaya sahip olması ve kendi uçuş tekniğini geliştirmesi ile bir ilk olma niteliği olan bu sistem için otonom olma özelliği eklenerek şarj olma gibi kendi ihtiyaçlarını karşılaması düşünülmüş ve yeni çalışmalara ufuk açması hedeflenmiştir (Wolff et al. 2002).

2002 yılında karşılaşılan farklı bir çalışma da Delft Teknoloji Üniversitesi'nde görevli Prof. Theo van Holten'in "Ornicopter" isimli tasarımıdır. Bu isim "helicopter" ile "ornihopter" terimlerinin birleşiminden oluşmuştur ve isim gibi tasarlanan sistem de bu iki sistemin birleşiminden oluşmuştur (Wan et al. 2015). Burada helikopterlerin ana pervanesinin oluşturduğu tepki torkunun engellenmesi için kuyruk rotoru ve pervanesinin kaldırılarak ana pervanenin hem dönmesi hem de dönme esnasında kanat çırpma hareketine benzer bir hareket sağlaması hedeflenmiştir. Böylelikle sistem hem kaldırma gücü hem de itme gücü elde edebilecektir. Bu vesileyle de tepki torku oluşmamış olacak bunu engellemek için ayrıca bir mekanizma olmayacak olması hem daha az enerji harcanmasına hem de kuyruk pervanesinin hava şartlarından fazlaca etkilenme durumunu ortadan kaldıracaktır (Straathof 2008).

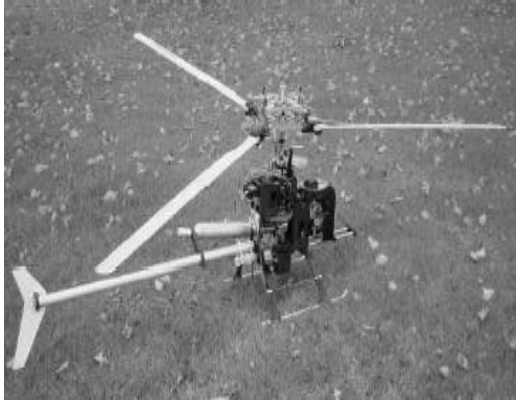


(a)

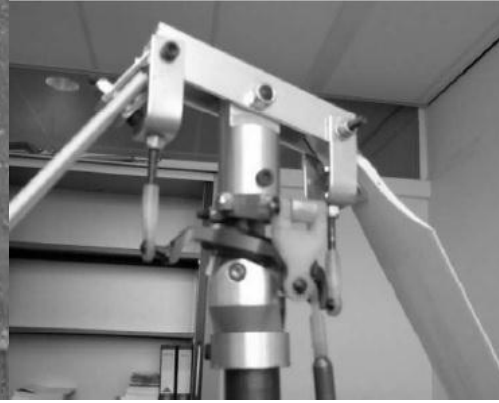


(b)

Şekil 2.17. Ornicopter'in çalışma prensibi; **a)** rotor sistemi; **b)** genel görünüm (Wan et al. 2015).



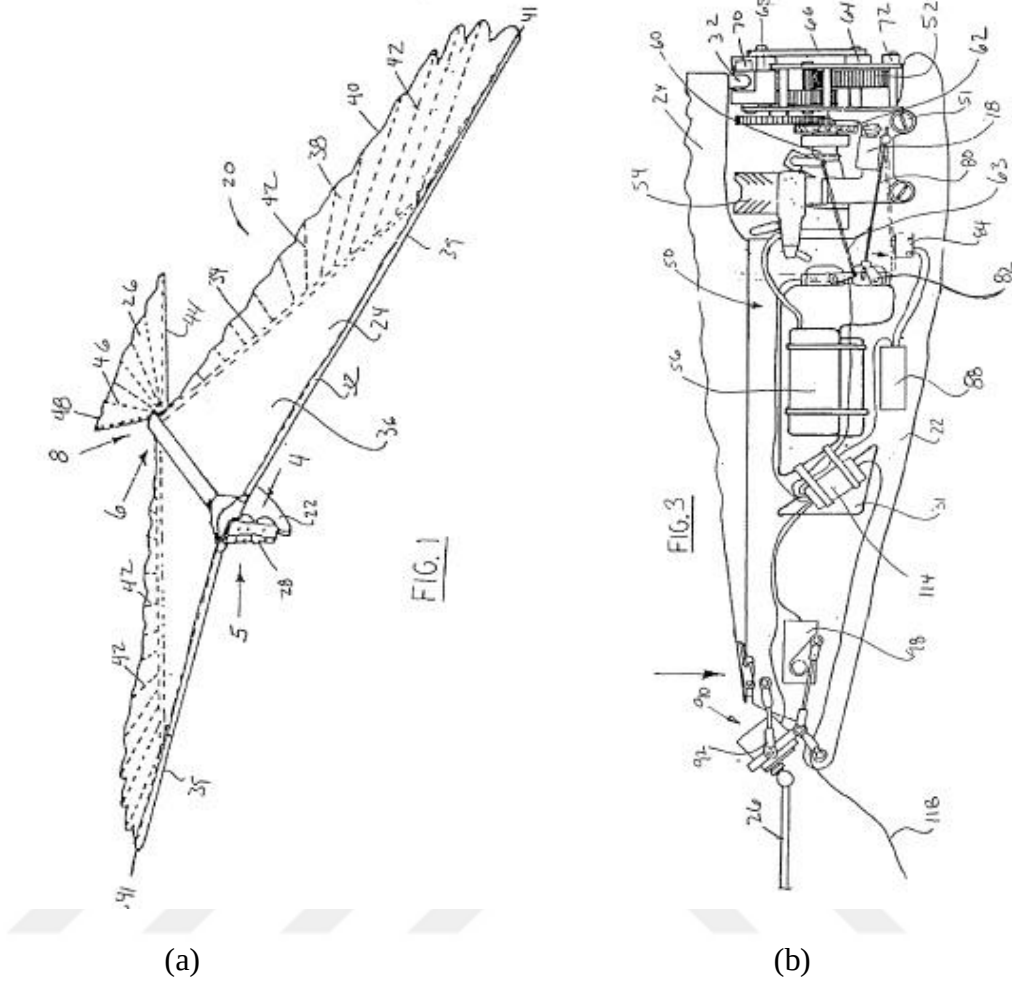
(a)



(b)

Şekil 2.18. Ornicopter Prototipleri **a)** genel görünüm; **b)** rotor sistemi (Holten et al. 2008).

İlginç bir şekilde 2002 yılı ornithopterlerin çağ atladığı yıl gibi görünmektedir. Andrew Sean Kinkade Ornithopter olarak yapmış olduğu detaylı tanımlama ve el çizimleri ile Amerika Patent Enstitüsünden patent almıştır. Burada mekanizmasının bir gövde, bir kanat çırpma tertibatı, bir kuyruk, bir kuyruk kontrol tertibatı ve iki kanattan oluştuğunu ifade eden Kinkade 118 parçadan oluşan 15 teknik çizim ile patentini almıştır (United States Patent Application Publication 2002).



Şekil 2.19. Kinkade'nin teknik çizimleri; **a)** kanat çizimi; **b)** mekanik ve elektroniklerin çizimi (United States Patent Application Publication 2002)

2006 yılına gelindiğinde eski çağlarda olduğu gibi yine insan gücüyle uçabilmenin yollarının denendiğine rastlıyoruz. “Snowbird” isimli bu ornithopter; Toronto Üniversitesi Havacılık ve Uzay Araştırmaları Enstitüsü master öğrencisi Todd Reichert’in kaptanlığını yaptığı bir takım tarafından tasarlanmış ve prototipi ortaya konulmuştur. Üzerindeki pilotun pedal gücüyle tahrik edilen bu araç 32 metre kanat açıklığına sahiptir. Snowbird’ün uçuş denemeleri esnasında bir otomobil yardımı ile kalkış yapması ve belirli bir irtifaya çıkması sağlanmış, sonrasında Snowbird pilotun pedal gücüyle 19.3 saniye havada kalabilmiştir. Bu durum bir başarı sayılsa da günlük hayatta kullanımı aşırı şekilde kondisyon gerektirdiğinden olası değildir (Abel 2014).



Şekil 2.20. Snowbird’ün Uçuş Anı (Chowdhury et al. 2021)

2008 yılında belki de ilk defa günlük kullanım için ortaya konulan bir ornithopter ile karşılaşıyoruz. Robert Musters tarafından tasarlanan “Horck” isimli bu ornithopter Amsterdam Havalimanı’nda uçak motoruna kaçarak uçak motorlarına zarar veren kuşları korkutarak uzaklaştırmak maksadıyla mekanik bir şahin olarak ortaya çıkarılmıştır (Anonymous 2 2023; Chowdhury et al. 2021).



Şekil 2.21. Robert Musters’in Ornithopteri: “Horck”

Yine 2008 yılında Stephen Proulx’ün mekanik işlemlerini ve radio kontrol konusunda uzman olan Derrick Tan’ın ise kontrol mekanizmasını yaptığı “Kestrel” isimli ornithopter ile karşılaşıyoruz (Jackowski 2009).



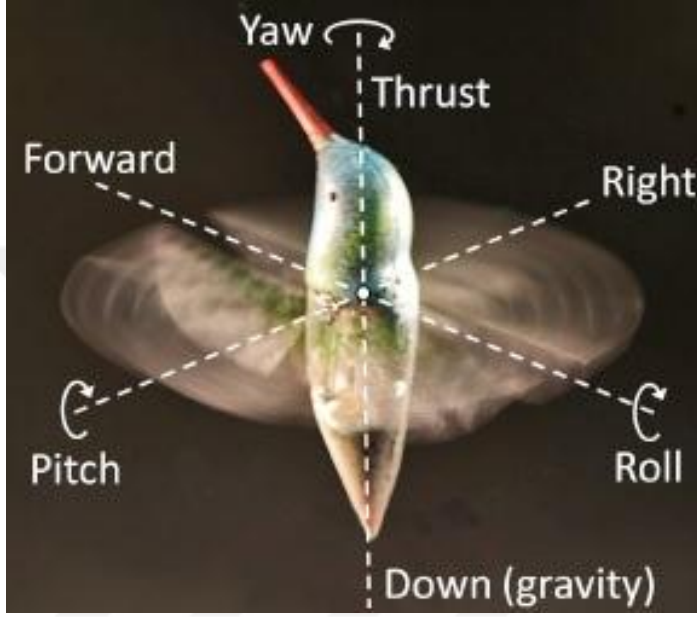
Şekil 2.22. “Kestrel” isimli ornithopter (Jackowski 2009)

2009 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü yani MIT öğrencisi Jackowski Lisans Bitirme Tezi için 2 yıl gibi bir sürede “Phoenix” isimli Ornithopterini ortaya çıkarmıştır. Bu ornithopterini tasarlarken hazır bir örnek üzerinde yani Kestrel üzerinde geliştirmeler yaparak projesini noktalamıştır. Burada hem Ornithopterlerin hem de sabit kanat İHA’ların manevra ve kontrol kabiliyetlerini geliştirmeye odaklanmıştır. Jackowski 1.8 metre kanat açıklığına sahip Phoenix üzerinde yaptığı testlerde yaygın olarak kullanılan kontrol sistemleriyle manuel ve otonom şekilde batarya kapasitesi ile bağımlı olarak sürekli uçuş yapabildiğini, Bu sisteme sensör, bilgisayar, gps gibi daha fazla faydalı yük eklenebileceğini ve sisteminin arıza oluşturduğunda kolayca onarılma kabiliyetine sahip olduğunu tespit etmiştir (Jackowski 2009)

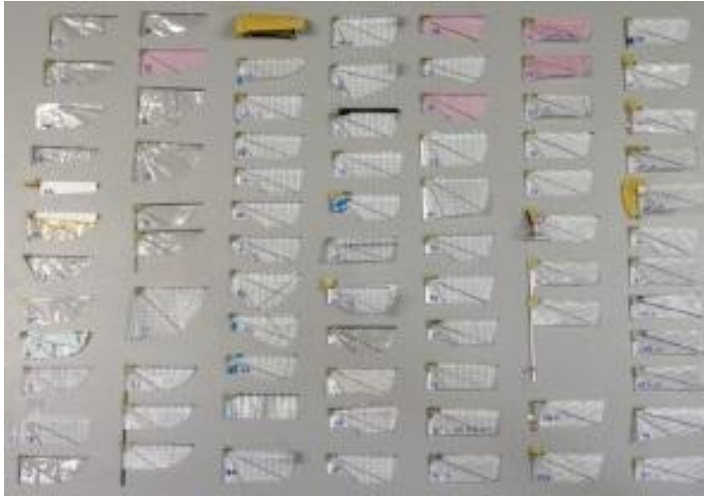


Şekil 2.23. Phoenix’in uçuş anı (Jackowski 2009)

2011 yılında savunma sanayiye yönelik İHA üreten AeroVironment ekibi tarafından 6 yıllık çalışmaların ardından ortaya çıkarılan görsel ve biomekanik açıdan bir sinekkuşunun imitasyonu olan “Nano Humminbird” e rastlıyoruz. Kanat açıklığı 16,7 cm, ağırlığı 19 gr ve ileri yönde uçuş hızı 6,7 m/s olan bu ornithopteri diğerlerinden ayıran özellikleri havada 60 saniyeden daha fazla sabit kalabilmesi ve x,y,z eksenlerinin her birinde kendi etrafında dönme yeteneğine sahip olmasıdır. bu projeyi farklı kılan durumlardan biri de uygun kanat tipi ve malzemesi bulmak için yaklaşık olarak 300 adet farklı kanat tasarımı denenmiş olmasıdır (Keennon et al. 2012)



Şekil 2.24. Nano Hummingbird (Keennon et al. 2012)



Şekil 2.25. HummingBird için tasarlanmış farklı tip kanatlar (Keennon et al. 2012)

Aşağıda (Şekil 2.26) görüldüğü gibi HummingBird tasarlanırken basitten zora doğru bir yöntem izlenmesi ve ekibin hiçbir şekilde denemeden yorulmadan devam etmesi bu projeye büyük başarıyı getiren unsur olmuştur.



Figure 2. FP1 aircraft.



Figure 3. FP2 aircraft.



Figure 4. FP3 aircraft.



Figure 5. FP5 aircraft.



Figure 6. FP6 aircraft.



Figure 7. FP7 aircraft.



Figure 8. Mercury aircraft.



Figure 9. Saturn aircraft.



Figure 10. Nano Hummingbird aircraft.

Şekil 2.26. HummingBird geliştirme evreleri (Keennon et al. 2012)

2012 yılında bir projenin nasıl şekillendirilmesi gerektiğinin örneğini gösteren Festo firmasının proje ekibi “SmartBird” isimli ornithopteri ortaya koymuşlardır. İçerisinde iskelet, kanat çırpma ve kuyruk hareketlerini sağlayan mekanizma ve helyum gazı olan bir balonla denemeler yapan ekip, bir ringa martısını taklit ederek el çizimleri yapmışlardır. Tahta ve iğne ile oluşturdukları mekanizma ile denemeler yaparak oluşturacakları modelin ölçülendirmelerine sahip olmuşlardır. Modeli yaptıktan sonra prototip oluşturan ekip ilk uçuş denemesinde sadece bir kaç metre uçuş gerçekleştirmişler ve bunun sebebini araştırmaya koyulmuşlardır.

Festo ekibi yapmış oldukları incelemeler sonucunda sistemlerinin biraz daha hafif olması ve ağırlık merkezinin yerinin değiştirilmesi kararını alarak tekrar tasarım çalışmalarına girişmişlerdir. İnce bir karbonfiber tabakasından iskelet bölümlerini üreterek hem rijit hem de hafif bir iskelet yapısı oluşturmuşlardır. Gövdeyi ise 26 gram köpük plastikten elde ederek kuşun özgül ağırlığını olabildiğince düşürmüşlerdir.

