

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAVACILIK ELEKTRİK ve ELEKTRONİĞİ ANABİLİM DALI**

**SABİT KANATLI MİNİ İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI
İÇİN DÜŞÜK MALİYETLİ PARAŞÜT İNİŞ SİSTEMİ
TASARIMI VE UYGULAMASI**

**Hazırlayan
Emre KIRTEKE**

**Danışman
Doç. Dr. Fatma YILDIRIM DALKIRAN**

Yüksek Lisans Tezi

**Mayıs 2024
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAVACILIK ELEKTRİK ve ELEKTRONİĞİ ANABİLİM DALI**

**SABİT KANATLI MİNİ İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI
İÇİN DÜŞÜK MALİYETLİ PARAŞÜT İNİŞ SİSTEMİ
TASARIMI VE UYGULAMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Emre KIRTEKE**

**Danışman
Doç. Dr. Fatma YILDIRIM DALKIRAN**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FYL-2022-12008 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Mayıs 2024
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Emre KIRTEKE



“Sabit Kanatlı Mini İnsansız Hava Araçları İçin Düşük Maliyetli Paraşüt İniş Sistemi Tasarımı ve Uygulaması” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi ’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan
Emre KIRTEKE

Danışman
Doç. Dr. Fatma YILDIRIM DALKIRAN

Havacılık Elektrik ve Elektronik ABD Başkanı
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Kerim AĞIRMAN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda her türlü yardımı esirgemeyen, bilgi ve deneyimleri ile bana büyük katkı sağlayan sayın hocam Doç. Dr. Fatma YILDIRIM DALKIRAN'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında yardımını esirgemeyen ve fikirleriyle büyük katkı sağlayan sayın hocam Doç. Dr. Mehmet KONAR'a teşekkür ederim

Çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen ve sürekli yanıma olan aileme teşekkür ederim.

Tez çalışmama büyük katkı sağlayan arkadaşım Öğr. Gör. Tugay KEKEÇ'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2022-12008 proje kodu ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

SABİT KANATLI MİNİ İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN DÜŞÜK MALİYETLİ PARAŞÜT İNİŞ SİSTEMİ TASARIMI VE UYGULAMASI

Emre KIRTEKE

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2024
Danışman: Doç. Dr. Fatma YILDIRIM DALKIRAN**

ÖZET

Sabit kanatlı mini İHA'ların iniş ve kalkışları için pist gereksiniminden dolayı zorluklar yaşanmaktadır. Kalkış sırasında katapult kullanabilen sabit kanatlı İHA'lar, iniş sırasında çeşitli iniş sistemlerine ihtiyaç duyulmasından dolayı bu çalışmada sabit kanatlı mini İHA'nın emniyetli iniş yapabilmesi için paraşüt sistem tasarımı ve üretimi yapılmıştır. Paraşüt sisteminin entegre edilebilmesi için 1450 gram ağırlığında depron kullanılarak ve balsalarla desteklenmiş sabit kanatlı mini İHA üretimi yapılmıştır. Üretilen sabit kanatlı İHA ve paraşüt sistem ağırlığı 1950 gram olarak hesaplanmıştır ancak üretim sonucunda İHA ve paraşüt sisteminin toplam kütlesi 1915 gram olarak ölçülmüştür. Üretilen paraşütte ultra hafif ripstop naylon kumaş ve askı ipleri kullanılmış olup, fırlatma sisteminde ise hafif ve mukavemetli olması için karbon fiber boru tercih edilmiştir. Paraşüt fırlatma sistemi, düşük güç tüketen ve yüksek torka sahip servo motor ile tetiklenmiştir. Gerçekleştirilen testlerde uçuş sırasında paraşüt, 47m yükseklikte aktif edilmiştir. Paraşütün açılması 1,42 saniyede tamamlanmış olup paraşütle iniş süresi de 11 saniye sürmüştür. Paraşütün inişteki dikey hızı 4,27 m/sn olarak tespit edilmiştir. Üretilen paraşüt iniş sistemi literatürde ve piyasada bulunan paraşüt iniş sistemlerine göre maliyet olarak %71 daha ucuza üretilmiştir. Aynı zamanda ultra hafif ripstop paraşüt, 56 gram ağırlığında olup benzer sistemlere göre %12 daha hafiftir. Maliyet ve ağırlık yönünden sunulan avantajlar sayesinde sabit kanatlı İHA'lar için paraşütle iniş sisteminin ilerleyen zamanlarda daha fazla kullanılacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sabit Kanatlı İHA, Paraşüt, Paraşüt İniş Sistemi, Paraşüt Kumaşı

