

**T.C.**  
**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**SABİT KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI**

**BİTİRME PROJESİ**

**ÇAĞDAŞ BOLDAZ**  
**ALİ RIZA TÜRE**  
**KEREMCAN ÇAPKIN**  
**EMİRHAN EKŞİOĞLU**  
**BERKAN SAYGILI**

**HAZİRAN 2021**

**TRABZON**

**I.**

**T.C**  
**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**SABİT KANATLI İNSANSIZ HAVA ARACI PROJESİ**

**329628 ÇAĞDAŞ BOLDAZ**

**347838 ALİ RIZA TÜRE**

**364867 KEREMCAN ÇAPKIN**

**347886 EMİRHAN EKŞİOĞLU**

**347858 BERKAN SAYGILI**

**DANIŞMAN: PROF. DR. LEVENT GÜMÜŞEL**

**BÖLÜM BAŞKANI: PROF. DR. BURHAN ÇUHADAROĞLU**

**HAZİRAN 2021**

**TRABZON**

**II.**

## ÖNSÖZ

Bilindiği üzere otomasyon sistemlerinin her alanda gelişmesiyle birlikte havacılık sektöründe de büyük bir gelişme kaydetmiştir. Kaydedilen bu gelişme ile birlikte ülkemizde bu konuda güzel bir ivme yakalamıştır. Biz de ülkemizin geleceğinin mühendisleri olarak iyi bir referans olacağını düşündüğümüz bu çalışma, lisans eğitimimiz boyunca almış olduğumuz mühendislik dersleri, ödev ve projelerden kazandığımız deneyimler sonucu hedeflenen tasarım projesi büyük bir özen ve titizlik çerçevesinde yapılmıştır.

Projemiz boyunca bize her konuda destek veren danışman hocamız Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL'e, Karadeniz Teknik Üniversitesi Rektörlüğüne, Mühendislik Fakültesi Dekanlığına, Makina Mühendisliği Bölüm Başkanlığına ve ailelerimize teşekkürü bir borç biliriz.

HAZİRAN 2021

TRABZON

Çağdaş BOLDAZ

Ali Rıza TÜRE

Keremcan ÇAPKIN

Emirhan EKŞİOĞLU

Berkan SAYGILI

## ÖZET

2020-2021 Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bitirme projesi kapsamında takımı olarak hazırlamış olduğumuz bu raporda; belirlenen tüm gereksinimlere uygun olarak yapılan sabit kanatlı insansız hava aracının ön tasarımı, elektronik yazılımı ve üretim sürecinde izleyeceği gidişat belirlendi. İHA' nın gereksinimleri daha kısa sürede karşılaması için hızını ve hareket kabiliyetini arttıracak profiller araştırıldı. Yapılan hesaplar neticesinde, tasarım üzerinde ihtiyaç duyulan değişiklikler yapıldı. Yapılan değişiklikler bitirme raporuna eklendi. Uçağın gereksinimleri en kısa sürede yerine getirebilecek ve bizi en iyiye ulaştıracak, özgün ve hafif bir tasarım yapıldı.

**Anahtar Kelimeler: İHA, Tasarım, Konfigürasyon**

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
TABLolar DİZİNİ	VI
RESİMLER DİZİNİ	VII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Tasarımın Amacı, Hedefleri ve Özgünlüğü	1
1.2. Tasarım Probleminin Kısıtları ve Koşulları	2
1.3. Karşılatabileceği Gereksinimler	3
1)İtki Sistemi	3
2)Fail-Safe Modu	3
3)Güvenli İniş	4
4) Sigorta	4
5)Uçuş süresi	4
1.4. Sistem Performans Özellikleri	5
1.5 LİTERATÜR TARAMASI	6
1.5.1 Tanım	6
1.5.2 Aynı ve Benzer Sınıftaki İHA' ların Araştırılması	6
2. Yapılan Çalışmalar	9
2.1 Prototip Üretim Süreci	9
2.2 İHA İmalat ve Montaj Süreci	10
2.2.1 İHA İmalat Süreci	10
2.2.2 Montaj Süreci	12

2.3 Aracın Performansının Tanımlanması	13
2.4 İHA Elektrik Elektronik Konfigürasyon Süreci	14
2.5 İHA Montajı ve Genel Kontroller	15
2.6 Test ve Uçuş Kontrol Listeleri	17
3.1 Tasarımın Boyutsal Parametreleri	19
3.2. Elektrik Elektronik Kontrol ve Güç Sistemi Entegrasyonu	20
3.2.1 Güç Sistemi	20
3.2.2. İtki Sistemi	21
3.3. Ağırlık ve Balans	24
3.4. Aerodinamik Özellikler	25
3.4.1. Pervane Seçimi	30
3.5. Teknik Resimler	31
4. TARTIŞMA	32
4.1. Farklı Tasarım Seçenekleri ve Seçim Kriterleri	33
4.1.1. Kanat Seçimi	33
4.1.1.1. Kanat Profili Seçimi	33
4.1.1.2. Kanat-Gövde Bağlantı Seçim	34
4.1.2. Kuyruk Seçimi	35
4.2. Çevresel Etki ve Güvenlik Değerlendirmesi	36
4.3. Üretilbilirlik ve Maliyet Hesabı	37
4.4. Etik Değerlendirme	38
5. ÖNERİLER	40
6. SONUÇLAR	41

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Tasarımın Amacı, Hedefleri ve Özgünlüğü

Son zamanlarda teknolojinin hızla ilerlemesiyle hayatımıza yeni kavramlar ve teknolojiler girmektedir. Bunlardan bir tanesi de İHA'lardır. Elektrik motorların ve devre kartlarının teknolojinin ilerlemesiyle daha da küçülmesi İHA Teknolojisinin doğmasına ön ayak olmuştur. İHA'lar günümüzde kargo, askerî, uzaktan algılama, ulaşım, gözlem ve sinema gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu ve buna benzer alanların İHA'ların kullanım amaçları farklı olabildiği gibi benzerlik de göstermektedir. Bu amaçlar, kullanılan İHA'nın tasarım, yazılım, donanım, ağırlık, yük taşıma kapasitesi, hızı, havada kalış süresi ve manevra kabiliyeti gibi özelliklerini değiştirmekle birlikte birbirinden farklı çok sayıda İHA sınıfı ve tasarımı ortaya çıkmaktadır. İHA'ların hizmet edeceği amaca yönelik özel olarak tasarlanması İHA'ların işlevselliği ve görev ihtiyaçlarını yerine getirebilmesi açısından önemli bir duruma gelmiştir. Bu çalışmada, standart bir sabit kanat İHA için kanat tasarımının, İHA'nın uçuş özellikleri üzerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, açık kaynak kodlu yazılım desteği ile kanat tasarımı yapılmış ve uçuş özellikleri yönünden tasarımın etkinliği analizlerle ortaya konulmuştur. Sabit kanatlı İHA'ların havada kalma süresinin artırılması, özellikle büyük alanların haritalandırılmasında kullanıcılara büyük kolaylık sağlayacağı, batarya değiştirmeden ve iniş kalkış yapılmadan görevlerin tamamlanmasında etkinlik oluşturacağı öngörülmektedir.

Tasarımımızın nihai amaçlarının sıralanması gerekirse;

- İnsansız hava araç tasarımının optimum ve minimum koşullarının belirlenmesi
- Bu koşullar doğrultusunda optimum ve minimum noktaların ergonomik indirgemelerinin yapılması
- Aerodinamik açıdan uygun kanat ve gövde tasarımı
- Aerodinamik uygunlukla birlikte; uygulanabilirlik ve üretilebilirlik
- Gövde içindeki materyallerin, iniş esnasında zarar görmesinin önlenmesi
- Gövde-İskelet bağlantısının mukavemet açısından tasarıma uygun olması
- Kanat-Gövde bağlantısının montaj-demontaj olarak pratik olması
- İskelet kısmının; hafif, dayanıklı olması ve bağlantı elemanlarının bağlanmasına olanaklı olması

- Kanat-Gövde bağlantısında kullanılacak karbon fiber borunun/boruların, yunuslama momenti sebep olmayacak şekilde yerleştirilmesi
- Uygun bağlantı elemanlarıyla birlikte gerekli rijitliğin sağlanması, rijitlik sağlanırken ağırlığın belirlenen düzeyi aşmaması için optimum noktası belirlendi
- Motor-İskelet bağlantısının, motoru; sarsıntı, aşınma, iniş esnasında zarar görmesi gibi durumlardan koruması
- Gerekliğinde gövdenin iç kısmına ulaşmak ve materyallere erişmek amacıyla uygun kapakçığın yapılması
- Kanat profiline, hücum açısı verilmeden yeterli kaldırma kuvvetini uygulayabilecek şekilde seçilmesi
- Uygun kanat alanı ve veter uzunluklarının belirlenmesi
- Malzeme seçiminde uygun malzemelerle; gerekli rijitliğin sağlanması ve gereksiz yükten korunum arasındaki dengenin korunması
- İç gövde kısmının ergonomik kullanımıyla birlikte, gerekli materyallerin uygun şekilde yerleştirilmesi ve istenildiği zaman kolayca ulaşılabilir olması
- Ağırlık merkezinin aerodinamik merkezle çakışık şekilde ayarlanmasıyla, istenmeyen dönme momentlerinden korunmak
- Kanat geometrisinin ve seçilen malzemenin istenilen ağırlığı kaldırabilmesi
- Tasarıma en uygun kuyruk geometrisinin seçimi yapılarak, montaj-demontaj durumlarının ergonomikliği
- Motor konumunun tasarımımıza uygun biçimde belirlenmesiyle, sürüklenme akısından korunmak ve yeterli itkinin sağlanabilmesi

Teknolojini her alanında olduğu gibi insansız hava araçlarında da büyük bir rekabet ortamı gözlenmektedir. Bu rekabetin içine girebilmek ve başarılı olabilmek için gelişim sürekliliği olan tasarımların hedeflenmesi büyük önem arz etmektedir. Tasarımımızda, elimizdeki imkanlar doğrultusunda sürekli geliştirilebilirlik ilkesi doğrultusunda hedeflerimiz belirlendi.

Hedeflerimizin ana temalarını belirtmek gerekirse;

- Yüksek hareket kabiliyeti
- Materyal senkronizasyonlarının kusursuzluğu



- Dijital bağlantıların problemsiz çalışması ve kusursuz senkronizasyonu
- Gözlem yapabilme
- Düşük radar görünürlüğü
- Ergonomik uçuş performansı
- Hedef saptayabilme
- Belirlenen irtifalarda uçuş yapabilme
- Modernizasyona açık
- Uzun ömürlü
- Optimum hava şartlarına dayanıklı
- Belirlenen süre boyunca havada kalabilme
- Belirlenen rotalarda uçuş yapabilme
- Bakım ve onarım kolaylığı

Hedefler sıraladığımız şekilde havacılık alanındaki teknolojik gelişmelerin temel kavramlarını tasarım sürecinde kavrayacak ve geliştirilebilecek noktaların saptanabileceği şekilde belirlenmiştir.

Ortaya konan ürünün kalitesini belirleyen en önemli etkenlerden biriside, ürünün özgünlüğüdür. Ürününüzün var olan ürünlerden farklılığı olmadığı sürece ürün kopya vasfının dışına çıkamaz. Fakat bunun yanı sıra ortaya konulmuş olan her ürün yaşayan birer tecrübedir. Tasarım esnasında ortaya daha öncesinde konulmuş olan ürünlerden faydalanmak bu anlamda büyük avantaj sağlamaktadır. Bu durumda iki zıt durum arasında ki çizgiyi korumak dikkat isteyen bir durumdur

Tasarımımızın ön araştırması esnasında birçok İHA tasarımı incelendi. İncelenen ürünlerin eksik noktalar ve tasarımımıza avantaj sağlayabilecek kısımlar belirlendi. Araştırılan ürünler ve ürünlerden elde edilen performans tecrübeleriyle birlikte tasarımımızın hedefleri ve amacı doğrultusunda oluşturacağımız özgün tasarımımızın temelleri belirlendi. Bu temeller esnasında var olan durumdaki ürünlerdeki eksik veya yanlış görülen noktalarda düzeltme araştırmaları yapıldı. Tasarımımıza entegresinde avantajlı olduğunu düşündüğümüz noktaların ise özgünleştirilmesi için özgün entegre çalışmaları yapıldı.