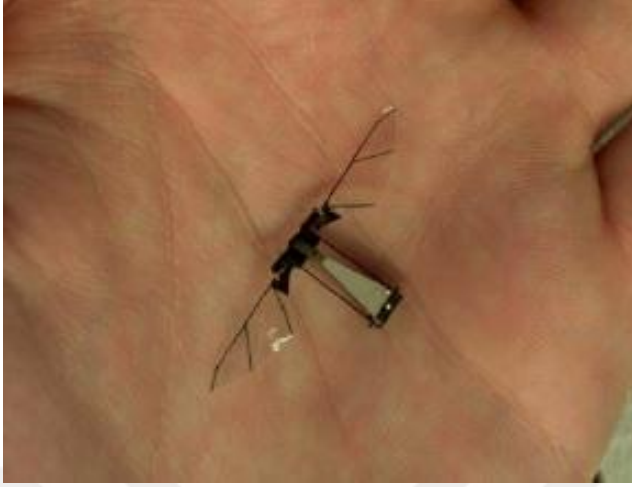
Ekip bir daha uçuş testi için işe koyulmuş fakat uçuş denemesi yapıldığında SmartBird yine yalpalayarak düşmüştür. Bu sorunun da kuyruk kısmında diklemesine bir yüzey bulunmamasından kaynaklandığını tespit edip kuyruk kısmına dik bir yüzey koyarak sorunu çözmüşler ve SmartBird’ün başarılı bir şekilde semalarda yerini almasını sağlamışlardır (Festo 2012).



Şekil 2.27. SmartBird’ün başarı adımları **(a)** balonla deneme; **(b)** el çizimleri; **(c)** mekanizmanın ilk testi; **(d)** revize işlemleri; **(e)** revize sonrası montaj; **(f)** ilk uçuş anı

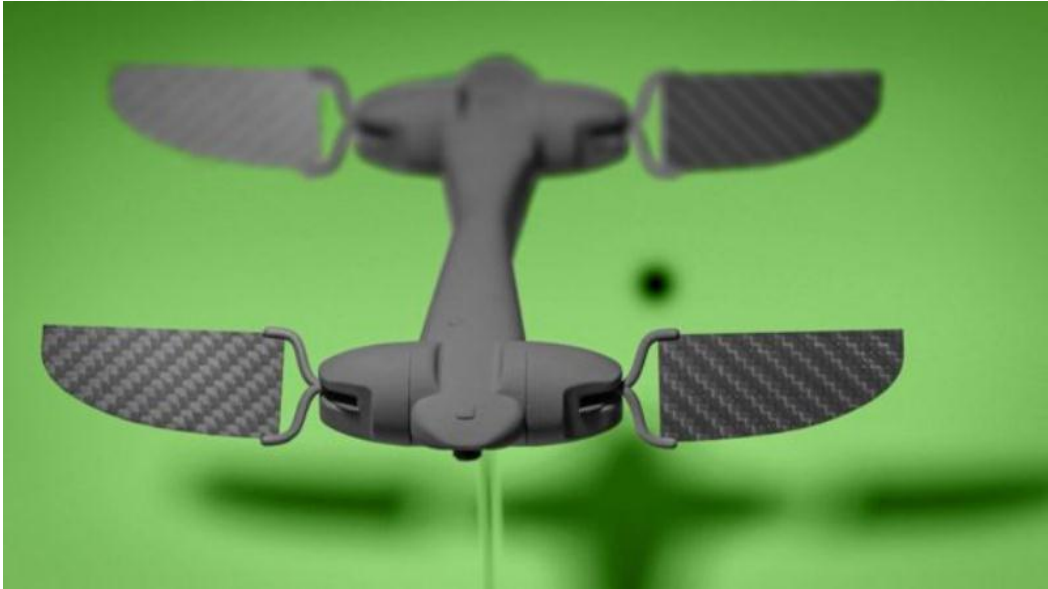
2014 yılında Harvard ve Berkeley Kaliforniya Üniversitesi tarafından üretilen “MicroRobotic Fly” isimli takribi 2,5 cm kanat açıklığına sahip ornithopter piezoelektrik prensibine göre sistemlerine güç sağlamayı planlamışlardır. Bu prensibe göre sıkıştırılan yani üzerine basınç uygulanan bazı malzemeler elektrik üretebilmektedir. Genellikle kristal yapıya sahip malzemeler piezoelektrik özelliğine sahiptir. Burada araştırmacılar birçok sensör ile donatılmış gelişmiş bir beyin, akıllı malzemelerden yapılmış bir gövde ve koloni halinde hareket için bir algoritma oluşturmaya çalışmışlardır. Fakat bu kadar gelişmiş bir sistemin bile gerçek böceklerin uçuş yeteneği ve koordinasyonuna ulaşamaz olduğunu gören araştırmacılar böceklerin sinir sistemleri vasıtası ile kontrol etme fikrini ortaya çıkarmış ve böceklerin

genetiklerini ışık darbeleri ile yönetilebilecekleri şekilde değiştirmeye yönelik çalışmalar ortaya koymuşlardır (Hunt 2017).



Şekil 2.28. “Microrobotic Fly” isimli ornithopter (Hunt 2017)

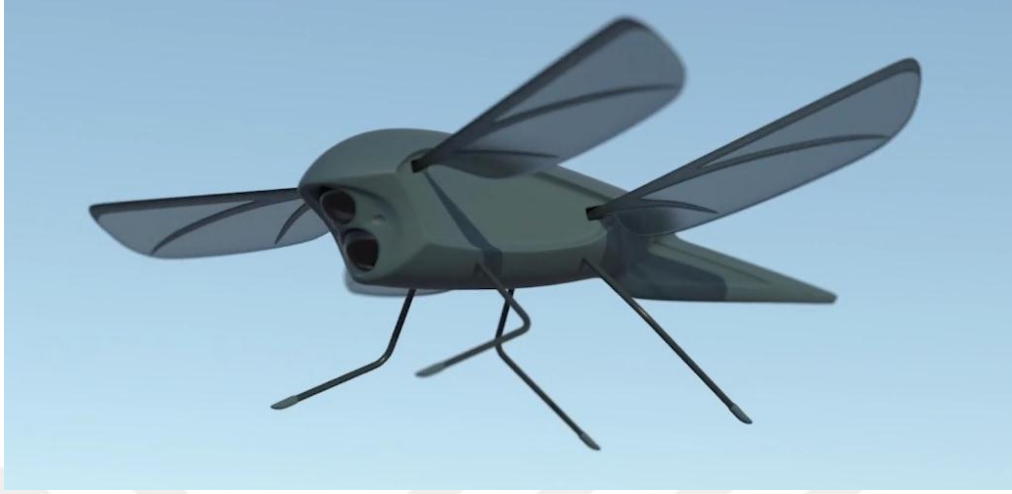
2015 yılında uçuş biyomekaniği üzerinde çalışmak için kurulan Animal Dynamics isimli firma askeri operasyonlar için “Skeeter” isimli bir ornithopteri ortaya çıkardı. Bir yusufçuk böceğinden ilham alınan projenin yazılımı üzerinde 4 yıl kadar çalışıldıktan sonra prototipi ortaya çıkarılmıştır (Anonymous 9 2023).



Şekil 2.29. “Skeeter” isimli ornithopterin prototipi (Anonymous 9 2023)

Özellikle sabit kanatlı İHA’ların hava şartlarından etkilenmesi dolayısıyla güçlü rüzgarlarda havada sabit kalma özelliğini ortaya koymaya çalışan Skeeter 37 km/s hıza sahip rüzgarda havada sabit kalabilmektedir. Şuan ki prototipi 20 cm kadar büyüklüğe

sahip olsada ticari versiyonunun daha küçük olması hedeflenmektedir (Anonymous 9 2023).



Şekil 2.30. Animal Dynamics’in istediği ticari Skeeter modeli (Anonymous 10 2022)

Bu projede hedeflenen diğer özellikler ise;

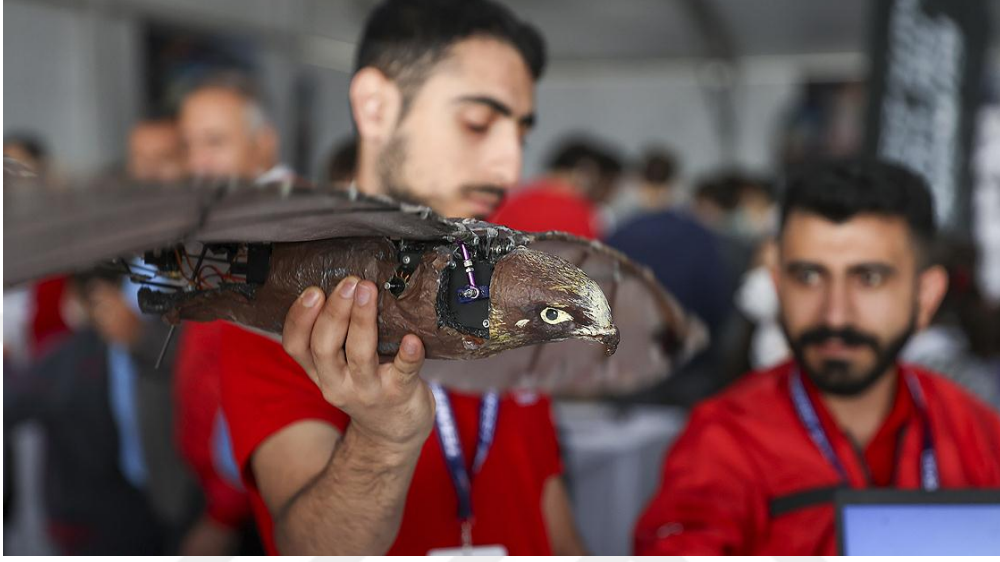
- Hafiflik: < 200g,
- Yüksek dayanıklılık,
- Yüksek hız,
- Süzülme yeteneği,
- Sessiz ve gizli hareket kabiliyeti,
- Hem GPS hem de GPS'in reddedildiği ortamlarda otonom hareket ve yön bulma,
- Sürü halinde hareket yeteneği (Anonymous 10 2022).

2019 yılında ticari olarak üretilmiş “MetaFly” çocuklara ve hobi olarak ilgilenen kullanıcılara hitap etmektedir. Radyo kontrollü bu sistem 120 dolar bandında satılmaktadır (Borcim 2019).



Şekil 2.31. “MetaFly” isimli oyuncak ornithopter

2020 yılında Tubitak ikinciliği, 2021 yılında Tubitak birinciliği alan bir ornithopter projesi ise Türkiye’de ortaya çıkmıştır. Kanat açıklığı 100 cm, ağırlığı 350 gr olan “Atmaca” isimli ve görünümlü ornithopter 500 miliamper batarya ile 20 dk kanat çırpabilmekte, süzölmelerle beraber 40-50 dk havada kalabilmektedir. Sabit kanatlı İHA’lara göre %90 daha sessiz olan Atmaca 50 metre irtifada sessiz bir şekilde gözlem yapabilme yeteneğine sahiptir (İrtak 2021).



Şekil 2.32. “Atmaca” isimli ornithopter (İrtak 2021)

3. MATERYAL VE METOD

Kaynak taramasında yer verdiğimiz ornithopterlerin uçabilmeleri için aşağıdaki mekanizmalara sahip olmaları gerekmektedir:

- Kanat
- Kuyruk
- Gövde
- Motordan kanada güç iletim sistemi
- Sensör ve elektronikler

3.1.Hesaplama Yöntemi

Sistem için gerekli gücün ve uçuş parametrelerinin uygun seçimi için Ornithopter Tasarımı için Excel tabanlı bir hesap programı kullanılmıştır. Bu program Almanca bir kaynak olan “Bir Ornithopter Nasıl Uçar”(Rabiger 2011) kitabında geçen ornithopterlerin matematiksel modellemesinden faydalanarak oluşturulmuş bir hesaplama yöntemidir.

Bu tezde kullanılan program kanat çırpma dinamiklerini ile aerodinamik hesapları birleştirilerek bir ornithopter uçuş parametrelerinin uygunluğunu kontrol etmektedir. Excel tabanlı bu uygulamada kanat çırpmalarının parametreler üzerindeki etkilerini de görmek mümkündür.

Programa girdi olarak modelin kütlesi, kanat açıklığı, kord genişliği, kanat kütlesi, kanat profil verileri ve motor verimlilik değeri girilmektedir. Söz konusu açık kaynak program girdi değerlerine göre süzülme uçuşu, sabit kanat motorlu uçuş, üst strok ve alt strok durumları için kuvvetler dengesi, moment ve momentum hesabı, optimum frekans, hücum açıları, açısız hızlar, çizgisel hızlar, kinematik vizkoziteler vb. parametreleri hesaplayabilmektedir. Program en son kısmında motorlu uçuş kaldırma kuvvetini süzülme uçuşu kaldırma kuvvetine bölerek kaldırma oranı isimli bir değer bularak sistemin uçuşa uygun olup olmadığını ölçmektedir.

Program, ilk açıldığındaki kanat açıklığı, kütle, kanat genişliği ve kanat profili değerlerinin az seviyede değiştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sebeple bu program bilimsel olarak kanıtlanmış olmamasıyla birlikte büyük ornithopter modellerinde başarıya ulaşmıştır. Ayrıca programın sahipleri sistemlerini açık kaynak bırakarak diğer kişilerin bu programa katkı yapmalarını istemektedir.

Hesaplama yarı durağan akış koşulları içerisinde düşük kanat çırpma frekansına sahip yüksek uçuş hızlarına ulaşabilen büyük kuşlar göz önüne alınmıştır. Aksi halde titreyen cisimlerin aerodinamik hesapları için içine gireceğinden hesaplamalar daha karmaşık hal alacaktır.

Kanat üzerinde oluşan kaldırma kuvveti, hız, ivme, hücum açısı gibi veriler tek bir kanat üzerinde 10 nokta belirlenerek daha hassas bir hesaplama yapılması

hedeflenmiştir. Çırpma kanat mekanizmasının atalet momenti ise kanat yüzeyi momenti kullanılarak belirlenmiştir. Burada özgül ağırlığın tüm kanat yüzeyinde aynı olduğu varsayılmıştır. Pratikte ise kanat uçlarının daha hafif olması istendiğinden kanat uçlarındaki atalet momenti de daha düşük olacaktır. Ayrıca kanat çırpma eksenine etrafına etki eden tork ise çırpma momenti olarak belirlenmiştir.

Kaldırma kuvvetini incelediğimizde ise kanat çırpma boyunca kaldırma kuvvetinin hiç 0 değerini görmediğini ve sürekli değişken olduğunu gözlemlenmiştir. Bu sebeple momentum verileri de verimli bir şekilde hesaplanamamaktadır. Bundan dolayı hesaplamada daha çok kuvvet hesapları ve kuvvet dengelerine yer verilmiştir. Rabiger, Orni 2 isimli hesaplama programının açıklamasının en sonunda sadece bilinen hatadan kaçılabilirliğini pratik uygulamada hata sapmasının olacağını belirtmiştir.

Sistem tasarlanırken doğada ısı sütunlarından faydalanarak tasarruflu ve verimli uçuş gerçekleştiren 2,8 m kanat açıklığına sahip kaya kartallarından esinlenerek bir tasarım oluşturma yoluna gidilmiştir. Bu aşamada ilk olarak ağırlık, kanat açıklığı ve kuşların kanat profiline benzetilmiş CLARK Y kanat profili verileri kullanılmıştır. Hava aracının faydalı yüklerle beraber toplam 4 kg ağırlığa sahip olması istenmiştir.

