

**T.C.**  
**MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ**  
**ATATÜRK STRATEJİK ARAŞTIRMALAR VE LİSANSÜSTÜ**  
**EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**HAVACILIK VE UZAY MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**HAVACILIK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**KARGO AMAÇLI DİKEY KALKIŞLI İNSANSIZ**  
**HAVA ARACI TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SEDA ERDOĞAN**  
**2191102**

**TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ HAYRİ ACAR**

**İSTANBUL**  
**TEMMUZ 2023**

**T.C.**  
**MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ**  
**ATATÜRK STRATEJİK ARAŞTIRMALAR VE LİSANSÜSTÜ**  
**EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**HAVACILIK VE UZAY MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**HAVACILIK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**KARGO AMAÇLI DİKEY KALKIŞLI İNSANSIZ**  
**HAVA ARACI TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SEDA ERDOĞAN**  
**2191102**

**TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ HAYRİ ACAR**

**İSTANBUL**  
**TEMMUZ 2023**

**T.C.**  
**MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ**  
**ATATÜRK STRATEJİK ARAŞTIRMALAR VE LİSANSÜSTÜ**  
**EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**HAVACILIK VE UZAY MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**HAVACILIK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**KARGO AMAÇLI DİKEY KALKIŞLI İNSANSIZ**  
**HAVA ARACI TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SEDA ERDOĞAN**  
**2191102**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18.07.2023**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 20.06.2023**

**Tez oy birliği / ~~Oy çokluğu~~ ile başarılı bulunmuştur.**

|                      |                                     |             |
|----------------------|-------------------------------------|-------------|
|                      | <b>Unvan Ad Soyad</b>               | <b>İmza</b> |
| <b>Tez Danışmanı</b> | <b>Dr. Öğr. Hayri ACAR</b>          |             |
| <b>Jüri Üyeleri</b>  | <b>Dr. Öğr. Üyesi Serhat YILMAZ</b> |             |
|                      | <b>Prof. Dr. Fırat Oğuz EDİS</b>    |             |

**İSTANBUL**  
**TEMMUZ 2023**

## ÖZGÜNLÜK RAPORU

Tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç kısımlarından oluşan toplam 53 sayfalık kısmına ilişkin, 18.07.2023 tarihinde Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan özgünlük raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %13' dür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Millî Savunma Üniversitesi Atatürk Stratejik Araştırmalar ve Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Özgünlük Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Usul ve Esasları' nı inceledim ve bu Uygulama Esasları' nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Seda ERDOĞAN

18.07.2023

## ETİK BEYAN

Millî Savunma Üniversitesi Enstitüleri Dönem Projesi ve Lisansüstü Tez Hazırlama Kılavuzu'nda yer alan kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir; aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bu tezdeki düşünce, görüş, varsayım, sav veya tezler bana aittir; Millî Savunma Bakanlığı, Millî Savunma Üniversitesi ve Atatürk Stratejik Araştırmalar ve Lisansüstü Eğitim Enstitüsü sorumlu tutulamaz.

.

Seda ERDOĞAN

18.07.2023

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmamda bana destek olan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hayri Acar'a teşekkürlerimi sunarım. Tezimin yazım sürecinde her zaman yanımda olan, desteğini ve vaktini benden esirgemeyen Burak Özbek'e çok teşekkür ederim.

Her zaman bana katkılarından dolayı, kararlarımda her daim destekçi oldukları ve beni motive ettikleri için kıymetli aileme teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul, Temmuz 2023

Seda ERDOĞAN

## İÇİNDEKİLER

|                                                                           |      |
|---------------------------------------------------------------------------|------|
| ETİK BEYAN .....                                                          |      |
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....                                                   |      |
| İÇİNDEKİLER .....                                                         | vi   |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                       | viii |
| TABLO LİSTESİ .....                                                       | ix   |
| KISALTMALAR .....                                                         | x    |
| TÜRKÇE ÖZ .....                                                           | xi   |
| İNGİLİZCE ÖZ (ABSTRACT) .....                                             | xii  |
| 1. GİRİŞ .....                                                            | 1    |
| 1.1. Tezin Amacı .....                                                    | 1    |
| 1.2. Uygulanabilirlik .....                                               | 1    |
| 2. İNSANSIZ HAVA ARACI TANIMI .....                                       | 2    |
| 3. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TARİHÇESİ .....                              | 3    |
| 4. İNSANSIZ HAVA ARACI KULLANIM ALANLARI .....                            | 8    |
| 4.1. Keşif ve Gözetleme Amacı ile Kullanılan İnsansız Hava Araçları ..... | 8    |
| 4.1.1. Askeri Alanda Gözetleme .....                                      | 8    |
| 4.1.2. Sivil Alanda Gözetleme ve Keşif .....                              | 8    |
| 4.1.2.1. Yangın, Doğal Afet Durumlarında Kullanım .....                   | 8    |
| 4.1.2.2. Tarımsal Faaliyetlerde Kullanımı .....                           | 9    |
| 4.1.2.3. Bilimsel Araştırmalarda Kullanım .....                           | 10   |
| 4.2. Silahlı İnsansız Hava Aracı Sistemleri .....                         | 11   |
| 4.3. Haritalama Kabiliyetli İnsansız Hava Aracı Sistemleri .....          | 12   |
| 4.4. Kargo Amaçlı İnsansız Hava Aracı Sistemleri .....                    | 12   |
| 5. KARGO AMAÇLI DİKEY KALKIŞLI İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI .....         | 17   |
| 5.1. Tasarımın Genel Tanımı .....                                         | 17   |
| 5.2. Güç Hesabı ve Bileşenleri .....                                      | 19   |
| 5.2.1. Hava Aracı Bileşen Ağırlıkları .....                               | 19   |
| 5.2.2. Dikey Kalkış Gücü Hesaplama .....                                  | 20   |
| 5.2.3. Tırmanış ve Seyir Hesaplamaları .....                              | 21   |
| 5.2.3.1. Kuvvet, Güç ve Enerji Hesaplamaları .....                        | 21   |
| 5.3. Motor Seçimi .....                                                   | 25   |
| 5.4. Kanat Hesaplamaları ve Tasarımı .....                                | 26   |
| 5.4.1. Kanat Alanı .....                                                  | 26   |
| 5.4.2. Kanat Sayısı ve Konumu .....                                       | 26   |
| 5.4.3. Kanat Profili Seçimi .....                                         | 27   |
| 5.4.4. Aspect Ratio (AR) .....                                            | 28   |
| 5.4.5. Taper Ratio ( $\lambda$ ) .....                                    | 28   |
| 5.4.6. Kanat Açıklığı (b) .....                                           | 28   |
| 5.4.7. Ortalama Aerodinamik Veter (MAC, $C$ ) .....                       | 29   |
| 5.4.8. Ok Açısı ( $\Lambda$ ) .....                                       | 29   |
| 5.4.9. Burulma Açısı .....                                                | 29   |

|                                                                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.4.10. Dihedral Açısı .....                                                                                  | 30        |
| 5.4.11. Kanat Seyir Taşıma Katsayısı ( $CLC$ ) .....                                                          | 30        |
| 5.4.12. Kanat Incidence Açısı ( $i_w$ ).....                                                                  | 30        |
| 5.5. YATAY KUYRUK HESAPLAMALARI VE TASARIMI .....                                                             | 32        |
| 5.5.1. Kuyruk Konfigürasyonu .....                                                                            | 32        |
| 5.5.2. Kuyruğun Yatay Konumu .....                                                                            | 32        |
| 5.5.3. Yatay Kuyruk Hacim Katsayısı ( $VH$ ).....                                                             | 33        |
| 5.5.4. Optimum Kuyruk Moment Kolu .....                                                                       | 33        |
| 5.5.5. Yatay Kuyruk Alanı .....                                                                               | 33        |
| 5.5.6. Kanat Gövde Yunuslama Moment Katsayısı .....                                                           | 34        |
| 5.5.7. Yatay Kuyruk İstenilen Seyir Taşıma Katsayısı .....                                                    | 34        |
| 5.5.8. Kuyruk Profili Seçimi .....                                                                            | 34        |
| 5.5.9. Ok Açısı – Dihedral Açısı .....                                                                        | 35        |
| 5.5.10. Yatay Kuyruk Aspect Ratio ( $AR_h$ ) ve Taper Ratio ( $\lambda_h$ ) .....                             | 35        |
| 5.5.11. Yatay Kuyruk Taşıma Eğrisi Eğimi ( $CL_{\alpha_h}$ ) .....                                            | 36        |
| 5.5.12. Yatay Kuyruk Seyir Hücüm Açısı ( $\alpha_h$ ) .....                                                   | 36        |
| 5.5.13. Kuyruk Seyir Downwash Açısı ( $\epsilon_o$ ) ve Downwash Eğimi $\partial\epsilon\partial\alpha$ ..... | 36        |
| 5.5.14. Yatay Kuyruk Incidence Açısı ( $i_h$ ).....                                                           | 37        |
| 5.5.15. Yatay Kuyruk Açıklığı ( $b_h$ ), Yatay Kuyruk Kök Veteri , Yatay Kuyruk Uç Veteri .....               | 37        |
| 5.5.16. Yatay Kuyruğun Dikey Konumu ( $h_t$ ).....                                                            | 38        |
| 5.6. Dikey Kuyruk Hesaplamaları ve Tasarımı .....                                                             | 38        |
| 5.6.1. Dikey Kuyruk Hacim Katsayısı ( $VV$ ) .....                                                            | 38        |
| 5.6.2. Dikey Kuyruk Moment Kolu.....                                                                          | 38        |
| 5.6.3. Dikey Kuyruk Alanı.....                                                                                | 39        |
| 5.6.4. Kuyruk Profili Seçimi .....                                                                            | 39        |
| 5.6.5. Dikey Kuyruk Aspect Ratio ( $AR_v$ ) ve Taper Ratio ( $\lambda_v$ ) .....                              | 39        |
| 5.6.6. Dikey Kuyruk Incidence Açısı .....                                                                     | 40        |
| 5.6.7. Ok Açısı ( $\Delta v$ ) ve Dihedral Açısı ( $\Gamma v$ ).....                                          | 40        |
| 5.6.8. Dikey Kuyruk Açıklığı ( $b_v$ ), Dikey Kuyruk Kök Veteri, Dikey Kuyruk Uç Veteri .....                 | 40        |
| 5.7. Stabilité Hesaplamaları .....                                                                            | 41        |
| 5.7.1. Ağırlık Merkezi Moment Etkisi .....                                                                    | 41        |
| 5.7.2. Ağırlık Merkezinin Bulunması .....                                                                     | 41        |
| 5.7.3. Kanat ve Kuyruğun Momente Etkisi.....                                                                  | 42        |
| 5.8. Analiz Sonuçları .....                                                                                   | 44        |
| 5.8.1. Taşıma katsayısı – Hücüm Açısı .....                                                                   | 45        |
| 5.8.2. Sürükleme Katsayısı – Hücüm Açısı .....                                                                | 46        |
| 5.8.3. L/D alfa Taraması .....                                                                                | 46        |
| 5.8.4. Farklı Hücüm Açılarında Moment Katsayısı Taraması .....                                                | 47        |
| <b>6. SONUÇ .....</b>                                                                                         | <b>48</b> |
| <b>KAYNAKÇA.....</b>                                                                                          | <b>49</b> |
| <b>EK:1 .....</b>                                                                                             | <b>51</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                                         | <b>53</b> |



## ŞEKİL LİSTESİ

|           |                                                                                       |    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1:  | Aerial Torpedo.....                                                                   | 3  |
| Şekil 2:  | Falconer Hedef Uçağı .....                                                            | 4  |
| Şekil 3:  | Mastiff İHA.....                                                                      | 4  |
| Şekil 4:  | Bayraktar Mini İHA .....                                                              | 5  |
| Şekil 5:  | Anka İHA .....                                                                        | 6  |
| Şekil 6:  | Bayraktar TB-2 .....                                                                  | 6  |
| Şekil 7:  | Bayraktar Akıncı .....                                                                | 7  |
| Şekil 8:  | Bayraktar Kızılelma .....                                                             | 7  |
| Şekil 9:  | Yangın Bölgesinde İHA Termal Kamerasından Yansıyan Görüntü .....                      | 9  |
| Şekil 10: | Drone taşımacılığının yıllara göre pazar büyüklüğü. (Precedence Research, 2020) ..... | 14 |
| Şekil 11: | Kullanım Konsepti .....                                                               | 18 |
| Şekil 12: | Kargo Amaçlı Dikey Kalkışlı İHA .....                                                 | 18 |
| Şekil 13: | Gerekli Kuvvet ve Güç Diyagramı .....                                                 | 22 |
| Şekil 14: | Teorik Kuvvet Hesabı .....                                                            | 26 |
| Şekil 15: | Kanat Profillerinin Karşılaştırması .....                                             | 27 |
| Şekil 16: | Kanat Yüzeyinde Taper Ratio Etkisi .....                                              | 28 |
| Şekil 17: | Burulma Açısı Değerleri (Sadraey) .....                                               | 30 |
| Şekil 18: | XFLR5 Kanat Analizi Sonucu.....                                                       | 31 |
| Şekil 19: | Taşıma Kuvveti Dağılımı .....                                                         | 32 |
| Şekil 20: | Stabilite Grafiği.....                                                                | 44 |
| Şekil 21: | Taşıma Katsayısı Alfa Taraması .....                                                  | 45 |
| Şekil 22: | Sürükleme Katsayısı- Alfa Taraması .....                                              | 46 |
| Şekil 23: | Taşıma / Sürükleme Oranı Alfa Taraması .....                                          | 47 |
| Şekil 24: | CM - Alfa Taraması .....                                                              | 47 |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1: Taşımacılık Faaliyetlerinde İHA Kullanan İşletmeler (Javadi ve diğ,2021) ..... | 13 |
| Tablo 2: İHA Özellikleri.....                                                           | 18 |
| Tablo 3: İHA Bileşen Ağırlıkları .....                                                  | 19 |
| Tablo 4: Hacker Marka Elektrik Motor Modellerinin Performans Değerleri.....             | 20 |
| Tablo 5: Farklı Seyir Hızları için güç Hesabı .....                                     | 24 |
| Tablo 6: Farklı Tırmanış Hızları için Güç Hesabı .....                                  | 24 |
| Tablo 7: İçten Yanmalı Motor Karşılaştırması .....                                      | 25 |
| Tablo 8: Yatay ve Dikey Kuyruk Hacmi Katsayıları İçin Tipik Değerler (Sadraey) .....    | 33 |
| Tablo 9: Çeşitli Hava Araçlarının Yatay Kuyruk Karakteristikleri .....                  | 35 |
| Tablo 10: Çeşitli Hava Araçlarının Yatay Kuyruk Karakteristikleri .....                 | 35 |
| Tablo 11: NACA0009 Özellikleri.....                                                     | 36 |

## KISALTMALAR

|                    |                                          |
|--------------------|------------------------------------------|
| <b>İHA</b>         | :İnsansız Hava Aracı                     |
| <b>Cl</b>          | :Taşıma Katsayısı                        |
| <b>CD</b>          | :Sürüklenme Katsayısı                    |
| $\lambda$          | : Taper Ratio                            |
| <b>Ct</b>          | :Uç veter                                |
| <b>Cr</b>          | :Kök Veter                               |
| <b>b</b>           | :Kanat Açıklığı                          |
| <b>MAC</b>         | :Ortalama Aerodinamik Veter              |
| $A$                | :Ok Açısı                                |
| $\alpha_t$         | :Burulma Açısı                           |
| $C_{Lc}$           | :Kanat Seyir Taşıma Katsayısı            |
| $C_{m_{o, wf}}$    | : Kanat/Gövde Yunuslama Moment Katsayısı |
| $AR_h$             | :Yatay Kuyruk Açıklık Oranı              |
| $C_{L_{\alpha_h}}$ | : Yatay Kuyruk Taşıma Eğrisi Eğimi       |
| $\alpha_h$         | : Yatay Kuyruk Seyir Hücüm Açısı         |
| $\varepsilon_o$    | : Kuyruk Seyir Downwash Açısı            |
| $i_h$              | : Yatay Kuyruk Incidence Açısı           |
| $h_t$              | : Yatay Kuyruğun Dikey Konumu            |
| $\bar{V}_v$        | : Dikey Kuyruk Hacim Katsayısı           |
| $l_v$              | : Dikey Kuyruk Moment Kolu               |
| $S_v$              | : Dikey Kuyruk Alanı                     |

## **TÜRKÇE ÖZ**

### **Kargo Amaçlı Dikey Kalkışlı İnsansız Hava Aracı Tasarımı**

Seda ERDOĞAN

Milli Savunma Üniversitesi, Atatürk Stratejik Araştırmalar ve Lisansüstü Eğitim  
Enstitüsü

İstanbul, Temmuz 2023

İnsansız hava aracı kullanımı geçtiğimiz yıllarda dünya çapında kendini göstermiş olsa da keşfi uzun yıllar öncesine dayanmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte bu sistemlerin de kullanılabilirliği oldukça kolaylaşmaktadır.