Yapılan çalışmalar sonucunda;

- Gövde geometrisi
- İskelet kısmı
- Motor-iskelet bağlantı aparatı
- Gövde-kanat bağlantısı
- İskelet-gövde bağlantısı
- Kanat-iskelet bağlantısı
- Kapakçık
- İskelet geometrisi
- Monte-demonte aparatları

Elde edilen özgün tasarımların bütünlüğüyle birlikte tasarımımızın özgünlüğü sağlanmış oldu. Böylelikle girilecek olan rekabet ortamında, kendi türünde özgün ve iddialı bir ürünün temelleri atıldı.

Tasarımın amacı, hedefleri ve özgünlüğü üzerinde yapılan çalışmalar esnasında İHA alanında birçok temel kavram ve geliştirilebilecek noktalar sağlanmış oldu. Bunlarla birlikte gelişimin sürekliliği açısından, tasarımımızın oturtulduğu sürekli geliştirilebilirlik ilkesi doğrultusunda rekabet ortamına hazır, özgün, iddialı tasarımımız oluşturuldu.

## **1.2. Tasarım Probleminin Kısıtları ve Koşulları**

Tasarım aşamasında en önem verdiğimiz konu gereksiz maliyetten kaçınarak en basit ve yapımı kolay sabit kanatlı insansız hava aracını yapmaktır. Bu amaç doğrultusunda geçen dönem tasarımı yapılmış olan İHA' nın üretilebilirlik açısından uygun olmadığı saptanmıştır. Bunun üzerine yapılan tasarım aşağıdaki yol haritası izlenmiştir.

Uçağın gövde ve kanat profilleri strafordan yapıldı. Ayrıca aerodinamiğe uygun olması için gövde geometrisi su damlasına benzetildi. Elektronik kısımlar İHA'nın ağırlığı dikkate alınarak ve donanımların birbirine uyumlu olması göz önünde bulundurularak seçildi.

Uçakta itki kuvvetini sağlamak için tek motor kullanımı tercih edildi. Motor burun kısmında konumlandırıldı. Ağırlık dengesini sağlamak için güç bataryası motorun arkasında, gövdenin içine sabitlendi. Kuyrukta bulunan rudder ve elevatorün hareketini sağlayacak olan iki ayrı servo motor kuyruğa, arka iniş takımının kontrolünü sağlayacak servo motoruda iniş takımının arkasına montajlandı.

### 1.3. Karşılayabileceği Gereksinimler

Tasarımı gerçekleştirilmiş olan insansız hava aracının uçuş esnasında bazı önemli şartları karşılayabilecek potansiyelinde olmalıdır. Aşağıda başlıklar halinde değinilmiştir:

#### 1) İtki Sistemi

İHA-0 kategorisinde belirlenmiş olan insansız hava aracının maksimum 4 kg ağırlığında olup, bu ağırlık şartlarında kalkış esnasında; %50'den fazla itki ile kalkış yapıp, %50 itki ile seyir hızına ulaşip ve %50'den daha az itkide iniş gerçekleşmesi hedeflenmektedir.

#### 2) Fail-Safe Modu

Uçuş esnasında herhangi bir problem ile karşılaşılmaması durumunda insansız hava aracının da arıza emniyet sistemi bulunmaktadır. Bu sistem araç radyo sinyalinin kaybolması sırasında otomatik olarak devreye girecektir. RADIOLINK AT9S kumandasına bu fail-safe modu yapılmış olup gerekli ayarlar düzenlenmiştir. Sabit kanatlı insansız hava araçları için fail-safe modu aşağıdaki sıralamada görüldüğü gibidir.

- 1) Gazın kesilmesi
- 2) Tam yukarı irtifa
- 3) Tam sağ dümen
- 4) Tam sağ aileron
- 5) Flaplar tam aşağı



Sekil 1.3.1. RC kumanda

### 3) Güvenli İniş

Hava araçlarında güvenli iniş çok büyük önem teşkil etmektedir. İniş esnasında tekerleklere gelecek olan şok kuvvetlerini sönmölemek için iniş takımı sünek malzeme olarak seçilmiş olup, ayrıca sönmöleme elemanları kullanılmıştır.

### 4) Sigorta

Sabit kanatlı insansız hava aracında yüksek akıma bağlı olarak herhangi yangın riskini önlemek için sigorta sistemi bulunmaktadır. Bu sistem bataryanın (+) kutup çıkışından ESC (elektronik hız kontrol) donanımına bağlıdır. Sigorta sistemi ESC'den geçecek maksimum akımdan %10 daha fazla olmalıdır.



Şekil 1.3.1. Bıçak sigorta düzenneği

### 5) Uçuş süresi

Hava araçlarında operasyonel koşullarda uzun menzil kat etmek amacıyla uçuş süresinin yüksek olması istenmektedir. Bu koşullar doğrultusunda yeterli pil kapasitesi, dizaynın aerodinamik verimlilik, kanatlardaki Lift/Drag oranının yüksek olması, uygun motor-pervane donanımı gibi koşullara dikkat edilmelidir.

Uçağın sağlamlığını ve hızını arttırmak için ortadan kanat kullanılması planlandı. Kanat profili için kambur profil seçildi, bu sayede kaldırma kuvvetinin arttırılması sağlandı. Dönüşlerin daha rahat yapılabilmesi için uçakta kuyruk modeli olarak konvansiyonel kuyruk kullanılması belirlendi.

#### 1.4. Sistem Performans Özellikleri

Havacılıkta uçak ağırlığının minimum olması, uçuş performansı açısından önem teşkil etmektedir. Bu bağlamda İHA'nın gövdesi strafordan üretildi ve karbon fiber borularla iskelet sistemi dizayn edildi. Araştırmalar sonucunda yüksek performansa sahip kanat profilleri arasından maksimum Cl/Cd, Reynold sayısı, Mach sayısı, maksimum kalınlık ve profil geometrisi parametreleri referans alınmış olup CLARK V kanat profili seçildi. Güvenlik açısından İHA'da bulunan lityum-polimer pilin dış yüzeyi göze çarpan bir shrink makaron kaplama ile kaplanılmış olup acil bir durumda kolay ulaşılabilmesi amaçlandı.

İHA'nın kavramsal analizler sonucunda 2.537 g ağırlığında olacağı ve 4s 5000mAh Lipo batarya ile 5.7 dk uçuş yapabileceği belirlendi. İHA'nın; radyo sinyali kaybında veya sert hava koşullarında arıza emniyet sistemi modu etkin olup, sorun giderilene kadar kendi ekseninde dönmesi amaçlandı.

Motor	SunnySky X3525 Brushless Motors
Pil	500mAh 4s 20C Lipo Pil
Uçuş Süresi	5.7dk
Gövde Malzemesi	Strafor
Uçak Kütlesi	2587g
Kanat Profili	CLARK V
Hücum Açısı	5,25°C
Max Cl/Cd	80.92
Reynold Sayısı	231099,7
Mach Sayısı	0-0,8(Sübstonik Ses Hızı)
Pervane	APC 13x6.5 inç

## 1.5 LİTERATÜR TARAMASI

### 1.5.1 Tanım

Bu bölümde tasarlanacak insansız hava aracına muadil özellikteki uçakların literatür araştırmaları yapılmış ve seçilen uçakların karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra bu özellikler bir tabloda birleştirilmiş, böylece gerekli veriler düzenlenerek göz önüne serilmiştir.

### 1.5.2 Aynı ve Benzer Sınıftaki İHA' ların Araştırılması

ASELSAN tarafından üretilen sabit kanatlı İHA sistemi MİUS, kompakt ve hafif sabit kanatlı hava aracı, oto pilot, faydalı yük ve yer kontrol istasyonundan oluşmaktadır. Tamamen otonom olan sistem elden atılıp paraşütle veya gövde üstüne iniş gerçekleştirebilmektedir. Havada yaklaşık 1.5-2 saat civarında kalabilmektedir. Üzerinde tümleşik bir faydalı yükü var; termal ve gündüz olmak üzere başta istihbarat, keşif gözetleme amaçlı kullanılmakta. Şu anda boru hatlarının güvenliği amacıyla teslimatı yapılmaktadır. Boru hatlarında Midas sistemleri kullanılmaktadır. Bunlar boru hatları boyunca kullanılan fiber optik sistemler, bunlardan herhangi bir ikaz geldiğinde koordinatları bildiriliyor, hızlı bir şekilde, elden atılabilen bir sistemdir, yaklaşık 8 kg ağırlığında, elden atıp hızlı bir şekilde bölgeye gidip, istenilen koordinata gidip orada herhangi bir keşif gözetleme amacı yapıp bir uyarı aldıysa oradaki görüntüleri merkeze aktarma üzerine kullanılan bir sistemdir. Bu tamamen otonom bir sistemdir. Yer kontrol istasyonu ile kullanılmaktadır, elden atılmaktadır. İstedğiniz noktaya paraşütle veya gövde üzerine iniyor. Termal kamerası ASELSAN'a ait, gündüz kamerası dışarıdan alındı. Ama tasarım, gimbal olarak tasarım tamamen ASELSAN'a aittir. Yaklaşık 400 metreden insan tespiti yapılmaktadır. Bu araç için veya daha sıcak, daha büyük cisimler için daha uzak mesafeler anlamına gelmektedir.



ŞEKİL 1.5.1: Sabit Kanatlı İHA Sistemi MİUS

Sabit Kanatlı İnsansız Hava Araçları ilk olarak hava torpidosu olarak tasarlanmıştır. İlk başlarda üzerinde bir kontrol sistemi ve yazılım olmadığı için hedefleri vurma oranları çok düşüktü. Daha sonraki zamanlarda mühendisler tarafından geliştirilen yazılım ve kontrol sistemleri sayesinde İHA'lar keşif/gözlem yapabilen görüntü aktaran bir tasarıma dönüşmüştür. Yukarıda verilen örnekte olduğu gibi Aselsan tarafından geliştirilen Sabit Kanatlı İHA çok amaçlı bir tasarım olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatüre bakıldığında çok fazla çeşit İHA türüne rastlamak mümkündür.

Amerika tarafından yapılan RQ-9 REAPER isimli İHA'nın en önemli özelliği ilk vurucu İHA olmasıdır. Motoru saatte 240 knot hız yapması ve 40.000 feet irtifaya kadar çıkabilmesi günümüzde tasarlanan İHA'ların geçmişe nazaran ülkeler için ne kadar faydalı olduğu anlaşılmaktadır.



ŞEKİL 1.5.2: RQ-9 REAOER

Diğer bir tasarım olan Çin devletine ait CH-5 isimli İHA'nın en önemli özelliği denize inmesidir. 21 metre kanat açıklığı ve 1.000 kg taşıma kapasitesi ve 9.000 metrelik servis irtifası ile neredeyse normal bir Airbus uçakları ile aynı özelliktedir.



ŞEKİL 1.5.3: CH-5

Diğer bir İHA çeşidimiz TAI firmasının tasarladığı ANKA isimli insansız hava aracıdır. ANKA orta irtifalı-uzun ömür İHA sınıfındadır. İlk başlarda taktiksel gözetim ve keşif misyonları için tasarlanan Anka daha sonra ki yıllarda kendini geliştirerek hassas silahlar ve uydu iletişimiyle uyumlu bir tasarım haline gelmiştir.

Savunma sanayimize büyük faydası olan bu tasarım gerek ülkemizde gerekse yurt dışında ülkemizi her türlü tehdide karşı savunmaktadır. Özelliklerine inceleyecek olursak 18 bin fit irtifaya çıkabilen ve yapılan son testler de 6 saat havada kalma özelliği ile ülkemize büyük katkı sağlamaktadır.