Ayrıca açık kaynak olan bu programın Türk araştırmacılar tarafından daha rahat anlaşılması için Türkçe çevrili yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Kartal ölçülerine ve ağırlığına sahip bir ornithopter için hesaplama programı

Version 5.0

Çırpma kanadın strot ortası için bükülme parametreleri

Omi 1

Mod	Parametre	Sembol	Birim	Girdi												
Fiziksel Büyüklikler	yer çekimi ivmesi	g	m/s ²	9,81												
	havanın yoğunluğu	ρ	kg/m ³	1,225												
	modelin ağırlığı	m_M	kg	4,00												
	kanat açıklığı	b	m	2,80												
Sözleşme Durumu	kord (dikdörtgenel olarak)	l	m	0,28												
	ortalama kanat profil için kaldırma kats.	c_amG		0,60												
	sözleşme sirkülasyonu karakteristik numarası	c_rG		8,00												
	tür CLARK Y (11,7)															
Kanat Profili	kaldırma açısı dCL/d α	c_ α	1/deg	0,094												
	kalkış için hücum açısı	α_0	deg	-2,8												
	alt yüzeyin teğet açısı	σ	deg	2,0												
Güç	yukarı strot sirkülasyonu karakteristik numarası	c_r1		0,000												
	aşağı strot sirkülasyonu karakteristik numarası	c_r2		9,063												
	uç hızı faktörü (kayma gücü oranı)	k_v		1,055												
	çırpma periyodu uzunluğu (sinüzoidal)	t_p	s	0,70												
	çırpma açısı (± vuruşun ortası)	Φ_E	deg	30												
Aritmetik	azaltılmış frekans (değer < 0,2 olmalıdır)	μ		0,16	kanat istasyonları değerleri											
	yarım açıklık için kanat istasyon sayısı	j			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	toplam kanat istasyonları sayısı	n			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	kanat köküne olan bağıl uzaklık	y/s bzw. j/n			0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Sözleşme	uç hızı	v_G	m/s	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	
	Reynold katsayısı (Re=v_G×l×70.000)	Re_G		229.000	229.000	229.000	229.000	229.000	229.000	229.000	229.000	229.000	229.000	229.000	229.000	
Genel	ortalama sirkülasyon	Γ_mG	m ² /s	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	
	kanat kökünden aerodinamik merkez mesafe	y_rG		0,424	0,424	0,424	0,424	0,424	0,424	0,424	0,424	0,424	0,424	0,424	0,424	
İstasyonlarda ki veriler	Sirkülasyon	$\Gamma_G(y)$	m ² /s	1,25	1,24	1,22	1,19	1,14	1,08	1,00	0,89	0,75	0,54	0,00		
	kaldırma katsayısı	c_aG(y)		0,76	0,76	0,75	0,73	0,70	0,66	0,61	0,55	0,46	0,33	0,00		
	çırpma kuvvet	F_QG(y)	N	17,8	17,8	17,5	17,0	16,4	15,5	14,3	12,7	10,7	7,8	0,0		
	Hücum açısı	$\alpha_G(y)$	deg	5,3	5,3	5,2	5,0	4,6	4,2	3,7	3,0	2,1	0,7	-2,8		
	indüklenen aşağı uç hızı	v_jG(y)	m/s	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	
	indüklenen aşağı hücum açısı	$\alpha_jG(y)$	deg	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
	geliş açısı	$\alpha_EG(y)$	deg	4,4	4,4	4,3	4,0	3,7	3,3	2,8	2,1	1,2	-0,2	-3,7		

örnekte k_v=1,00 (sıra 15) ise el kitabı, ek B gibi değerler

mavi =

Çizelge 3.1'in devamı

Version 5.0 Çırpır kanadın strok ortası için bükülme parametreleri Omi 1

Mod	Parametre	Sembol	Birim	Kanat istasyonları değerleri											
motorlu uçuş	uçuş hızı	v_K	m/s	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3
Genel	maksimum açılal hız	ω_{max}	rad/s	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70
yukarı strok	kanat kökünden aerodinamik merkez mesafe	y_Γ1		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Genel	sirkülasyon katsayısı	k_Γ1		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	ortalama sirkülasyon	Γ_m1	m ² /s	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
	sirkülasyon	Γ_1(y)	m ² /s	1,06	1,00	0,85	0,66	0,44	0,22	0,01	-0,17	-0,31	-0,34	0,00	
	düşey hız	v_u1(y)	m/s	0,0	0,7	1,3	2,0	2,6	3,3	3,9	4,6	5,3	5,9	6,6	
	serbest akış hızı (etkili hız)	v_e1(y)	m/s	12,3	12,3	12,4	12,5	12,6	12,7	12,9	13,1	13,4	13,7	14,0	
	kaldırma katsayısı	c_a1(y)		0,62	0,58	0,49	0,38	0,25	0,12	0,01	-0,09	-0,16	-0,18	0,00	
	çapraz kuvvet	F_Q1[y]	N	16,1	15,0	12,9	10,0	6,8	3,4	0,2	-2,8	-5,0	-5,7	0,0	
	hücum açısı	α_1(y)	deg	3,8	3,3	2,4	1,2	-0,1	-1,5	-2,7	-3,8	-4,5	-4,7	-2,8	
	indüklenen aşağı uçuş hızı	v_i1(y)	m/s	0,57	0,45	0,33	0,21	0,09	-0,03	-0,15	-0,27	-0,39	-0,50	-0,62	
	indüklenen aşağı hücum açısı	α_i1(y)	deg	2,7	2,1	1,5	1,0	0,4	-0,1	-0,6	-1,2	-1,6	-2,1	-2,6	
	kanat çırpma açısı	δ_1(y)	deg	0,0	3,1	6,1	9,1	12,1	15,0	17,8	20,5	23,1	25,7	28,1	
	geliş açısı	α_E1(y)	deg	4,4	6,5	8,0	9,3	10,4	11,4	12,4	13,5	15,0	16,9	20,8	
	kanat büküm karakteristiği	V_Δα1	deg/m						11,5						
alt strok	kanat kökünden aerodinamik merkez mesafe	y_Γ2		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Genel	sirkülasyon faktörü	k_Γ2		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	
	ortalama sirkülasyon	Γ_m2	m ² /s	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	
	sirkülasyon	Γ_2(y)	m ² /s	1,51	1,55	1,63	1,72	1,80	1,85	1,86	1,80	1,64	1,28	0,00	
	düşey hız	v_u2(y)	m/s	0,0	-0,7	-1,3	-2,0	-2,6	-3,3	-3,9	-4,6	-5,3	-5,9	-6,6	
	serbest akış hızı (etkili hız)	v_e2(y)	m/s	12,3	12,3	12,4	12,5	12,6	12,7	12,9	13,1	13,4	13,7	14,0	
	kaldırma katsayısı	c_a2(y)		0,88	0,90	0,94	0,98	1,02	1,04	1,03	0,98	0,87	0,67	0,00	
	çapraz kuvvet	F_Q2[y]	N	22,8	23,5	24,7	26,3	27,7	28,9	29,4	29,0	26,8	21,4	0,0	
	hücum açısı	α_2(y)	deg	6,5	6,8	7,2	7,7	8,0	8,2	8,1	7,6	6,5	4,3	-2,8	
	indüklenen aşağı uçuş hızı	v_i2(y)	m/s	-0,02	0,07	0,16	0,25	0,35	0,44	0,53	0,62	0,71	0,81	0,90	
	indüklenen aşağı hücum açısı	α_i2(y)	deg	-0,1	0,3	0,7	1,2	1,6	2,0	2,3	2,7	3,0	3,4	3,7	
	kanat çırpma açısı	δ_2(y)	deg	0,0	-3,1	-6,1	-9,1	-12,1	-15,0	-17,8	-20,5	-23,1	-25,7	-28,1	
	geliş açısı	α_E2(y)	deg	4,4	2,0	-0,1	-2,3	-4,5	-6,8	-9,3	-12,2	-15,6	-20,0	-29,2	
	kanat büküm karakteristiği	V_Δα2	deg/m						-14,4						
toplam	kanat büküm karakteristiği toplam	V_Δαk	deg/m						25,9						

mavi = örnekte k_v=1,00 (sıra 15) ise el kitabı, ek B gibi değerler

© Horst Rübiger, Nürnberg 2002

B-2

Version 5.0

Çırpır kanadın strok ortası için bükülme parametreleri

Omi 1

Kanat çırpma dinamiği

(her iki kanat yarısının toplamı)

Mod	Parametre	Sembol	Birim
Süzülme bükme momenti	M_SE	Nm	23
final stroke bükme momenti	M_SE	Nm	26
üst strok orta nokta bükme momenti	M_S1	Nm	0
alt strok orta nokta bükme momenti	M_S2	Nm	44
yukarı strok ortasındaki aerodinamik vuruş gücü (enerjinin devridaimi)	P_A1	W	0
alt strok ortasındaki aerodinamik vuruş gücü (enerjinin devridaimi)	P_A2	W	205
tüm kanadın kütlesi	m_F	kg	0,80 girdi
maksimum açılal ivme	α_av_Max	rad/s ²	42
kanadın dönel atalet momenti (homojen dağılım)	I	kg m ²	0,52
atalet nedeniyle bükme momenti	M_SI	Nm	22,0
kalkış için bükme momenti	M_L	Nm	23
dönme yarıçapı	R_g	m	0,81
dönme yarıçapındaki atalet kuvveti	F_I	N	27
F_I 'a bağlı süzülme F_AG'si		%	70

Bunlar sadece eğilme momentlerinin yaklaşık değerleridir,

Yarım açıklık boyunca sayısal entegrasyon

Entegrasyon parametreleri		Kanat istasyonları değerleri										
yamuk kuralı faktörü		0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5
kaldırma	süzülme	8,9	17,8	17,5	17,0	16,4	15,5	14,3	12,7	10,7	7,8	0,0
	üst strok	8,0	15,0	12,8	9,9	6,7	3,3	0,1	-2,6	-4,6	-5,2	0,0
	alt strok	11,4	23,4	24,6	25,9	27,1	27,9	28,0	27,1	24,7	19,3	0,0
tahrık	üst strok	0,0	-0,8	-1,4	-1,6	-1,4	-0,9	0,0	1,0	2,0	2,5	0,0
	alt strok	0,0	1,3	2,6	4,2	5,8	7,5	9,0	10,2	10,5	9,3	0,0

© Horst Rübiger, Nürnberg 2002

B-3

Çizelge 3.1'in devamı

Version 5.0

Çırpır kanadın strok ortası için bükülme parametreleri

Omi 1

Uçuşun ortalama değerleri

	Sembol	Birim	Değer
kaldırma süzülme uçuşu	F_AG	N	39
final strok durumu	F_AE	N	37
üst strok •	F_AF1	N	12
alt strok •	F_AF2	N	67
motorlu uçuş	F_AK	N	39
kaldırma oranı: motorlu uçuş / süzülme	k_A		1,00
tahrik üst strok •	F_V1	N	-0,2
alt strok •	F_V2	N	16,9
motorlu uçuş	F_VK	N	5,3
uyarılmış sürüklenme süzülme uçuşu	F_WiG	N	0,75
final strok durumu	F_WiE	N	0,67
üst strok •*)	F_Wi1	N	0,54
alt strok •*)	F_Wi2	N	2,33
motorlu uçuş	F_WiK	N	1,16
profil sürüklemesi katsayı	c_Wp		0,012 girdi
süzülme uçuşu	F_WpG	N	0,78
motorlu uçuş *)	F_WpK	N	0,94
parazit sürüklenme katsayı	c_Wr		0,020 girdi
süzülme uçuşu	F_WrG	N	1,3
motorlu uçuş	F_WrK	N	1,5
itme motorlu uçuş	F_SK	N	1,8
aerodinamik kuvvetler tarafından kanadın vuruş gücü			
üst strok •	P_Sa1	W	44
alt strok •	P_Sa2	W	175
motorlu uçuş	P_SaK	W	65
gerekli giriş gücü			
toplam verimlilik derecesi	η	%	85 girdi
motorun giriş gücü	P_Mot	W	77

F_AG kabaca F_AE'ye karşılık gelir

• vuruşun ortasında her iki kanat yarısının kuvveti

Hesaplama için lütfen bu şemaya bir göz atın →
ancak F_AG yerine F_AE ile daha doğruMotorlu uçuşta kaldırma dengesi için zorunlu değer 1.00 ± 0.01 'dir.

El kitabına göre F_Wi, denklem 3.1

*) Kanat açıklığı boyunca değişen vektör yunuslaması dikkate alınmadan

© Horst Rübiger, Nürnberg 2002

B-4

Version 5.0

Çırpır kanadın strok ortası için bükülme parametreleri

Omi 1

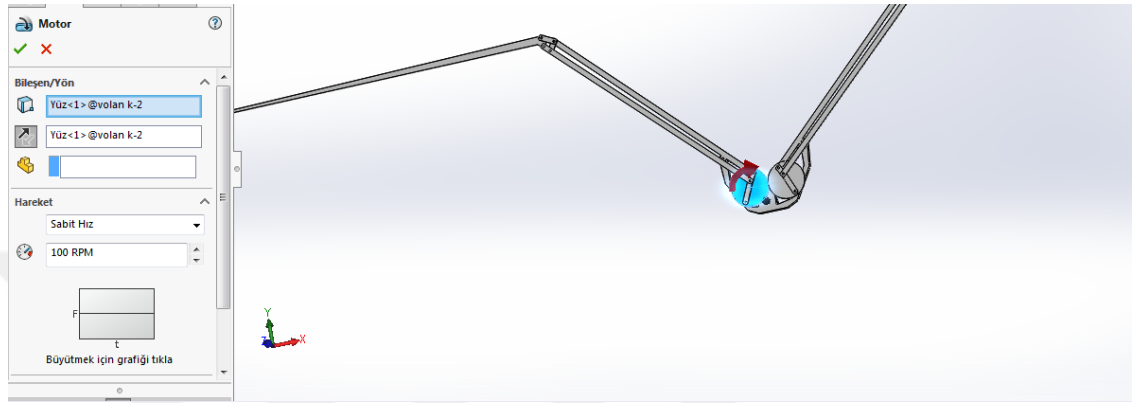
Uçuş detayları

	Sembol	Birim	Değer
süzülme oranı			14
süzülme açısı	γ_G	deg	-4,2
motorlu uçuşta eğim açısı [±]	γ_K	deg	+2,6
	k_A =	1,001	kaldırma oranı, yalnızca k_A=1,00 ± 0,01 (satır 99) zorunlu değerine uyulursa geçerlidir.