LOW-COST PARACHUTE LANDING SYSTEM DESIGN AND IMPLEMENTATION FOR FIXED-WING MINI UNMANNED AERIAL VEHICLES

Emre KIRTEKE

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, May 2024
Supervisor: Assoc. Prof. Fatma YILDIRIM DALKIRAN**

ABSTRACT

Challenges arise due to the runway requirements for the takeoff and landing of fixed-wing mini-UAVs. While fixed-wing UAVs capable of using catapults during takeoff require various landing systems for safe descent, this study involves the design and production of a parachute system to ensure the safe landing of a fixed-wing mini-UAV. A fixed-wing mini-UAV, weighing 1450 grams, was constructed using depron reinforced with balsa wood to integrate the parachute system. The combined weight of the produced fixed-wing UAV and parachute system was initially calculated to be 1950 grams; however, the total mass was measured to be 1915 grams upon production. The parachute utilized ultra-light ripstop nylon fabric and suspension lines, while the launch system employed carbon fiber tubes for their lightweight and high-strength properties. The parachute deployment system was triggered by a low-power servo motor with high torque. During testing, the parachute was activated at an altitude of 47 meters during flight. The deployment of the parachute was completed in 1.42 seconds, and the descent duration with the parachute was 11 seconds. The vertical descent speed was determined to be 4.27 m/s. Compared to existing parachute landing systems in the literature and market, the produced parachute landing system was 71% more cost-effective. Additionally, the ultra-light ripstop parachute weighed 56 grams, making it 12% lighter than similar systems. Due to the advantages in cost and weight, it is anticipated that the parachute landing system for fixed-wing UAVs will be increasingly utilized in the future.

Keywords: Fixed UAV, Parachute, Parachute Landing System, Parachute Fabric

İÇİNDEKİLER

SABİT KANATLI MİNİ İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN DÜŞÜK MALİYETLİ PARAŞÜT İNİŞ SİSTEMİ TASARIMI VE UYGULAMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xi
TABLolar LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÖZETİ

1.1. Genel Bilgiler	3
1.2. Literatür Değerlendirilmesi	4
1.3. Üretimi Yapılmış İHA İniş Sistemleri.....	10
1.4. Tezin Amacı ve Önemi	11

2. BÖLÜM

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

2.1. İnsansız Hava Aracının Tarihsel Gelişimi.....	13
2.2. İHA'ların Sınıflandırılması	19
2.3. Sabit Kanatlı İHA'lar	19

2.4. Döner Kanatlı İHA'lar	21
2.5. Hibrit İHA'lar.....	22
2.6. Ağırlıklarına Göre İHA'lar	24

3. BÖLÜM

PARAŞÜT SİSTEMLERİ

3.1. Paraşütün Tarihsel Gelişimi.....	26
3.2. Paraşüt Sistem Bölümleri.....	29
3.3. Paraşüt Konfigürasyonları.....	30
3.3.1. Yuvarlak Paraşütler	30
3.3.2. Haç Biçimli Paraşütler.....	30
3.3.3. Rogallo Kanat Paraşütler	32
3.3.4. Ram-Air (Parafoil) Paraşütler	32
3.4. Paraşüt Sistem Ekipmanları	33
3.5. Fırlatma Mekanizmaları	37

4. BÖLÜM

İHA BİLEŞENLERİ, YÖNTEM VE GEREÇLERİ

4.1. Gövde ve Pervane.....	38
4.2. Uçuş Kontrolcüsü	40
4.3. Elektronik Hız Kontrolcüsü	41
4.4. Güç Sistemleri (Motor)	44
4.5. Kontrol Sistemi ve Ekipmanları	44

5. BÖLÜM

İHA VE İNİŞ SİSTEM TASARIM VE ÜRETİMİ

5.1. İHA Yapısal Bileşenlerin Üretimi.....	48
5.2. İHA Elektronik Donanımların Entegrasyonu	49
5.3. Paraşüt Sistemi Tasarım ve Üretimi.....	51
5.4. Paraşüt Hücre ve Genel Tasarımı.....	58
5.5. Paraşüt Kubbe Üretimi.....	61

5.6. Paraşüt İp Üretimi ve Montajı.....	62
5.7. Fırlatma Mekanizması Tasarım ve Üretimi.....	64
5.8. Paraşüt Fırlatma Mekanizmasının Yer Testi ve İHA Entegrasyonu	66
5.9. Paraşüt Sisteminin Maliyet Karşılaştırılması.....	69
5.10. İHA'nın Paraşüt Sistemi ile Uçuş Testi ve Uçuş Verilerinin İncelenmesi	70