Pilot ihtiyacının ortadan kalkmasının yanı sıra herhangi yer pilotuna ihtiyaç duyulmadan görevlerini otomatik olarak gerçekleştirebilmektedirler. Günümüzde pek çok alanda başarı ile kullanılan insansız hava araçları, her ne kadar özellikle askeri alandaki başarıları ile akıllarda kalmış olsa da sivil alanlarda da oldukça önemli ve faydalı olmaktadır. Keşif ve gözetleme kabiliyetlerindeki yüksek potansiyeller sayesinde hedefleri tespit edebilir ve görevlerini başarı ile tamamlayabilir hale gelmişlerdir. Sivil alanda kullanımları arasında tarım ve ormancılığı da barındıran insansız hava araçları özellikle doğal afetlerde sağladığı faydalar önem taşımaktadır. Bilimsel araştırmalarda insan ulaşımı ile varılamayacak noktalarda insansız hava aracı kullanımı yaygınlaşmaktadır. Özellikle son yıllarda taşımacılık alanında kullanımı ile dikkat çeken insansız hava araçları ticari anlamda olduğu kadar yardım, tıbbi malzeme taşımacılığında da kolaylık sağlamaktadır. Son yıllarda yaşadığımız afetlerde ulaşım zorluğundan kaynaklı tıbbi malzemelerin acil durum bölgelerine yetiştirilmesinde zorluk yaşandığı görülmektedir. Özellikle tıbbi malzeme, laboratuvar numunesi gibi malzemelerin taşımacılığında insansız hava araçlarının kullanılmasının önemi fark edilmiştir. Klasik kargo İHA'lar bırakma sistemi ile çalışırken taşıdıkları ürüne zarar verebilmektedir. Bu sebeple istediği bölgeye iniş yapabilecek dikey kalkışlı bir insansız hava aracı taşıdığı malzemeleri acil durumlarda hedeflere ulaştırabileceği anlaşılmıştır. Özellikle tıbbi malzeme taşımacılığında kullanılmak üzere kargo amaçlı dikey kalkışlı insansız hava araçlarının günümüz şartlarında kullanılması amaçlanmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** İHA, Kargo, Dikey Kalkış, Afet Durumu, Taşımacılıkta İHA

**Bilim Kodu:** 93101

**Sayfa Sayısı:** xii+53

**Tez Danışmanı:** Dr. Öğr. Üyesi Hayri ACAR

## **ABSTRACT**

### **Vertical Takeoff Unmanned Aerial Vehicle Design for Cargo Purposes**

Seda ERDOĞAN

National Defence University, Atatürk Strategic Studies And Graduate Institute

İstanbul, July 2023

Although the use of unmanned aerial vehicles has shown itself worldwide in recent years, its discovery dates back many years. With the developing technology, the usability of these systems is getting easier.

In addition to eliminating the need for a pilot, they can perform their duties automatically without the need for any ground pilot. Unmanned aerial vehicles, which are used successfully in many fields today, are very important and useful in civilian fields, although they have been remembered especially with their success in the military field. Thanks to their high potential in reconnaissance and surveillance capabilities, they have been able to detect targets and complete their missions successfully. Unmanned aerial vehicles, which include agriculture and forestry among their civilian uses, are especially important for the benefits they provide in natural disasters. In scientific research, the use of unmanned aerial vehicles is becoming widespread at points that cannot be reached by human transportation. Unmanned aerial vehicles, which have attracted attention with their use in the field of transportation in recent years, provide convenience in the transportation of aid and medical supplies as well as in the commercial sense. In the disasters we have experienced in recent years, it is seen that there is difficulty in delivering medical supplies to emergency areas due to transportation difficulties. The importance of using unmanned aerial vehicles has been realized, especially in the transportation of medical supplies and laboratory samples. Classic cargo UAVs can damage the product they are carrying while working with the drop system. For this reason, it has been understood that a vertical take-off unmanned aerial vehicle that can land in any region can deliver the materials it carries to the targets in emergency situations. It is aimed to use vertical take-off unmanned aerial vehicles for cargo purposes in today's conditions, especially for use in medical equipment transportation.

**Keywords:** Cargo, Vertical Takeoff, Disaster Situation, UAV in Transportation

**Science Code:** 93101

**Pages:** xii+53

**Supervisor:** Assist. Prof. Hayri ACAR Ph.D.

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Tezin Amacı

Tez çalışmasının amacı, acil durum bölgelerinde kullanılabilir olması amacı ile kargo taşınması yapabilen dikey kalkışlı insansız hava aracı tasarlamaktır. Günümüz teknolojisi ile hızla gelişim göstermiş ve göstermeye devam eden insansız hava araçları özellikle acil durum bölgelerine ulaşımın sağlanmasında ve bölgeye yardım eli görevini üstlenmesiyle önemli bir yere taşındığı görülmektedir. Özellikle doğal afetlerde, bölge insanına tıbbi malzeme taşımak oldukça zorlaşmaktadır. Günümüz trafik şartları, ve acil durum anındaki kaos ortamı sebebi ile tıbbi malzemelerin kara yolu ile taşınması oldukça güçtür. İnsansız hava araçları sayesinde bölgeye hava yolu ile malzeme bırakılması oldukça kullanışlı bir yöntemdir.

### 1.2. Uygulanabilirlik

İnsansız hava araçlarının gelişen teknoloji ile kullanım kolaylığı ve intikal hızı düşünüldüğünde acil durumlarda malzeme taşımacılığında öncü olması tahmin edilebilir bir gerçektir. Afet bölgelerine ilaç taşımacılığı göz önüne alındığında yakın bölgelerden ihtiyaç duyulan malzeme insansız hava aracı ile hedef konuma ulaştırılabilir. Tıbbi malzemelerin dışında özellikle kan ya da numune gibi ürünlerin taşıma hızında ki önem düşünüldüğünde insansız hava araçları ile bu senaryoyu gerçekleştirmek oldukça kolaydır. Dikey kalkış yapabilme özelliği olan insansız hava aracı istediği bölgeye inişini yaptıktan sonra malzemelerin lojistik işlemi tamamlanmaktadır.

## 2. İNSANSIZ HAVA ARACI TANIMI

İnsansız Hava Aracı (İHA); içinde pilot ya da yolcu barındırmadan hareketini gerçekleştiren hava araçlarıdır. İnsansız hava araçları belli bir hedefe yönelik içinde bulundurduğu aksamlarla hareketini gerçekleştirebilen, yerde bulunan pilot sayesinde manuel (kumanda ile) ya da otonom şekilde görevini icra edebilen araçlardır. İHA'ların faaliyet alanları incelendiğinde havacılık, askeri alan faaliyetleri, havadan ölçme, kolluk kuvvetleri, arama ve kurtarma, madencilik, koruma, kirlilik izleme, ölçme, petrol, gaz ve maden arama ve üretimi, afet yardımı, arkeoloji, kargo taşımacılığı, tarım, hassas tarım, inşaat, yolcu taşımacılığı, suç ve terör faaliyetlerinin izlenmesi, sinema filmi yapımı, hobi ve eğlence, gazetecilik ve ışık gösterisi gibi çok sayıda alanda uygulamaları olduğu görülmektedir (Ayrancı, 2017).

En yaygın ifade ile İHA'lar pilotu olmadan, GPS kontrollü ve otonom şekilde hareketini sürdürebilen hava aracı olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde İHA'lar, yerde bulunan bir pilot tarafından gönderilerek uzaktan kumanda ile görev icra ettirilen veya önceden yapılan uçuş programı yüklenerek otomatik olarak uçurulan hava araçlarıdır. Bunlar için çok genel olarak; teknik özelliklerine göre (ağırlıklarına göre, yakıt/enerji kaynağına göre, kanat yapısına göre, otomatik veya uzaktan kumandalı olmasına göre, vb.) ve kullanım amaçlarına göre (askeri amaçlı (keşif, gözetleme, silahlı vb.) ve sivil (hobi, bilimsel ve ticari)) iki ana sınıflandırma yapmak olanaklıdır. (Kahveci, Can, 2017)

### 3. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TARİHÇESİ

İnsansız hava araçları özellikle son yıllarda askeri alanda kullanımı ile bilinir hale gelmiş olsa da tarihçesi oldukça eskilere dayanmaktadır. İlk örneklere 1. Dünya Savaşı yıllarında rastlanmaktadır. Bunların ilki Archibald Montgomery Low tarafından 1914'te çalışmalarına başladığı Aerial Target, bir diğer deyişle Uçan Hedef füzesi olarak kabul edilmektedir. İlk uçuş denemesini 1917 yılında gerçekleştiren Low iniş sırasında yere çakılarak başarısız olmuştur.

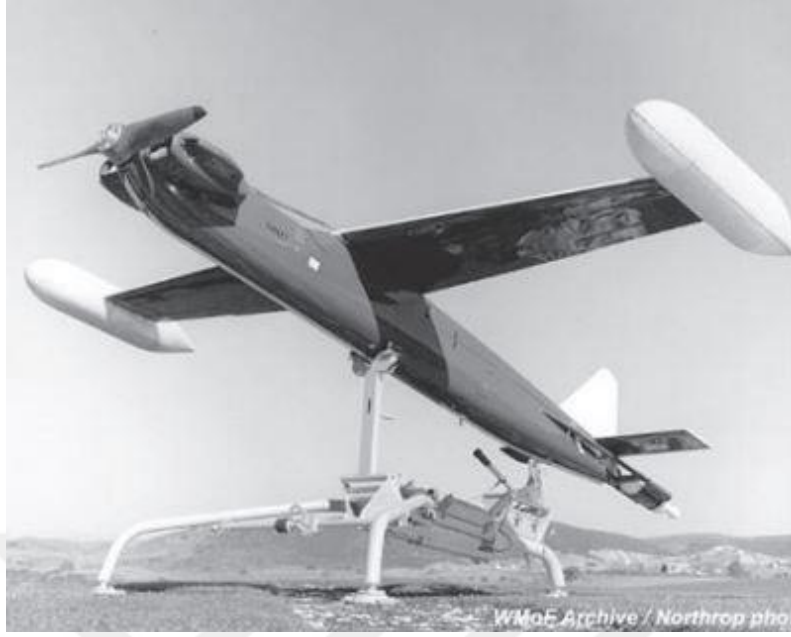
Birinci Dünya Savaşı yıllarında Amerikan Deniz Kuvvetleri tarafından Aerial Torpedo ve onun daha küçük boyutlusu olan Kattering Bug geliştirildi. Geliştirilmiş olan bu uçan torpidolar yüksek ilgi görmüş olsa da uçuş denemelerinde hedefi tutturmada sorun yaşadıkları için denize çakılmıştır.



Şekil 1: Aerial Torpedo

II. Dünya Savaşı sonrasında bugün bilinen adıyla Northrop Grumman firması, Falconer adı verilen hedef uçaklarını geliştirdi ve uzunca bir süre üretti. 1950'lerdeki diğer önemli bir gelişme radarları şaşırtmak için kullanılan sahte hedef sistemleridir. (Demirkıran, 2010)





**Şekil 2: Falconer Hedef Uçağı**

1960 yıllarında Vietnam savaşında kullanılmıştır. (Turğut ve Şeker, 2022). İhaların gövdelerine yerleştirilen kameralar görüntü alınmıştır ve savaş alanında kullanılması ile ihalar yeni bir rol üstlenmiştir.

1973 yılında ilk modern drone olarak tabir edilen Mastiff İnsansız Hava Aracı İsrail tarafından üretilmiştir. Yüksek çözünürlüklü video kapsamına sahip olması döneminde önem taşımasına sebep olmuştur.



**Şekil 3: Mastiff İHA**

1986 yılında Amerika ve İsrail ortaklığı ile RQ-2 Pioneer isimli insansız hava aracı geliştirilmiştir. Amfibi destek amaçlı geliştirilen bu insansız hava aracı 1986 – 2007 yılları arasında deniz ve karada görevlerini gerçekleştirmiştir.( Turğut ve Şeker, 2022)

1994 yılına gelindiğinde Genel Atom Bilimleri Sistemleri tarafından geliştirilen Atomics MQ-1 Predator bir Amerikan insansız hava aracı olarak görev almaya başlamıştır. Havadan keşif ve ileri gözlem amacı ile tasarlanmıştır. 2018 yılında emekliye ayrılmıştır.

Baykar tarafından geliştirilen Bayraktar Mini İnsansız Hava Aracı 2004 yılında ilk uçuş denemesini gerçekleştirmiştir. 2006 yılında üretim ve geliştirme süreci başlamıştır. Bayraktar Mini İHA 2007 yılında Türk Silahlı Kuvvetleri envanterine giren ilk yerli insansız hava aracı olmuştur.



**Şekil 4: Bayraktar Mini İHA**

2008 yılına gelindiğinde yine Baykar'ın geliştirdiği ilk döner kanatlı mini insansız hava aracı olan Türk yapımı Malazgirt Döner Kanatlı İha Teslimatı gerçekleştirilmiştir.

2010 yılında TUSAŞ tarafından geliştirilmiş Anka İnsansız hava aracı uçuşunu gerçekleştirmiştir.



**Şekil 5: Anka İHA**

2014 yılında Baykar tarafından geliştirilen Bayraktar TB-2 insansız hava aracı ilk tam otonom uçuşunu gerçekleştirerek sınıfında birinci olmuştur.



**Şekil 6: Bayraktar TB-2**

Yine 2014 yılına gelindiğinde insansız hava araçları ilk kez Amazone firması tarafından taşımacılık alanında kullanıldı. Kargo alanında insansız hava aracı kullanımının önemi o yıllarda olduğu kadar gelecekte de avantajlarının olacağı fark edilmiştir.

2019 yılında ilk uçuşunu gerçekleştiren Bayraktar Akıncı İnsansız Hava Araçlarına savaş uçaklarına benzer kabiliyetlerin kazandırılabilildiğini göstermiş oldu.



**Şekil 7: Bayraktar Akıncı**

Günümüze gelindiğinde tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de insansız hava araçlarını gelişim süreci devam etmektedir. Bu süre zarfında geliştirilen insansız hava araçları taktik sınıfta, kamikaze görevlerinde ve hız statüsünü artırarak insansız savaş uçağı alanlarında ilerleme kat edilmiştir. Ülkemizin ilk insansız savaş uçağı Bayraktar Kızılelma 2022 yılında ilk uçuşunu gerçekleştirmiştir.



**Şekil 8: Bayraktar Kızılelma**

## **4. İNSANSIZ HAVA ARACI KULLANIM ALANLARI**

### **4.1. Keşif ve Gözetleme Amacı ile Kullanılan İnsansız Hava Araçları**

#### **4.1.1. Askeri Alanda Gözetleme**

Bu sınıfta bulunan hava araçları manuel ya da otonom olarak görevini ifa ederken bileşenleri içinde bulunan gözetleme sistemi (kamera) sayesinde hedefi ya da keşif bölgesini görsel olarak taramaktadır. İstihbarat ya da hedef tespiti amacıyla kullanılan bu ihalar uzun menziller ötesindeki hareket koordinasyonunu sağlamada önem taşımaktadır. Savunma sanayii de kullanımı ile insan ulaşımının olamadığı bölgelerde gözlem yaparak askeri personel can kaybının minimuma indirilmesini sağlamıştır. İnsansız hava araçları bünyesinde bulunan kamera sistemleri kapasitesine göre gece görüşü sayesinde zaman kavramı olmaksızın görevlerini gerçekleştirebilmektedir. Zorlu koşullarda bünyesinde pilot barındırmamasının verdiği avantajla emniyetli bir çalışmaya olanak sağlamaktadır.

#### **4.1.2. Sivil Alanda Gözetleme ve Keşif**

##### **4.1.2.1. Yangın, Doğal Afet Durumlarında Kullanım**

Askeri alanlarda kullanımının yanı sıra acil durum koordinasyonun en önemli olduğu afet anlarında insansız hava aracı kullanımı son yıllarda yaygınlaşmıştır. Yangın, deprem gibi durumlarda bölgeye intikali kolaylaştırmak ve bölgede durum tespiti yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Doğal afetlerden kurtulan kişilerin tespitinde, afet bölgelerinde yaşam ibarelerinin anlaşılmasında, arama kurtarma ekiplerinin doğru bölgelere intikal etmesi açısından bilgi sahibi olmalarında İHA'lar önem taşımaktadır. Sel, deprem, yangın gibi doğal afetlerde, afet devam derken ya da afet sonrası bölgeye ait ön bilgiye sahip olmak erken müdahalelerde önem arz etmektedir. Aynı şekilde hangi bölgeye erken müdahale edilmesi gerektiğine ait kesin bilgi akışı bu gözetleme sistemleri tarafından sağlanmaktadır.

Afet anlarında bir diğer önemli konu aşevi, tıbbi müdahale alanı gibi toplu erişim noktalarının hangi bölgelere kurulacağını belirlemektir. Bu bölgeleri belirlemede de insansız hava araçları önemli rol oynamaktadır.



Son yıllarda yangınlarda insansız hava aracı kullanımı oldukça artış göstermiştir. 2007 Kaliforniya yangınında insansız hava araçları durum tespiti yapmak amacı ile kullanılmıştır. Termal görüntü alma kabiliyeti sayesinde İHA'lerden alınan koordinatlarla kesin ve doğru yer tespiti yapılmıştır (Erdil, 2021). 2021 yılı Marmaris yangınında yangının büyüme bölgeleri İHA'lar tarafından tespit edilmiştir.