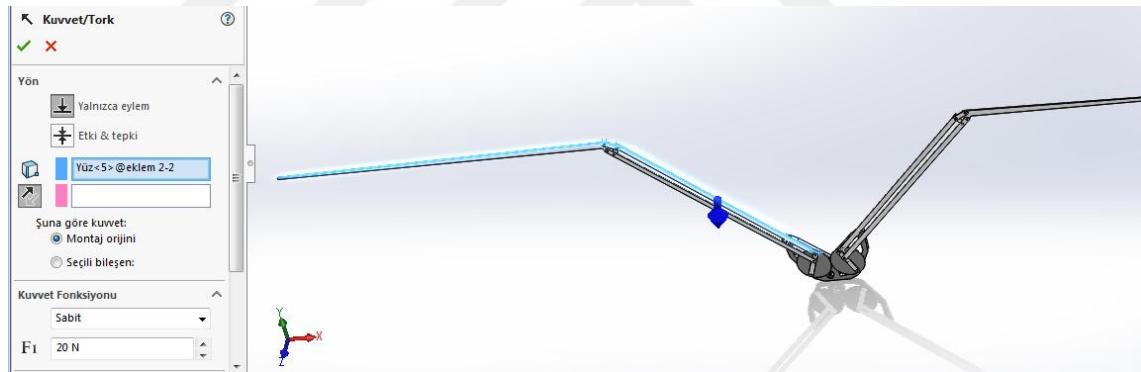
© Horst Rübiger, Nürnberg 2002

B-5

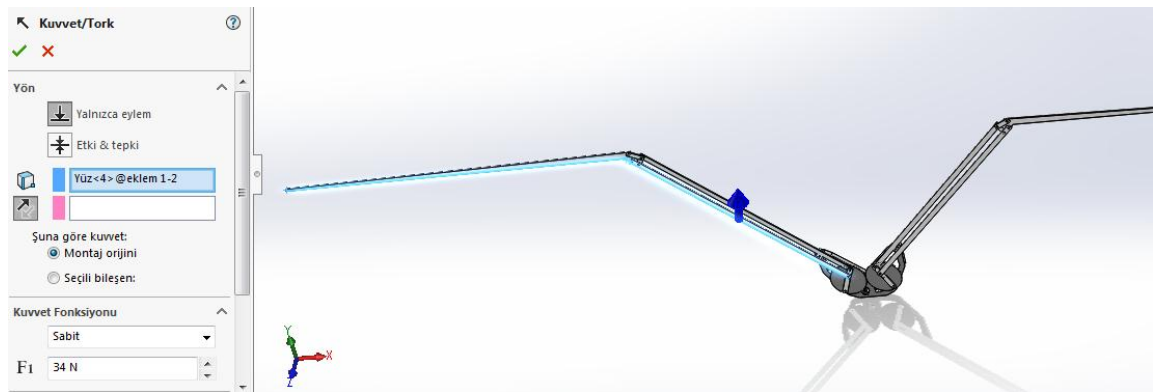
Girilen verilerin sonucunda ornithopterin eğim açısının uygun değer aralığında olduğu ve 77 W güce sahip bir AC motora ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. Fakat elde edilen motor gücünün sağlaması yapılması için hesaplama programı üzerindeki kuvvetler Solidworks Motion programı üzerinden simüle edilmiştir. Burada kanat üzerine etki eden kuvvetler yönlerine göre iki kanada dağıtılarak kütle 40 N, kaldırma kuvveti 67N, çapraz kuvvet 29N, sürüklenme kuvvetleri 4N olarak girilmiştir. Ayrıca motor devri olarak 100 rpm seçilmiştir. Solidworks programında girilen parametreler aşağıda yarıntılı şekilde gösterilmiştir.



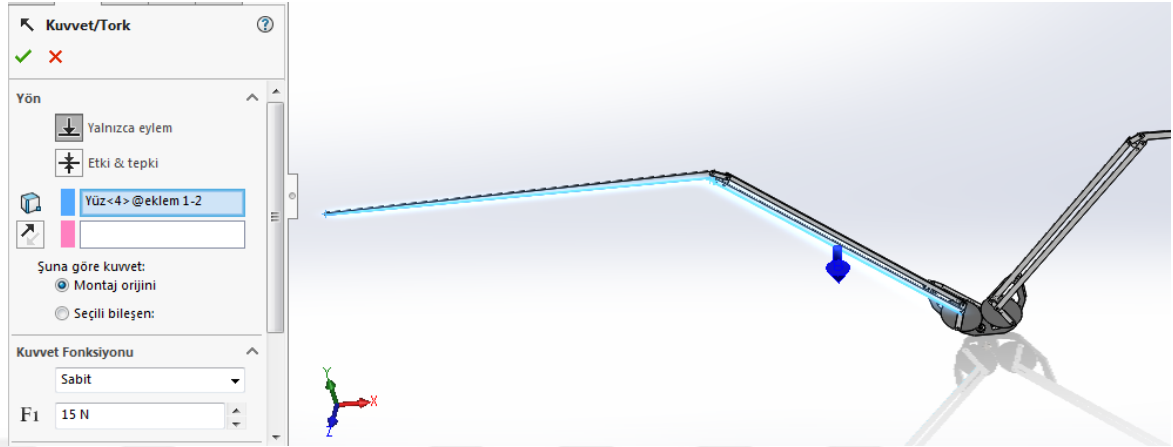
Şekil 3.1. Solidworks motion simülasyon programına motor atama



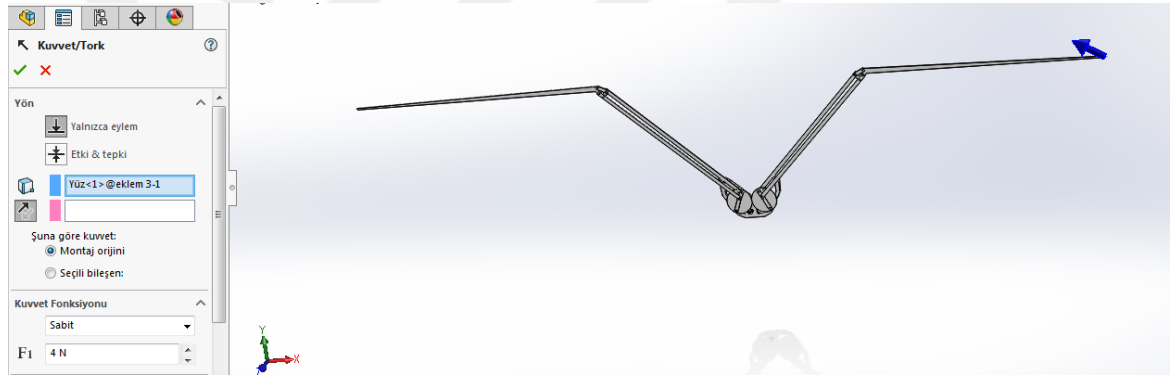
Şekil 3.2. Solidworks motion simülasyon programına kütle atama



Şekil 3.3. Solidworks motion simülasyon programına kaldırma kuvveti atama

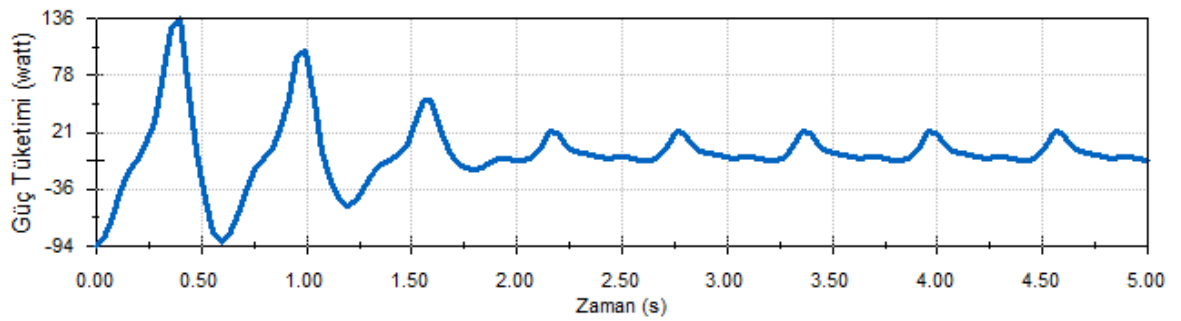


Şekil 3.4. Solidworks motion simülasyon programına çapraz kuvvet atama



Şekil 3.5. Solidworks motion simülasyon programına sürüklenme kuvveti atama

Ayrıntılı olarak gösterilen kuvvet atama işlemlerinde kütle, kaldırma kuvveti ve çapraz kuvvet her iki kanada da aynı şekilde uygulanmıştır. Karmaşıklığın önüne geçmek için yukarıda tek kanat için gösterilmiştir. Similasyon programına girilen veriler doğrultusunda aşağıda ki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 3.6. Solidworks Motion üzerinden elde edilen zamana göre güç tüketimi grafiği

Solidworks Motion programından elde edilen grafiğe göre ornithopterin uçabilmesi için 136W güce sahip bir motor seçilmesi gerekmektedir. Rabiger'in programında ise bu değer 77W olarak hesaplanmıştı. Bu iki veriler karşılaştırıldığında daha güvenli sistem için daha büyük olan değer seçilmesi gerekliliğinden dolayı gereken motor gücü olarak 136W seçimi yapılmıştır.

3.2. Tasarım Yöntemi

Tasarım aşamasında gerçek bir kaya kartalının uçuş hareketlerini içeren bir video defalarca izlenerek kartalın kanat üst noktası ve kanat alt noktasında durdurularak gerekli açıların hesaplanması sağlanmıştır.



Şekil 3.7. Kanat üst noktası açısının belirlenmesi (45.98°)



Şekil 3.8. Kanat alt noktası açısının belirlenmesi (-7.64°)

Yine gerçek bir kaya kartalının kanat açıklığına göre video üzerinden ölçeklendirme yapılarak kanat mesnet mesafeleri belirlenmiştir.



Şekil 3.9. Kanat mesnet mesafelerinin belirlenmesi

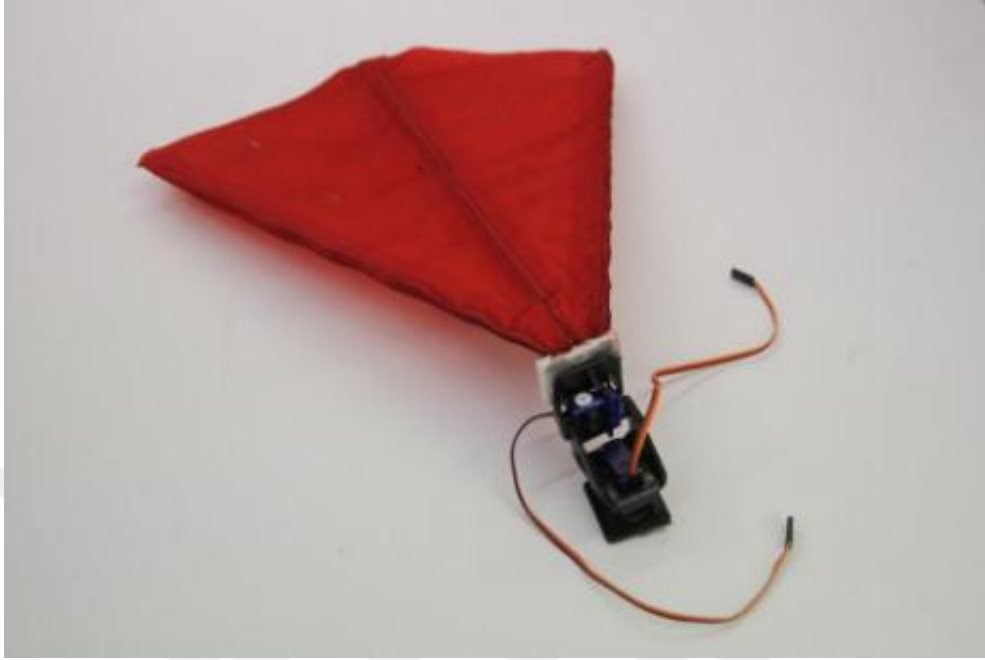
Belirlenen kanat mesnet mesafeleri örnek bir ornithopter mekanizmasına göre uyarlama yapılarak nihai kanat bileşenlerinin ölçü ve açıları belirlenerek Solidworks programı üzerinden 3 boyutlu tasarım çalışmalarına başlanmıştır.



Şekil 3.10. Gerçek kanat ölçülerinin mesnetli kanat profiline sahip bir ornithopter mekanizmasına uyarlanması

Sistemin kuyruk tasarımında ise uçabilen ornithopter modelleri incelenmiştir. İncelemeler sonucunda uçan modellerin çoğunluğunda basit bir profile sahip kuyruk tasarımı kararlaştırılmıştır. Fakat sistemin aşağı-yukarı ve sağ-sol manevra yapabilmesi

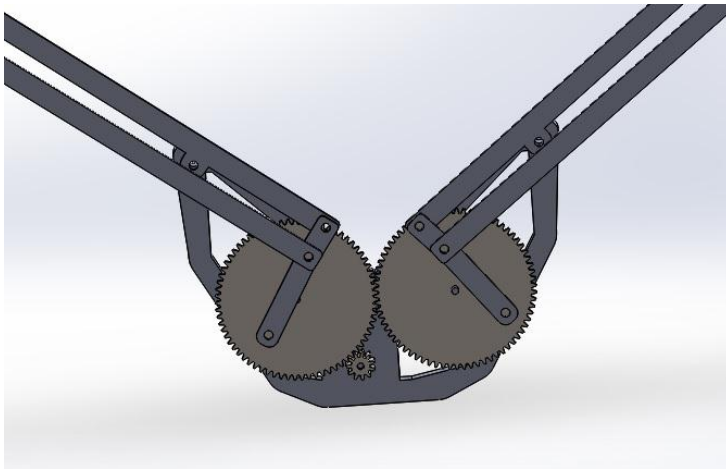
için 2 adet servo motor ve bağlantı elemanlarından oluşan bir mekanizma yapılması elzem görülmüştür.



Şekil 3.11. Örnek bir ornithopter kuyruk mekanizması (Baggaley 2016)

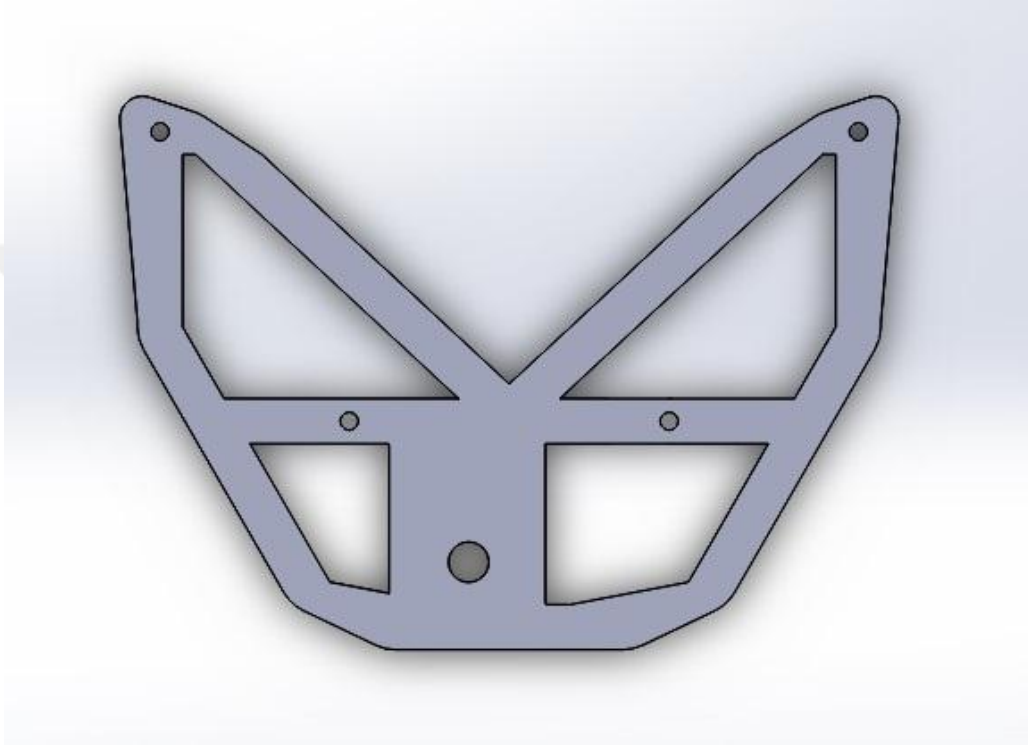
3.2.1. Üç Boyutlu Tasarım Çalışmaları

Mekanizma boyutlarını belirleme işleminden sonra Solidworks 2018 programı üzerinde mekanizma tasarımlarına başlanmıştır. Belirlenen uzunluk ve açılara uyularak tasarım denemeleri yapılmıştır. Sistemde tahrik motorunun ucuna $z=11$ dişli sayısına ve $m=1$ modül değerine sahip olan pinyon dişli tasarlanmıştır. Motor devrini daha düşük devirlere dönüştürmek için ise kanatlara hareket veren dişlilerde ise $z=71$ dişli sayısı ve uyumlu çalışma sağlanması için $m=1$ modül değeri seçilmiştir.