6. BÖLÜM

TARTIŞMA VE SONUÇ

6.1. Tartışma	76
6.2. Sonuç	76
KAYNAKÇA.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	89

KISALTMALAR

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>
BEC	Battery Eliminator Circuit
BTT	Bank-To-Turn
EASA	European Union Aviation Safety Agency
EHK	Elektronik Hız Kontrolcüsü
FET	Field Effect Transistors
GNSS	Global Navigation Setallite System
GPS	Global Positioning System
ILS	Instrument Landing System
IMU	Inertial Measurement Unit
İHA	İnsansız Hava Aracı
MTOM	Maksimum Kalkış Kütlesi
PN	Proportional Navigation
PWM	Pulse Width Modulation
RTK	Real-Time Kinematic
SHGM	Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
STT	Skid-To-Turn
TALS	Tactical Automated Landing System
THK	Türk Hava Kurumu
TSK	Türk Silahlı Kuvvetleri
TUSAŞ	Türk Uçak Sanayii Anonim Ortaklığı
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
UCARS	UAV Common Automatic Recovery System
VTOL	Vertical Take-off and Landing

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Türkiye’de Geliştirilmekte Olan İHA’lar	19
Tablo 2.2 ABD Savunma Bakanlığına Göre Azami Kalkış Ağırlığı, Çalışma İrtifası ve Hızına Göre Sınıflandırma	24
Tablo 2.3. Ağırlık ve Kanat Açıklığını Göz Önüne Alarak Bir Sınıflandırma	25
Tablo 2.4. SHGM’ye Göre İHA Ağırlık Sınıflandırılması	26
Tablo 4.1. İHA Gövde Malzemelerinin Yoğunluğu, Gerilme Mukavemeti, Artıları Ve Eksileri	38
Tablo 5.1. Paraşüt Türlerinin Salınım Açıları, Şok Yük Faktörü ve Üretim Kolaylığı Hakkında Bilgiler	54
Tablo 5.2. Paraşüt Sistemi Giriş Parametreleri	58
Tablo 5.3. Paraşütle İniş Sistemine Ait Maliyetler	71
Tablo 5.4. Bazı Firmalar Tarafından Üretilmiş İHA Paraşüt İniş ve Kurtarma Sistem Örnekleri	71

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Görüş tabanlı İHA sistemi kullanarak İHA'nın ağ sistemine inişi.....	7
Şekil 1.2. Sabit kanatlı İHA'nın döner kanatlı İHA'lar tarafından taşınan ağa yaklaşması ve yakalanılması.....	9
Şekil 1.3. Fruity Chutes firmasına ait balistik fırlatma mekanizması	10
Şekil 2.1. Lawrence ve Elmer Sperry Tarafından Geliştirilen İHA Görseli.....	13
Şekil 2.2. 15 Eylül 1924 Tarihinde, Tarihte İlk Kez Bir Radyo Kontrollü Curtiss F-51'nin Uçuşu	14
Şekil 2.3. TDR-1 Saldırı İHA'sı	15
Şekil 2.4. D-21 Tagboard	15
Şekil 2.5. Paraşüt ile İniş Yapan Lighting Bug İHA'sı.....	16
Şekil 2.6. Pioneer Tipi İHA'ının Mesh (Net) Sistemi ile Gemide Kurtarılması	17
Şekil 2.7. Shadow İHA'nın Uçuşa Hazırlanışı	17
Şekil 2.8. İHA'lara Tarih Boyu Verilen İsimler Kronolojik Olarak Sıralanması	18
Şekil 2.9. Bayraktar Tarafından Üretilmiş TB2 İHA	18
Şekil 2.10. Sabit Kanatlı Uçuş Mekanizmasının Şematik Diyagramı ve Uçuş Modunun Geometrik Analizi	20
Şekil 2.11. Döner Kanatlı Uçuş Mekanizmasının Şematik Diyagramı ve Uçuş Modunun Geometrik Analizi	21
Şekil 2.12. Farklı Tiplerde Döner Kanat Konfigürasyonları.....	22
Şekil 2.13. Hibrit Kanatlı İHA'nın Uçuş Aşamaları.....	24
Şekil 2.14. Sabit ve Döner Kanatın Birleştirildiği Hibrit İHA.....	24
Şekil 3.1. Garnerin'in Paraşüt Tasarımı	28
Şekil 3.2. Paraşüt Sistem Bölümleri.....	29
Şekil 3.3. Yuvarlak Paraşüt Kullanan Bir Paraşütçü	32
Şekil 3.4. Haç Biçimli Paraşütün Açık Konfigürasyonu.....	32
Şekil 3.5. Rogallo Paraşüt Tipine Ait Örnekler.....	33
Şekil 3.6. Ram- Air Paraşüt Bölümleri.....	34
Şekil 3.7. (a) ve (b) Zero P3 kumaş ve F111 kumaş	35
Şekil 3.8. Paraşüt Kumaşının Yapısı	36
Şekil 3.9. Tamamen Emniyetli Harnes.....	37
Şekil 3.10. Paraşüt Sistemlerinde Kullanılan Bağlantı Elemanları.....	37
Şekil 3.11. Fırlatma Sistemleri	38