Şekil 9: Yangın Bölgesinde İHA Termal Kamerasından Yansıyan Görüntü

2023 Kahramanmaraş ve Hatay depremlerinde hasarın hangi bölgelere ulaştığı, hangi bölgelere arama kurtarma ekiplerinin intikal etmesi gerektiği bilgisine sahip olmak amacı ile İHA'lar kullanılmıştır. Bu tip geniş çaplı depremlerde hasarın büyüklüğünü tespit etmek oldukça güçken, insansız hava araçları sayesinde bilgi akışı oldukça hızlanmış ve kolaylaşmıştır.

#### 4.1.2.2. Tarımsal Faaliyetlerde Kullanımı

İnsansız hava araçlarının gözetleme amacıyla kullanılması büyük arazileri kaplayan tarım faaliyetleri için olumlu veriler elde edilmesine sebep olmuştur. Bu sınıfta kullanılabilecek insansız hava araçları özellikle hassas tarım tekniğinde kullanılmaktadır.

Uzaktan algılama ve bitki izleme tekniklerine dayalı bitkilerde hastalık ve zarar tespiti, su stresi tespiti, verim/olgunluk kestirimi, yabancı ot flora tespiti, su kaynakları kontrolü amacı ile kullanılmaktadır (Türkseven ve diğ., 2016)

Tarım alanında kullanılan insansız hava araçları ile hangi bölgeye ne kadar ilaç kullanılması gerektiği tespit edilebilmektedir. Bunun yanında yüksek alanlara ulaşan tarım arazilerinde sulama sistemi kontrolü yapmak İHA'lar ile kolaylaşmıştır. Tarım arazilerinde karşılaşılan bir diğer etken ise hayvanlardan kaynaklı oluşan hasardır. Hasar tespitinin yapılabilmesi ve erken müdahale açısından İHA'lar etkili olmaktadır.

İnsansız hava araçlarına yerleştirilen foto sensörler sayesinde bitkilerin yetiştirme süresi takip edilerek hasat zamanı belirlenmesi ve kaliteli ürün elde edilmesi sağlanmaktadır.

İnsan gücünün erişemediği, erişebildiği takdirde günler sürecektir çalışmalar gerektirdiği durumlarda yüksek miktarda arazi alanlarını tek seferde taranması verimlilik açısından önem kazandırmıştır.

Tarımsal alanda insansız hava aracı kullanımı Yamaha şirketinden ilaçlama amacıyla insansız bir helikopterin geliştirilmesi isteği ile 1980'lerde Japonya'nın öncülüğünde başlamıştır (Türkseven ve diğ., 2016).

#### **4.1.2.3. Bilimsel Araştırmalarda Kullanım**

İnsansız hava araçları gözetleme kabiliyetleri sayesinde son yıllarda bilimsel araştırmalarda veri toplama açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Meteoroloji, atmosferik bilgi toplama, okyanus ve volkanik bölgelerde keşif yapma amacı ile kullanılmaktadır. İnsan gücü ile tespiti zor olan bölgelerde bilimsel veri toplama amacıyla önem arz etmektedir.

2010 senesinde Global Hawk İnsansız Hava Aracı, kasırgada gözlem yaparak ayrıntılı bilgiler toplamıştır. Kasırganın nasıl geliştiği hakkında önemli veriler edilmiştir. (Skrzypietz, 2017)

Volkanik bölgelerde can sağlığını tehlikeye atmadan görüntü toplayarak veri incelemesine olanak sağlamaktadır. Volkanların saldıdığı başlıca gazlar su buharı, karbondioksit ve kükürt dioksittir Bu gazları analiz etmek, volkanik sistemler ve devam etmekte olan magmatik süreçler hakkında bilgi edinmenin en iyi yollarından biridir. Gerekli analitik sistemlerin faaliyet alanına taşınması için İHA'lar kullanılmaktadır (ScienceDaily,2022).

Gerçekleşen depremler sonrası fay kırıkları takibinin tespit edilmesinde İHA'lar kullanılmıştır. Kilometrelerce uzanan fay kırıklarının havadan görüntülerinin alınması ile levha kırıklarının tespiti kolaylaşmaktadır.

İstenilen zamanda, hava aracının üzerinde bulunabilecek gece görüş ve termal kameralar ile önemli veriler toplanmasında olanak sağlamıştır. İnsansız hava araçlarında farklı sensörler kullanılmaktadır. Bu sayede gelişmiş yöntemler ile hızlı veri toplanan sistemler haline gelmiştir. (Erdil,2021)

Bilimsel araştırmalarda ön planda olan ve son yılların önemli konularından iklim değişikliği, çevre ve su kirliliği gibi konularda keşif yapmak açısından insansız hava aracı kullanımı oldukça talep görmektedir. Okyanus ve su kirliliği, bu kirliliğin kaynak tespiti, iklim değişikliğine bağlı buzullardaki miktar değişikliklerinin takibini yapmak açısından büyük kolaylık sağlamıştır.

Nesli tükenmekte olan hayvanların yaşam ortamlarının gözlemlenmesi, avcılarının kontrolü gibi alanlarda kullanım imkanı sunmaktadır.

#### **4.2. Silahlı İnsansız Hava Aracı Sistemleri**

Bu sınıfta bulunan insansız hava aracı, sistemleri bünyesinde bulunan gözetleme sistemleri sayesinde hedef tespiti yaparken aynı zamanda hedefi imha etme kabiliyetine sahiptir. Hedef tespiti farklı bir hava aracı tarafından gerçekleşmiş görevlerde, hava araçlarının kapasitesine göre işaretlenmiş bölgeye atış yapabilen türleri mevcuttur. Aynı zamanda yer unsurları dışında özellikle gelecekte hava - hava muharebe sistemlerinin insansız hava araçları tarafından gerçekleşmesi öngörülmektedir.

İnsansız savaş uçakları, askeri alanda kullanımda göz önünde olan riskli durumlar karşısında kullanım avantajı sunmaktadır. Riskli hareket koşullarında pilot kaybının önüne geçmek adına insansız hava aracı kullanmak ön plana çıkmaktadır. Harekat sırasında yakıtın az olması, tehlikeli hava koşulları, hava aracında gerçekleşen herhangi arıza durumu dikkate alındığında insansız hava aracı ile görevi tamamlama konusunda risk alma ihtimali oldukça yüksektir ve görev sürdürülebilmektedir.

Harekat sırasında hava savunma sistemi bulunan bölgelerde görev icrası sırasında bölge tespiti yapmak adına bu sistemlerin kullanılması avantaj sağlamaktadır. Savunma



sistemlerinin konum tespiti yapılırken olası risk barındıran durumlarda can kaybının önüne geçilmektedir.

İnsanlı savaş uçaklarına göre İHA tercih edilmesinde önemli etmenlerden birisi de tasarım esnekliğidir. Pilot barındıran bir hava aracı, insanın dayanabileceği yük koşullarına göre uçuş kabiliyetini limitlemektedir. Ancak insan faktörü ortadan kalktığında, hava aracının limitleri daha agresif seviyelere taşınabilir. Üstün özellikli Mikoyan Mig 29 savaş uçağının 11G manevra kabiliyetine sahip olduğu bilinmektedir. Ancak 11G'lik manevra kabiliyetinin daha üstüne çıkılamaması Mig 29'un değil bir insanın dayanabileceği en yüksek kuvvet 11G olmasından kaynaklanmaktadır. Gerçekte Mig29'un maksimum manevra kabiliyeti bilinmemektedir. Bunun gibi bir hava aracı eğer insansız olmuş olsaydı bu limitler daha yüksek derecelere çıkarak tam dayanım kabiliyeti görülebilirdi.

#### **4.3. Haritalama Kabiliyetli İnsansız Hava Aracı Sistemleri**

Haritalama kabiliyetine sahip insansız hava araçları sistemlerinde bulunan özel kamera sistemleri ile fotogrametri yöntemi kullanarak tarama yaptıkları bölgenin haritasını çıkarabilmektedir. Bu sayede haritalama yapılacak bölgelerin topografik görüntüsü gerçeğe dayalı şekilde çıkartılmış olur. İnsan gücü ile çıkartılması oldukça güç olan haritalama sistemi insansız hava araçları sayesinde oldukça hızlı bir süreç barındırmaktadır

Haritalama amacı ile kullanılan insansız hava araçları doğal afet bölgelerinde kullanım gerçekleştirebilmektedir.

#### **4.4. Kargo Amaçlı İnsansız Hava Aracı Sistemleri**

İnsansız hava araçları içinde bulundurdukları kabinlere taşıyabilecekleri miktarda yerleştirilen faydalı yüklerin iki ya da daha fazla bölge arasına ulaşımını sağlamaktadır. Kabin ya da bırakma sistemine sahip hava araçları günlük şehir içi kargo taşımacılığında kullanılırken askeri, sağlık, tıbbi malzeme taşımacılığında da kullanılmaktadır.

Hava kargo taşımacılığı günümüz teknolojisi ile gittikçe ön plana çıkmaktadır. IATA'nın raporlarına göre 2000–2011 yılları arasında kargo taşımacılığı %3,6'lık bir artış kaydetmiş ve 1970'li yıllardan bugüne sürekli gelişen bir sektör olma özelliğini

koruyarak hava lojistiği kavramıyla beraber dünya ticaretine direkt önemli katkılar sağlamaya başlamıştır (IATA, 2012)

Hava kargo taşımacılığı uzun yıllardır kullanılan, hızlı ve güvenilir bir lojistik aracı olmaktadır. İHA'ların gözetleme ve uzun mesafelerden algılamadaki başarısının ardından, maliyetleri ve teslimat süresini azaltmak için kargo İHA' lar ile teslimat yöntemi yeni bir çözüm olmuştur.(Turgut ve Şeker, 2022)

İHA'lar ile gerçekleşen taşımacılık faaliyetlerinde doğrudan iki konuma arasında ulaşım sağlanması sebebi ile zamandan tasarruf edebilmektedir. Ayrıca maruz kalacağı trafik olmaması bir diğer avantajı olmuştur. Yüksek hıza sahip olması, fiziksel bir yola ihtiyaç olmaması kargo şirketleri açısından son yıllarda gözde araçlar haline gelmektedir.

İHA'lar ile gerçekleşen kargo faaliyetleri sırasında kalkış konumu ile varış konumu arasında en uygun rota planı ile teslimat gerçekleştirilmektedir. Böylelikle teslimat süresi doğru tahmin edilebilir. (Turgut ve Şeker, 2022)

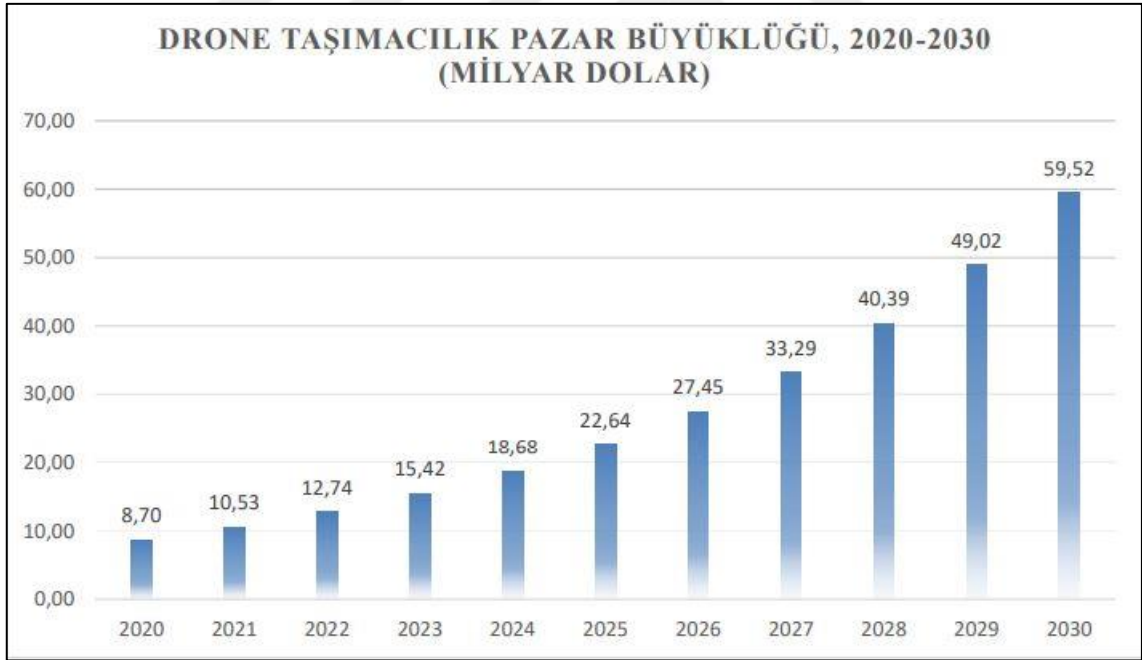
Gelişen ve büyüyen global endüstride nüfus artışı, ulaşım zorluğu göz önüne alındığında lojistik süreçlerinde gelişmelerin olması kaçınılmazdır. Pandemi sürecinin ardından yaygınlaşan e-ticaret ve çevrimiçi platformlar üzerinden alışverişin artış göstermesi taşımacılıkta yeni bir boyuta geçilmesini kaçınılmaz kılmıştır. Artan talep doğrultusunda ticari firmaların lojistik faaliyetlerinde en önemli faktör hız olmuştur. Hızlı teslimat yapabilmek nüfusun ve trafiğin yoğun olduğu şehirlerde gitgide zorlaşmaktadır. Bunun yanında şehirden uzak bölgelerde yol yapısının düzgün olmamasının etkisiyle yine teslimatlarda gecikmeler yaşanmaktadır.

Artan hızlı lojistik faaliyeti taleplerinin ardından kargo İHA'lar çeşitli şirketler tarafından kullanılmaktadır. Kargo İHA'ların avantajlarının fark edilmesiyle firmalar arasında rekabet artışı sebebiyle bu pazara rağbet de artmaktadır.

**Tablo 1. Taşımacılık Faaliyetlerinde İHA Kullanan İşletmeler (Javadi ve diğ,2021)**

| Firma      | Uçuş Mesafesi | Teslimat Zamanı | Ağırlık |
|------------|---------------|-----------------|---------|
| Amazon.com | 16 km         | 13 dk.          | 2.27 kg |

|                          |        |           |         |
|--------------------------|--------|-----------|---------|
| Flytrex                  | 9.2 km | 4 dk      | 2.72 kg |
| Wallmart                 | 10 km  | -         | 3 kg    |
| DHL                      | 8 km   | 8 dk      | 2 kg    |
| UPS                      | 10 km  | -         | 4.5 kg  |
| Sağlık ve Acil Servisler |        |           |         |
| Matternet                | 20 km  | 15 dk     | 2 kg    |
| TUDelft                  | 12 km  | 1 dk      | 4 kg    |
| Zipline                  | 160 km | 1sa 15 dk | 1.3 kg  |
| Altomedika               | 50 km  |           | 3 kg    |



**Şekil 10: Drone taşımacılığının yıllara göre pazar büyüklüğü. (Precedence Research, 2020)**

Gelişen teknoloji ile birlikte güvenilirliğini kanıtlamış insansız hava aracı sistemleri kargo amaçlı kullanımda gelecekte bu pazarın en önde gelen yöntemi olacağı tahmin edilmektedir.

Bunun yanında lojistik amaçlı kullanılan sıradan taşıtların çevre kirliliğine olumsuz katkıları her geçen gün artmaktadır. Kullanılan yakıtların ortama bıraktıkları sera gazı etkileri gün geçtikçe atmosferik yaralanmalara sebebiyet vermektedir. Taşımacılıkta kullanılan otomobil ya da motosiklet yerine İHA'lar kullanıldığında karbon ayak izi oldukça azalacak, çevre kirliliği bu sektör açısından minimuma seviyeye inebilecektir.

Kargo İHA'lar ticari amaçla taşımacılıkta olduğu kadar tıbbi taşımacılıkta da ön plandadır. Özellikle ulaşımı zorlu olan bölgelerde, afet durumlarında Kargo İnsansız Hava Araçlarının ne kadar önemli bir katkısı olduğu fark edilmiştir.

Afetlerde müdahale aşamasının ilk iki haftasında yeterli yardım malzemelerinin tedarik edilebilmesi ve taşıma kapasitesinin belirlenebilmesi için afet lojistiğinde etkili iletişim, bilgi paylaşımı ve bilinçli karar verme önemli bir rol oynamaktadır. Aksi halde afetlere müdahalede kaynakların doğru kullanılmamasına ve ölüm oranının artmasına sebep olmaktadır (Şen ve Esmer, 2017).

Afet durumlarında insanın ulaşamayacağı bölgelere ilaç taşımacılığı yapılabilir. İHA'lar sayesinde afet anlarında kurulan sahra hastanelerinde toplanan numunelerin imkanı laboratuvarlara taşınabilmesi hızlıca sağlanabilir.

Medecins Sans Frontieres (MSF) ve tıbbi malzemeleri karayoluyla erişilemeyen yerlere ulaştırmak için özel hava araçları üreten ABD şirketi Matternet, 2014 yılında Papua Yeni Gine'de tüberküloz şüphesi olan hastaların balgam örneklerini analiz edilmesi amacıyla uzak sağlık merkezlerinden Kerema'da konumlanan genel hastaneye teslim etmek ve analiz sonuçlarının tekrar uzak sağlık merkezlerine geri götürmek için insansız hava araçlarının kullanımını denemiştir (MSF, 2014).