Şekil 3.12. Çırpın kanat mekanizmasının dişli ve mesnet bağlantıları

Dişlilerin ve kanat mesnetlerinin açıları ve uzunlukları tam değerlerine getirilerek sistemin ana iskeletini oluşturan sabitleyici parça tasarlanmıştır. Bu parçanın dikey yüzeyi yine kartal gövdesine göre tasarlanmıştır. Bu parça hem bilgisayar ortamında hem de uygulama esnasında sistemin kolay montaj yapılmasını sağlayacaktır. Sabitleyicinin mekanizma yönüne paralel tasarlanması sistem üzerindeki dinamik yüklere karşı daha mukavemetli bir davranış sergileyeceği düşünülerek uygulanmıştır. Mekanizmaya dik bir iskelet tasarımı sistem çalışırken sağa sola esnemesine sebep olacağı Solidworks üzerinden simüle edilerek görülmüştür.

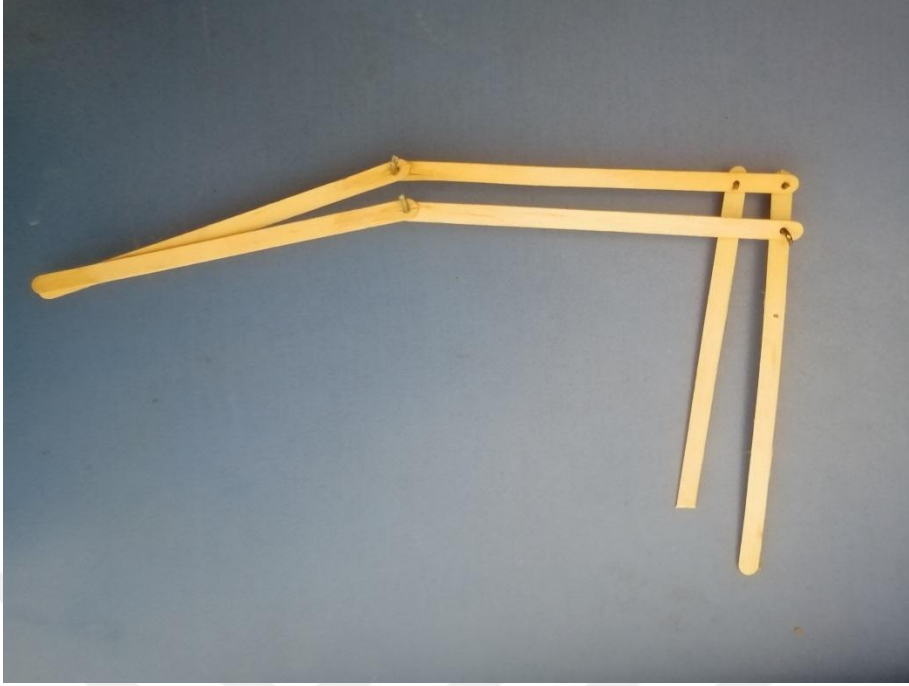


Şekil 3.13. Sabitleyici parçanın tasarımı

Ornithopter mekanizmasının tüm bileşenleri tasarlanarak ve gerekli montaj ilişkileri verilerek nihai montaj tasarımı tamamlanmıştır. Mekanizmanın çalışması Solidworks üzerinden kontrol edilmiştir.

3.3. Üretim Yöntemi

Mekanizmanın çalışma sisteminin kararlaştırılmasından sonra çay karıştırıcı olarak kullanılan 110mm uzunluk, 5mm genişlik ve 1 mm kalınlığa sahip ahşap malzemelerden ve 1 mm çapa sahip inşaat telinden mekanizma modellemesi yapılmıştır. Mekanizmanın elle tahrik edilmesiyle olumlu sonuç alınmış ve gerçek boyutlarda bir modelleme yapma çalışmalarına geçilmiştir.



Şekil 3.14. Ornithopter mekanizmasının basit bir şekilde modellenmesi

Yapılan kontroller sonrasında kanat ana kirişleri büyük olduğundan onların ahşap malzemeden kesilerek, kalan küçük parçaların ise FDM yani katmanlı 3 boyutlu üretim metodu ile üretilmek üzere model çıkarılmasına karar verilmiştir. Ahşap malzemeler gerçek ölçülere göre hafif bir kontraplak üzerine çizilerek Spiral Taşlama cihazına Inox cinsi uç takılarak kesilmiştir. Dişliler ve diğer eklem parçaları ise Creality Ender 3 v1 3 boyutlu yazıcı ile PLA bioplastik malzemeden üretilmiştir.

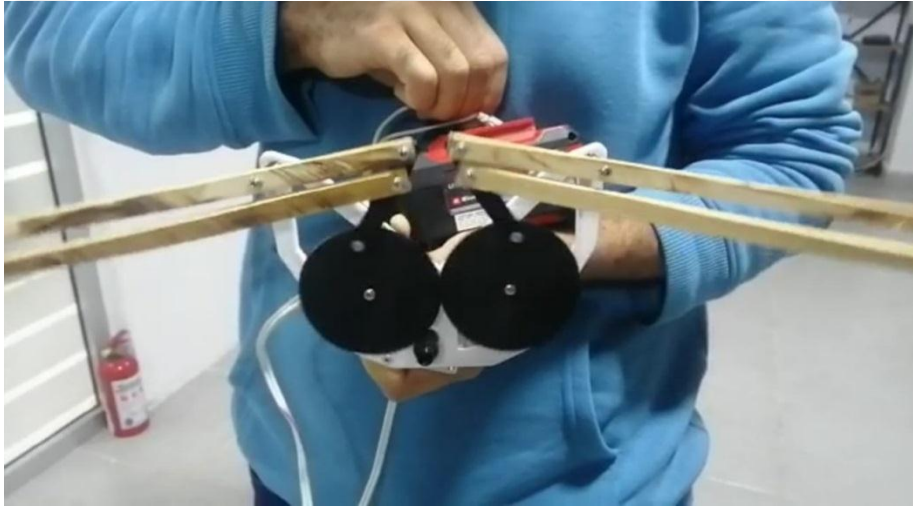


Şekil 3.15. Üretilen mekanizma modeli parçalarının montaj aşaması



Şekil 3.16. Gerçek boyutlarda üretilen mekanizma modelinin kanat hareketleri

Elde edilen modelin çalışma kıstas ve parametreleri hakkında bilgi edinmek amacıyla sisteme bir elektrik motoru takılarak mekanizma çalıştırılmıştır. Çalışma sırasında sistem üzerinde dinamik yükün fazla olduğu tespit edilmiştir. Özellikle kanadın yukarıya doğru kalkma esnasında mekanizmanın çok zorlandığı ve bu anda dişlilerin diş kaçırdığı görülmüştür. Ayrıca kanat uç mekanizmasının yüksek oranda sisteme moment etkisi yaptığı gözlenmiştir.



Şekil 3.17. Modelin elektrik motoru ile tahrik edilmesi

3.4. Nihai Tasarım Ve Üretim Çalışmaları

Yapılan deneysel çalışmaya göre sistemin daha küçük ve verimli şekilde tasarlanmasına karar verilmiştir. Yeni tasarım sırasında elektronik parçalar da belirlenerek iskelet sisteminin tasarımı bu parçalara göre yapılması gerekliliği belirlenmiştir. Sistemde kullanılacak parçalar şu şekilde seçilmiştir:

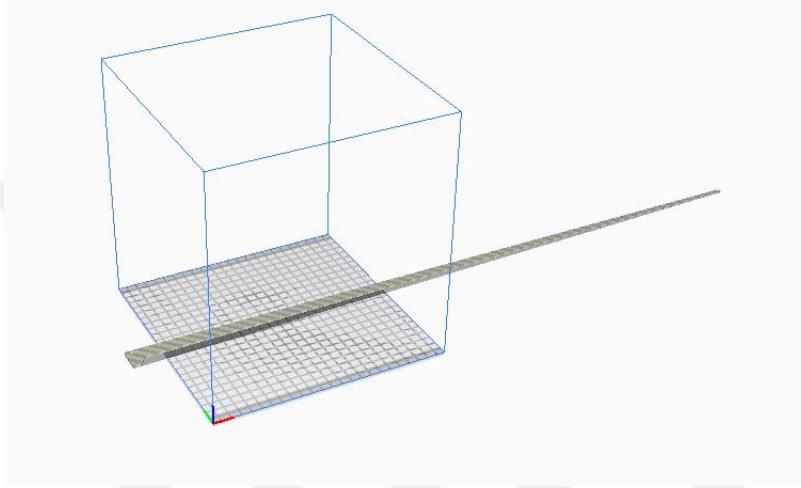
- Elektrik motoru: Emax CF-2822
- Motor sürücü (ESC): Emax UBEC 18A
- Kumanda ve alıcı: Art-Tech E-fly 2,4 ghz 6 kanallı
- Servo Motorlar: Hextronik HXT 900 - 9gr
- Batarya: THK 1050 25C lipo pil

Ayrıca sistemin parçalarının Creality Ender 3 V2 ve Creality Ender 3 S1 Plus FDM yazıcılar üzerinde ABS plastik malzemeden üretilmesi kararlaştırılmıştır. Bu

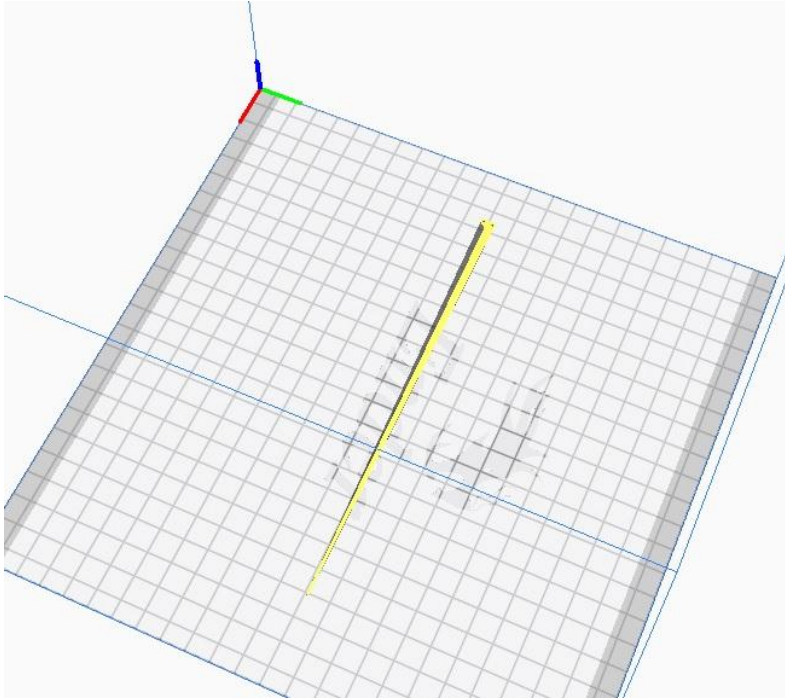
sebeple parçaların tasarımı aşamasında kanat profilleri gibi uzun parçaların yazıcı tablasına sığacak şekilde tasarlanmasının gerekliliği öngörülmüştür.

3.4.1. Nihai Tasarım Çalışmaları

Sistemin yeniden tasarlanması aşamasında ilk olarak 3 boyutlu yazıcılar için yazılmış “Ultimaker Cura 4.1” programı üzerinden sistemin en uzun uzvu olan kanat uç profiline göre ölçekleme çalışması yapılmıştır. Ölçekleme çalışması sırasında Crealty Ender 3 V2’nin 220mmx220mm ebatlara sahip tablasında denemeler yapılmış ve 1:4 oranda ölçekleme yapılması kararlaştırılmıştır.



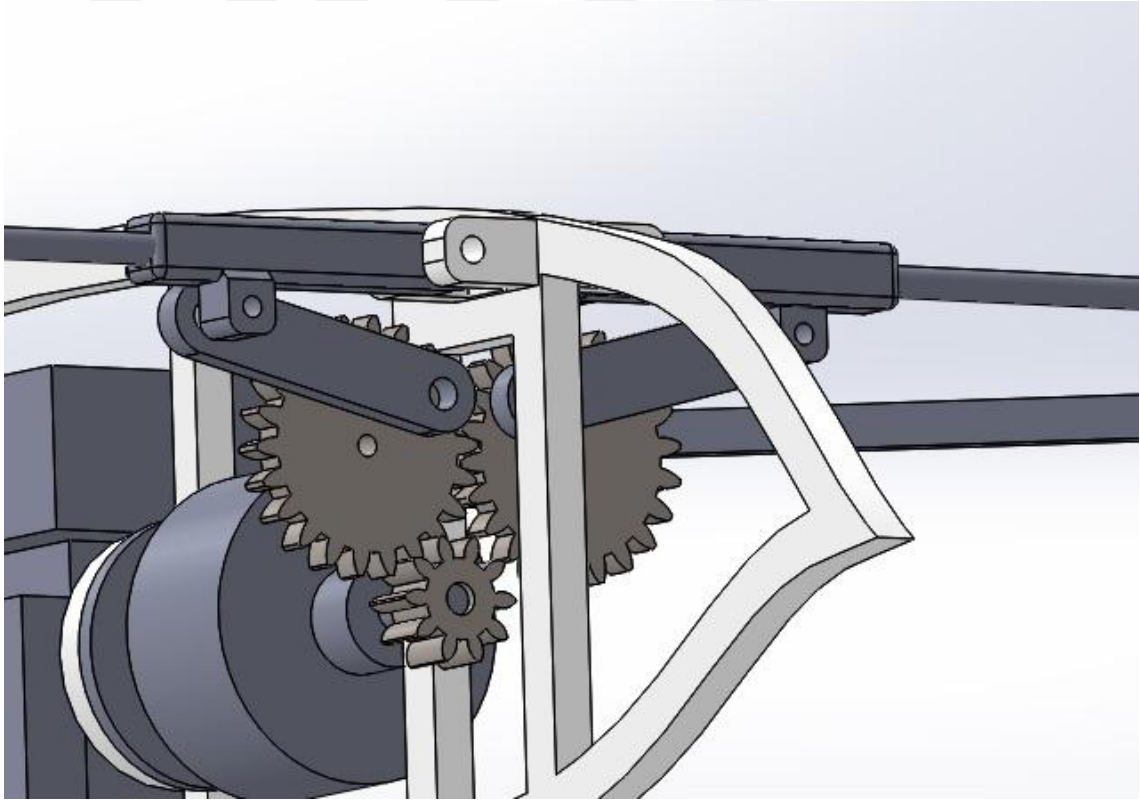
Şekil 3.18. Kanat uç profilinin Ender 3 V2 tablasındaki ölçeksiz hali



Şekil 3.19. Kanat uç profilinin Ender 3 V2 tablasındaki 1:4 ölçekli hali

Parçalar tasarlanırken bir yandan da ABS malzemelerin özelliklerini görmek için Crealty Ender 3 V2 üzerinden deneme baskıları alınmaya başlanmıştır. Burada dairesel ince giriş profillerde ABS malzemenin esneklik özelliğinin üst seviye olduğu görülmüştür. Bu özellik sayesinde sistem kanatlarının çift mesnet yerine tek mesnet olarak tasarlanmasına karar verilmiştir. Böylelikle hem sistem üzerindeki dinamik yük etkileri azaltılmış olacak hem de kanat esneklik etkisi ile kanat altında basınç oluşumu sağlayan türbülans miktarı artmış olacaktır.