Şekil 4.1. APC 12x8 Pervanenin Performans Özellikleri	42
Şekil 4.2. Pixhawk Cube ve Çıkışları	43
Şekil 4.3. İHA'da Kullanılan EHK.....	43
Şekil 4.4. İHA'da Kullanılan Fırçasız Motor	45
Şekil 4.5. İHA'da Kullanılan Alıcı ve Verici.....	46
Şekil 4.6. İHA'da Kullanılan Xbee Pro S2C Telemetrisi	47
Şekil 4.7. İHA'da Kullanılan QGroundControl Arayüzü	48
Şekil 5.1. İHA'nın Üç Boyutlu Modeli	50
Şekil 5.2. Pixhawk Giriş ve Çıkışları	51
Şekil 5.3. Paraşüt Sistemlerine Etkiyen Kuvvetler	52
Şekil 5.4. Annular Paraşüt Sistem Bölümleri.....	55
Şekil 5.5. Paraşüt Tasarımı Giriş ve Çıkış Blog Diyagramı.....	57
Şekil 5.6. İHA'nın Paraşüt Sistemi ile Uçuşa Hazır Halinin Gösterimi.....	57
Şekil 5.7. Paraşüt Hücre Sayısal Tasarımı.....	59
Şekil 5.8. Gerçek Boyutları Verilmiş Paraşütün Hücre Planı.....	60
Şekil 5.9. Paraşüt hücre tasarım planı	61
Şekil 5.10. Hücrelerin Katlama Ve Dikiş Payları.....	62
Şekil 5.11. İki Hücrenin Birbirleri ile Birleşimleri, Zigzag Dikiş Hizası ve Yük Şeridi ile Birleşimleri.....	62
Şekil 5.12. Atılan Dikişler ve Kullanılan Endüstriyel Dikiş Makinesi	62
Şekil 5.13. Tamamlanan Paraşüt	64
Şekil 5.14. Paraşüt Fırlatma Mekanizmasının Solidworks Tasarımları	65
Şekil 5.15. CURA yazılımı ve üretilen PLA parçaların gösterimi	65
Şekil 5.16. Paraşüt Fırlatma Mekanizmasının Açık ve Kapalı Konum Gösterimleri	66
Şekil 5.17. Paraşüt İniş Sisteminin Aktifleştirilmesi İçin Kanal ve PWM Ayarlamalarının Gösterilmesi	68
Şekil 5.18. İHA Paraşüt Bağlantı Noktası, Paraşüt İniş Sistemi ve Karabina Gösterimi	69
Şekil 5.19. İHA'nın Uçuş Safhaları.....	72
Şekil 5.20. Uçuş Boyunca İzlenen Güzergâh ve Uçuş Bölgesi.....	73
Şekil 5.21. İHA'nın İrtifa-Zaman Grafiği	73
Şekil 5.22. Servo motor PWM Çıkış Sinyal-Zaman Grafiği	74
Şekil 5.23. İHA'nın Hız-Zaman Grafiği.....	75

GİRİŞ

İHA'ların (İnsansız Hava Aracı) kullanımı son 30 yılda teknolojinin gelişimiyle birlikte genişlemiştir. İHA'ları, sportif amaçla kullanılan, sadece yön kabiliyeti olan, faydalı yük taşımayan model uçaklarla karıştırmamak gerekir. İHA'lar, kuralları, yönetmelikleri ve talimatlarıyla küresel havacılığın ve havacılık otoritelerinin paylaşımlarının ve uygulamalarının bir parçasıdır [1].