Yine afet bölgelerinde meydana gelen bulaşıcı rahatsızlıkları ya da ölümcül aşı ya da panzehir çözümlü rahatsızlıkların önüne geçilebilmesi için, soğuk zincir kabiliyetli İHA'lar ile taşıma sağlanabilir.

Acil durumlarda bir diğer gerek ise kan taşımacılığıdır. Kan taşıma konusundaki yüksek aciliyet göz önüne alındığında İHA kullanımı önemli avantaj sağlamaktadır. 2016 yılında, Kaliforniya'dan Zipline, Afrika'nın Ruanda eyaletinin hükümetiyle anlaşarak, İHA'lar aracılığıyla donör kanı ve ilaç dağıtımına başladı (Rosen, 2017)

Son dönemde yaşanan Kahraman Marař depreminde görüldüğü gibi bu tarz afet bölgelerinde insanların rutin olarak kullandığı ilaçlara ulaşımında oldukça zorluk çekilmiştir. Afet bölgelerine araç trafiğı yoğun olması sebebi ile tıbbi malzeme ulaşımında karayolu tedarik sürecini uzatmaktadır. Bu tarz durumlarında ihtiyaç bölgelerine insansız hava araçları ile hava yolu taşımacılığı gerçekleştirilerek tıbbi malzemelerin vaktinde ulaşımının sağlanabileceğı görülmüştür.



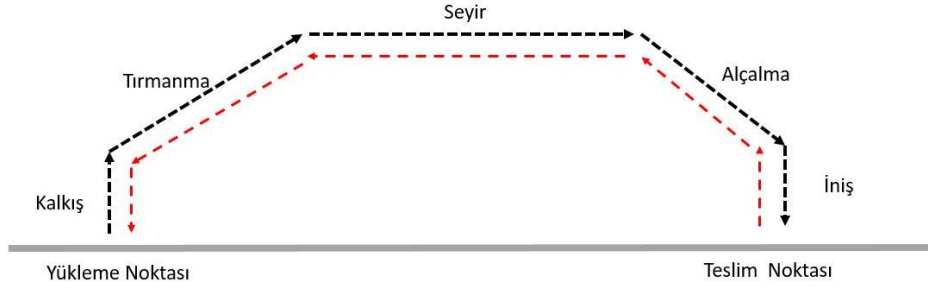
## 5. KARGO AMAÇLI DİKEY KALKIŞLI İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI

### 5.1. Tasarımın Genel Tanımı

İnsansız hava araçlarının kargo amaçlı kullanılmasının avantaj sağlamasının ardından farklı tiplerde İHA tasarımları ürünlere dönüşmüştür. Bu kargo İHA tasarımları incelendiğinde pek çoğunun bırakma sistemi ile ürünü belli konumlara hafif yükseklikteki mesafelerden bıraktıkları görülmüştür. Ancak malzeme taşımacılığında, ürünün maruz kalacağı zararı en aza indirmek amacı ile hava aracının inişinin gerçekleşmesinin ardından kargonun teslim alınması tahribat ihtimalini minimuma düşürmektedir. Özellikle tıbbi malzeme, kan, hassas malzeme taşımacılığı göz önüne alındığında bırakma sistemi olmayan kapalı kasa kargo İHA'lar kullanıma daha elverişlidir.

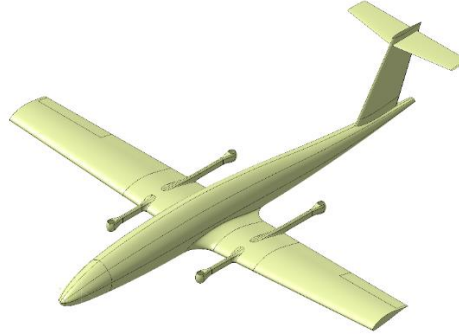
Kargo amaçlı insansız hava aracı tasarımı yapılırken, kargonun bir faydalı yük şeklinde düşünülmesi gerektiği bilinciyle dikey kalkış yapma kabiliyetine sahip insansız hava aracı örnekleri araştırılmıştır.

Farklı kargo ihalar araştırıldığında katapult sistemi ya da dikey kalkışlı olan örneklerle rastlanmıştır. Ancak dikey kalkış kabiliyeti sayesinde piste ihtiyaç duyulmadan istenilen alandan kalkış gerçekleştirilebilir, piste ihtiyaç duyulmayan herhangi düz zemine iniş yapılarak görev tamamlanabilmektedir. Katapult kullanılan sistemlerde ekstra sistem maliyeti, kurulum zamanı gerekmektedir. Katapult mekanizması olmadan acil durum bölgelerinden iniş kalkış gerçekleştirilememektedir. Kullanımda kıstasları en aza indirmek amacıyla dikey kalkışlı insansız hava aracı tasarımına karar verilmiştir.



**Şekil 11: Kullanım Konsepti**

VTOL İHA için uçak konfigürasyonları, uçak kalkış ve iniş yetenekleri, kullanılan motor çeşitleri, gimbal seçenekleri ve elektronik aksamaları başlıklarında literatür araştırması yapılmıştır. Araştırma sonucunda birçok kıstas belirlenmiş ve bu kıstaslara göre VTOL İHA için optimum gereksinimler ortaya konulmuştur. Araştırmanın özeti olarak aşağıda sıralanan tahmini özellikler ile VTOL İHA konseptinin oluşturulması öngörülmüştür. Sonraki bölümlerde kullanılan formüller aksi belirtilmedikçe Mohammad H. Sadraey'in Aircraft Design kitabından alınmıştır.



**Şekil 12: Kargo Amaçlı Dikey Kalkışlı İHA**

**Tablo 2. İHA Özellikleri**

|                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| <b>Haberleşme Menzili</b> | 125 km            |
| <b>Maksimum İrtifa</b>    | 4500 m (15000 ft) |
| <b>Operasyonel İrtifa</b> | 3000 m (10000 ft) |
| <b>Kanat Açıklığı</b>     | 4.5 m             |

|                                 |                                  |
|---------------------------------|----------------------------------|
| <b>Boy</b>                      | 4.5 m                            |
| <b>Uçuş Süresi</b>              | 12 saat                          |
| <b>İniş Kalkış</b>              | Dikey – 4 elektrik motoru        |
| <b>Malzeme</b>                  | Karbon Kompozit/Kevlar/Cam Elyaf |
| <b>Boş Ağırlık</b>              | 10 kg                            |
| <b>Maksimum Kalkış Ağırlığı</b> | 30 kg                            |
| <b>Seyir Hızı- Maksimum Hız</b> | 22 m/s-30 m/s                    |

## 5.2. Güç Hesabı ve Bileşenleri

### 5.2.1. Hava Aracı Bileşen Ağırlıkları

Tablo 3. İHA Bileşen Ağırlıkları

| Bileşen                  | Adet | Marka - Model       | Toplam Ağırlık (g) |
|--------------------------|------|---------------------|--------------------|
| Tahmini Yapısal Ağırlığı | -    | -                   | 10000              |
| Tahmini Aviyonik         | -    | -                   | 750                |
| Tahmini Yakıt Ağırlığı   | -    | -                   | 4070               |
| Yakıt Motoru             | 1    | ROTO 85 FS AL       | 3250               |
| Kargo                    | 1    |                     | 3000               |
| Elektrik Motoru          | 4    | Hacker - A60 20M V4 | 3040               |



|                               |   |                          |               |
|-------------------------------|---|--------------------------|---------------|
| Batarya                       | 1 | 10000 mAh, 10S Li-Po Pil | 2500          |
| ESC                           | 4 | Master Basic 90 Opto     | 448           |
| Yakıt Motoru<br>Pervanesi     | 1 | APC 26*13                | 209           |
| Eletrik Motoru<br>Pervaneleri | 4 | APC 22*10                | 648           |
| <b>TOPLAM (kg):</b>           |   |                          | <b>27.915</b> |

### 5.2.2. Dikey Kalkış Gücü Hesaplama

Dikey kalkışta 30 kg'lık gövdeyi kaldırabilmek için dört adet pervane kullanılmasına karar verilmiştir. Pervanelerin araştırması yapıldı ve APC markasının kendi internet sitesinde yer alan verilere göre 22x10 ölçülerindeki pervanenin 5000 RPM'de 75 N statik kuvvet ve 1.5 kW güç ürettiği ve toplamda 300 N elde edilebileceği görülmüştür. Dikey kalkış hızı düşük olacağı ve RPM arttırılarak gerekli kuvvet ve güç arttırılabileceği için bu pervane uygun bulunmuştur.

Bu pervaneye güç vermek üzere Hacker markasının üç modeli üzerinde durulmuştur. Q80-11S F3A modeli bunların arasında en hafifi olmasına rağmen çektiği akım göz önünde bulundurulduğunda A60-20M V4 modelinin daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

**Tablo 4. Hacker Marka Elektrik Motor Modellerinin Performans Değerleri**

|                | <b>A60-20M V4</b> | <b>A60-16L V4</b> | <b>Q80-11S F3A 28-Pole</b> |
|----------------|-------------------|-------------------|----------------------------|
| <b>Pervane</b> | Xoar 22x10        | Xoar 22x10        | Xoar CFK 21x13             |
| <b>Lipo/V</b>  | 10S/37V           | 12S/45V           | 10S/37V                    |

|                            |           |           |          |
|----------------------------|-----------|-----------|----------|
| <b>RPM</b>                 | 6000      | 6900      | 6200     |
| <b>Amp.</b>                | 64 A      | 82 A      | 85 A     |
| <b>Power</b>               | 2400 W    | 3700 W    | 3145 W   |
| <b>Diameter</b>            | 59 mm     | 59 mm     | 88.5 mm  |
| <b>Length</b>              | 74.3 mm   | 84.3 mm   | 69 mm    |
| <b>Weight</b>              | 760 g     | 0.9 kg    | 610 g    |
| <b>Resistance</b>          | 0.032 Ohm | 0.018 Ohm | 0.02 Ohm |
| <b>Idle Current @ 8.4V</b> | 1.7 A     | 1.8 A     | 1.1 A    |
| <b>kv</b>                  | 170       | 168       | 205      |
| <b>Max. Power</b>          | 2200 W    | 2600 W    | 3000 W   |

Batarya hesaplaması da Hacker markasının A60-20M V4 elektrik motoru modeline göre yapılmıştır. 10000 mAh 10S 35/50C Li-Po bataryanın 6000 rpm’de 2400 W güç üreten ve 64 A akım çeken dört motor için bataryanın sağlayacağı süre aşağıdaki gibi bulunmuştur.

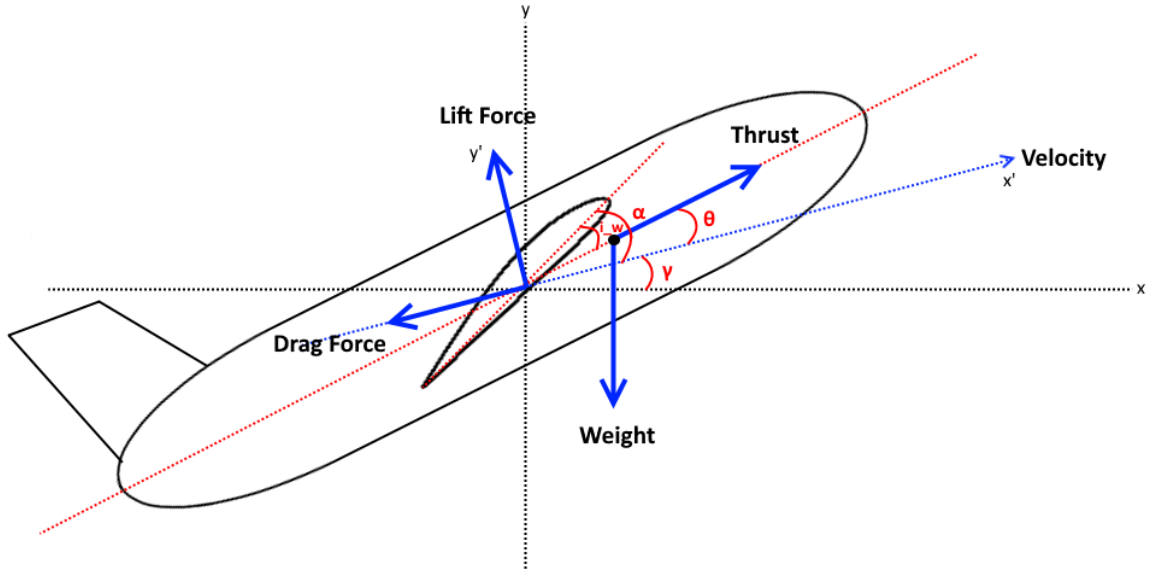
$$64 A \times 4 = 256 A$$

$$\frac{10000mAh}{256000 mA} = 0.04 h = 2.3 min$$

### 5.2.3. Tırmanış ve Seyir Hesaplamaları

#### 5.2.3.1. Kuvvet, Güç ve Enerji Hesaplamaları

Seyir ve tırmanış için gerekli kuvvet ve güç, diyagramı aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 13: Gerekli Kuvvet ve Güç Diyagramı

- $\theta$ : Uçak ile hız vektörü arasındaki açı
- $\gamma$ : Hız vektörünün yatayla yaptığı açı
- $\alpha$ : Kanatların hücum açısı
- $i_w$ : Kanatların oturma açısı

$$\sum F_{x'} = 0$$

$$F_{drag} + W \times \sin(\gamma) = F_{thrust} \times \cos(\theta)$$

$$\sum F_{y'} = 0$$

$$F_{lift} = W \times \cos(\gamma) - F_{thrust} \times \sin(\theta)$$

$$F_{thrust} = \frac{F_{drag} + W \times \sin(\gamma)}{\cos(\theta)}$$

$$F_{lift} = W \times \cos(\gamma) - \frac{F_{drag} + W \times \sin(\gamma)}{\cos(\theta)} \times \sin(\theta)$$

$$\frac{L}{D} = 12 = \frac{F_{lift}}{F_{drag}}$$

$$F_{lift} = W \times \cos(\gamma) - \left( \frac{F_{lift}}{12} + W \times \sin(\gamma) \right) \times \tan(\theta)$$

$$W \times \cos(\gamma) - F_{lift} = \left( \frac{F_{lift}}{12} + W \times \sin(\gamma) \right) \times \tan(\theta)$$

$$\frac{W \times \cos(\gamma) - F_{lift}}{\left( \frac{F_{lift}}{12} + W \times \sin(\gamma) \right)} = \tan(\theta)$$

$$\tan(\theta) - \frac{W \times \cos(\gamma) - F_{lift}}{\left( \frac{F_{lift}}{12} + W \times \sin(\gamma) \right)} = 0$$

Belirli bir kanat profilinin  $\alpha - C_L$  grafiği kullanılarak iterasyonla bu denklem çözülebilir. Her iterasyonda önce aşağıdaki değerler bulunup fonksiyonda yerine yazılarak fonksiyonu sağlayan  $\alpha$  ve  $C_L$  değeri bulunmuş, bunlardan da yukarıdaki denklemler kullanılarak diğer açılar ve kuvvetler hesaplanmıştır.

$$F_{lift} = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L$$

$$\theta = \alpha - i_w$$

$$C_L = 0.0900 \times \alpha + 0.14$$

$C_L$  değeri olarak sadece kanat dikkate alınmıştır. L/D değeri literatürdeki benzer uçaklara bakılarak 12 olarak alınmıştır. Hesaplama da kullanılan hızlar ve bunlara göre gerekli güç ve yakıt kütlesi aşağıdaki tabloda bazı örnekler üzerinden verilmiştir. Hesaplamalarda pervane verimliliği 0.6, yakıt ve motorun toplam verimliliği 0.3 olarak; ağırlığın tüm uçuş boyunca 300 N olduğu kabul edilmiştir. Incidence angle  $1^\circ$  olarak kullanılmıştır. Hesaplamalarda yakıt olarak benzin kullanılmıştır (Benzin için; Enerji yoğunluğu = 34.2 MJ/L , spesifik enerji = 46.5 MJ/kg , Yoğunluk = 0.71-0.77 kg/L). ROTO 85 FS AL motorunda yakıt olarak benzin kullanılırken RCV DF70 modelinde JP-8 kullanılmaktadır. Yakıt olarak JP-8 kullanılırsa gerekli yakıt kütlesi %8 oranında artmaktadır. (JP-8 için; Enerji yoğunluğu = 34.2 MJ/L , spesifik enerji = 42.8 MJ/kg , Yoğunluk = 0.775-0.840 kg/L)

**Tablo 5: Farklı Seyir Hızları için güç Hesabı**

|                                                                     |         |         |
|---------------------------------------------------------------------|---------|---------|
| <b>Seyir Hızı</b>                                                   | 30 m/s  | 22m/s   |
| <b>Seyir Süresi</b>                                                 | 12 saat | 12 saat |
| <b>Seyir İçin Gerekli Kuvvet</b>                                    | 25 N    | 25 N    |
| <b>Seyir İçin Gerekli Güç (Net)</b>                                 | 0.75 kW | 0.55 kW |
| <b>Seyir İçin Gerekli Güç (Motor Çıkışı)</b>                        | 1.25 kW | 0.92 kW |
| <b>Seyir İçin Gerekli Enerji (Net)</b>                              | 32.5 MJ | 23.7 MJ |
| <b>Seyir İçin Gerekli Enerji<br/>(Verimlilikler dahil edilerek)</b> | 180 MJ  | 132 MJ  |
| <b>Seyir İçin Gerekli Yakıt Kütlesi<br/>(Verimlilikler dahil)</b>   | 3.9 kg  | 2.8 kg  |

**Tablo 6. Farklı Tırmanış Hızları için Güç Hesabı**

|                                                                        |         |         |
|------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
| <b>Tırmanış Yatay Hızı</b>                                             | 20 m/s  | 20 m/s  |
| <b>Tırmanış Dikey Hızı</b>                                             | 3 m/s   | 5 m/s   |
| <b>Tırmanış İrtifası</b>                                               | 3000 m  | 3000 m  |
| <b>Tırmanış İçin Gerekli Kuvvet</b>                                    | 69 N    | 97 N    |
| <b>Tırmanış İçin Gerekli Güç</b>                                       | 1.4 kW  | 2 kW    |
| <b>Tırmanış İçin Gerekli Güç (Motor Çıkışı)</b>                        | 2.3 kW  | 3.3 kW  |
| <b>Tırmanış İçin Gerekli Enerji</b>                                    | 1.4 MJ  | 1.2 MJ  |
| <b>Tırmanış İçin Gerekli Enerji<br/>(Verimlilikler dahil edilerek)</b> | 7.8 MJ  | 6.7 MJ  |
| <b>Tırmanış İçin Gerekli Yakıt Kütlesi<br/>(Verimlilikler dahil)</b>   | 0.17 kg | 0.14 kg |

### 5.3. Motor Seçimi

İçten yanmalı motorlar sınıfındaki farklı motorların karşılaştırılması sonucu aynı özelliklerdeki benzer motorlardan 4 zamanlı olanların 2 zamanlı olanlara göre yakıt tüketimlerinin %40 civarında daha düşük olduğu görülmüştür. Bundan dolayı 4 zamanlı ROTO 85 FS AL ve RCV DF70 motorları uygun bulundu. Motorların yakıt tüketimleri hesaplamalar ile karşılaştırıldığında birbirleriyle uyuştukları görülmüştür.