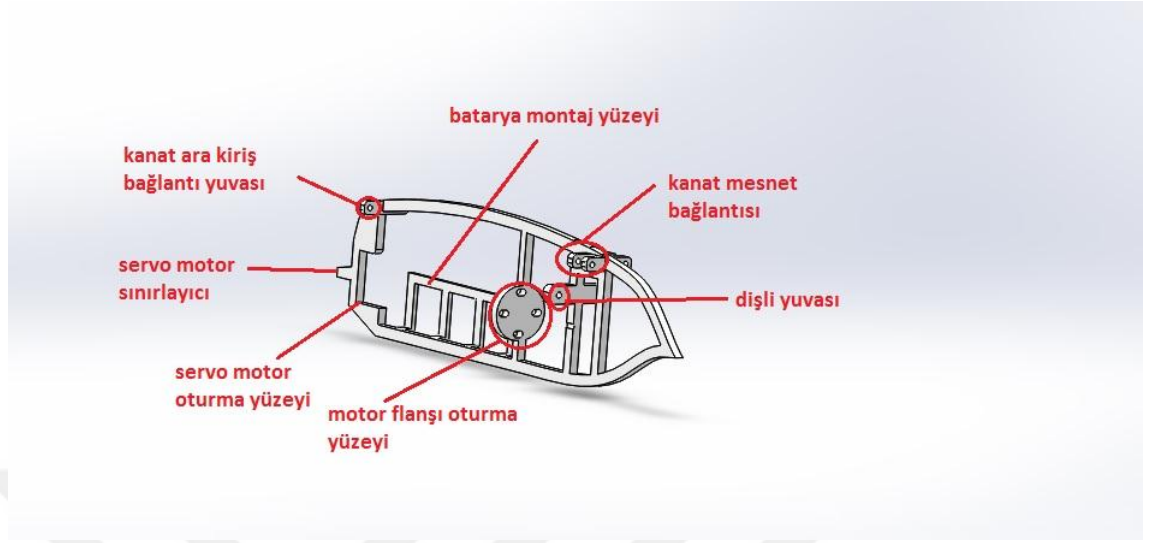
Elde edilen tasarım ve üretim parametrelerine göre öncelikle sistemin dişli ve kanat mekanizması 1:4 oranında küçültülmüştür. Burada pinyon dişlinin diş dibi çapının 1,75mm gibi küçük bir rakam olduğu görülmüştür. Sisteme takılacak motorun tahrik mili çapının ise 3.2 mm olarak ölçülmüştür. Motor tahrik milinin dişli göbeğine montajının imkânsız olması sebebiyle pinyon dişlinin çapı ve genişliği makul seviyeye çekilerek sistemin verimli tahrik edilmesi istenmiştir. Burada sistem kumandasının potansiyometreye sahip olması dolayısıyla sistem devri kumandadan arttırılıp azaltılabilecektir. Bu vesileyle dişli sayısı $z=10$, modül değeri $m=1$ ve genişliği $b=6$ mm olan bir pinyon dişli seçimi yapılmıştır. Ayrıca diğer milli ve vidalı birleştirme çapları da standart vida ölçülerine göre tasarlanmıştır.



Şekil 3.20. Dişli-motor-kanat grubunun montajlanmış hali

Dişlilerin 1:4 ölçek sabitleyiciye sığmaması, sabitleyiciye göre sistemin diğer elemanlarını taşıyacak iskeletin tasarım ve montaj sınırlaması ve 3 boyutlu yazıcı üretiminin tasarım özgürlüğü göz önüne alınarak sabitleyicinin kaldırılması ve tek parça iskelet sistemi tasarlanması kararlaştırılmıştır. Tasarlanan yeni iskelet sisteminde kanat

mesnet yatakları, dişli montaj yuvaları, motor flanşının oturma yüzeyi, batarya ve servo motor oturma yüzeyi ve servo motor sınırlama yüzeyi bulunmaktadır.

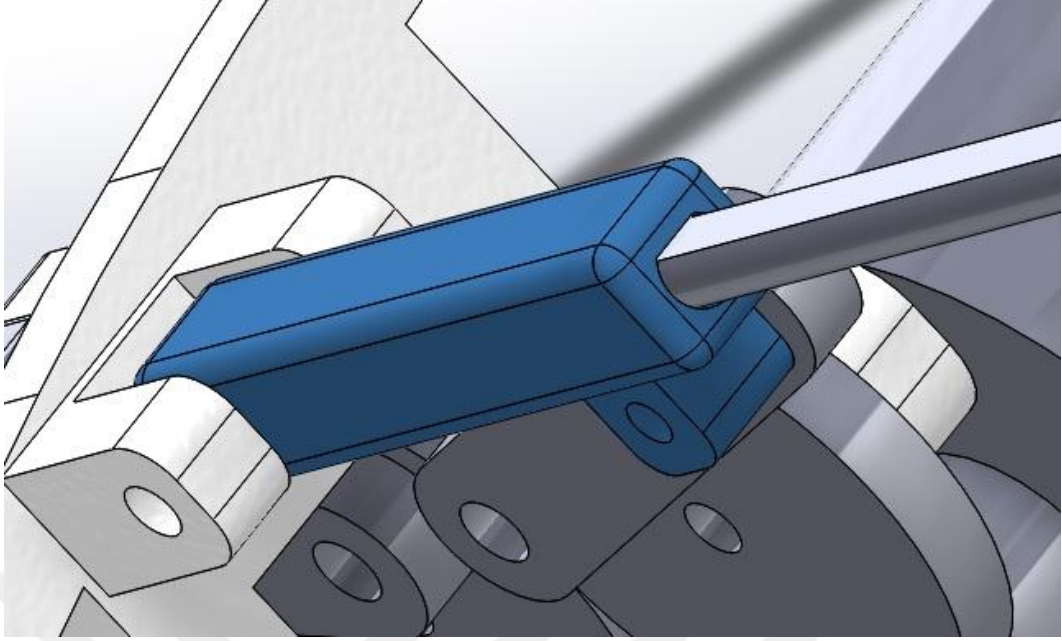


Şekil 3.21. Sistemin iskeleti üzerindeki yüzeylerin detaylı anlatımı

Eski tasarımda kanat mesnet yuvası ile kanat ana kirişi tek parça halinde idi ve mesnet yuvası ince yapıya sahipti. Bu durum sistemin düşmesi veya bir yere çarpması halinde mesnet yuvasının kırılması olasılığını doğuruyordu. Kanat mesnet yuvasının boyutlarının büyütülmesi de sistemin çalışmasına engel niteliği taşımaktaydı. Bu sebeplerden dolayı kanat mesnet yuvasının ve kanat ana kirişinin iki ayrı parça halinde tasarlanması kararlaştırılmıştır. Kanat ana kirişi ile kanat mesnet yuvası arasında oturma yüzeyi oluşturarak parçaların uçuş sırasında dönmesi engellenmek istenmiştir.



Şekil 3.22. Kanat ana kiriş profili



Şekil 3.23. Kanat mesnet yuvası ile kanat ana kiriş arasındaki oturma yüzeyi

Kanat ana kirişi tasarlanırken Creality Ender 3 S1 Plus'ın tablasının alabileceği en büyük ölçüye göre 350 mm uzunluğunda tasarım yapılmıştır. Burada kanat açıklığı ne kadar büyük olursa o kadar verimli bir uçuş alınacağı düşünülmüştür.

$$AR = \frac{b}{c} > 1 \quad (3.1)$$

AR: kanat açıklık oranı

b: kanat açıklığı

c: veter uzunluğu (kanat genişliği)



Şekil 3.24. Veter uzunluğu ve kanat açıklığının görünümü (Yükselen 2014)

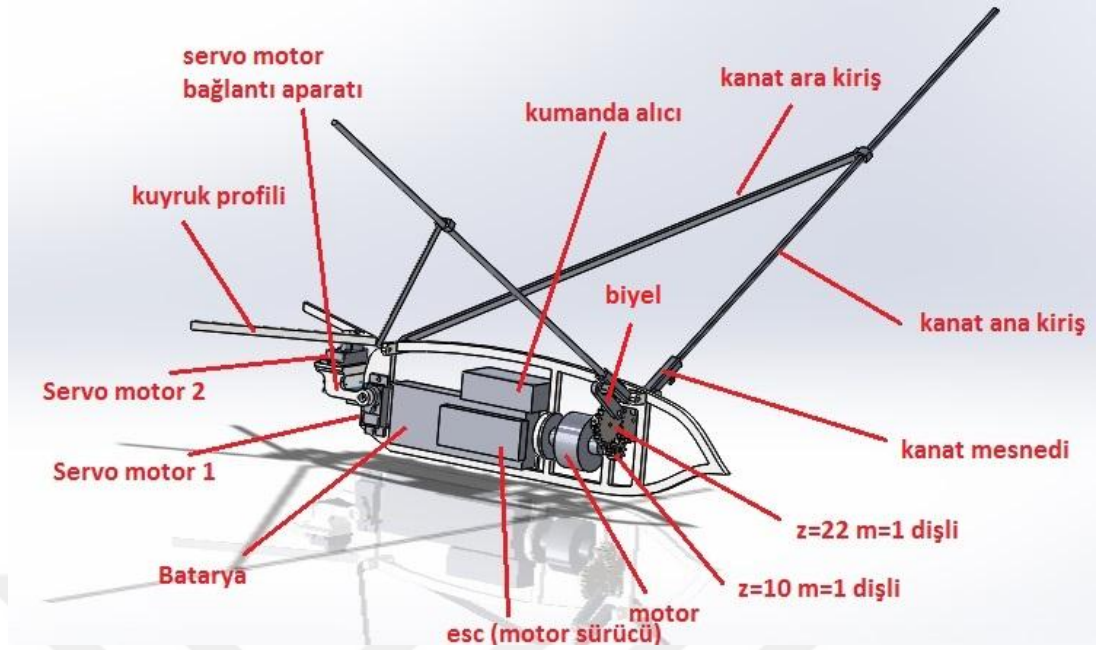
Ayrıca kanat yüzeyinin yapışkan plastik kaplama yapılması düşünülerek tek bir kanat krişinin yetersiz olacağı düşünülerek kanada çaprazlama olacak şekilde bir kiriş eklenmesi gerekliliği de öngörülmüştür.



Şekil 3.25. Yeni tasarıma göre sistemin genel görünümü

Sistemin yeni tasarımında kullanılacak tüm parçalar da sisteme yerleştirilerek üretim de oluşacak hataların azaltılması hedeflenmiştir. Ayrıca sistemin elektronik parçalarının birbirine bağlanma şekilleri de belirlenerek sağlıklı bir montaj yapılması düşünülmüştür. Sistem bir ana iskelet, kanat ana kiriş, kanat ara kiriş, kanat mesnedi, kuyruk, dişli kutusu, motor, esc (motor sürücü), batarya, kumanda alıcısı, servo motorlar, servo motor bağlantı aparatı, kanat ve kuyruk yüzey kaplama malzemesinden oluşmaktadır.

Sistemin çalışma prensibine bakacak olursak ilk olarak kullanıcı kumandadan alıcıya sinyal göndererek motor sürücüye komut verir. Motor sürücü kumandadan aldığı komuta göre motoru sürer. Motor pinyon dişli vasıtasıyla sistemi tahrik eder. Sistem dişli kutusu, biyel ve mesnet bağlantıları vasıtasıyla kanat çırpılmış olur. Bu parçalar **Şekil 3.26'**da ayrıntılı biçimde gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Sistemi oluşturan parçaların tanıtılması

3.4.2. Nihai İmalat Çalışmaları

Solidworks üzerinden tasarlanan parçalar stl formatında kaydedilerek Ultimaker Cura 4.1’da açılması sağlanmıştır. Ultimaker Cura 4.1 üzerinden açılan stl dosyaları açılarak ABS plastiğe uygun olarak

Katman yüksekliği: 0.2 mm

Duvar Hattı sayısı: 3

Yatay büyüme: 0.2mm

Üst kalınlık: 3 mm

Alt kalınlık: 3 mm

Dolgu: %20

Yazdırma sıcaklığı: 240 °C

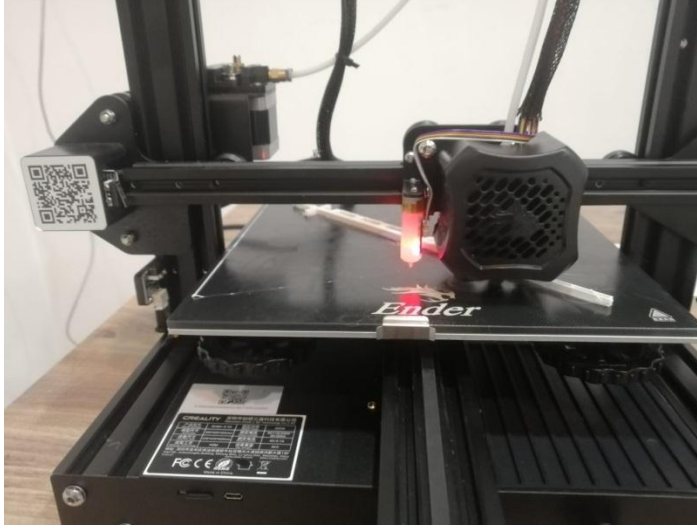
Yapı levhası sıcaklığı: 95 °C

Yazdırma hızı: 50 mm/s

İlk katman yazdırma hızı: 20 mm/s

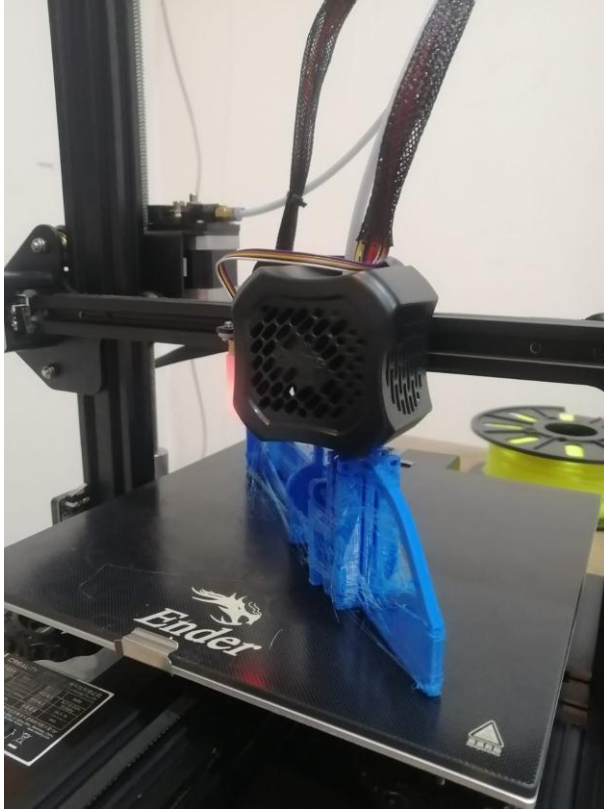
Soğutma: Kapalı

ayarlarında üretilmiştir.



Şekil 3.27. Parçaların üretilmeye başlanması

FDM prensibi ile ABS plastik ile parça üretiminde açık kasa yazıcılarda çarpılma yani üretilen parçanın ani ısı değişimi sebebiyle çekilmesi sorunu yaşanmaktadır. Bu projede dişliler, biyeller, kanat kirişleri vb ince cidarlı parçalarda sorun yaşanmazken iskelet ve kanat mesnet yuvalarının üretiminde bir çok deneme yapılmasına rağmen doğru şekilde üretim sağlanamamıştır. Bu sebepten dolayı bu parçalar PLA plastikten üretilerek daha sert ve hassas ölçüye sahip parçalar üretilmiştir.



Şekil 3.28. Gövdenin PLA plastik malzeme ile üretim anı

Projede yer alan tüm parçalar üretildikten sonra piyasada bulunan standart M2.5 ve M3 cıvata ve somunlar temin edilmiştir. Montaj için son kontroller ve eksiklikler giderildikten sonra proje montaja hazır hale getirilmiştir.