ŞEKİL 1.5.4: TAİ Firmasının Tasarladığı ANKA isimli İHA

HAVA ARACI İSMİ	Phantom Eye	Altus 2	Lockheed Martin RQ - 3	Global HawkRQ-4B Block 30/40	Perseus B
Ülke	ABD	ABD	ABD	ABD	ABD
Paralı Yük (kg)	204	150	453	1360	200
Boş Ağırlık (kg)		350	1980		300
Yakıt Ağırlığı (kg)		348 lt	1467		480
Azami Kalkış Ağırlığı	9800	975	3860	14628	980
Güç (h.p.)	150	100		4300 kg	100
Kanat Açıklığı (m)	46	16.76	21	39.9	71.5 ft
Kanat Alanı (m2)		23.40813333	35.28		194sq.ft
Kanat Açıklık Oranı		12	12.5		15
Seyir Hızı (knots)	150	70(130km/h)	464 km/h	575km/h	97
Servis Tavanı (m)	65000ft	19800	15000	18288	20000
Menzil (nautical mile)			500	12300	10260
Takat (h)	168	24	12	32+	8-24
HAVA ARACI İSMİ	MQ-9 Reaper	Qinetiq Zephyr	* Global Observer	Akıncı	Soar Dragon
Ülke	ABD	ABD	ABD	TÜRKİYE	ÇİN
Paralı Yük (kg)		2,5 kg (5,5 lb)	1.000 lb	1350 kg	
Boş Ağırlık (kg)	2223				
Yakıt Ağırlığı (kg)	1800				
Azami Kalkış Ağırlığı	4760 kg	117 lb (53 kg)	5000 kg		5800
Güç (h.p.)	900	1,2		900	
Kanat Alanı (m2)					
Kanat Açıklık Oranı					
Seyir Hızı (knots)	169	30			750 km
Servis Tavanı (m)	15.240	70.000 ft	65.000 ft	40000 ft	18.000 m ( )
Menzil (nautical mile)	1000		600 mil		7,000 km
Takat (h)	14 saat			24 saat	10 saat

Tablo 1.5.5: Benzer Özellikteki İHA'lar

Sonuç olarak İHA'lar ile ilgili yapılan literatür taramasında çıkarılan sonuç: yapılan ve tasarlanan İHA'ların özellikleri ne kadar farklı olsa da hepsinin ortak özelliği ülkelerini en başta savunma alanının da ve birçok alanda (Kamera Çekimi, Zirai İlaçlama, Yangın Söndürme, Taşımacılık vb.) korumak ve muhafaza etmektir.



## 2. Yapılan Çalışmalar

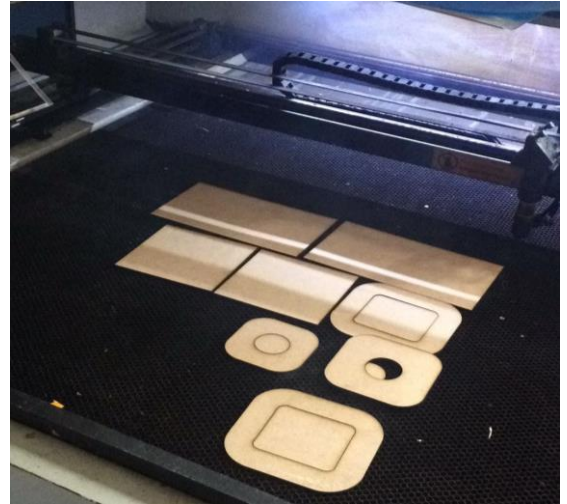
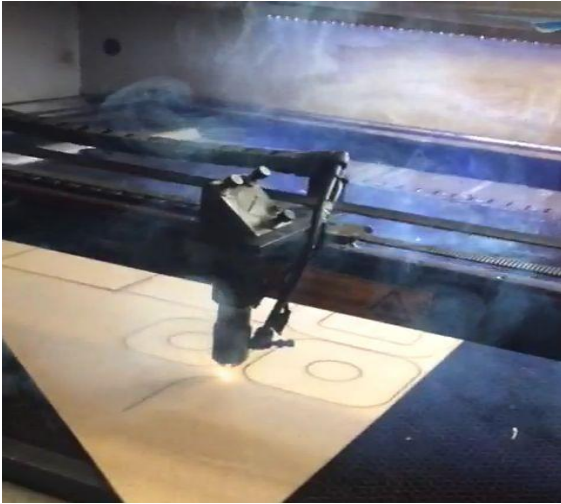
### 2.1 Prototip Üretim Süreci

İHA'da malzeme olarak EPS 200 tipi yoğunluğu  $31 \text{ kg/m}^3$  boyutunda straforu kalıplara ayrılarak uçağın gövde, kanat, burun ve kuyruğun ana ve yedek parçaları kesildi. İHA'nın üretimine gövde, kanat, kuyruk ve burun için straforu dört farklı kalıpta keserek başlandı. Straforumuzu kalıplarına ayırdıktan sonra 0.7 mm'lik krom tele güç kaynağı ile ortalama 4A'lık akım verilerek tel ısıtıldı. Lazer kesim ile çıkartılmış kontrplaktan kalıpları referans alarak gövde, kuyruk, kanat ve burun ana ve yedek parçaları üretildi. Parçaların üretiminden sonra pürüzlü yüzeyler zımparalandı. Montaj için ana gövde, kuyruk ve burun profillerinin köşelerine 65 mm derinliğinde delikler açılarak 8/6 mm'lik karbon çubuklar epoxy yardımıyla yapıştırıldı. Kanatlarda ise çeyrek veter noktasından 8/6 mm'lik karbon çubuklar için yuva açılarak epoxy yardımı ile karbon çubuklar yuvalara yerleştirildi ve sağlamlık artırıldı. Üretilen prototip toplamda 2587 gr olarak ölçüldü ve matematiksel hesaplamalar yapıldıktan sonra komponentlerin yerleri belirlenip yerleştirildi. İHA'nın toplam ağırlığı faydalı yüklerle birlikte 2787 gr olarak ölçüldü.

### 2.2 İHA İmalat ve Montaj Süreci

#### 2.2.1 İHA İmalat Süreci

İHA'mızın imal ve montajı iki bölüme ayrılmıştır. 2.1.1 İmal Süreci İlk olarak uçağın ana parçalarını oluşturacak ham madde ve lazer ile kesilen referans kontrplaklar temin edildi.



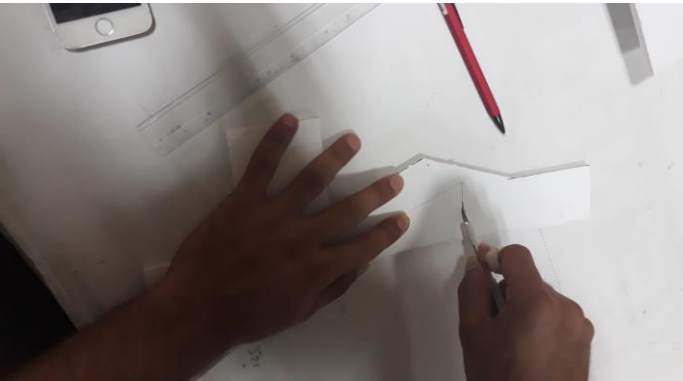
Resim 2.1.1 Lazer Kesimi

Ardından referans kontrplakları kullanılarak İHA'nın gövde, kanat, burun ve kuyruğun ana ve yedek parçaları güç kaynağından akım verilerek ısıtılan krom tel ile kesildi. Kesimi yapılamayan parçalar ince zımpara kağıdı ile zımparalandı.



Resim 2.1.2 Kanat Kesimi ve Gövde Zımparalama

En son olarak da maket bıçağı ile strafor kesilerek İHA'nın kanatları için aileron, kuyruktaki stabilizatörler için de rudder ve elevatör imal edildi. Ardından plastik menteşeler yapıştırarak montaj için kurumaya bırakıldı.



Resim 2.1.3 Kuyruk



Resim 2.1.3 Kuyruk

### 2.1.2 Montaj Süreci

Prototipin tüm parçaları bittikten sonra montaja başlamadan önce kanatların içine 630 mm'lik karbon çubuklar yerleştirildi ve epoxy ile yapıştırıldı. Ayrıca, gövde, kanat ve kuyruğun köşelerine birer adet 65 mm derinliğinde delikler açıldı ve yerleştirilen karbon çubuklar yardımıyla montaj yapıldı.



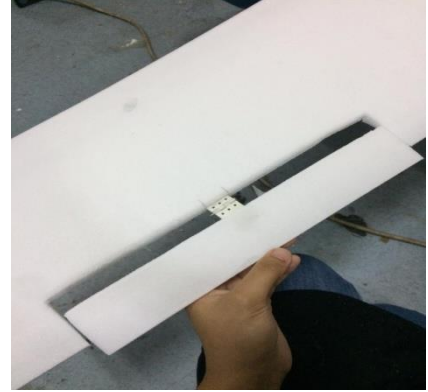
Resim 2.1.4 Kanat ve Kuyruk Karbon Fiber Montajı

Yapışan kısımlar kuruduktan sonra M3 vida ile iniş takımları kontrplaklar ile birlikte gövdeye monte edildi. Ardından epoxy ve plastik menteşe ile birlikte aileronları kanada, elevatörlerin ve rudderın kuyruktaki stabilizatörlere montajı yapıldı.



Resim 2.1.5 İniş Takımı Montajı

Daha sonunda plastik menteşeler; aileronları, elevatörleri ve rudderı, kanatlara ve stabilizatörlere tel yardımı ile epoxy sürülerek yapıştırıldı ve montajı sağlandı.

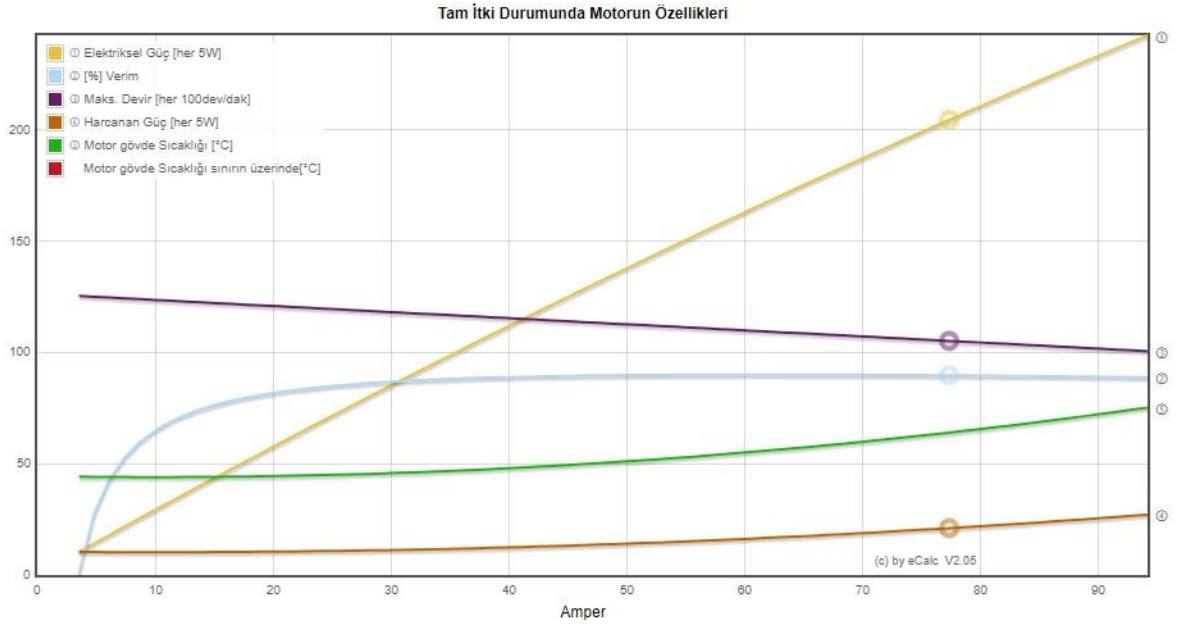


Resim 2.1.6 Elevatör Rudder Aileron Montajı

### 2.3 Aracın Performansının Tanımlanması

İHA'nın tüm hazırlıkları tamamladıktan sonra piste geldiğimizde sırayla testleri yapıldı. Uçağımızın elevatörlere, ruddera ve aileronlara bağlı servo motorların doğru bir şekilde çalıştığı gözlemlendi. Uçuş yapmadan önce motorumuza bağlı olan Skywalker ESC fabrika çıkış modu olan Helo modu açıktı. Bundan dolayı programlama kartı kumandası ile MAT 5 modu ayarlandı ve motorumuz 1.3 saniyede tam hızı ulaştığı gözlemlendi. Uçağımızın %80 itki ile uçuşu gerçekleştirdiğini ve ortalama 5 saniye de kalktığı kaydedildi. Uçağımıza 2 adet 3 tekerlekli iniş takımı montaj edildi, büyük iniş takımının boyu 180 mm küçüğün ise boyu 80 mm olarak ölçüldü ve arkadaki tek tekerlekli küçük iniş takımına 11 gramlık servo motor monte edildi. Bunun sayesinde inişte ve kalkışta uçağa yön vermemize olanak sağlandı. Kuyruğumuz ise konvansiyonel kuyruk olduğundan dolayı kuyruğun daha yüksek olmasına gerek olmadığı gibi sürtünme alanı azaldığından dolayı sürtünme kuvveti de azaldı.