**Tablo 7: İçten Yanmalı Motor Karşılaştırması**

|                            |                                                                                   |                                                                                     |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |  |  |
| <b>MOTOR</b>               | <b>RCV DF70</b>                                                                   | <b>ROTO 85 FS AL</b>                                                                |
| <b>MOTOR TİPİ</b>          | 4-stroke                                                                          | 4-stroke                                                                            |
| <b>ÜRETİCİ</b>             | RCV Engines                                                                       | ROTO Engines                                                                        |
| <b>MENŞEİ</b>              | UK                                                                                | Çek Cumhuriyeti                                                                     |
| <b>HACİM</b>               | 70 cc                                                                             | 80 cc                                                                               |
| <b>AĞIRLIK</b>             | 2.7 kg (5.9 lb)                                                                   | 2.8 kg (jeneratör + 0.45 kg)                                                        |
| <b>GÜÇ ÇIKIŞI</b>          | 4.0 kW (5.4 HP) at 8500 RPM                                                       | 3 kW (4.1 HP)                                                                       |
| <b>GÜÇ/AĞIRLIK (kW/KG)</b> | 1.3                                                                               | 1.1                                                                                 |
| <b>YAKIT TÜKETİMİ</b>      | 330 g/kW-hr (0.54 lb/HP-hr)                                                       | 600-900 g/h                                                                         |
| <b>JENERATÖR ÇIKIŞI</b>    | EKLENEBİLİR                                                                       | 300-600 W                                                                           |

Pervanelerin RPM-Thrust ve RPM-Power grafiklerine bakılarak yeterli kuvvet ve gücü sağlayabileceğinden dolayı APC 26x13 pervanesi seyir pervanesi olarak seçilmiştir.

Pervanelerin performans grafiklerinin oluşturulmasında üç farklı yöntem kullanılarak birbirleriyle karşılaştırıldı. İlk yöntemde aşağıdaki formülle teorik olarak kuvvet hesaplaması yapılmıştır.

$$F = 1.225 \frac{\pi(0.0254 \cdot d)^2}{4} \left[ \left( RPM_{prop} \cdot 0.0254 \cdot pitch \cdot \frac{1min}{60sec} \right)^2 - \left( RPM_{prop} \cdot 0.0254 \cdot pitch \cdot \frac{1min}{60sec} \right) V_0 \right] \left( \frac{d}{3.29546 \cdot pitch} \right)^{1.5}$$

**Şekil 14: Teorik Kuvvet Hesabı**

İkinci yöntem olarak AeroDesign Propeller Selector yazılımı kullanıldı. İrtifa ve hava hızı gibi değerler girilerek yazılımın verdiği sonuçlara göre pervanelerin kuvvet ve güç grafikleri oluşturuldu.

Son yöntem olarak da üretici firmanın internet sitesinde yer alan performans verileriyle grafikler oluşturulmuştur. Üç yöntem birbirleriyle karşılaştırıldığında aralarında büyük farkların olmadığı görülmüştür ve üreticinin verileri sağlamadığı durumlarda AeroDesign Propeller Selector yazılımının kullanılabilmesine karar verilmiştir.

#### **5.4. Kanat Hesaplamaları ve Tasarımı**

##### **5.4.1. Kanat Alanı**

Kanat alanı, kanat yüklemesi değeri baz alınarak belirlenmiştir. Kanat yüklemesi değeri ise Raymer'in Aircraft Design kitabı baz alınarak yaklaşık  $10 \frac{kg}{m^2}$  olarak belirlenmiştir. İHA'nın MTOW değeri Tablo 3' de görüldüğü üzere 27 kg kabul edilmiştir. Buna göre  $W_{avg}$  27 kg kabul edilerek S hesaplanmıştır;

$$\frac{W}{S} = \frac{27}{S} \cong 10 \frac{kg}{m^2}$$

$$S \cong 2.7 m^2$$

##### **5.4.2. Kanat Sayısı ve Konumu**

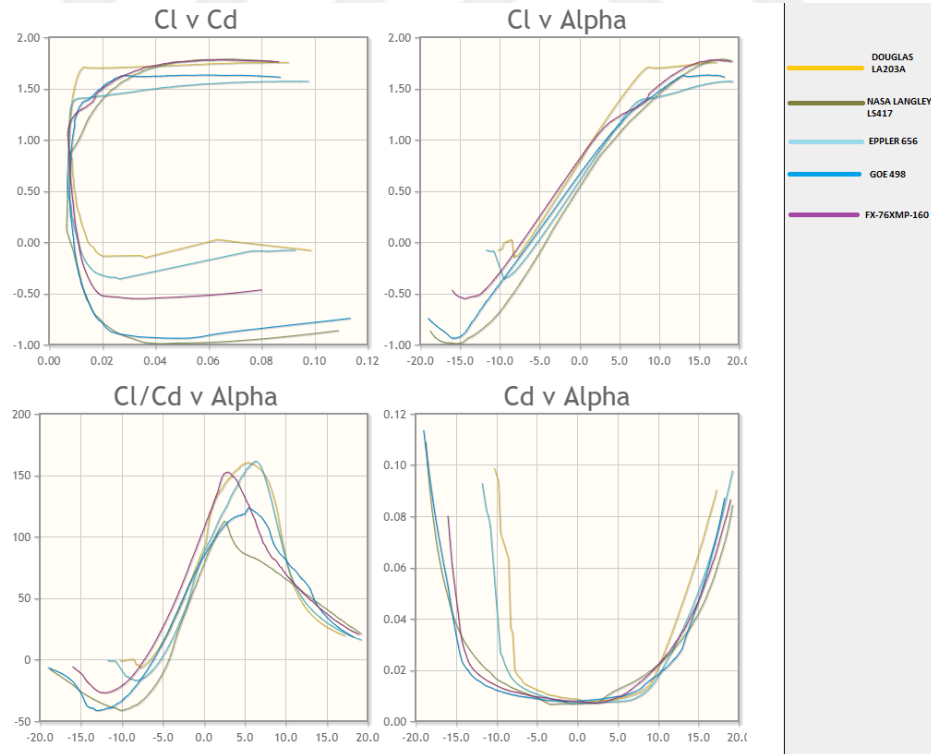
Literatür araştırması sonucunda dikey kalkış kabiliyetine sahip İHA'lar için en uygun kanat sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Benzer uçak konfigürasyonlarına bakılarak kanat pozisyonunun alçak kanat (low-wing) olmasında karar verilmiştir.

### 5.4.3. Kanat Profili Seçimi

XFLR5 ile PROFİLİ adlı aerodinamik değerleri hesaplama programları kullanılarak taşıma sabitinin sürtünme sabitine oranının  $\left(\frac{C_l}{C_d}\right)$ , toplam sürtünme kuvvetinin ( $D$ ) ve toplam taşıma kuvvetinin ( $L$ ) hücum açısına ( $\alpha$ ) bağlı değişimi göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Birbirine benzer beş kanat profilleri grafik üzerinde karşılaştırılmış ve bu kanat profilleri üzerinden en uygun kanat profili Douglas LA203A olarak belirlenmiştir. Grafikler çizdirilirken Reynolds sayısı  $10^6$  alınmıştır.

Douglas LA203 profilinin seçilme sebebi, düşük hücum açılarında incelenen diğer profillere göre  $C_l$  katsayısının yüksek olmasıdır. Aynı zamanda  $C_l/C_d$  değeri incelenen tüm profiller arasında en yüksek Douglas LA203 profiline aittir. Bu veriler aşağıdaki grafiklerde belirtilmiştir.



Şekil 15: Kanat Profillerinin Karşılaştırması



#### 5.4.4. Aspect Ratio (AR)

Aspect ratio, D. P. Raymer'in Aircraft Design kitabında bulunan farklı aspect ratio değerlerine sahip uçaklar için hücum açısı ve taşıma ilişkisinin gösterildiği grafik baz alınarak 8 kabul edilmiştir.

#### 5.4.5. Taper Ratio ( $\lambda$ )

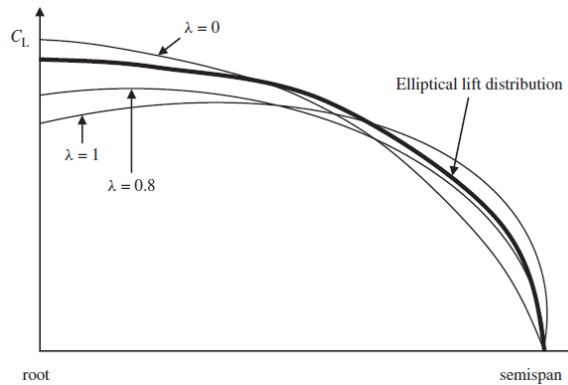
Uçakta kanat üzerindeki taşıma kuvveti dağılımının eliptik olması tercih edilir bu sebeple Taper Ratio, M. Sadraey'in Aircraft Design kitabında belirtildiği üzere 0 ile 0.8 arasında seçilir. Araştırma sonucunda eliptik dağılıma en uygun değer 0.68 olarak öngörülmüştür.

Kanat tasarımının yapılabilmesi için taranan literatürler referans alınarak bir Matlab kodu geliştirilmiştir. Geliştirilen kod EK-1'de mevcuttur.

Bu kod içerisinde 'Taper Ratio' değişken parametre olarak bırakılmıştır. Aynı kod içerisinde kanat üzerindeki taşıma dağılımının eliptikliğe yakınlığı da sonuç olarak gösterilmektedir.

Bu sayede farklı 'Taper Ratio' lar denenmiş ve bu kanat özelinde 0.68 ile eliptikliğe yakınlık %90'ın üzerinde bulunmuştur.

Dolayısıyla tasarıma 0.68'lik oranla devam edilmiştir.



Şekil 16: Kanat Yüzeyinde Taper Ratio Etkisi

#### 5.4.6. Kanat Açıklığı (b)

Kanat açıklığı değeri, aspect ratio ve kanat alanı değerleri kullanılarak aşağıda verilen denkleme bağlı kalınarak hesaplanır.

$$AR = \frac{b^2}{S}$$

$$b = \sqrt{AR \cdot S} = 4.65m$$

#### 5.4.7. Ortalama Aerodinamik Veter (MAC, $\bar{C}$ )

Ortalama aerodinamik veteri, kanat açıklığı ve aspect ratio değerlerine bağlı kalınarak aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanır.

$$MAC = \frac{b}{AR} = 0.581 m$$

Ortalama aerodinamik veter bulunduktan sonra taper ratio değeri kullanılarak aşağıda verilen denklemden root chord değeri ve akabinde tip chord değeri hesaplanır.

$$MAC = \frac{2}{3} C_r \left( \frac{1+\lambda+\lambda^2}{1+\lambda} \right) \quad \lambda = \frac{C_t}{C_r}$$

$$C_r = 0.690 m$$

$$C_t = 0.456 m$$

#### 5.4.8. Ok Açısı ( $\Lambda$ )

Ok açısı (sweep angle), hızın 0.3 Mach'ın (deniz seviyesinde) altında olduğu durumlarda  $0^\circ$  kabul edildiğinden ve hava aracı da bu hızın altında faaliyet göstereceğinden dolayı aerodinamik merkeze göre ok açısı  $0^\circ$  derece kabul edilmiştir.

#### 5.4.9. Burulma Açısı

Burulma açısı, farklı derecelerle yapılan denemeler sonucunda eliptiğe en yakın lift dağılımının  $-4^\circ$ 'de elde edildiği görülerek  $-5.5^\circ$  seçilmiştir. Bu değer, M. Sadraey'in Aircraft Design isimli kitabında bulunan farklı uçak tipleri için verilen değerler referans değerlerle de uyum göstermektedir.

Kanat tasarımının yapılabilmesi için taranan literatürler referans alınarak bir Matlab kodu geliştirilmiştir. Geliştirilen kod EK-1'de mevcuttur.

Bu kod içerisinde burulma açısı değişken parametre olarak bırakılmıştır. Aynı kod içerisinde kanat üzerindeki taşıma dağılımının eliptikliğe yakınlığı da sonuç olarak gösterilmektedir.

Bu sayede farklı burulma açıları denenmiş ve bu kanat özelinde eliptikliğe yakınlık %90'ın üzerinde bulunmuştur. Bu değer 5.5° olarak tespit edilmiştir.

| No. | Aircraft            | MTOW (lb) | Wing incidence at root ( $i_w$ ) (deg) | Wing angle at tip (deg) | Twist (deg) |
|-----|---------------------|-----------|----------------------------------------|-------------------------|-------------|
| 1   | Fokker 50           | 20 800    | +3.5                                   | +1.5                    | -2          |
| 2   | Cessna 310          | 4 600     | +2.5                                   | -0.5                    | -3          |
| 3   | Cessna Citation I   | 11 850    | +2.5                                   | -0.5                    | -3          |
| 4   | Beech King Air      | 11 800    | +4.8                                   | 0                       | -4.8        |
| 5   | Beech T-1A Jayhawk  | 16 100    | +3                                     | -3.3                    | -6.3        |
| 6   | Beech T-34C         | 4 300     | +4                                     | +1                      | -3          |
| 7   | Cessna StationAir 6 | 3 600     | +1.5                                   | -1.5                    | -3          |

Şekil 17: Burulma Açısı Değerleri (Sadraey)

#### 5.4.10. Dihedral Açısı

Dihedral açısı, M. Sadraey'in Aircraft Design isimli kitabında bulunan farklı uçak tipleri için verilen değerler referans alınarak 3° olarak belirlenmiştir.