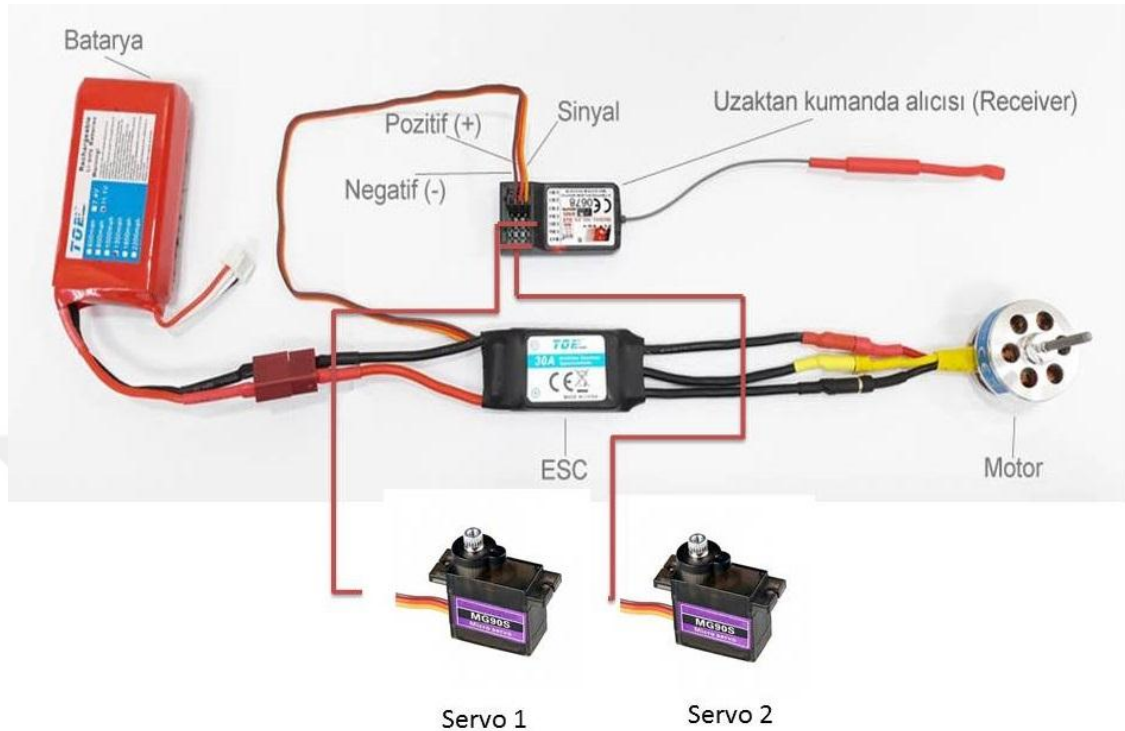
Şekil 3.29. ABS ve PLA plastikten üretilmiş bazı parçalar

Sistemin montajlanması sırasında ilk olarak dişliler- motor - biyel ve kanat mesnet yuvalarından başlanmıştır. Bu parçaların mekanik olarak kontrolü yapılmış olup bazı parçaların eksiklikleri giderilerek ve ara burç gibi ufak parçalar üretilerek elektronik parçaların montajına başlanmıştır.



Şekil 3.30. Sistemin mekanik parçalarının montajı

Sistemin elektronik parçalarını motor, motor sürücü (esc), kumanda ve alıcısı, batarya ve kuyruk hareketlerini verecek servo motorlardan oluşmaktadır. Elektronik aksamın bağlantı şeması aşağıda (**Şekil 3.31**) gösterilmiştir.



Şekil 3.31. Ornithopter sisteminin elektronik bağlantı şekli (Anonim 8 2023)

Yukarıdaki şemaya göre elektronik montaj çalışmaları yapılırken bilinmeyen bir sebepten dolayı ESC ile alıcı arasındaki bağlantı kablosu yanmıştır. Bu sebeple seçilen motor ve ESC yerine alternatif bir motor bağlanmıştır.



Şekil 3.32. Ornithopter sistemine elektronik parçaların bağlanmış hali

Sisteme elektronik parçaların bağlanmasından sonra kanat ana giriş, kanat ara giriş bağlantıları yapılarak sisteme ilk hareketi verilmiştir. Sonrasında d-c-fix marka plastik türevli kaplama malzemesi kanat girişleri üzerine Pritt hamur yapıştırıcı ile

takviye edilerek yapıştırılmıştır. Üretim süreci bu şekilde sonlandırılmıştır. Türk Kartalı Tuğrul ismini verdiğimiz ornithopterin bitmiş hali **Şekil 3.33**'de verilmiştir.



Şekil 3.33. Türk Kartalı Tuğrul

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışma tasarım ve üretim aşamasında üretilecek olan ornithopter sisteminin çok hassas bir yapım süreci olduğunu göstermiştir. Verimli bir uçuş sağlayabilecek bir sistemin üretiminin onlarca deneme ile yapılabileceği kanısına varılmıştır. Bu sebeplerden dolayı da üretim süreci uzun yıllar alabilmektedir.

Burada öncelikle kanat sisteminin verimli bir ters hava akımı yani türbülans oluşturmaları için esnek bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Böylelikle kanat altındaki basınç miktarı arttırılmış olacak sistem daha büyük bir kaldırma kuvveti ile uçuşunu gerçekleştirebilecektir. Ayrıca kanat üst alanı da kaldırma kuvveti için ana esaslardandır. Aerodinamik kaldırma kuvvetinin denklemiyle bu hususlar ispatlanmış durumdadır.

$$L = \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \quad \text{ve} \quad \rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad (4.1)$$

Burada;

L: Kaldırma kuvveti (N)

C_L : Kaldırma katsayısı

ρ : Akan havanın yoğunluğu (kg/m^3)

V: Akan havanın hızı (m/s)

S: Kanat üst görünüm alanı (m^2)

P: Basınç (N/m^2)

R: Sıcaklık katsayısı

T: Sıcaklık (K)

Türk Kartalı Tuğrul'un Üretimi esnasında yukarıda bahsi geçen kanat kirişi gibi malzemelerin esnek olması gerekirken; iskelet ve kanat mesnet yuvası gibi parçaların daha rijit yapıya sahip olmasının gerekliliği görülmüştür. Özellikle iskelet sisteminin ufak bir esnemesi sistemin mekanik çalışma unsurlarının eksenini kaydırarak sistemde verim kaybına veya sistemin kilitlenmesine sebebiyet vermektedir. Bu durumda uzun süreli uçuşlara engel teşkil etmektedir.

Sistem tasarlanırken gövde kısmı maliyet koşulları uygun olursa Karbonfiber malzemeden daha az bütçe istenirse ise PETG (Polietilen Tereftalat Glikol) plastiğinden veya yukarıda bahsi geçen PLA plastikten üretilmelidir. Kanatların esnek ve mukavemetli olabilmesi için ABS malzemeden üretilmelidir. Kanat yüzeyi ise yoğunluğu düşük ince bir kaplama malzemesi ile kaplanmalıdır.

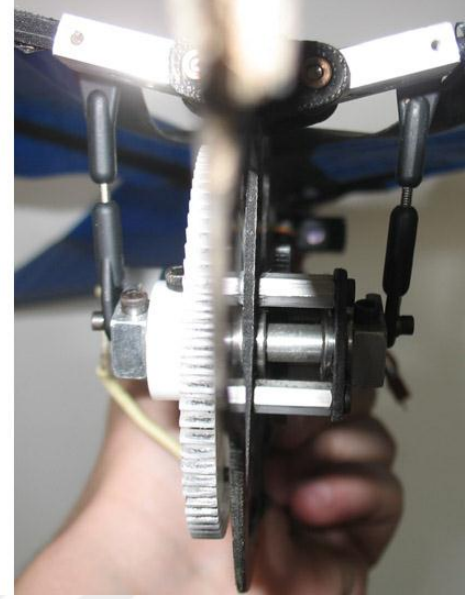
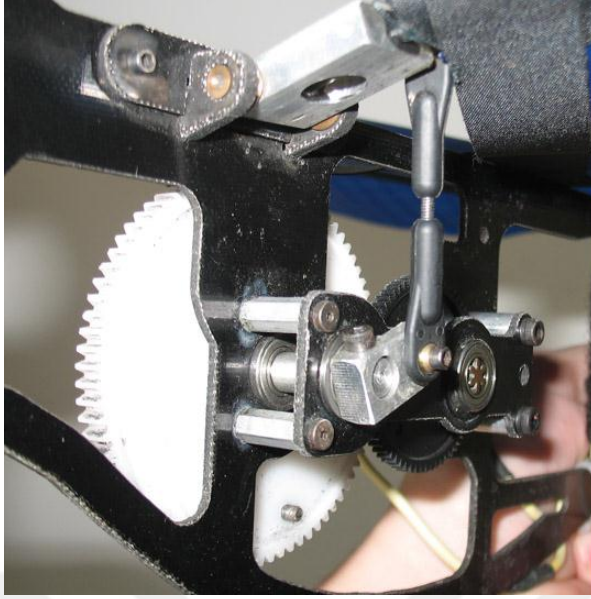
Sistem parçalarının Katmanlı imalat yöntemi ile üretilirken parçaların hassas ölçüde ve ince cidarlı olmasından dolayı 3B yazıcı tablasına yapışma parametreleri ayarlanmalıdır. ABS plastik üretiminde Creality Ender 3 V2 için tabla sıcaklığı en az

99 °C ve makinanın plastiği erittiği nozul sıcaklığı ise 240 °C'ye ayarlanmalıdır. Yazdırma hızı olarak 50mm/s aşılmamalıdır. Parçanın ilk katman basım hızları ise 50 mm/s seçilmelidir. Malzeme çarpılmalarını engellemek için 3B yazıcının tabla yüzeyi ile dış ortam arasındaki ısı alışverişini kesici bir önlem alınmalıdır. Bu da sistemin dışına şeffaf duvarlara sahip bir dış kasa vasıtasıyla yapılabilir.



Şekil 4.1. Creality Ender 3 V2 için dış ortamdan ısı alışverişini kesici kasa yapımı

Bu projede geliştirilmesi gereken diğer bir husus ise özellikle sistemi tahrik eden motor miline yatak tasarımı yapılarak sistemin daha rijit ve sürtünmesiz bir şekilde tahrik edilmesi gerekliliğidir. Elde edilen sistemde motor mili sisteme hareket verildiği anda motoru tutan yüzey esneme yapmakta ve pinyon dişli yerinden oynayarak güç iletiminde verim kaybına sebep olmaktadır. Motor miline ABS plastik malzemeden yataklama yapıldığında ise sürtünme oluşarak motorun hareketi zorlanmaktadır. Bir sonraki çalışmada bu sorunları ortadan kaldıracak bir yatak tasarımı yapılacaktır.



Şekil 4.2. Jackowski'nin PhoneX isimli ornithopterinin dişli kutusu tasarımı (Jackowski 2009)

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi tahrik sistemi kanat kirişlerine paralel değil de dik olarak da tasarlanabilir. Dişlilerin çalışabileceği alan arttırılmış aynı zamanda çalışacak dişli sayısı azaltılmış olur. Bu sayede pinyon dişli ile tahrik dişlisi arasında çevrim oranı arttırılarak motordan alınan devri daha düşük bir şekilde kanatlara aktarılabilir.

İnsansız hava aracında daha verimli bir güç aktarımı için dişliler yoğunluğu düşük mukavemeti yüksek olan Alüminyum malzemeden üretilebilir. Böylelikle olası diş aşınmalarının ve malzeme esnemelerinin önüne geçilmiş olunur.

Ornithopter sisteminin çalışmasının daha sessiz ve sürtünmesiz olabilmesi için kanat mesnet yuvaları, dişli ve biyel montaj yuvalarının içerisine metal yuva gömülerek buna ek olarak bu parçaların montajı mil üzeri sekman vasıtası ile yapılmalıdır. Veya üretim yönteminde tasarım özgürlüğü olduğu için söz konusu bu geçmeler özel tasarlanmış tırnaklar ile de gerçekleştirilebilir.

Ayrıca sistemin manevra sisteminin değiştirilmesi de söz konusu olabilir. Kanatlar ve kuyruk üzerine günümüz uçaklarındaki gibi flap sistemi konulabilir. Flap mekanizmaları Flaplar; uçakların genellikle kanat firar kenarında bulunan; kanat kamburluğunu artırarak öncelikle taşıma kuvvetini (L) arttıran kumanda yüzeyleri olarak adlandırılabilir. Bu görevi yapabilecek diğer bir mekanizma ise karbon fiber tasarım yapılmış ve uçaklar gibi kanat profiline sahip ornithopterler için kullanılabilir. Kanatların ortasına yerleştirilmiş dönme mili ve servo motor bağlantısı ile sisteme yön verilebilir.

Sistem üzerine oto pilot, jiroskop, akışmetre, video aktarım ünitesi gibi elektronikler de eklenerek amacına uygun hale getirilebilir. Hatta kamikaze uçuşu için faydalı yük eklenerek düşman unsurlarına ani bir müdahale edilebilir.

5.SONUÇLAR

Bu çalışmada Ornithopterlerin literatürde net bir uçuş prensibi olmaması dolayısıyla direkt olarak doğadan esinlenerek ve deneme yanılma usulüyle çıkarımlar yapılabilmektedir.

İlk olarak yapılan mekanizmada kartalın gerçek ölçülerin faydalanılmış gerçek ölçülerde bir kanat ana iskelet ve mekanizma modeli yapılmıştır. Model elektrik motoru ile tahrik edildiğinde aşırı derecede dinamik yüke maruz kaldığı gözlenmiştir. Dinamik yüklerin kanat uzuvlarının uzunluğuna oranla küçük ve ince profile sahip olmasından kaynaklandığı gözlenmiştir. Özellikle kanat ucu eklemine dişliler ve eklem bağlantılarında çok fazla moment etkisi oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuç dolayısıyla sistemin daha küçük ve kanat sisteminin çift eklemli yerine tek eklemli olarak tasarlanması yoluna gidilmiştir.

Tek mesnetli kanat sisteminin kanat altında daha fazla basınç oluşturabilmesi için esnek bir şekilde hareket etmesi gerektiği gözlenmiş ABS plastik tipinde bir hammadde ile üretim yapılması gerekliliği ön görülmüştür. Sistemde üretilecek tüm parçaların ABS plastik ile üretilmesi yoluna gidilmiş fakat açık kasa FDM katmanlı yazıcıların ani soğuma etkisinden dolayı üretilen kalın cidarlı parçalarda çarpılmalara yani şekil bozulmalarına uğradığı görülmüştür. Bu sebeple iskelet gibi parçaların üretimine PLA tipi plastik ile devam edilmiştir. Bu parçaların ABS plastiğe göre daha rijit bir yapıda olduğu gözlenmiştir. Ayrıca açık kasa FDM yazıcılarda ABS plastik ile imalat yaparken yazıcıya özel yazıcı tablası ile dış ortam arasındaki hızlı ısı alışverişini kesen bir muhafaza yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Nihai tasarım için takılan motor 146w fırçasız elektrik motorunun , servo motorların ve elektronik sistemin yeterli olduğu tespit edilmiştir. Kumanda sistemin ise 6 kanallı olması biyonomik kuşa verilecek hareketler ve devir kontrolü için de yeterli olduğu görülmüştür.

Dişli gibi yüzeylerin sürtünmesi ile çalışan parçaların PLA plastik ile üretimi PLA'nın gevrek olması dolayısıyla kırılmaya uğradığı görülmüştür. ABS plastik ile üretilen bu tip parçalarda kırılma görülmese de rijitlik konusunda sorun teşkil ettiği gözlenmiştir. Bunun için Alüminyum gibi hem hafif hem de mukavemetli metalden dişli, biyel gibi parçaların üretilmesinin daha iyi sonuçlar vereceği kanısına varılmıştır.

Mekanik olarak bu ve buna benzer çalışmalar deneme yanılma metodu ve sürekli test yaparak ilerlediği için uzun soluklu bir çalışmadır. Bu proje basitten karmaşığa doğru ilerleyecektir. Yukarıda bahsi geçen geliştirmeler bir sonraki süreçlerde yapılacak, testler ve denemeler sürdürülecektir.