Tam itki durumunda motora ait elektriksel güç, % verim, maksimum devir, harcanan güç ve motor gövde sıcaklığı eğrileri aşağıdaki grafikte verilmiştir.



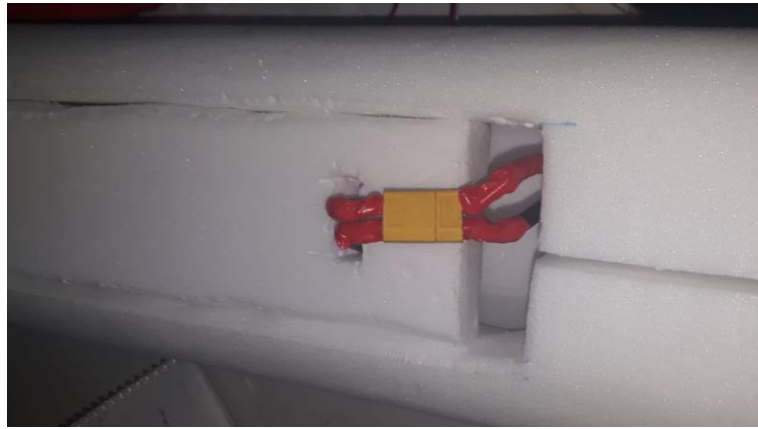
Grafik 2.1.7 Motorun Özellikleri

## 2.4 İHA Elektrik Elektronik Konfigürasyon Süreci

Uçak gövdesinin içine elektronik aksamalar daha rahat sabitlenmesi için gövde iç zemininde balsa kullanıldı ve çift taraflı batlar ile sabitlendi. Manevra kabiliyetini sağlayan servo motorların kabloları buldukları uzuvların gövdeye bağlandıkları yerlerden geçirildi. Kablolu sigortaya çok daha rahat ulaşabilmek için gövdenin üst kısmında bulunan, kapakçık yanından dış çevreye teması sağlandı.



Resim 4.2.2 Kablolu Sigortanın Lehimlenmesi

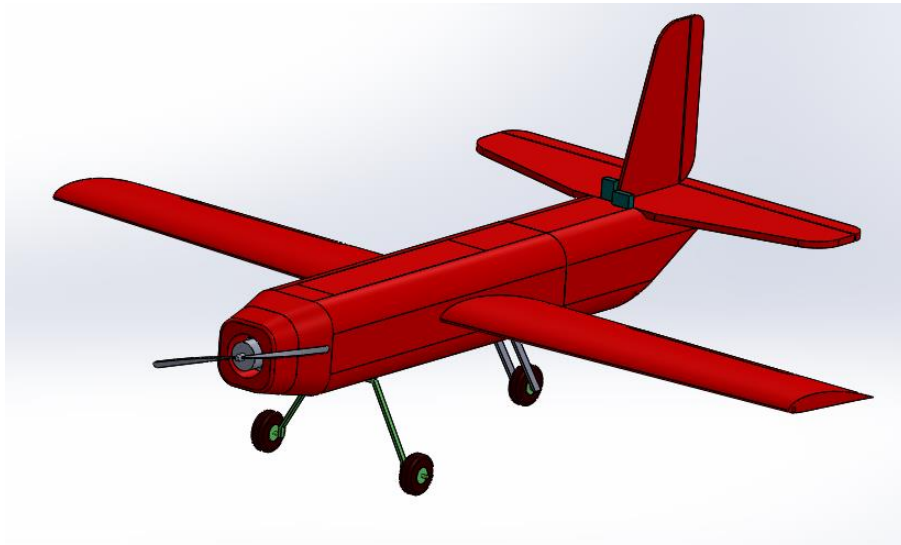


Resim 4.2.3 Kablolu Sigorta Devresi

## 2.5 İHA Montajı ve Genel Kontroller

Sabit kanatlı İHA'nın taşınabilir olması için; burun, gövde, kanatlar ve kuyruk kısımları ayrı ayrı üretilip montajları yapıldı. Üretim kısmına geçilmeden önce kalıplar, Solidworks programında çizildi ve gerekli toleranslar verilerek lazer kesim ile çıkartıldı. Hesaplanan ölçümlerin ve belirlenen referansların, her seferinde en az 2 grup üyesi tarafından kontrolü yapılarak doğruluğu teyit edildi. Krom telden 4 amper akım geçirilerek uçağın parçaları kesildi. Daha sonra parçaların yüzey pürüzlülüğünü gidermek ve oluşan hata paylarını yok etmek amacıyla zımpara işleminden geçirildi. Burun, gövde, kuyruk ve kanat montajı, karbon çubuklar ile sabitlendikten sonra epoxy ile yapıştırıldı. Motor ve iniş takımının montajı epoxy ile yapıştırılan kontrplaklara vidalanarak sabitlendi.

Aileron, rudder, elevatör kısımlarındaki servo motorlarının yönlerine dikkat edilerek yerleştirildi. Bu kısımların her birinde üçer adet menteşe monte edildi. Menteşeler kullanılırken üzerlerine epoxy sürüldü ve yerlerine sağlamlaştırılarak sabitlendi. Servo uzatma kablolarının gövde içine girmesi için gövdede küçük delikler açıldı. İçerisindeki elektronik malzemeleri sabitlemek için çift taraflı bantlardan kullanıldı. Pilin enerjisini tamamen kesecek kablolu sigorta pile yakın ve uçağın dışında kolay ulaşılabilir yere konulmuştur. Uçağın içine iç kısma hızlı ve kolay ulaşılabilmesi için üst tarafına hava akışını bozmayacak şekilde kapak konulmuştur.



Resim 2.5 Perspektif Görütü

1	Parçaların montajının rijitliğine bakılması
2	Elektronik cihazların bağlantılarının ve çalışabilirliğinin test edilmesi
3	Monte edilen servo motorların yönlerinin kontrol edilmesi ve açılarının 0 derece olması
4	Pervane yönünün kontrol edilmesi
5	Yerleştirilen malzemelerin sabitliğinin kontrol edilmesi
7	Ağırlık merkezinin doğruluğunun teyit edilmesi
8	Lipo pilin doluluğunun kontrol edilmesi
9	Uçağın YKİ ve kumanda bağlantısını kontrol etme
10	Kumanda ayarlamalarının yapılması
11	Receiverin anteninin uçağın dışında olacak şekilde yerleştirilmesi
12	ESC'nin hangi modda olduğunu belirleme
13	Sigorta devresinin işlevselliğine bakılması

Resim 4.2.3 Kablolu Sigorta Devresi



## 2.6 Test ve Uçuş Kontrol Listeleri

1- Uçuşun yapılacağı alanda hava koşullarının uçuş için elverişli olup olmadığı kontrol edildi.

2- Açıkta duran motor vb. cihazların içine toprak kaçmış olma ihtimaline karşı kontrol edildi.

3- Aracın dış kısmında uçuşu engelleyebilecek herhangi gibi bir fiziksel hasarın olmadığı kontrol edildi.

4- İHA'nın içine yerleştirilen cihazların uçuş esnasında hareket etmeyeceklerinden emin olundu.

5- Pervane bağlı değil iken motor ve elektronik sistemler kontrol edildi.

6- Pilin doluluk oranı kontrol edildi.

7- İniş takımları kontrol edildi.

8- Alçak uçuş denemesi yapıldı.

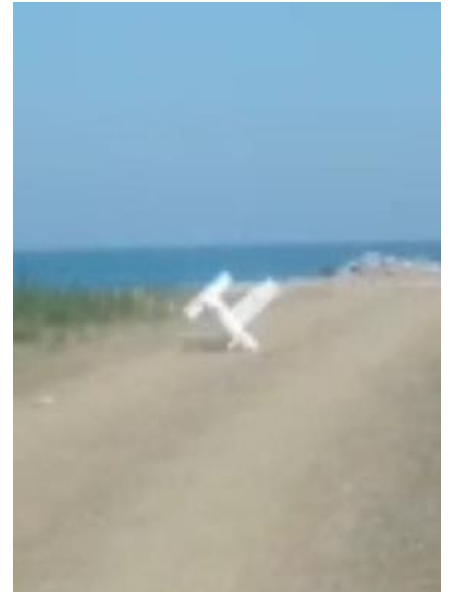
Yapılan kontrollerden sonra ilk uçuş denemesi yapılmak üzere alana gidildi. ESC helikopter modunda kaldığı için bir süre modu normale çevirmek için vakit kaybedildi. Tüm düzenlemeler yapıldıktan sonra İHA'da manuel olarak kumanda MAT 1 - 0.15 second modunda, motor tam güce ulaştırılarak kalkışı sağlanmaya çalışıldı. Birkaç saniye içerisinde motorun farklı sesler çıkardığı duyuldu ve burun kısmından duman çıktığı gözle görüldü. Elektronik aksamı kontrol etmek amacıyla gövde kapağı açılıp ilk önce devrenin enerjisi kesildi ve hata arandı. Anlık verilen akımın fazla gelmesi ESC ve motor kablolarının aşırı ısınıp, hem motorun hem de kabloların yanmasına neden oldu. Şekil 5.2.1'de uçaktan çıkan duman ve motorun yanmış hali görülmektedir.



Şekil 5.2.1 Birinci Uçuş Sonucu

İlk uçuştan sonra iki gün içerisinde uçakta oluşan hasarlar giderildi ve 2. deneme uçuşuna geçildi. İHA'nın kalkışı ve uçuşu başarılı bir şekilde sağlandı fakat inişte başarılı olunamadı ve düştü. Düşüş sonucunda gövde ve sol kanat kırıldı. Elektronik aksam da ise receiverın anteni bağlantı yerinden ve LiPo bataryanın hücre konektörlerinden birisi koptu.

İlk denemede elektronik donanımdan dolayı başarısızlık elde edilmişti. İkinci denemede ise uçağın mekanik tasarımından dolayı başarısızlık elde edildi. Dönüşlerde istenilen verim alınamadığı için sorunun kanatlardan kaynaklandığı test edildi. İyileştirme olarak aileronların boyut ve konumları bir sonraki prototip için değiştirildi.

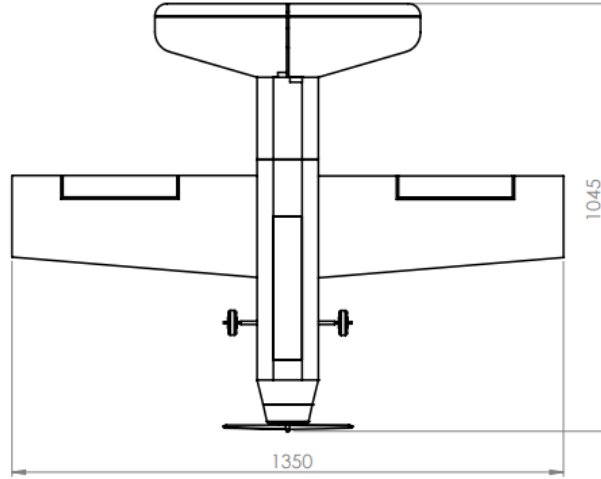


Şekil 5.2.2 İkinci Uçuş Sonucu

### 3. BULGULAR

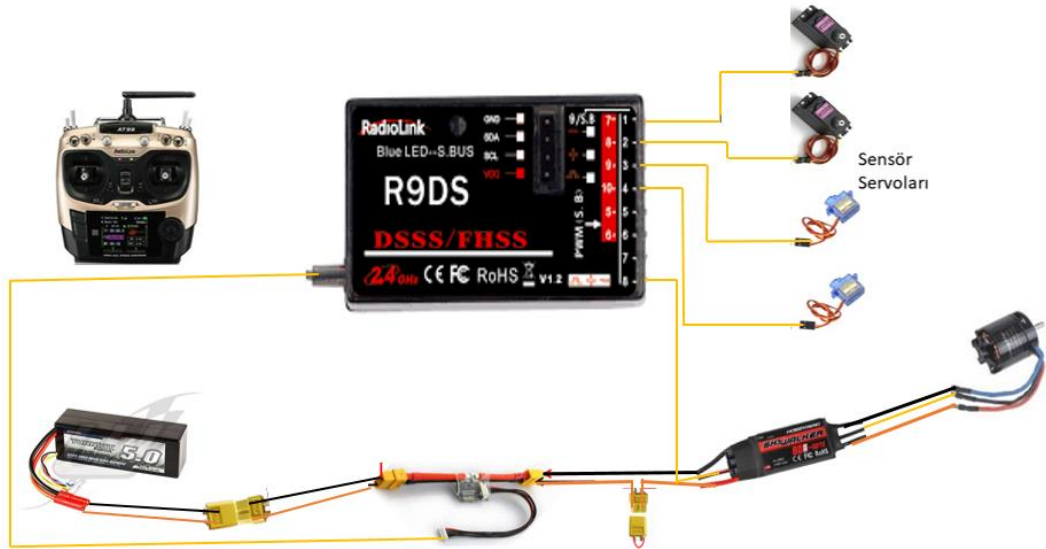
#### 3.1 Tasarımın Boyutsal Parametreleri

İnsansız hava aracının ağırlığı 2.587 g olarak hesaplandı ve boyu 1045 mm, kanat açıklığı 1350 mm, gövde kesiti 140x150 mm olarak boyutlandırıldı.