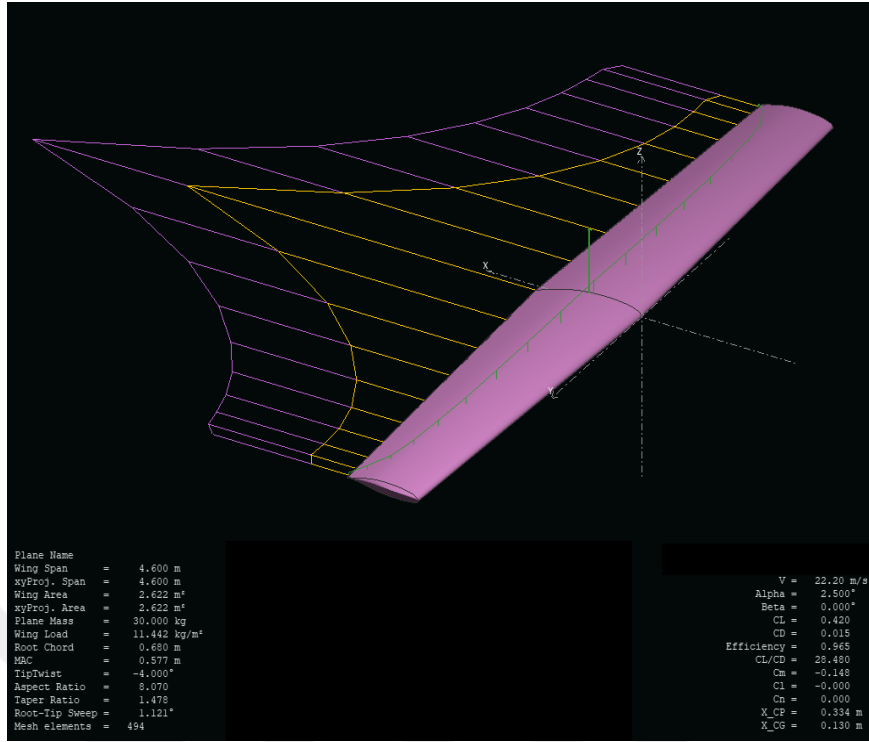
#### 5.4.11. Kanat Seyir Taşıma Katsayısı ( $C_{Lc}$ )

Seyir kaldırma katsayısı, aşağıda belirtilen formülle hesaplanmaktadır.  $\rho_c$ , seyir irtifasındaki hava yoğunluğudur (8000 ft = 0.96287 kg/m<sup>3</sup>)

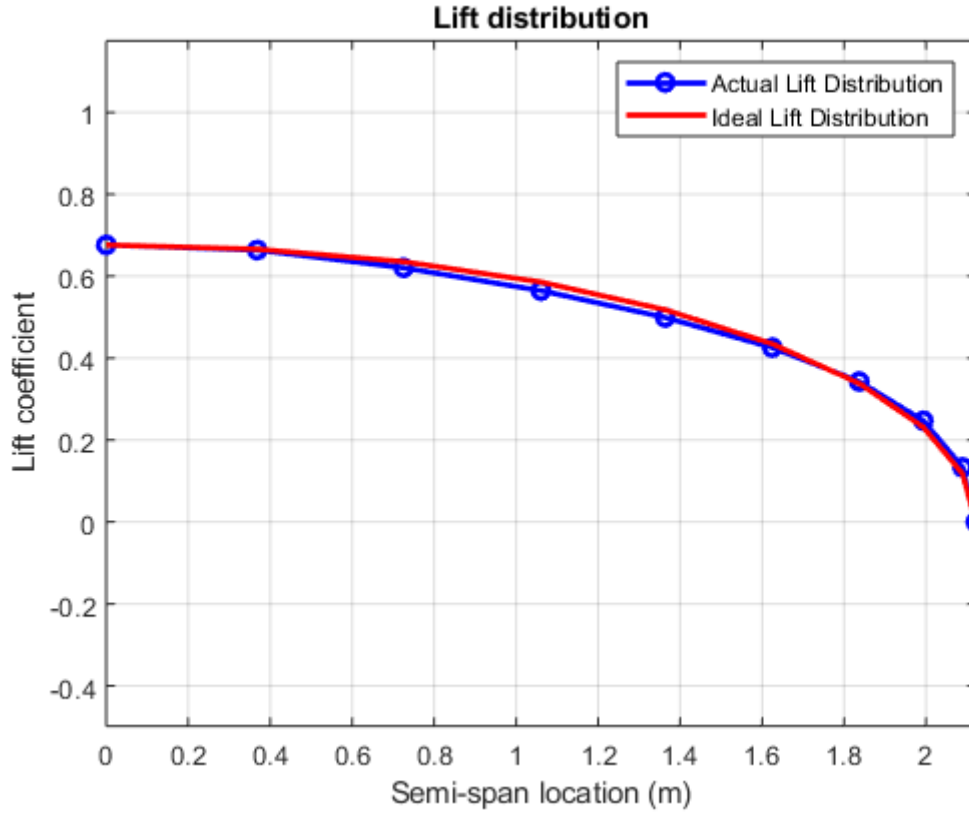
$$C_{Lc} = \frac{2W_{avg}}{\rho_c V_c^2 S} = 0.421$$

#### 5.4.12. Kanat Incidence Açısı ( $i_w$ )

M. Sadraey'in Aircraft Design kitabı referans alınarak incidence açısı 2 ile 5 derece arasında seçilmiştir XFLR5 üzerinden yapılan denemeler sonucunda istenilen kaldırma katsayısının 2.5°'de elde edildiği görülmüştür.



Şekil 18: XFLR5 Kanat Analizi Sonucu



Şekil 19: Taşıma Kuvveti Dağılımı

## 5.5. YATAY KUYRUK HESAPLAMALARI VE TASARIMI

### 5.5.1. Kuyruk Konfigürasyonu

Yapılan araştırma sonucunda T-tail kuyruğa karar verilmiştir. Bunun sebebi uçağın viril (spin) anında dikey kuyrukta bulunan kontrol yüzeyine gelen akışın yatay kuyruktan dolayı engellenmemesi ve bu durumdan daha kolay kurtarılmasıdır. Aynı zamanda kanadın ve pervanenin oluşturduğu akışın yatay kuyruk üzerindeki downwash etkisini büyük bir ölçüde azaltmaktadır.

### 5.5.2. Kuyruğun Yatay Konumu

Ön (canard) kısmında bulunmasının artıları olmasına rağmen kontrolü zorlaştırdığı gerekçesiyle gövdenin arka kısmına konulması öngörülmüştür.

### 5.5.3. Yatay Kuyruk Hacim Katsayısı ( $\bar{V}_H$ )

M. Sadraey'in Aircraft Design kitabındaki tablodan bu İHA'ya en yakın uçak tipi göz önünde bulundurularak bu değer 0.7 kabul edilmiştir.

**Tablo 8: Yatay ve Dikey Kuyruk Hacmi Katsayıları İçin Tipik Değerler (Sadraey)**

| No. | Aircraft                     | Horizontal tail volume coefficient ( $\bar{V}_H$ ) | Vertical tail volume coefficient ( $\bar{V}_v$ ) |
|-----|------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1   | Glider and motor glider      | 0.6                                                | 0.03                                             |
| 2   | Home-built                   | 0.5                                                | 0.04                                             |
| 3   | GA single prop-driven engine | 0.7                                                | 0.04                                             |
| 4   | GA twin prop-driven engine   | 0.8                                                | 0.07                                             |
| 5   | GA with canard               | 0.6                                                | 0.05                                             |
| 6   | Agricultural                 | 0.5                                                | 0.04                                             |
| 7   | Twin turboprop               | 0.9                                                | 0.08                                             |
| 8   | Jet trainer                  | 0.7                                                | 0.06                                             |
| 9   | Fighter aircraft             | 0.4                                                | 0.07                                             |
| 10  | Fighter (with canard)        | 0.1                                                | 0.06                                             |
| 11  | Bomber/military transport    | 1                                                  | 0.08                                             |
| 12  | Jet transport                | 1.1                                                | 0.09                                             |

### 5.5.4. Optimum Kuyruk Moment Kolu

Optimum kuyruk moment kolu, aşağıda belirtilen formülle hesaplanmaktadır.  $K_c$ , bu İHA için M. Sadraey'in Aircraft Design kitabına dayandırılarak 1.2 kabul edilmiştir.  $D_f$  gövde çapı olmak üzere, bu aşamada 0.3 m olarak kabul edilmiştir.

$$l_{opt} = K_c \sqrt{\frac{4\bar{C}_S \bar{V}_H}{\pi D_f}} = 2.59 \text{ m}$$

### 5.5.5. Yatay Kuyruk Alanı

Yatay kuyruk alanı, aşağıda belirtilen formülle hesaplanmaktadır.

$$S_h = \frac{\bar{V}_H S \bar{C}}{l_{opt}} = 0.42 \text{ m}^2$$

#### 5.5.6. Kanat Gövde Yunuslama Moment Katsayısı

Kanat/Gövde yunuslama moment katsayısı, aşağıda belirtilen formülle hesaplanmaktadır.  $C_{m_{af}}$ , airfoil moment katsayısıdır.  $C_{m_{af}}$ , kullanılan Douglas LA203A airfoil tipi için XFLR5 üzerinden  $-0.18$  olarak belirlenmiştir. Negatif çıkması stabiliteyi artırmak amacıyla önemlidir. Ayrıca  $C_m - \alpha$  eğrisinin eğiminin negatif olması stabiliteyi sağlamak amacıyla kritik öneme sahiptir.

$$C_{m_{o_{wf}}} = C_{m_{af}} \frac{AR \cos^2(\Lambda)}{AR + 2 \cos(\Lambda)} + 0.01 \alpha_t = -0.199$$

#### 5.5.7. Yatay Kuyruk İstenilen Seyir Taşıma Katsayısı

M. Sadraey'in Aircraft Design kitabında belirtildiği üzere,  $h - h_0$  değeri  $MAC$ 'nin %10'una tekabül etmektedir. Bu da 0.0581'ye eşittir.  $\eta_h$  (kuyruk verimliliği) değeri ise aynı kitapta T-tail için belirtildiği üzere 1 olarak kabul edilmiştir.

$$C_{L_h} = \frac{C_{m_{o_{wf}}} + C_{L_C}(h - h_0)}{\eta_h \bar{V}_H} = -0.248$$

#### 5.5.8. Kuyruk Profili Seçimi

Yatay kuyrukta kullanacak airfoil'un kanatta kullanılandan daha ince ve simetrik olması gerektiğinden (M. Sadraey-Aircraft Design) NACA 0009 seçilmiştir.

**Tablo 9: Çeşitli Hava Araçlarının Yatay Kuyruk Karakteristikleri**

| No. | Aircraft                | $m_{TO}$ (kg) | Tail type  | Airfoil        | $(t/C)_{max}$ (%) | $\bar{V}_H$ | $S_h/S$ | $AR_h$ | $\lambda_h$ | $\Lambda_h$ (deg) | $\Gamma_h$ (deg) | $i_h$ (deg) |    |
|-----|-------------------------|---------------|------------|----------------|-------------------|-------------|---------|--------|-------------|-------------------|------------------|-------------|----|
|     |                         |               |            |                |                   |             |         |        |             |                   |                  | +           | -  |
| 1   | Wright Flyer            | 420           | Moving     | Cambered plate | Low               | -0.36       | 0.16    | 5.7    | 1           | 0                 | 0                | -           | -  |
| 2   | Cessna 177              | 1 100         | Fixed      | NACA 0012/0009 | 10.5              | 0.6         | 0.2     | 4      | 1           | 0                 | 0                | -           | -  |
| 3   | Cessna Citation I       | 5 375         | Fixed      | NACA 0010/0008 | 9                 | 0.75        | 0.26    | 5.2    | 0.5         | -                 | 9                | -           | -  |
| 4   | Beech Starship          | 6 759         | Fixed      | -              | -                 | -0.96       | 0.22    | 10.2   | 0.5         | 33                | 3                | -           | -  |
| 5   | Fokker F-27             | 19 773        | Fixed      | NACA 63A-014   | 14                | 0.96        | 0.23    | 6      | 0.4         | 0                 | 6                | -           | -  |
| 6   | Boeing 737-100          | 50 300        | Adjustable | 12 to 9%       | 10.5              | 1.14        | 0.32    | 4.16   | 0.38        | 30                | 7                | -           | -  |
| 7   | Boeing 707-320          | 151 320       | Adjustable | BAC 317        | 11.6              | 0.63        | 0.216   | 3.37   | 0.42        | 35                | 7                | 0.5         | 14 |
| 8   | Boeing 747-100          | 333 390       | Adjustable | -              | 9                 | 1           | 0.267   | 3.6    | 0.26        | 37                | 8.5              | 1           | 12 |
| 9   | DC-8-10                 | 141 000       | Adjustable | DSMA-89-90     | 8.75              | 0.59        | 0.203   | 4.04   | 0.33        | 35                | 10               | 2           | 10 |
| 10  | Airbus 300B             | 165 000       | Adjustable | -              | -                 | 1.07        | 0.27    | 4.13   | 0.5         | 32.5              | 6                | 3           | 12 |
| 11  | Lockheed C-130 Hercules | 70 305        | Fixed      | Inverted NACA  | 12                | 1           | 0.313   | 5.2    | 0.36        | 7.5               | 0                | -           | -  |
| 12  | Lockheed L-1011         | 211 000       | Adjustable | -              | 8                 | 0.928       | 0.37    | 4      | 0.33        | 35                | 3                | 0           | 14 |
| 13  | Lockheed C-5A           | 381 000       | Adjustable | -              | 10                | 0.7         | 0.156   | 4.9    | 0.36        | 24.5              | -4.5             | 4           | 12 |
| 14  | Eurofighter 2000        | 21 000        | Movable    | -              | -                 | -0.1        | 0.048   | 3.4    | 0.34        | 45                | 17               | -           | -  |
| 15  | F-15 Eagle              | 36 741        | Movable    | -              | -                 | 0.24        | 0.183   | 2.3    | 0.36        | 48                | 0                | -           | -  |

### 5.5.9. Ok Açısı – Dihedral Açısı

M. Sadraey'in Aircraft Design kitabında benzer uçak tiplerinin verildiği tablo baz alınarak ok açısı ve dihedral açısı  $0^\circ$  kabul edilmiştir.

**Tablo 10: Çeşitli Hava Araçlarının Yatay Kuyruk Karakteristikleri**

| No. | Aircraft          | $m_{TO}$ (kg) | Tail type | Airfoil        | $(t/C)_{max}$ (%) | $\bar{V}_H$ | $S_h/S$ | $AR_h$ | $\lambda_h$ | $\Lambda_h$ (deg) | $\Gamma_h$ (deg) | $i_h$ (deg) |   |
|-----|-------------------|---------------|-----------|----------------|-------------------|-------------|---------|--------|-------------|-------------------|------------------|-------------|---|
|     |                   |               |           |                |                   |             |         |        |             |                   |                  | +           | - |
| 1   | Wright Flyer      | 420           | Moving    | Cambered plate | Low               | -0.36       | 0.16    | 5.7    | 1           | 0                 | 0                | -           | - |
| 2   | Cessna 177        | 1 100         | Fixed     | NACA 0012/0009 | 10.5              | 0.6         | 0.2     | 4      | 1           | 0                 | 0                | -           | - |
| 3   | Cessna Citation I | 5 375         | Fixed     | NACA 0010/0008 | 9                 | 0.75        | 0.26    | 5.2    | 0.5         | -                 | 9                | -           | - |
| 4   | Beech Starship    | 6 759         | Fixed     | -              | -                 | -0.96       | 0.22    | 10.2   | 0.5         | 33                | 3                | -           | - |

### 5.5.10. Yatay Kuyruk Aspect Ratio ( $AR_h$ ) ve Taper Ratio ( $\lambda_h$ )

Yatay kuyruk aspect ratiosu belirtilen formüle göre hesaplanmaktadır. M. Sadraey'in kitabına göre kuyruk taper ratiosunun kanat taper ratiosuna eşit olduğu kabul edilmektedir.

$$AR_h = \frac{2}{3} AR = 5.33$$

$$\lambda_h = \lambda = 0.68$$



#### 5.5.11. Yatay Kuyruk Taşıma Eğrisi Eğimi ( $C_{L_{\alpha_h}}$ )

M. Sadraey'in Aircraft Design isimli kitabında belirtildiği üzere NACA 0009 isimli yatay kuyruk  $6.7 \text{ rad}^{-1}$  değerinde yatay kaldırma eğrisi eğimine sahiptir.