Elektronik olarak sistem üzerine oto pilot, jiroskop, akışmetre, video aktarım ünitesi, kontrol paneli canlı izleme modülü gibi geliştirmeler yapılacaktır.

Mekanik ve elektronik geliştirmelerden sonra ticari bir ürün ortaya konularak ülkemizde eksikliği hissedilen bu alanda kazanım elde edilmesi hedeflenmektedir.

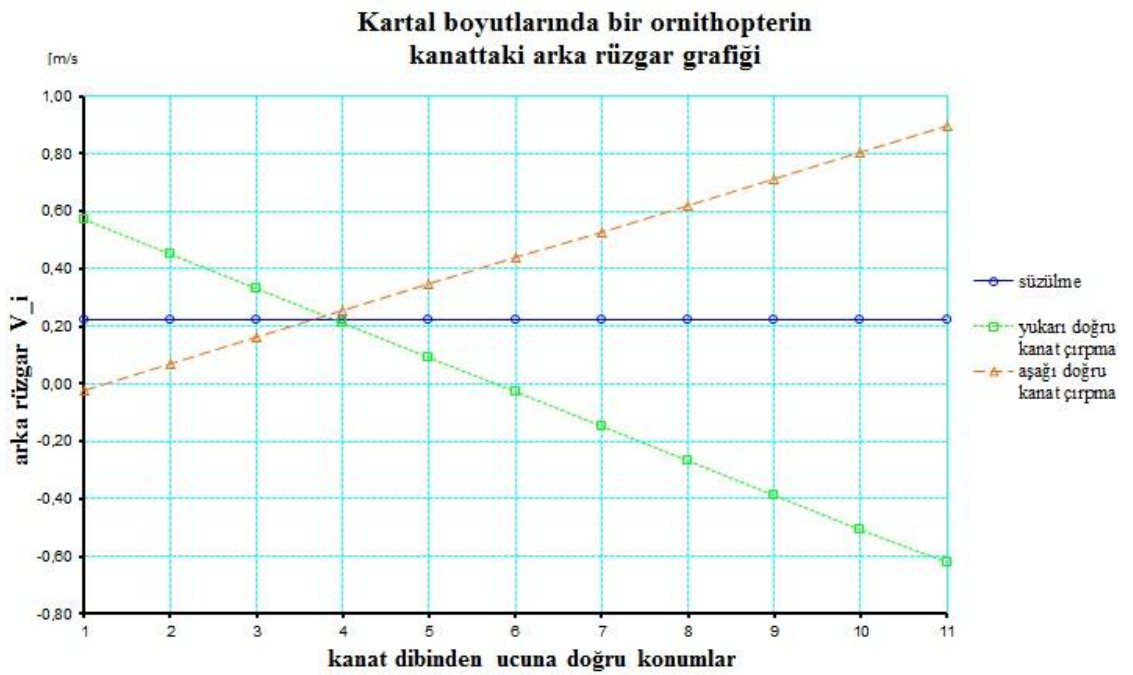
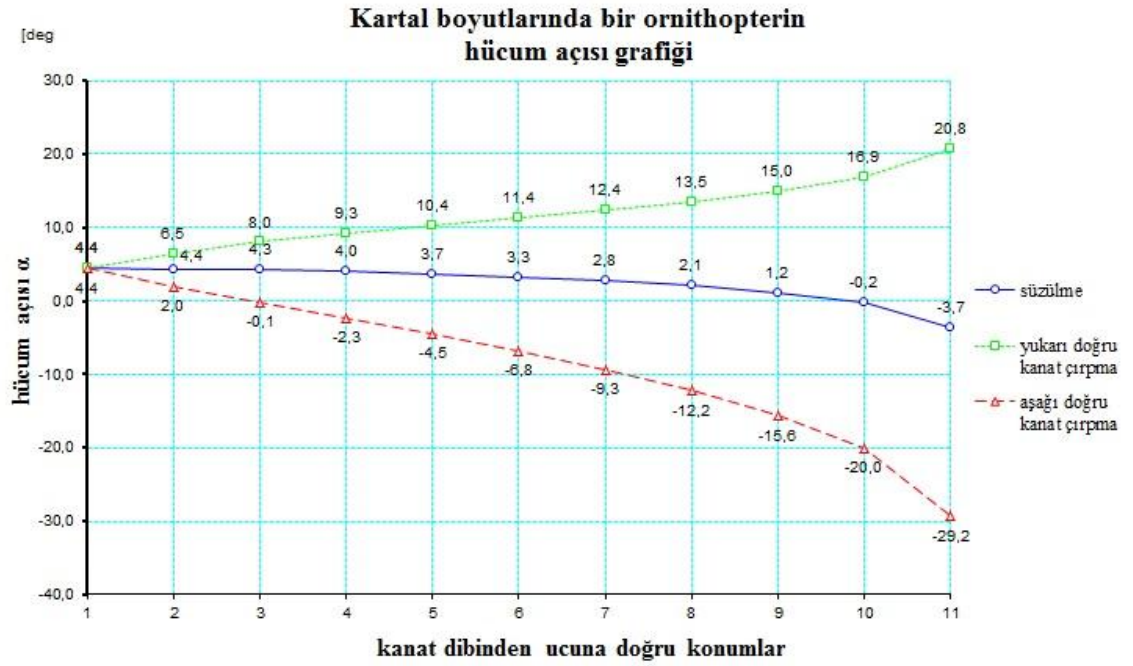
6.KAYNAKLAR

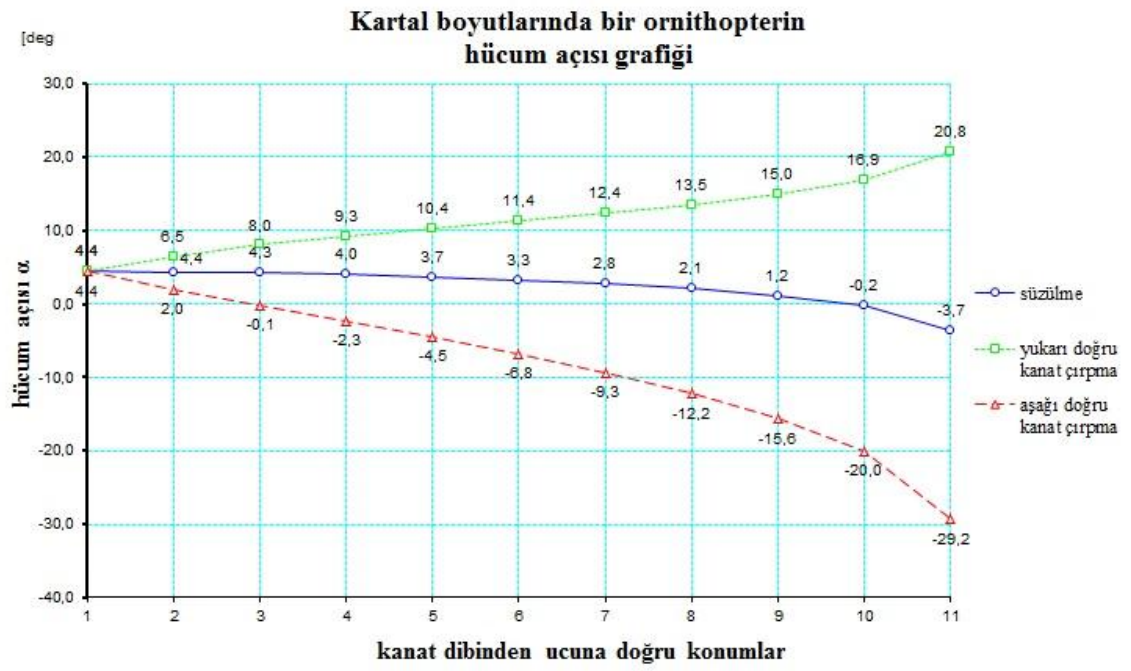
- Abel I. 2014. Design and Feasibility Study of Personal Ornithopters, Department of Engineering, Swarthmore College.
- Anonim 1: <https://islamansiklopedisi.org.tr/abbas-b-firnas> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonim 2: <https://www.advenport.com/makale/ucak-icat-edilmeden-once-ucmayi-deneyen-5-insan> [Son erişim tarihi: 07.04.2022].
- Anonim 3: fikriyat.com/galeri/tarih/abbas-ibn-firnas/7 [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonim 4: [https://tr.wikiqube.net/wiki/Glider_\(sailplane\)#cite_note-DAeC-handicap-19](https://tr.wikiqube.net/wiki/Glider_(sailplane)#cite_note-DAeC-handicap-19) [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonim 5: <https://www.timeturk.com/hezarfen-ahmet-celebi/biyografi-796210> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonim 6: <https://tr.wordssidekick.com/top-10-bungled-attempts-at-one-person-flight-28679> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonim 7 : 1985. Engineering & Science Dergisi
- Anonim 8: <https://www.promodelhobby.com/blog/icerik/rc-esc-calismiyor-neleri-kontrol-etmeli-ne-yapmali> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonymous 1: https://en.wikipedia.org/wiki/Early_flying_machines [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonymous 10: <https://www.animal-dynamics.com/skeeter> [Son erişim tarihi: 07.04.2022].
- Anonymous 2: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ornithopter> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonymous 3: https://invention.psychology.msstate.edu/i/Chanute/library/Prog_Wings_Nov1891.html [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonymous 4: <https://ornithopter.org/history.full.shtml> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonymous 5: <https://www.lawrencehargrave.org/index.php/inventions/ornithopter> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonymous 6: https://www.gracesguide.co.uk/Edward_Purkis_Frost [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonymous 7: <https://blog.sciencemuseum.org.uk/wp-content/uploads/2013/08/Ornithopter1.jpg> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonymous 8: <https://ornithopter.org/history.manned.shtml> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Anonymous 9: <https://www.uasvision.com/2020/04/24/dragonfly-inspired-drone-from-animal-dynamics/> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Arndt, R. <http://discaircraft.greyfalcon.us/Adalbert%20Schmid%20Ornithopter.htm> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].

- Baggaley, B. 2016. Flapping wings robot, Major Qualifying Projects: Ornithopter, Digital WPI Major Qualifying Projects (All Years).
- Benjamin, J. 2011. Tracing the History of the Ornithopter: Past, Present, and Future, Goodheart, Journal of Aviation/Aerospace, Education & Research, Embry, Riddle Aeronautical University.
- Borcim, S. 2019. <https://microbirds.com/metafly-rc-biomimetic-ornithopter-radio-control-flying-bird/> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Botham, J. <https://www.onverticality.com/blog/besnier-flying-apparatus> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Bottam, J. <https://www.onverticality.com/blog/abbas-ibn-firnas-attempt-at-flight> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Chowdhury, S. Ghosh, K. And Singha A. 2021. Numerical Study of a Flapping Wing Flight, Indian Institute of Engineering Science and Technology, Shibpur.
- Çelebi, E. 1848.Seyahatname, Cilt 1, S. 670, İstanbul.
- Duffin, J. 1997. RoboRaptor Wildlife Control Ornithopter, Aerospace Science and Engineering University of Toronto.
- Festo. 2012. https://www.youtube.com/watch?v=kA7PNQiHT1Q&ab_channel=Festo [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Fuller, J. <https://science.howstuffworks.com/transport/flight/classic/ten-bungled-flight-attempt.htm#pt5> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Hare, T.V. 2012. <http://fly.historicwings.com/2012/06/joao-de-almeida-torto-flies/> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Hitti, P. K.1980. Siyasi ve Kültürel İslâm Tarihi III, (Çev: Salih Tuğ), İstanbul.
- Holten, T. V. and Gerwen, D.J. 2008. A New Approach to Forced Flapping for The Ornithopter, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Hunt, S. 2017. A Study on the Control, Dynamics, and Hardware of Micro Aerial Biomimetic Flapping Wing Vehicles.
- Irtak, K. 2021. <https://www.aa.com.tr/tr/teknofest/agrili-ogrencilerin-atmacasi-teknofestte-havalandi/2375285#> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Jackowski, Z.J. 2009. Design and Construction of an Autonomous Ornithopter, Massachusetts Institute of Technology, USA.
- Jamsari , E., Nawi, M., Sulaiman, A., Sidik, R., Zaidi,Z., and Ashari, M. 2013.Ibn Firnas and His Contribution to the Aviation Technology of the World, Malezya.
- Keennon, M., Klingebiel, K., Won, H. and Andriukov, A. 2012. Development of the Nano Hummingbird: A Tailless Flapping Wing Micro Air Vehicle, 50th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition 09 - 12 January, Nashville, Tennessee.
- Küçük,R., Emecen,F., Uzun,M.İ., Özel,A., Durmuş,İ., Özcan,N., Çağrıçı,M., Harman, Ö.F., Uludağ, S., Topaloğlu,B., vd. 1993. TDV İslâm Ansiklopedisi VII. Cilt, S 459, İstanbul.

- Mau, S. 2003. Ornithopter Wing Optimization, Institute for Aerospace Studies, University of Toronto, Canada.
- Michelson, R.C. 2022. Neurotechnology for Biomimetic Robots(Entomopter)”, Georgia Tech Research Institute, Georgia Institute of Technology.
- Nergiz, A. 2016. <https://www.havayolu101.com/2016/10/07/ucak-kanatlarinin-uclari-neden-kivriktir/> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Ornithopter Zone. 2017. https://www.youtube.com/watch?v=3SUymaAYkoc&ab_channel=OrnithopterZone [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Preethi, K.P. et al. 2016. Int. Journal of Engineering Research and Applications ISSN: 2248-9622, Vol. 6, Issue 1, Part 3,133-150.
- Pushka, D. <https://www.shutterstock.com/tr/image-vector/leonardo-da-vinci-sketch-designs-flying-432261988> [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Rabiger, H. 2011.Wie Ornithopter fliegen, Aerodynamik und Dynamik großer Schlagflügelmodelle,
- Robert, C. 2006. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Yellow_SLA_Entomopter.jpg [Son erişim tarihi: 14.01.2023].
- Straathof, M.H., Holten, T. V. and Gerwen, D.J. 2008. Ornicopter behavior in forward flight, , Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- United States Patent Application Publication. 2002. Ornithopter, Pub. No.: US 2002/0173217 A1, USA.
- Wan, J. and Pavel M.D. 2015. Designing the Ornicopter, a tailless helicopter with active flapping blades: a case study, Proc IMechE Part G:J Aerospace Engineering.
- Wolff,K., Nordin P. and Augustsson, P. 2002. Creation Of A Learning, Flying Robot By Means Of Evolution, Conference: GECCO 2002: Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, New York, USA.
- Yavçin, E. 2014. Uçma hareketinin biyomekaniğinin incelenmesi ve robotik kuş tasarımı, Yüksek lisans tezi,Sakarya,128s.
- Yükselen, A. 2014. İTÜ Uçak Mühendisliğine Giriş ve Etik Ders Notları, 5. Bölüm Uçuşun Esasları, İstanbul.
- инфо, СРБИН. 2014. ЈЕДАН СРБИН ЈЕ ПОКУШАО ДА ЛЕТИ: Ово је прича о српском Икару, калфи Манојлу, СРБИН.ИНФО.

7.EKLER





ÖZGEÇMİŞ

SAİT BÜYÜKKAYA

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2019-2023	Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi
2010-2015	Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Trabzon

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Tasarım ve İmalat Lideri	DAMAŞ
2022-Devam Ediyor	Tasarım ve İmalat Birimi, Antalya
İşletmeci	WINKDRY
2017-2022	İşletme Sahibi, Antalya

ESERLER

1- Büyükkaya, S. ve Akın, Y. 2015. Kaşif Kuş Ebabil, Lisans Bitirme Çalışması, Trabzon