Şekil 3.1.1: Teknik Resim

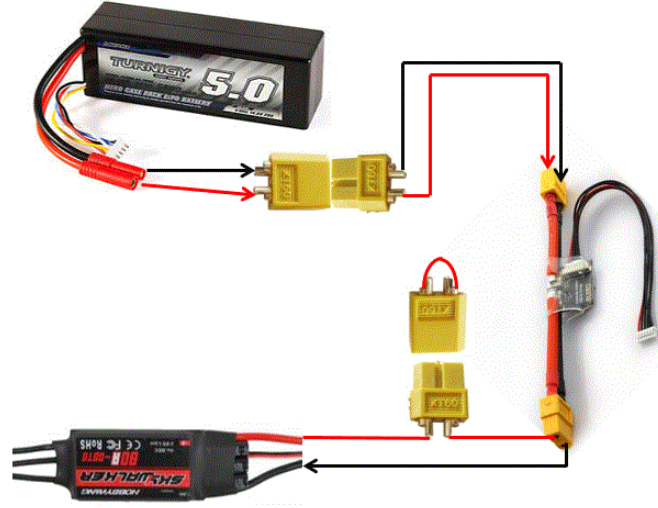
#### 3.2. Elektrik Elektronik Kontrol ve Güç Sistemi Entegrasyonu



Şekil 3.2.1. Elektronik ve Uçuş Kontrol Sistemi

### 3.2.1 Güç Sistemi

Güç sisteminde iki adet sigorta kullanıldı. Birinci sigorta güç kaynağı ile güç modülü arasında konumlandırılıp enerjinin tamamını kesmesi sağlandı. İkinci sigorta ise güç modülü ile ESC arasındadır.



Şekil 3.2.1.1. Sigorta Devresi

### 3.2.2. İtki Sistemi

Uçağın iskeleti, temel geometri ve profilleri tasarlandıktan sonra gerekli elektronik aksamlar belirlendi. Belirlenen malzemelerin analizi yapılarak uçağa monte edilmesi uygun görüldü.

Motor seçiminde İHA'nın ağırlığını ve manevra kabiliyetini karşılayacak, gerekli itkiyi sağlayacak motorlar belirlendi. Seçim sırasında (Grafik 3.2.1) ve fiyat-performansları da göz önünde bulundurularak SunnySky X3525 fırçasız motoru seçildi.

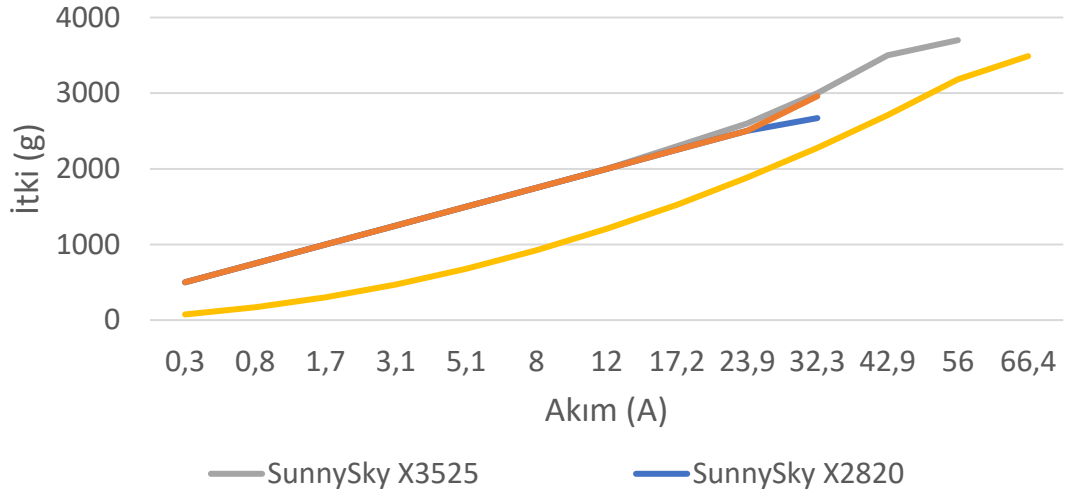


Şekil 3.2.2.1. Motor

Devir\V	880KV
Boyutları	35x25mm
Ağırlık	253g
Maksimum İtme (gf)	4351
Maksimum Güç (Watt)	1300W
Maksimum Patlama Akımı (A)	77A

Tablo 3.2.2.1. Motor Özellikleri

## Motor Karşılaştırması



Grafik 3.2.2.1. Motor Karşılaştırılması

Seçilen motorun çektiği maksimum akım değeri 77 A ya dayanabilen 80 A ESC Fırçasız Motor Sürücü Modülü tercih edildi.



Şekil 3.2.2.2. ESC

<b>Çıkış</b>	Sürekli 80A, 10 saniyeye kadar da 100A
<b>Giriş Gücü</b>	2-6S Lipo
<b>Gaz Kolu Sinyali</b>	50Hz~432Hz
<b>Yenileme Hızı:</b>	
<b>BEC</b>	4A / 5V anahtar mod BEC
<b>Ağırlığı</b>	63g
<b>Boyutları</b>	86x38x12 mm

Tablo 3.2.2.2. ESC Teknik Özellikle

Tulpar için uygun güç kaynağı seçiminde ağırlık, hacim, enerji depolama kapasitesi ve yüksek hücre voltajı gibi etkenler düşünülerek lityum polimer 4S 20C Lipo batarya tercih edildi.



Şekil 3.2.2.3. Güç Kaynağı

<b>Voltaj</b>	14,8V
<b>Kapasite</b>	5000mAh
<b>Maksimum Sürekli</b>	20C (100A)
<b>Deşarj</b>	
<b>Boyutlar</b>	139x47x40mm
<b>Ağırlık</b>	494 g

Tablo 3.2.2.3. Güç Kaynağı Teknik Özellikleri

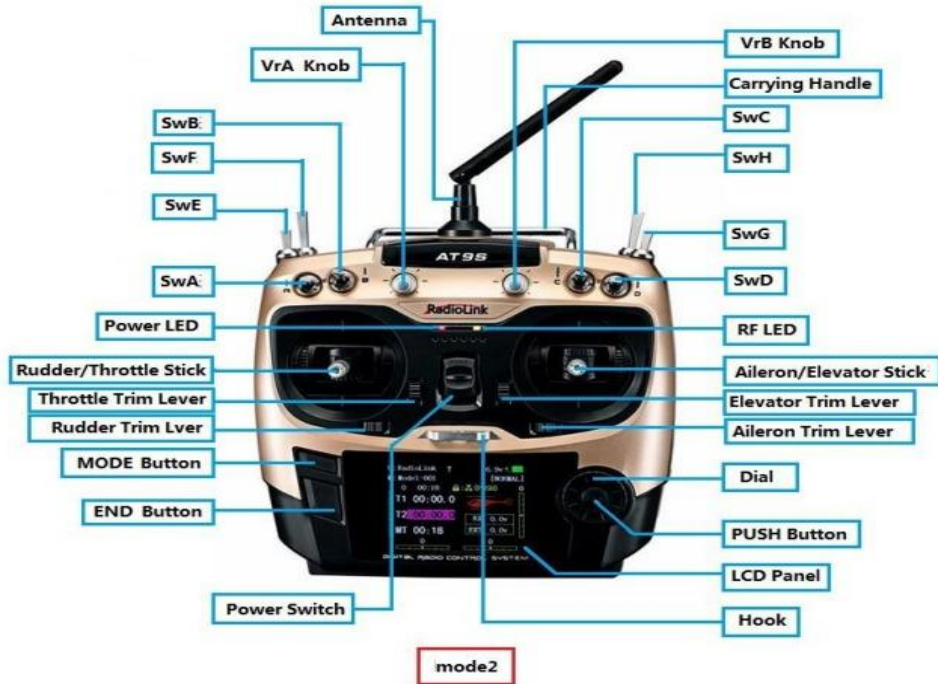
PWM sinyallerini mekanik harekete geçiren servo motor manevra kabiliyetini sağlamak için uçağın kanatçık, rudder ve elevatör kısımlarında kullanıldı. Çektiği akım ve ağırlık dikkate alınarak Tower Pro SG90 servo motor uygun görüldü.



<b>Çalışma Gerilimi</b>	4.8 – 7.2 V
<b>Boyutlar</b>	21.5x11.8x22.7mm
<b>Ağırlık</b>	9 g
<b>Hız</b>	0.12 sn/60° (4.8 V)
<b>Dönüş açısı</b>	0-180°

Şekil 3.2.2.4. Servo Motor Tablo 3.2.2.4. Servo Motor Teknik Özellikleri

Hava aracının pilot tarafından manuel kontrol edilmesini sağlayan RC kumanda da fonksiyonellik ve alıcı-verici arasındaki kod uyumu zorunluluğu olması açısından dijital kumanda olan Radiolink AT9S seçildi.



Şekil 3.2.2.5. RC kumanda



Şekil 3.2.2.5. RC Kumanda Alıcısı

<b>KUMANDA</b>	Radiolink AT9S
<b>Frekans</b>	2.4GHz ISM bandı (2400MHz - 2483.5MHz)
<b>Modülasyon Modu / Yayılma Spektrumu</b>	QPSK 5/ DSSS ve FHSS
<b>Çalışma Voltajı</b>	7.4 ~ 18.0V
<b>Çalışma Akımı</b>	90mA
<b>Çalışma Gerilimi</b>	7.418.0V
<b>Kanal</b>	10 kanal, 5-10 kanal özelleştirilmiş
<b>Kumanda Mesafe</b>	Zeminde 900 m daha fazlası,1500 hava
<b>Kanal Bant Genişliği</b>	5.0 MHz
<b>Boyutları</b>	183 * 100 * 193mm
<b>Ağırlık</b>	880 g
<b>ALICI</b>	Radiolink R9DS
<b>Akım</b>	38-45 mAh (voltaj girişi: 5 V)
<b>Çalışma Voltajı</b>	4,8-10 V
<b>Ürün Boyutu</b>	43*24*15mm
<b>Ağırlığı</b>	10,7 g