Tablo 11: NACA0009 Özellikleri

| $C_{l_i}$ | $C_{d_{\min}}$ | $C_m$ | $(C_l/C_d)_{\max}$ | $\alpha_o$ (deg) | $\alpha_s$ (deg) | $C_{l_{\max}}$ | $C_{l_{\alpha}}$ (1/rad) | $(t/c)_{\max}$ |
|-----------|----------------|-------|--------------------|------------------|------------------|----------------|--------------------------|----------------|
| 0         | 0.005          | 0     | 83.3               | 0                | 13               | 1.3            | 6.7                      | 9%             |

$$C_{l_{\alpha_h}} = 6.7 \text{ rad}^{-1}$$

3B yatay kaldırma eğrisi eğimi hesabı için aşağıda belirtilen denklem kullanılmıştır.

$$C_{L_{\alpha_h}} = \frac{C_{l_{\alpha_h}}}{1 + \frac{C_{l_{\alpha_h}}}{\pi AR_h}} = 4.78 \text{ rad}^{-1}$$

#### 5.5.12. Yatay Kuyruk Seyir Hücüm Açısı ( $\alpha_h$ )

Yatay kuyruk seyir hücüm açısı aşağıda belirtilen formülle hesaplanmaktadır.

$$\alpha_h = \frac{C_{L_h}}{C_{L_{\alpha_h}}} = -0.0519 \text{ rad} = -2.97^\circ$$

#### 5.5.13. Kuyruk Seyir Downwash Açısı ( $\varepsilon_o$ ) ve Downwash Eğimi ( $\frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha}$ )

Kuyruk seyir downwash açısı ve downwash eğimi aşağıda belirtilen formüller ile hesaplanmıştır.  $C_{L_{\alpha_w}}$  değeri ( $C_L - \alpha$  grafiğinin eğimi) belirtilen LA203A kanat tipi için XFLR5 yazılımı kullanılarak  $4.98 \text{ rad}^{-1}$  değerinde bulunmuştur.

$$\varepsilon_o = \frac{2C_{L_w}}{\pi AR} = 0.041 \text{ rad} = 2.34^\circ$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha} = \frac{2C_{L_{\alpha_w}}}{\pi AR} = 0.35$$

$$\varepsilon = \varepsilon_o + \frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha} i_w = 2.7$$

#### 5.5.14. Yatay Kuyruk Incidence Açısı ( $i_h$ )

Yatay kuyruk incidence açısı aşağıda belirtilen formül ile hesaplanır.  $\alpha_f$  değeri gövdenin seyir hücum açısını ifade eder ve 0 kabul edilir (M. Sadraey – Aircraft Design).

$$i_h = -(\alpha_h + \varepsilon - \alpha_f) = -0.27^\circ$$

#### 5.5.15. Yatay Kuyruk Açıklığı ( $b_h$ ), Yatay Kuyruk Kök Veteri , Yatay Kuyruk Uç Veteri

Bu 4 değeri hesaplamak için gerekli olan 4 denklem vardır. Bunlar aşağıdaki gibidir:

$$\lambda_h = \frac{C_{h_{tip}}}{C_{h_{root}}}$$

$$\bar{C}_h = \frac{2}{3} C_{h_{root}} \left( \frac{1 + \lambda_h + \lambda_h^2}{1 + \lambda_h} \right)$$

$$AR_h = \frac{b_h}{\bar{C}_h}$$

$$S_h = b_h \cdot \bar{C}_h$$

Bu denklemler çözüldüğünde elde edilen değerler aşağıdaki gibidir:

$$\bar{C}_h = 0.28 \text{ m}$$

$$b_h = 1.5 \text{ m}$$

$$C_{h_{tip}} = 0.22 \text{ m}$$

$$C_{h_{root}} = 0.33 \text{ m}$$

#### 5.5.16. Yatay Kuyruğun Dikey Konumu ( $h_t$ )

Yatay kuyruğun dikey konumu kanattan ve motordan (pervaneden) gelen Downwash'ın ve Vortice'lerin oluşturduğu Wake Region olarak adlandırılan bölgenin dışında olması gerekmektedir. Bunun sebebi kuyruğun efektif hücum açısının, kuyruk verimliliğinin ve kuyruk dinamik basıncının azalmasını engellemektir. Bu sebepten kuyruğun konumu belli bir aralıkta yer alamamaktadır. İHA'nın T-tail şeklinde bir kuyruğa sahip olacağından bu aralığın üstünde bir konumda yer almalıdır. Bu aralığın hesaplaması aşağıdaki gibidir:

$$h_t > l_{opt} \cdot \tan(\alpha_s - i_w + 3)$$

$$h_t < l_{opt} \cdot \tan(\alpha_s - i_w - 3)$$

İHA, belirtilen sebeplerden dolayı ilk hesaplamaya göre yatay kuyruğun dikey konumu belirlenecektir.  $\alpha_s$  (kanat stall açısı) XFLR5 yazılımından Douglas LA203A airfoil tipini göre  $10^\circ$  olarak bulunmuştur. Bu hesap sonucunda:

$$h_t > 0.55 \text{ m}$$

$$h_t < 0.27 \text{ m}$$

olarak bulunmuştur. Bu hesaplama ve dikey kuyrukta bulunan Dümeni (rudder) ve muhtemel bir kuyruk kamerasını da göz önünde bulundurarak  $h_t$  değeri 0.6 m olarak uygun görülmüştür.

### 5.6. Dikey Kuyruk Hesaplamaları ve Tasarımı

#### 5.6.1. Dikey Kuyruk Hacim Katsayısı ( $\bar{V}_V$ )

M. Sadraey'in Aircraft Design kitabındaki tablodan İHA'ya en yakın uçak tipi göz önünde bulundurularak bu değer 0.04 kabul edilmiştir.

#### 5.6.2. Dikey Kuyruk Moment Kolu

Dikey kuyruk moment kolu, M. Sadraey'in Aircraft Design kitabına göre optimum kuyruk moment koluna eşittir.

$$l_{opt} = l_v = 2.59 \text{ m}$$

Nitekim yatay kuyruğun yerleşimi ve dikey kuyruğun ok açısı da dikkate alındığında kuyruk moment kolunun 2.34 m olmasına karar verilmiştir. Yatay kuyruğun dikey kuyruğa düzgün olarak oturması, T-tail yapılandırmasının yapısal dayanıklılık konusunda da önem arz etmektedir.

### 5.6.3. Dikey Kuyruk Alanı

Dikey kuyruk alanı, aşağıdaki varsayım ile kanat alanına bağlıdır. Bu varsayım M. Sadraey'in belirtilmiştir.

$$\frac{S_v}{S} \cong 0.11$$

$$S = 2.7 \text{ m}^2$$

$$S_v = 0.3 \text{ m}^2$$

### 5.6.4. Kuyruk Profili Seçimi

Dikey kuyrukta kullanacak airfoil profilinin kanatta kullanılanıdan daha ince ve simetrik olması gerektiğinden (M. Sadraey-Aircraft Design), ayrıca yatay kuyruktan dolayı oluşacak kuvvetlere karşı koyabilmesi gerektiğinden NACA 0012 seçilmiştir. Ayrıca taşıma eğrisi eğiminin yüksek olması istenmektedir.

### 5.6.5. Dikey Kuyruk Aspect Ratio ( $AR_v$ ) ve Taper Ratio ( $\lambda_v$ )

Dikey kuyruk aspect ratio belirtilen formüle göre hesaplanmaktadır. M. Sadraey'in kitabına göre dikey kuyruk aspect ratiosu benzer uçak tipleri 1 ile 2 arasında kabul edilmektedir. bu İHA için bu değer 1.5 öngörülmüştür. Aynı kitaba göre dikey kuyruk taper oranı, kanat taper oranına eşittir.

$$AR_v = \frac{b_v}{\bar{c}_v} = \frac{b_v^2}{S_v} = 1 \sim 2 \approx 1.5$$

$$\lambda_v = \lambda = 0.68$$

#### 5.6.6. Dikey Kuyruk Incidence Açısı

Dikey kuyruk incidence açısı, çoğu tek motorlu pervaneli uçak için 1-2 derece kabul edilir. Bunun sebebi pervanenin dönme (rolling) momenti oluşturmastır (M. Sadraey – Aircraft Design). İHA boyutları göz önünde bulundurularak üretimi kolaylaştırmak adına 0 derece kabul edilmiştir.

#### 5.6.7. Ok Açısı ( $\Lambda_v$ ) ve Dihedral Açısı ( $\Gamma_v$ )

İHA'nın T-tail kuyruğa sahip olmasından dolayı ok açısı, yatay kuyruk moment kolunu artırdığından uçağın boyuna stabilitesini ve kontrolünü artırır. M. Sadraey'in Aircraft Design kitabına göre belirlenen ok açısı değerleri 20 ile 55 derece arasındadır. Yatay kuyruğun yerleşimi de dikkate alınarak bu açı 20 derece kabul edilmiştir.

#### 5.6.8. Dikey Kuyruk Açıklığı ( $b_v$ ), Dikey Kuyruk Kök Veteri, Dikey Kuyruk Uç Veteri

Bu 4 değeri hesaplamak için gerekli olan 4 denklem vardır. Bunlar aşağıdaki gibidir:

$$\lambda_v = \frac{C_{v_{tip}}}{C_{v_{root}}}$$

$$\bar{C}_v = \frac{2}{3} C_{v_{root}} \left( \frac{1 + \lambda_v + \lambda_v^2}{1 + \lambda_v} \right)$$

$$AR_v = \frac{b_v}{\bar{C}_v}$$

$$S_v = b_v \cdot \bar{C}_v$$

Bu denklemler çözüldüğünde elde edilen değerler aşağıdaki gibidir:

$$\bar{C}_v = 0.447m$$

$$b_v = 0.671 m$$

$$C_{v_{tip}} = 0.358 m$$

$$C_{v_{root}} = 0.526 m$$

## 5.7. Stabilité Hesaplamaları

### 5.7.1. Ağırlık Merkezi Moment Etkisi

Uçağın stabilitesi, uçağın momentinin eğimine bağlıdır. Uçağın momenti, dönme hareketleri ağırlık merkezine göre oluşacağı için ağırlık merkezine göre hesaplanmaktadır. Moment negatif bir eğime sahipse uçağın stabil olduğu söylenebilir. Bu durum, uçağın burnunu çevirdiği yönün tersine bir moment oluşturacağını garanti eder. Örneğin, momentin sıfır olduğu durumda uçan bir uçak, burnunu yukarı eğerek hücum açısını artırdığında uçak negatif bir moment oluşturarak burnun eski hale dönmesini sağlamaktadır.

Uçağın momenti, kanat ve kuyruğun taşıma kuvveti ve momentinin yanı sıra ağırlık merkezinin pozisyonuna da bağlıdır. Uçağın momentinin eğimini sıfır yapan ağırlık merkezi konumuna neutral point denir. Ağırlık merkezinin bu konumdan buruna doğru kayması moment eğimini negatif yaparken kuyruğa doğru kayması moment eğimini pozitif duruma getirmektedir.

### 5.7.2. Ağırlık Merkezinin Bulunması

Nelson'un Flight Stability and Automatic Control kitabına göre neutral point aşağıdaki denklemle bulunabilir. Denklemdaki tüm ölçüler kanadın MAC'sinin bulunduğu kesitin hücum kenarına göre hesaplanmaktadır.

$$\frac{X_{NP}}{\bar{c}} = \frac{X_{ac}}{\bar{c}} - \frac{C_{m_{\alpha_f}}}{C_{L_{\alpha_w}}} + \frac{\eta V_H C_{L_{\alpha_t}}}{C_{L_{\alpha_w}}} \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\alpha}\right)$$

$$\bar{c} = MAC = 0.58 m$$

$$X_{ac} = \frac{MAC_w}{4} = 0.145 m$$

$$\frac{X_{NP}}{\bar{c}} = \frac{X_{ac}}{\bar{c}} + 0.41$$

$$X_{NP} = 0.383 \text{ m}$$

Statik marjin, neutral point ile ağırlık merkezi arasındaki mesafenin MAC'ye oranıdır.

Çoğu uçakta bu oran MAC'nin yüzde 5-15'i arasında çıkmaktadır.

$$\frac{X_{NP}}{\bar{c}} - \frac{X_{cg}}{\bar{c}} = \text{Static Margin} = 0.1MAC = 0.058$$

$$X_{cg} = 0.35 \text{ m}$$

Buradan ağırlık merkezi 0.35 m olarak bulunmuştur.

### 5.7.3. Kanat ve Kuyruğun Momente Etkisi

Ağırlık merkezinin dışındaki kanat ve kuyruğun taşıma kuvvetleri ve momentleri de uçağın momentinde etkilidir. Bu hesaplarda gövdenin momente etkisi ihmal edilmiştir.

$$C_{m_{cg}} = C_{m_{wing}} + C_{m_{tail}}$$

$$C_{m_{wing}} = C_{m0_w} + \alpha C_{m_{\alpha_w}}$$

$$C_{m_{tail}} = C_{m0_t} + \alpha C_{m_{\alpha_t}}$$

$$C_{m0_w} = C_{m_{ac_w}} + C_{L0_w} \left( \frac{X_{cg}}{\bar{c}} - \frac{X_{ac}}{\bar{c}} \right)$$

$$C_{m_{\alpha_w}} = C_{L_{\alpha_w}} \left( \frac{X_{cg}}{\bar{c}} - \frac{X_{ac}}{\bar{c}} \right)$$

$$C_{m0_t} = \eta V_H C_{L_{\alpha_t}} (\varepsilon_0 + i_w - i_h)$$

$$C_{m_{\alpha_t}} = -\eta V_H C_{L_{\alpha_t}} \left( 1 - \frac{d\varepsilon}{d\alpha} \right)$$

Aşağıdaki değerler XFLR5 yazılımından bulunarak denklemler çözülebilir.

$$C_{L0_w} = 0.453$$

$$C_{m_{ac_w}} = -0.188$$

$$C_{L\alpha_w} = 4.56 \text{ rad}^{-1}$$

$$C_{L\alpha_t} = 4.1 \text{ rad}^{-1}$$

Yukarıdaki denklemler çözüldüğünde aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

$$C_{m0_w} = -0.029$$

$$C_{m\alpha_w} = 1.61 \text{ rad}^{-1}$$

$$C_{m0_t} = 0.154$$

$$C_{m\alpha_t} = -1.86 \text{ rad}^{-1}$$

Bu sonuçlar ve

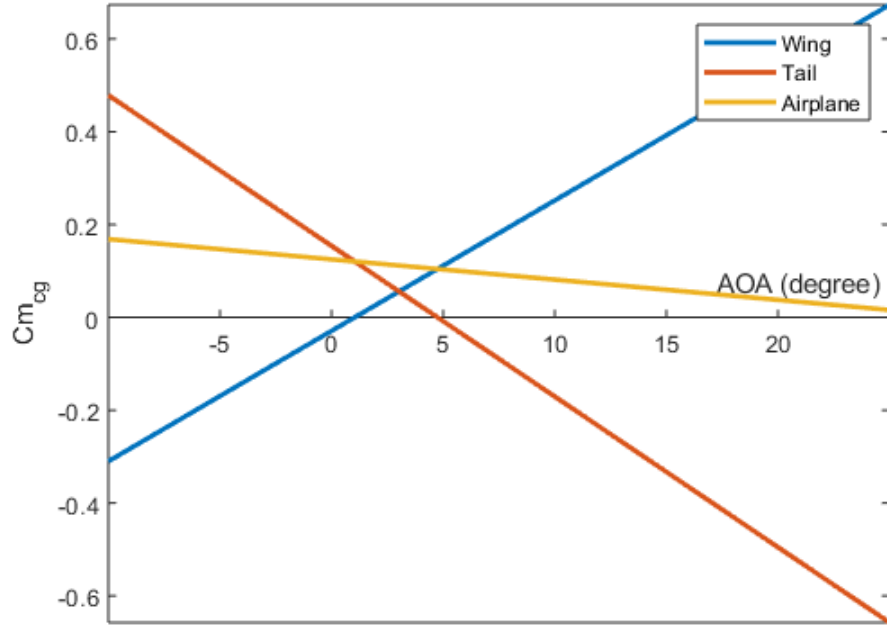
$$C_{m_{cg}} = C_{m_{wing}} + C_{m_{tail}}$$

$$C_{m_{wing}} = C_{m0_w} + \alpha C_{m\alpha_w}$$

$$C_{m_{tail}} = C_{m0_t} + \alpha C_{m\alpha_t}$$

denklemleri kullanılarak oluşturulan kanat, kuyruk ve uçağın moment grafikleri oluşturulmaktadır.





Şekil 20: Stabilite Grafiği

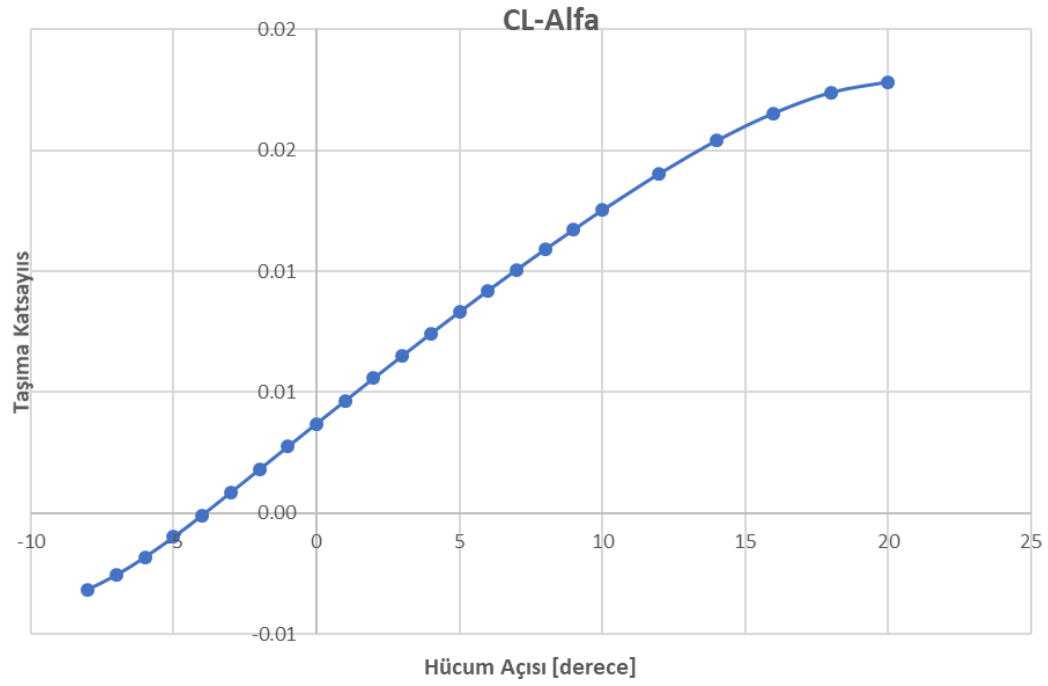
### 5.8. Analiz Sonuçları

Hesaplamalar sonucunda yüzey tasarımı gerçekleşen insansız hava aracının CFD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sırasında mesh işlemi için "Pointwise", çözücü olarak CFX kullanılmıştır.