Tablo 3.2.2.5. RC Kumanda ve Alıcı Özellikleri

### 3.3. Ağırlık ve Balans

No	Parça Adı	Ağırlık	X Uzaklığı	Y Uzaklığı	Z Uzaklığı
1	Motor	253	0	-8	396,74
2	Motor sabitleme	10	0	-8	374
3	Burun(strafor)	50	0	-8	395
4	1.Karbon çubuk(85 mm)	2	-38	31	350
5	2.Karbon çubuk(85 mm)	2	38	31	350
6	3.Karbon çubuk(85 mm)	2	-38	-31	350
7	4.Karbon çubuk(85 mm)	2	38	-31	350
8	Burun kontroplak	25	0	-8	371
9	Pervane	22	0	-8	435
10	Somun (pervane)	18	0	-8	436
11	Gövde(strafor)	224	0	-12	63
12	ESC	63	0	-41	217,5
13	Pil	494	0	0	-56,5
15	Receiver	14	0	-26	63,97
18	On inin takımı	141	0	-36	172,5
19	Kontraplak dış (ön iniş takımı)	34	0	36	172,5
20	Kontraplak iç (ön iniş takımı)	34	0	-9	172,5
21	Arka iniş takımı	33	0	-36	-157,5
22	Kontraplak dış (arka iniş takımı)	34	0	-36	-157,5
23	Kontraplak iç (arka iniş takımı)	34	0	-9	-157,5
24	Servol	11	0	-33,65	-237,75
25	Servo2	59	399p06	18,59	-87,36
26	Servo3	59	-406,34	23	-88,81
27	Sağ kanat	108	-350	0	-55,96
28	Sağ karbon çubuk(603 mm)	24,5	-350	0	0
29	Sol kanat	108	350	0	-55,96
30	Sol karbon çubuk (605 mm)	24,5	350	0	0
31	1.Karbon çubuk (130 mm)	5	-51	80	-227,5
32	2.Karbon çubuk(130mm)	5	51	80	-227,5
33	3.Karbon çubuk (130 mm)	5	-51	-80	-227p5
34	4.Karbon çubuk(130 mm)	5	51	80	-227,5
35	Kuyruk	110	0	42	-357,44
36	Yatay Stabilizatör servo	1	20	JJ	-421,4
37	Dikey Stabilizatör servn	11	-13	1 i7	-433,4
38	Yatay Stabilizatör	48	0	97	-547,5
39	Dikey Stabilizatör	21	0	209	-539
40	Kapakçık	20	0	94,75	87,5
41	Kaplama	50	-----		
42	Epoksi	150	-----		-----
43	Uzatma kabloları	50	-----		
44	<b>TOPLAM</b>	2587			

Tablo 3.3.1: Ağırlık Balans



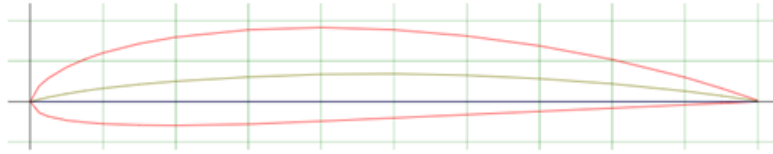
### 3.4. Aerodinamik Özellikler

İHA'nın kanat profili, taşıma ve sürüklenme katsayıları, hücum açısı ile ilgili bilgiler aşağıda ki grafik ve tablolarda belirtilmiştir.

Kanat Profili	Hücum Açısı	Cl/Cd
NACA 0012	$\alpha=5^\circ$	47.43
NACA 4412	$\alpha=7^\circ$	78.14
Clark V	$\alpha=5.25^\circ$	80.92
Clark Z	$\alpha=5.75^\circ$	74.82

Tablo 3.4.1.1. Clark V Kanat profil özellikleri

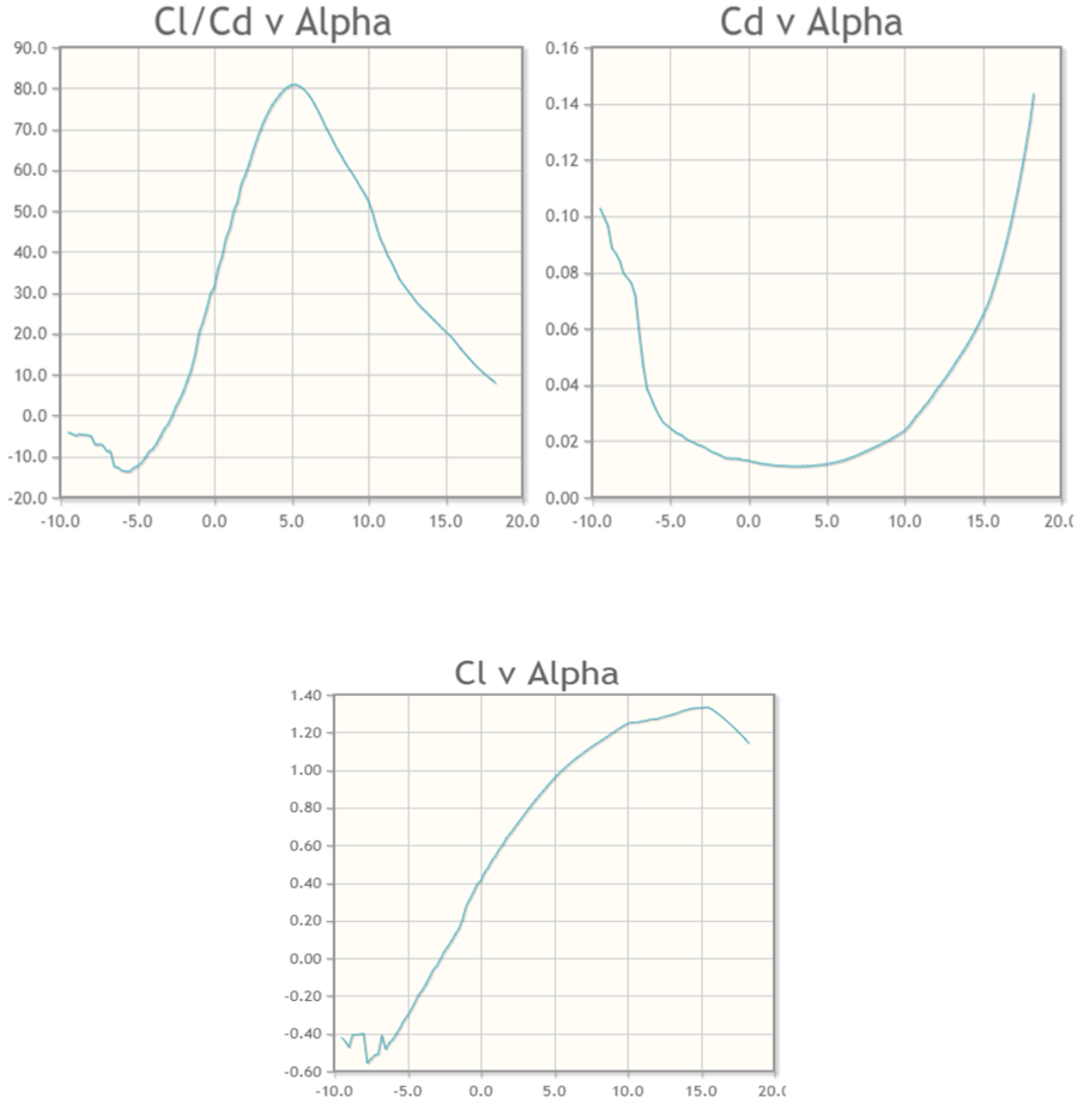
Seçtiğimiz Clark V kanat profilinin taşıma ve sürüklenme katsayıları, hücum açısı gibi diğer aerodinamik özelliklerini gösteren tablo ve grafikler aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.4.1.1. Clark V Kanat Profili

<b>Reynold Sayısı</b>	200,000
<b>Hücum Açısı</b>	$\alpha=5.25^\circ$
<b>Taşıma Katsayısı (Cl)</b>	0.9767
<b>Sürüklenme Katsayısı (Cd)</b>	0.01207

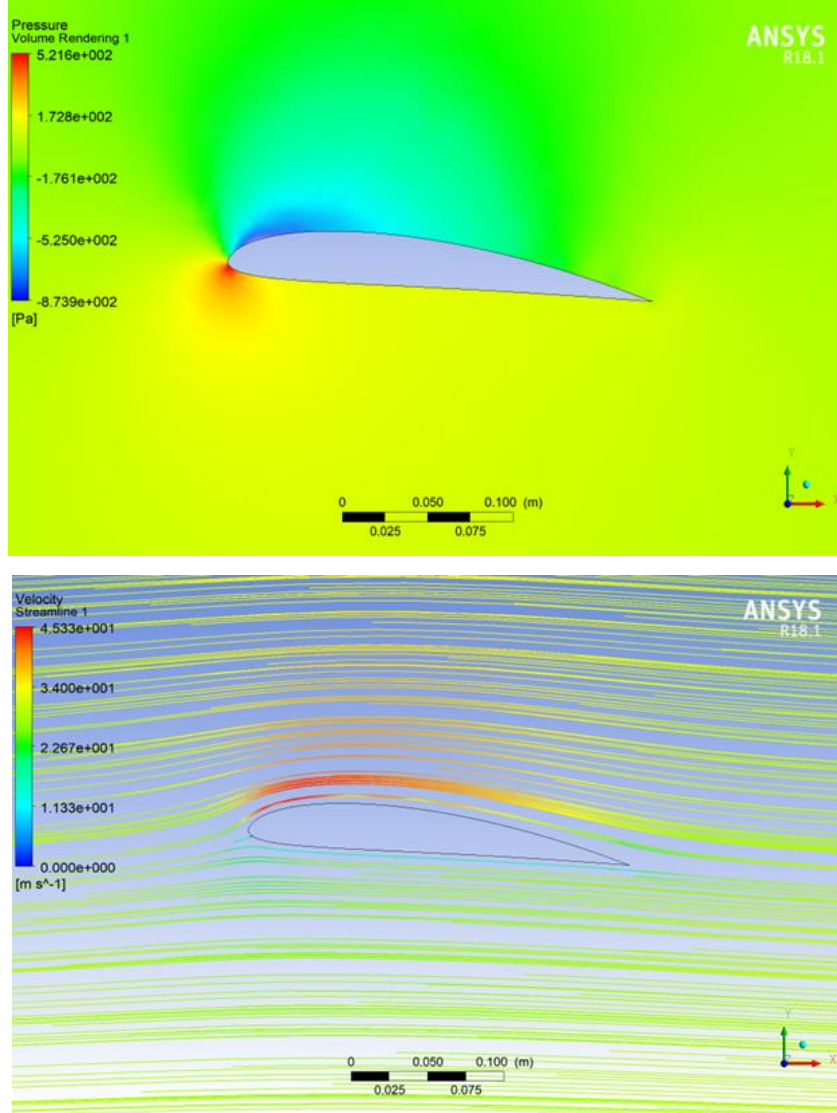
Tablo 3.4.1.2. Kanat Profili Özellikleri



Grafikler 3.4.1.1. Kanat Analiz Grafikleri

Tablo 3.6.1’de verilen kanat profillerinin karşılaştırılması sonucunda; düşük hücum açısında en verimli değeri aldığımız Clark V kanat profili kullanılmasına karar verildi. Açıklık oranının kaldırma kuvveti ile doğru orantılı olması sebebiyle yarım kanat ölçüsünün 600 mm olacak şekilde iki parçadan olarak üretilmesi uygun görüldü. Uygun Reynold’da Clark V kanat profilinin hücum açısı, taşıma ve sürüklenme katsayıları Tablo 3.6.1’de verildi.

Kanat profili 5,25 derecelik hücum açısında akış analizleri ANSYS workbench R18.1 programında analiz edilmiş olup aşağıda hız ve basınç grafikleri verilmiştir.

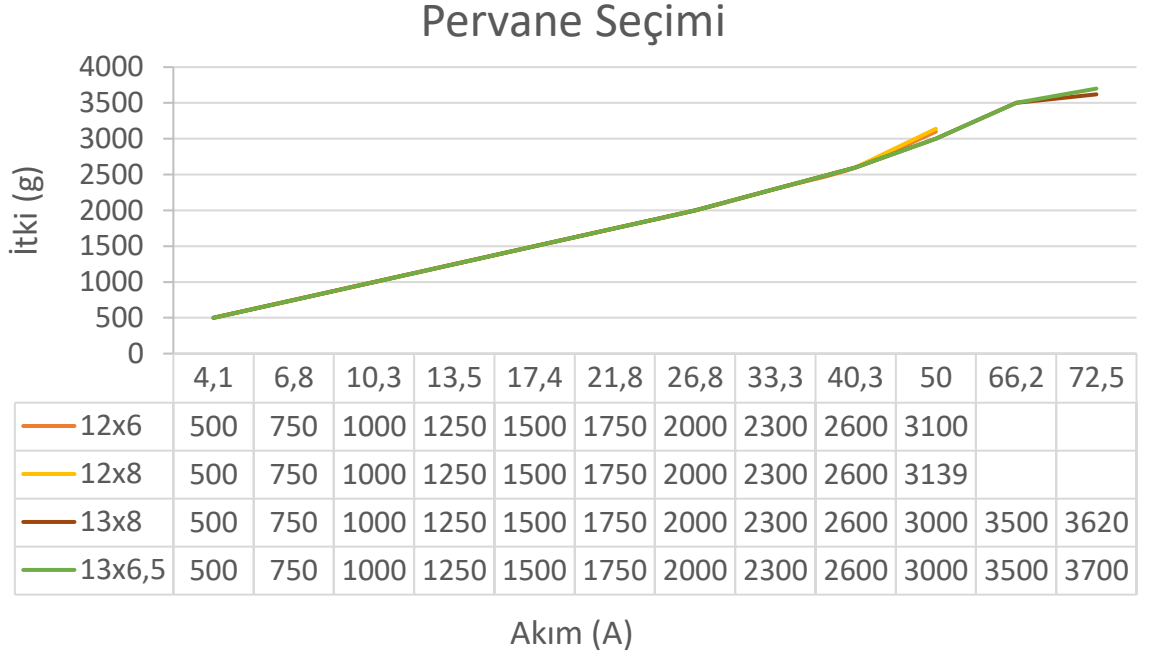


Grafikler 3.4.1.2. Kanat Profili Akış Analizi

Kanat profilinin yanında bir diğer önemli unsur ise uçağın yön kontrolünü sağlayacak olan kanatçıklardır. İstenilen manevrayı alabilmek için kanatçıkların konumlandırılmasında gerekli formüller kullanıldı ve tasarımı gerçekleştirildi. Kuyrukta yatay ve dikey stabilizatörler çeyrek kanat boyutu referans alınarak tasarlandı. Kanatçıklar için yapılan hesaplamalar elevatör ve rudder için yapıldı ve yapısal analizi onaylandıktan sonra üretime geçildi.

### 3.4.1. Pervane Seçimi

Kullandığımız SunnySky X3525 Fırçasız Motorun maksimum sabit akımı 77A'dır. 4S Lipo bataryadan çekilen nominal voltaj ise 4x3.7'den 14.8V'dir. Pervane seçiminde bu değerler göz önünde bulundurularak karşılaştırmalar yapıldı, yapılan karşılaştırmalar Grafik 3.6.2'de verildi. Bunun sonucunda APC 13x6,5 pervane kullanımına karar verildi.



Grafik 3.4.1.1. Pervane karşılaştırılması

### 3.5. Teknik Resimler

Teknik resim çizimleri **EK-1** verilmiştir.

## 4. TARTIŞMA

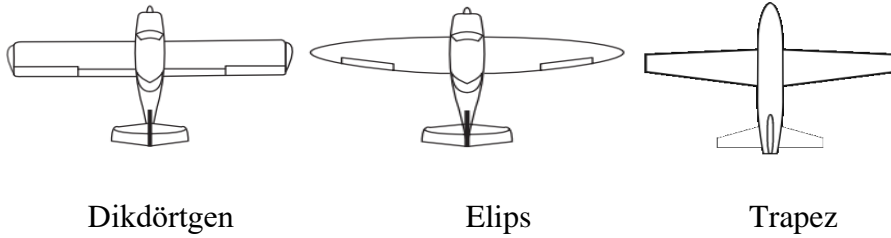
### 4.1. Farklı Tasarım Seçenekleri ve Seçim Kriterleri

#### 4.1.1. Kanat Seçimi:

Kanat seçimi; kanat profili, kanat-gövde bağlantısı, bakımından iki başlık altında incelendi.

##### 4.1.1.1. Kanat Profili Seçimi

Kanat profili: seçilirken üretilebilirlik, manevra kabiliyeti, süzülme oranı, kaldırma kuvveti gibi önemli kriterler göz önünde bulundurularak tercih yapıldı. Tasarımda kullanılacak olan kanat profili gerek aerodinamik yeterliliği gerekse üretile birliği açısından Trapez kanat geometrisi olarak belirlendi. Kanat alanı arttıkça lift kuvveti artacağından kanat profilleri arasından elipsle geometriye kıyasla alanı yüksek olan trapez kanat kullanımı uygun görüldü. Kanat ucunun ok açılı olması ile geri sürüklenme kuvvetinin dikdörtgenel profile oranla daha düşük olduğu araştırmalarımız sonucunda fark edildi. Uçak kontrollerinin kolaylıkla yapılabileceği, göreve uygunluk, tasarıma estetiklik kattığı düşüncesiyle Trapez Kanat geometrisinin uygun olduğuna karar verildi.



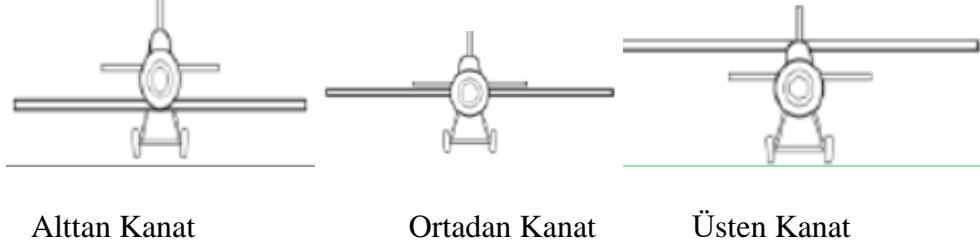
Şekil 4.1.1.1: Kanat Profilleri

Özellikler	Dikdörtgen	Elips	Trapez
Hafiflik	3	4	4
Üretilebilirlik	5	3	4
Stabilite ve kontrol	3	4	5
Hız	3	4	5
<b>Toplam puan</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>18</b>

Tablo 4.1.1.1: Kanat Profillerinin Karşılaştırılması

#### 4.1.1.2. Kanat-Gövde Bağlantı Seçimi

Üretim açısından oldukça elverişli ve daha kararlı bir yapıya sahip olmasından dolayı ayrıca taşıma sürüklenme oranının maksimum olması nedeniyle tasarımda ortadan tek kanat tipi seçildi. Ayrıca çalışmada daha fazla ağırlık artışı istenmediği için bu tip kanat tipi seçildi.



Şekil 4.1.1.2: Kanat –Gövde Bağlantı Tipleri

Özellikler	Altın Kanat	Ortadan Kanat	Üstten Kanat
Hafiflik	3	2	5
Üretilebilirlik	5	2	3
Gövde içi erişim	4	3	5
<b>Toplam puan</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>13</b>

Tablo 4.1.1.2: Kanat-Gövde Bağlantıları Karşılaştırılması

#### 4.1.2. Kuyruk Seçimi

Yapılan tasarımda kullanılan kuyruk tipi konvansiyonel kuyruk tipidir, çünkü ağırlık açısından diğer kuyruk tiplerine göre daha hafiftir. Ayrıca kararlık ve üretim açısından da diğer kuyruk tiplerine oranla daha avantajlı konumdadır.



Şekil 4.1.2: Kuyruk Tipleri

Özellikler	Konvansiyonel	T Tipi	V Tipi
Hafiflik	4	2	5
Ekinlik	5	4	3
Üretilebilirlik	4	4	2
<b>Toplam puan</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>10</b>

Tablo 4.1.2: Kuyruk Tipleri Karşılaştırılması

#### 4.2. Çevresel Etki ve Güvenlik Değerlendirmesi

İnsansız hava araçları normal uçaklara göre daha az maliyetlidir. Pilot yerine uzaktan kumandayla hareket ettirilir. Fakat bu kolaylıklar bazı hususlara daha da dikkat etmemizi gerektirir. Yapılacak olan insansız hava aracı düşük maliyetli olması gerektiğinden dolayı balsa ile kaplanmıştır. Balsa ıslatılıp şekil verilebilen bir malzemedir. Bundan dolayı uçağı yağmurlu, karlı ve çok nemli havalarda uçurulması gerekir. Aksi takdirde uçakta açılmalar olabilir ve bu istenmeyen bir şekilde düşmesine sebep olur. İnsansız hava aracının ağırlığı normallerine göre daha küçük olmasından ve kullanılan malzemelerden dolayı düşüktür. Ağırlığın düşük olmasından dolayı uçağın şiddetli rüzgar olan bölgelerde uçurulmamalıdır.

İHA kolayca savrulup kontrolden çıkabilir veya kırıma uğrayabilir. İnsansız hava aracında otonom uçuş özelliği bulunmayacaktır, bir pilot yardımıyla uzaktan kumanda ile İHA uçurulacaktır. Aracın kolay ve sorunsuz bir şekilde uçabilmesi için de geniş boş bir araziye ihtiyaç duyulur. Sık ağaçların olduğu veya yüksek binaların olduğu bölgelerde uçuş yapmak aracın kolayca gözden kaybolmasına veya en küçük bir aksilikte aracın bir yere çarpmasına neden olabilir. Boş arazinin yanı sıra bölgedeki insan yoğunluğu da çok önemlidir. Çünkü istenmeyen zamanda ve yerde aracın herhangi bir yerinde sorun çıkabilir, cihazla iletişim kaybolabilir veya aracı kullanan kişi bir hata yapabilir. Bu durumlarda araç düşecektir. Düşmesi durumunda da düştüğü yerde insan varsa ciddi bir şekilde yaralanabilir hatta ölümüne yol açabilir.

Çevresel etkilerin yanında insansız hava aracı kendi içinde güvenliği etkileyen hususları vardır. Öncelikle insansız hava aracının uçarken herhangi bir şekilde kırıma uğramaması için kullanılan malzemelerin doğru seçilmesi ve bağlantı yerlerinin de mukavemet analizi yapılması gerekir.

Akıma bağlı herhangi bir yangın riskini önlemek için aracımıza sigorta takılacaktır. ESC doğru şekilde seçilmesi gerekir. ESC' nin BEC ESC veya UBEC ESC olup olmadığına dikkat edilmelidir.

BEC bataryadan gelen voltajı düşürerek kumanda alıcısının ve servoların beslenmesini sağlar. UBEC ESC seçilirse kumanda alıcısı ve servoları besleyen ikinci bir batarya devreye eklenmelidir. Aksi takdirde servo ve alıcıda sorunlar çıkabilir, uçağın kontrolü kaybedilebilir. Bunların yanında fail-safe de insansız hava aracında bulunması gerekir.

Fail-safe araç kontrolden çıktığı anda devreye girer ve kontrolü devralıp aracın istemsiz bir kazaya sebep olmasını önler. Fail-safe kumandanın alıcıya giden sinyalde bir problem veya kesinti olursa, parazit girip sinyalimizi bozarsa veya düşük pil seviyelerinde otomatik olarak devreye girecektir.

İnsansız hava aracının kullanan kişi de tecrübeli kişilerden seçilmelidir. Seçilen kişi Sivil Hava Müdürlüğü'nden sertifika almak zorunda ve aracı sisteme kayıt ettirmelidir.

### **4.3. Üretilirlik ve Maliyet Hesabı**

İnsansız hava aracı üretimi sırasında optimum maliyette işlem yapabilmek için aracın komponentleri hibrit bir sistem olarak tasarlanmıştır. Gövde bölümü dış kabuk aerodinamik verimlilik açısından strafor üretilip, kolay şekil verilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca iç iskelet maksimum gerilme yığılmaları göz önüne alınarak sünek bir malzeme olan alüminyumdan üretilmesi hedeflenmiştir. Hava araçlarında ağırlık önemli bir parametre olduğu için kanatlarda benzer şekilde balsa ve kontroplaklardan hibrit bir şekilde tasarımı yapılmış olup kanat-gövde bağlantıları karbonfiber çubuklar ile bağlantı sağlanıp gerekli mukavemet şartları sağlanmıştır.