Analiz koşulları;

- 296.45 Pa
- 1.225 rho (kg/m<sup>3</sup>)
- 22 TAS (m/sn)
- 2.7 Sref (m<sup>2</sup>)
- C<sub>mac</sub> 0.581
- Moment Nok. 0
- X<sub>cmac</sub> %25 0.028

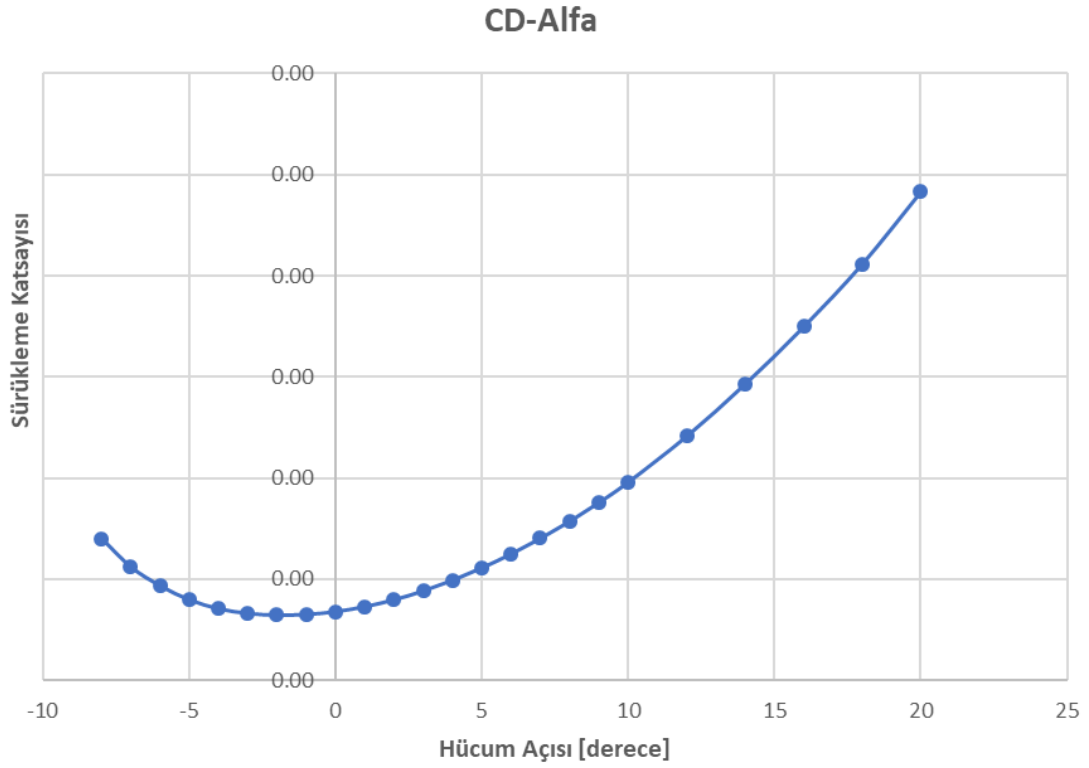
### 5.8.1. Taşıma katsayısı – Hücüm Açısı



**Şekil 21: Taşıma Katsayısı Alfa Taraması**

Hava aracı alfa taramasına göre  $\alpha=20$  derecede stall'a girdiği görülmektedir. 20 dereceye kadar yükselen hücüm açılarında sorun gözlemlenmemektedir.

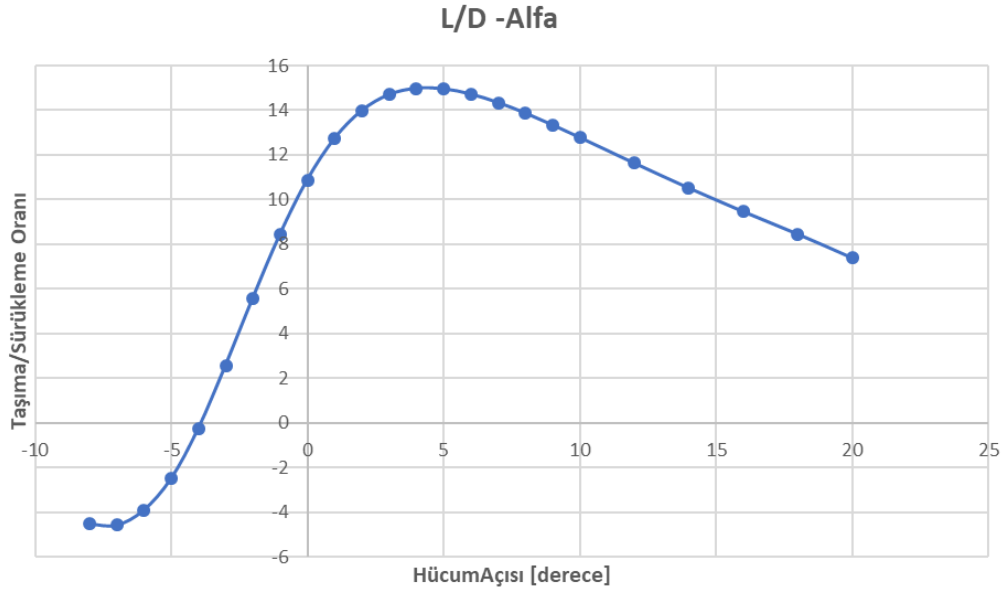
### 5.8.2. Sürüklenme Katsayısı – Hücüm Açısı



Şekil 22: Sürüklenme Katsayısı- Alfa Taraması

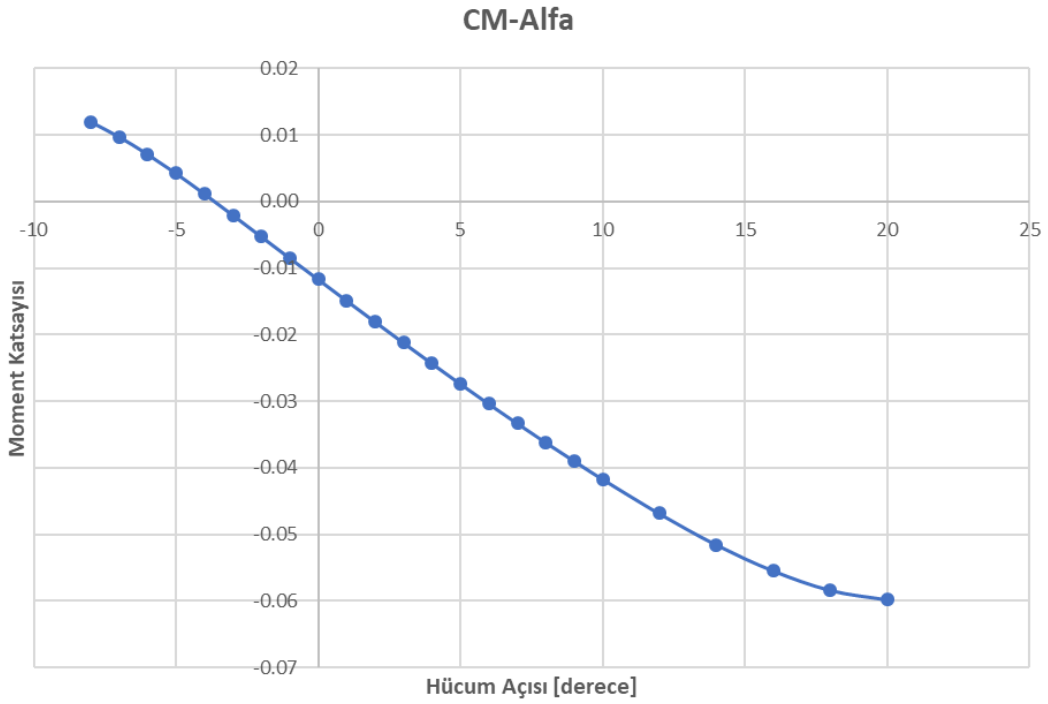
### 5.8.3. L/D alfa Taraması

Temiz geometri ile gerçekleşen taşıma – sürüklenme oranı analizinde 5 derecelik hücüm açısında bu oranın 15 değerine tekabül ettiği görülmektedir. Bu oran temiz geometri için kabul edilebilir bir değerdir.



**Şekil 23: Taşıma / Sürüklenme Oranı Alfa Taraması**

#### 5.8.4. Farklı Hücum Açılarında Moment Katsayısı Taraması



**Şekil 24: CM - Alfa Taraması**

Gerçekleştirilen  $C_m - \alpha$  taramasının negatif eğime sahip olduğu görülmektedir. Bu da hava aracının stabil olduğunu göstermektedir.

## 6. SONUÇ

İnsansız hava araçlarının kullanım kabiliyetlerinin genişlemesi ile birlikte gözetleme, keşif, haritalama, savunma, tarım ve ormancılık alanlarının dışında taşımacılık alanında da oldukça avantajlı olduğu saptanmıştır. Hızlı teslimat yapabilmesi ve ulaşımı zor bölgelere erişimin kolaylaşması açısından kargo tipli insansız hava aracı kullanımı gelecek dönemde de öne çıkacağı görülmektedir. En önemli yönü acil durumlarda, doğal afetlerde tıbbi malzemelerin hızlı ve kolay yolla taşınmasını sağladığı görülmektedir. Bu işlem gerçekleşirken insansız hava aracının dikey kalkış yaparak istediği bölgeye inebilir şekilde tasarlanması önemli bir faktördür.

Gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda 3 kg – 5 kg aralığında kargo taşıma kabiliyetine sahip dikey kalkış ve iniş yapabilen insansız hava aracı tasarlanmıştır. 12 saat uçuş süresi planlanan insansız hava aracı dört adet elektrik motoru ile kalkış ve inişini gerçekleştirecektir. Bu sayede 5kg'a kadar özellikle tıbbi malzemeyi istenilen konumdan diğerine taşıyabilmekte, dikey iniş yaparak güvenli şekilde malzemelerin lojistiğini gerçekleştirebilmektedir.

## KAYNAKÇA

- Kahveci, Can, 2017, “İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada Ve Türkiye'deki Yasal Durumu”, *dergipark.org.tr*/, 512
- Ayranci, Z.B. (2017), ” Use of Drones in Sports Broadcasting, Entertainment and Sports Lawyer, Spring”,79
- Demirkıran,2010, “ Uçan Torpedodan Günümüze İnsansız Hava Araçlarının Gelişimi”, *Bilim Teknik* 2010, 30
- Turğut ve,Şeker,2022, “İnsansız hava araçlarının (İHA) taşımacılıkta kullanımına yönelik keşfedici bir araştırma: drone taşımacılığı ve uygulamaları”
- Erdil, 2021,” İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları İle Bu Araçların Türkiye’nin Yurtdışı Operasyonlarındaki Yeri Ve Önemi”,586
- Türkseven ve diğ., 2016, “Tarımda Dijital Dönüşüm; İnsansız Hava Araçları Kullanımı”,269
- ScienceDaily,"Using drones to monitor volcanoes: Researchers analyze volcanic gases with the help of ultra-lightweight sensor systems." ScienceDaily. [Erişim Tarihi: Aralık 2022]
- Skrzypietz, 2017,“Unmanned Aircraft Systems for Civilian Missions”, BIGS Policy Paper No.1, Potsdam, Şubat 2012, 7
- IATA(2012),“2012AnnualReview”,[Http://Www.İata.Org/About/Documents/AnnualReview-2012.Pdf](http://www.İata.Org/About/Documents/AnnualReview-2012.Pdf). [Erişim Tarihi: 10.10.2021]
- Javadi, M. M., ve Winkenbach, M. (2021). “Applications and Research avenues for drone-based models in logistics: A classification and review. Expert Systems with Applications”, 177
- Precedence Research (2020), Drone Logistics and Transportation Market Size, Share, Growth Analysis. Retrieved from <https://www.precedenceresearch.com/drone-logistics-and-transportationmarket>
- Şen, G., ve Esmer, S. (2017), “Afet Lojistiği: Bir Literatür Taraması”. *The International New Issues In Social Sciences*, 5(5), 231-250.

Rosen, J. W. (2017). Zipline's Ambitious Medical Drone Delivery in Africa. Retrieved from <https://www.technologyreview.com/s/608034/blood-from-the-sky-ziplines-ambitious-medical-drone-delivery-in-africa/>.

MSF. (2014),” Innovating to Reach Remote TB Patients and Improve Access to Treatment”,<https://www.msf.org/papua-new-guinea-innovating-reach-remote-tb-patients-and-improve-access-treatment>, (Erişim Tarihi: 18.06.2019)

[http://www.rcvengines.com/applications\\_uav.html](http://www.rcvengines.com/applications_uav.html)

<http://www.roto-uav.com/uav-engine-roto-85-fs-al>



## EK:1

```

% This code calculates the cruise lift coefficient (C_lc), wing lift coefficient
(CL_wing)
% and the deviation from elliptical lift distribution (error). First obtain
% the required C_lc for the aircraft, then change the wing parameters until
% error is small and C_lc equals CL_wing

clear all, close all, clc

Wi = 30*9.81; %Enter initial
weight (N)
Wf = 24*9.81; %Enter final
weight (N)
W_ave = 0.5*(Wi+Wf); %Average
weight for flight (N)
wing_loading = 15; %Enter wing
loading from Sadraey pg 116
S = (W_ave/9.81)/wing_loading; %Surface area
(m^2)
AR = 10; %Enter aspect
ratio from Raymer pg 50
b = sqrt(AR*S); %Wing span (m)
MAC = S/b; %Mean
Aerodynamic Chord (m)
lambda = 0.68; %Enter
Ctip/Croot, Taper
Croot = (1.5*(1+lambda)*MAC)/(1+lambda+lambda^2); %Root chord
(m)
Ctip = Croot*lambda; %Tip chord (m)
% sweep_angle = 0; %Enter sweep
angle in degrees
% dih_angle = 5; %Enter
dihedral angle in degrees
alpha_twist = -3; %Enter twist
angle in degrees
i_w = 4.5; %Enter
incidence angle in degrees
%%%%Determined from the airfoil mh38
a_2d = 6.4744; %Enter lift
curve slope (1/rad)
alpha_0 = -3.867; %Enter zero-
lift angle of attack (deg)
cl_max = 1.327; %Enter maximum
cl
C_li = 0.5; %Enter ideal
lift coefficient
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
rho_cruise = 0.9093; %Enter air
density @ 3000 m
rho_takeoff = 1.225; %Enter air
density @ sea level
Vc = 80*(1000/3600); %Enter cruise
speed (km/h)
V_stall = sqrt((2*W_ave)/(rho_cruise*S*cl_max)); %Stall speed
(m/s)
V_to = 1.3*V_stall; %Takeoff speed
(m/s)
C_lc = (2*W_ave)/(rho_cruise*(Vc^2)*S) %Cruise lift
coefficient
C_lto = 0.85*(2*Wi/(rho_takeoff*(V_to^2)*S)); %Take-off lift
coefficient

%% DO NOT MODIFY AFTER THIS LINE %%

N = 9; % (number of
segments - 1)
theta = pi/(2*N):pi/(2*N):pi/2;
alpha = i_w+alpha_twist:-alpha_twist/(N-1):i_w; %segment's
angle of attack
z = (b/2)*cos(theta);
c = Croot * (1 - (1-lambda)*cos(theta)); %Mean
Aerodynamics Chord at each segment (m)

```



```

mu = c * a_2d / (4 * b);
LHS = mu .* (alpha-alpha_0)/57.3;                                %%Left Hand
Side
% Solving N equations to find coefficients A(i):
for i=1:N
    for j=1:N
        B(i,j) = sin((2*j-1) * theta(i)) * (1 + (mu(i) * (2*j-1)) /sin(theta(i)));
    end
end
A=B\transpose(LHS);
for i = 1:N
    sum1(i) = 0;
    sum2(i) = 0;
    for j = 1 : N
        sum1(i) = sum1(i) + (2*j-1) * A(j)*sin((2*j-1)*theta(i));
        sum2(i) = sum2(i) + A(j)*sin((2*j-1)*theta(i));
    end
end
CL = 4*b*sum2 ./ c;
CL1=[0 CL(1) CL(2) CL(3) CL(4) CL(5) CL(6) CL(7) CL(8) CL(9)];
y_s=[b/2 z(1) z(2) z(3) z(4) z(5) z(6) z(7) z(8) z(9)];
plot(y_s,CL1,'b-o','linewidth',2),title('Lift distribution'),xlabel('Semi-span location
(m)'),ylabel ('Lift coefficient')
grid on, hold on, axis equal
CL_wing = pi * AR * A(1)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Calculates the deviation from ideal elliptical lift distribution
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
bb = CL(9);
aa = b/2;
y_ell = bb*sqrt(1-((y_s.^2)/(aa^2)));
plot(y_s,y_ell,'r-','linewidth',2), legend('Actual Lift Distribution','Ideal Lift
Distribution')
error = norm(CL1-y_ell)

```

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERDOĞAN Seda

Uyruğu : T.C.

### Eğitim

| Derece | Üniversite ve Bölüm                                       | Mezuniyet tarihi |
|--------|-----------------------------------------------------------|------------------|
| Lisans | Sakarya Üniversitesi<br>Metalurji ve Malzeme Mühendisliği | Haziran.2016     |

### Yayınlar

Kargo Amaçlı Dikey Kalkışlı İnsansız Hava Aracı Tasarımı Konferans Bildirisi

(11.Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi sayfasında tez özeti bildirisi olarak yayınlanmıştır. 11.06.2023 tarihinde kongre sunumu gerçekleştirilmiştir. Kongre Kitabı ISBN NO: 978-625-6471-01-6)

### Yabancı Dil

İngilizce