<b>No</b>	<b>Parça Adı</b>	<b>Birim Fiyatı (TL)</b>	<b>Miktarı</b>	<b>Toplam Fiyatı(TL)</b>
<b>1</b>	Strafor	800	1 m3	800
<b>2</b>	Brtr Kimya 1.6 Kg Epoksi Reçine	140,5	1,6 kg	140,5
<b>3</b>	MG996R Servo Motor	39,83	5	199,15
<b>4</b>	SG90 9GR Servo Motor	12,91	10	129,1
<b>5</b>	Karbon Fiber Boru 8mm/6mm	62,23	5	311,17
<b>6</b>	Radiolink AT9S Kumanda + Receiver	1268,87	1	1268,87
<b>7</b>	14,8V 5000mAh 30C 4s Lipo Pil	540	1	540
<b>8</b>	Skywalker 80A ESC	168	1	168
<b>9</b>	Motor - SunnySky - X3525 - 880Kv	270	2	540
<b>10</b>	Pervane-APC 13X6,5	33,93	2	67,86
<b>11</b>	İniş Takımı	150	1	150
<b>12</b>	Kablolar	6,45	8	51,58
<b>13</b>	Karbon Kaplama Folyo	25	2	50
<b>14</b>	iMAX B6AC LiPo Şarj aleti 80W	263,29	1	263,29
<b>15</b>	Lazer kesim-hırdavat ürünleri	300	1	300
<b>16</b>	<b>TOPLAM</b>			<b>5999,52</b>

Tablo 4.3.1. Maliyet Hesabı

#### **4.4. Etik Değerlendirme**

Meslek farkı gözetmeksizin bütün meslek gruplarının oluşumunda en önemli yere sahip olan olgu, meslek etiği dediğimiz; mesleğin temel ahlaki kurallar üzerinde oturtulmasıdır. Etik sözlük anlamıyla ahlak felsefesi anlamını taşımaktadır. Bu anlam doğrutusunda meslek etiği, insanlar mesleklerini icra ederken onların davranışlarına yön veren, yapılması uygun olan ve olmayan davranışların neler olduğu konusunda onlara rehberlik eden standartlar ve ilkeler bütünüdür. Çalışanların birbirlerine olan farklılıkları (dil, din, ırk, kültürel yapı) gözetilmeksizin, uyulması gereken bu kurallar aynı meslek grubu çalışanları için ortaktır.

#### **Mesleki Etik İlkeleri Sıralanırsa:**

##### **Dürüstlük İlkesi**

Etik davranış, karşılıklı tüm ilişkilerde dürüst olmayı gerektirir. İlişkilere en çok zarar veren davranış, korku ve güvensizlik nedeniyle yalan söylemektir. Profesyoneller hem altlarına hem de üstlerine güven vermek için dürüst olmak durumundadır. İş hayatı içinde doğru davranış biçimi dürüst, adaletli, tarafsız olmayı gerektirir.

##### **Yasalara uygunluk ilkesi**

İş hayatında yapılan tüm üretimlerde işveren, çalışan ve müşteri ilişkisi yasalara uygun olmalıdır. İş hayatını düzenleyen hem yerel hem de uluslararası yasalar ve kurumlar mevcuttur. Örnek olarak Uluslararası Standartlar Örgütü'nü (ISO) verebiliriz. Yasalara aykırı iş talimatlarının yerine getirilmemesi konusunda yöneticilerden en alttaki çalışana kadar tüm çalışanların iş birliği yapması etik davranış için vazgeçilmezdir.

##### **Yetkinlik ilkesi**

Bir işi yapabilmek için ilgili iş kolunda eğitim, bilgi ve tecrübeye sahip olmak gereklidir. Kişi bununla yetinmemeli uyguladığı meslek alanındaki güncel gelişmeleri de takip ederek kendini sürekli geliştirmelidir. Buna örnek olarak Yaşam boyu öğrenme verilebilir. Bir iş hakkında ne kadar yetkin olunursa ise o işle ilgili olarak sorumluluk ve inisiyatif alma davranışı da güçlenir.

### **Güvenilirlik ilkesi**

Yapılan işin güvenli olması ve güvenilirliğinin sürekli olarak ölçülmesi de etik davranışın temellerindedir. İş yaparken o meslek dalının kurallarına ve bilime göre hareket etmek güvenilirliğin temelidir. Meslek alanındaki bilimsel gelişmeler ve yeni yöntemler sürekli olarak takip edilmeli ve uygun bir şekilde uygulamaya alınmalıdır.

### **Bağlılık ilkesi**

Kişinin yaptığı işi önemsemesi ve en iyi şekilde yapması da etik davranış için gereklidir. Kişinin sadece kendisinin değil yanında çalışan diğer meslektaşların da bu şekilde davranabilmesi için onlara yol göstermek ve yardımcı olması gereklidir. Ayrıca bu şekilde bir davranış yapılan iş ile ilgili verimliliğin artmasını da sağlar.

### **Etik ilkelerine aykırı davranışların sıralanırsa;**

- Aşırma (İntihal)
- Sahtecilik
- Kopya
- Çarpıtma
- Uydurma
- Kırpma
- Bulandırma
- Dilimleme
- Haksız Yazarlık

Meslek etiği, tüm meslek grupları için geçerli bir kavram olmakla birlikte, mühendislikte daha büyük bir önem arz etmektedir. Bilindiği üzere günümüzde insan hayatının her yerinde var olan mühendislik, insanlık için hayati öneme sahiptir.

Bu mesleğin hayati öneme sahip olması, temelinde yatan ahlaki kurallardan verilen imtiyazlardan dolayı hayati tehlikelerin meydana gelebileceğini göstermektedir. Hayati önem arz eden bu meslek grubunun etik anlayışını tanımlamak gerekirse; mühendislik etiği, mühendislerin mühendislik uygulamaları için geçerli olan ve mesleğe, topluma, işe, işverene, meslektaşlarına karşı uymaları gereken etik davranışlar bütünüdür

Mesleki etiğin öneminin anlaşılması için, meslek etiğine uymayan fiiller sonucu deneyimlenen ve deneyimlenebilecek olaylara bakılmasında fayda olacaktır. Saymakla bitiremeyeceğimiz etik dışı deneyimlenen kötü olaylara genel örnek verilmesi gerekirse; hatalı onay sonucu yıkılan konutlar, rezonans sonucu yıkılan köprüler, rezonans sonucu düşen uçaklar, teknik arızalarla büyük maddi hasara yol açan kazalar, teknik arızalar sebebiyle yaşanan kazalardaki can kayıpları görüleceği gibi mühendislik etiği esasında sadece mühendisleri değil, sonuçları esasıyla bütün insanlığı ilgilendiren esas bir olgudur. Çalışmada bu esaslar gözetilerek, mühendislik etiğine uygun bir biçimde hareket edildi.

## 5.ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar sonucunda İHA-0 kategorisinde malzeme, üretim, tasarım, uçuş vb. konularda elde edilen tecrübeler ve önemli noktalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- İnsansız hava aracının hafif ve mukavemetli bir malzemenin üretilmesi önem arz etmektedir.
- Tasarım yapılmadan önce konsept tasarım basitliğe üretilbilir bir tasarım olması önemlidir.
- İnsansız hava aracında ağırlık merkezi hesabı, her bir malzemenin ağırlık merkezine uzaklığı hesaplanmalı ve her bir malzemenin uçağın dengesine etkisi araştırılmalıdır.
- Tasarlanan insansız hava aracında referans bir ağırlık belirlenip, bu ağırlığın karşılayabileceği bir motor-itki belirlenmelidir. Aksi halde insansız hava aracınızın motoru yeterli itkiye sahip olmayıp uçağın kalkışı gerçekleşmeyecektir.
- Seçilmiş olan motora uygun pervane takılıp bu pervanenin dönüş yönü ve sabitlemek için kullanılan civata bağlantısının yönü ters olmak zorundadır. Şayet aynı yönde olduğu takdirde pervane motordan ayrılacaktır.
- Kullanılan pervane çapı insansız hava aracı kalkış anında yere değmemesi dikkat edilmesi gereken bir durumdur. Eğer motora uygun pervane çapı yere değiyor ise iniş takımı ile zemin pervane arası mesafeyi artırılabilir ve bu şekilde uçuş için uygun şartlar sağlanacaktır.

## 6. SONUÇLAR

Tasarımda hesaplanan boyutlar ve diğer parametrelerle ilgili kaynaklardan ve daha önceden yapılan benzer projeler araştırılarak yapılmıştır. Projeye başlanılmadan önce yapılacak hesaplar çizimler ve diğer parametreler konuşulup görev dağılımı yapıp projeye devam edilmiştir.

Aşağıda proje sonunda elde edilen sonuçlar maddeler şeklinde ifade edilmiştir.

- İHA' nın toplam kütlesinin maksimum 3 kg olması
- İstenilen rijitliğin sağlanması
- -Gerekli mekanik özelliklerin karşılanması
- -Gerekli aerodinamik özelliklerinin sağlanması
- -İstenilen stabilitenin sağlanması
- -İstenilen üretilebilirlik koşullarının sağlanması
- -Hedeflenen üretim maliyetinin aşılmaması
- Hedeflenen irtifada ve hızda uçuşması
- -İyi bir manevra kabiliyetine sahip olması
- -İstenilen verimliliği karşılaması ve optimum düzeyde istenilen koşullarda çalışması

Yapılan hesaplar ve çizimler sonucunda tasarlanan İhanın gereken çalışma koşullarını karşıladığı görülmektedir.

## PERFORMANS SONUÇLARI

Tulpar'ın motor testleri sonucu ortaya çıkan itki kuvveti %75 olarak saptandı. Bu değer kumandada gaz verme komutunda %5 sapma gösterip uçuş alanında hava şartlarından kaynaklandığı sonucuna varıldı. Manevra kabiliyeti testlerinde roll, pitch ve yaw dönüş durumlarında aileron, rudder ve elavatörün yeterli olduğu gözlemlendi. Uçuş esnasında montajlanan parçaların rijitliği onaylanıp, uçağın havadayken ve yerdeyken herhangi bir komponenti parçalandığı ya da koptuğu gözlemlenmedi. Kullanılmış olan Turngy 5000 mAh 4s pilin görev şartlarındaki maksimum uçuş süresi 5 dakika şartına uygun enerji kapasitesinde olduğu uçuş testlerinde ispatlandı.

## 7. KAYNAKLAR

Cavcar, M. (2011), aerodinamik kuvvetler, Eskişehir, Anadolu Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu

Güçlü A, Kurtuluş D. F, Arıkan K.B, (2016), sabit ve döner kanatlı hava aracının yönelim dinamiklerinin hibrit denetimi, Ankara, sürülebilir havacılık araştırmaları dergisi

Aksan, M. Muammer, (1966), Uçak Yapımı: çizim ve hesaplama metodları. İstanbul, İTÜ

Raymer, D, (2012), Aircraft Design: A Conceptual Approach. California,AIAA

Cavcar, A, (1999), Uçuş Prensipleri. Eskişehir, Anadolu Üniversitesi

Gudmundsson, S, (2011), Aileron Sizing. Florida, GreatOwlPublishing

Ming, C.Shao, (2010), Unmanned Air Vehicle (UAV) Wing Design and Manufacture. Singapore, National University of Singapore

Seber, G. (2008), Değişken Kambura Sahip NACA 4412 Kanat Kesitinin 2-Boyutlu Aerodinamik Analizi. İstanbul, II. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı

Genç, M. Serdar, (2008), Düz Flaplı NACA0012 Kanat Profilinin Aerodinamik Performansının İncelenmesi, Türkiye, J. Of Thermal Science and Technology

Tosunoğlu, S. (2013) İnsansız Hava Araçları İçin Oto Pilot Sistemi Ve Yer İstasyonu Yazılımı, İstanbul, Fen Bilimleri Enstitüsü

FAA, (2014), Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, USA, Skyhorse Publishing Inc

Mutlu T., (2013), Uzaktan Algılama Amaçlı Amfibi İnsansız Hava Aracı Uçuş Performans ve Otopilot Testleri, Eskişehir, TMMOB Makina Mühendisleri Odası

Temizer S., (2013), Mesafe Ölçümü Tabanlı Güvenilir Konum Tespiti Teknikleri ve Kara ve Hava Araçları için Örnek Uygulamalar, Ankara, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi

Bayraktar O., (2012), İnsansız Hava Araçları İçin Otonom İniş Sistemi Simülatörü Tasarımı, İstanbul, Bilişim Teknolojileri Dergisi

Ekinci S., (2017), Bir İnsansız Hava Aracı ve Uçuş Kontrol Sisteminin, İstanbul, Fen Bilimleri Enstitüsü

Kaçar A, (2012), İnsansız Hava Aracı için Benzetim Ortamında Gerçek Zamanlı Oto-Pilot Tasarımı, İstanbul, IV. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı

EK-1