İHA'lar, sabit kanat ve döner kanat olarak iki sınıfa ayrılrsa da hava aracının boyutuna ve görev sistemlerine göre sınıflara da ayrılabilir. Bu sınıflandırmalar belirsizdir ve teknolojik ilerlemelerle değişebilmektedirler. Bununla beraber günümüzde yüksek irtifalı uzun süre uçuşlu İHA'lar, orta irtifa uzun süreli İHA'lar, 0 ila 300 km arasında menzile sahip orta menzilli veya taktiksel İHA'lar, hareketli ordu savaş grupları tarafından kullanılan yakın menzilli İHA'lar, mini İHA'lar ve başlangıçta kanat açıklığı 150 mm'den büyük olmayan mikro İHA'lar olarak sınıflandırmalar mevcuttur. Bu İHA'lardan mini İHA'lar, henüz tam olarak belirlenmiş olmasa da 20 kg'ın altındakiler olarak kabul görmüş ve 30 km'ye kadar menzildeki hava araçları olarak tanımlanmıştır [1].

İHA'ların kaza oranları insanlı hava araçlarına oranla çok daha fazla olduğu bilinmektedir [1], [2]. ABD'de kara, deniz ve hava kuvvetleri İHA'larında oluşan kazalardan alınan veriler değerlendirildiğinde insan faktörleri önemli bir yer tutmaktadır. Bazı İHA'ların iniş ve kalkışları İHA pilotları tarafından yapılmaktadır. İHA kazaları arasında insan faktörleri ile ilgili kazaların pek çoğu iniş ve kalkış esnasında meydana gelmektedir [2].

İHA'ların sayılarının artması ile yaşanan kaza ve kırımların da artması ile pek çok yenilikçi sistem, deneysel olarak ortaya atılmıştır. Bu sistemlerden en bilineni ise paraşütle iniş sistemidir. Paraşütle iniş sistemi dışında net (ağ) iniş sistemleri ve airbag (hava yastığı) iniş sistemleri de bulunmaktadır. Kullanım ve üretim kolaylığı açısından en çok tercih edilen iniş sistemi, paraşütle iniş sistemleridir. Ancak bütün bu sistemlerin maliyet ve ağırlık açısından dezavantajları bulunmaktadır. Ağırlık açısından iniş sisteminin, İHA'nın uçuş süresi ve güç tüketiminin az olması için minimum olması beklenmektedir. Bununla birlikte İHA iniş sistem maliyeti de ne kadar az olursa İHA'lara iniş sistemlerinin eklenmesi ve tasarımda kullanılması o kadar artacaktır.

İHA'lar için çok sayıda iniş sistem tasarımı bulunmaktadır. Bu iniş sistemlerinde dikey iniş hızı İHA'nın emniyetli inişi için önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında tasarlanan ve üretilen İHA iniş sisteminde düşük dikey hıza ulaşılması amaçlanmıştır. Ayrıca düşük dikey hızla birlikte mini İHA'lar için üretilmiş düşük maliyetli bir iniş sisteminin tasarımı ve üretimi de yapılmıştır.

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde genel bilgiler ile literatüre yönelik bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde İHA'ların tarihi, sınıflandırılması ve türleri hakkında açıklamalar yapılmıştır. Üçüncü bölümde paraşüt sistemleri hakkında bilgilerden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde üretilen İHA hakkında bilgilere yer verilmiştir. Beşinci bölümde ise İHA, paraşüt ve fırlatma mekanizmasının tasarımı ve üretimi hakkında ayrıntılar sunulmuştur. Son bölümde ise tartışma ve sonuçlara yer verilerek, çalışma tamamlanmıştır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÖZETİ

1.1. Genel Bilgiler

Pilotsuz uçan hava araçları olarak bilinen İHA'lar, Webster's Dictionary'e göre drone olarak isimlendirilmektedir. Fakat basın ve kamuoyunda drone kelimesi teknik anlamda doğru olmasa da İHA kelimesi yerine günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır [3]. İHA sistemi, hava araçları yer kontrol istasyonundan, görev planlama ve kontrol istasyonundan, faydalı yükten ve veri bağlantılarından oluşmaktadır. Buna ek olarak İHA sistemlerinin bazılarında fırlatma ve kurtarma sistemleri de bulunmaktadır [3]. Atalet ölçüm ünitesi (Inertial Measurement Unit, IMU) ve küresel konumlandırma sistemi (Global Positioning System, GPS) ile İHA'lar genellikle otonom olarak uçuş yapabilmektedir. Bu otonom uçuşlarda yer izi, irtifa ve yer hızı kontrol edilebilmektedir. Aynı zamanda hava aracının stabilitesi de otonom sistem tarafından sağlanabilmektedir [3].

Bilim insanları tarafından uçuş fikri tarih boyunca denenmiştir. 1260'lı yıllarda Roger Bacon insanların bir kuş gibi uçabileceği ve uçan makinalar yapabileceği fikrini ortaya atmıştır. 15. yüzyılda Da Vinci tarafından piramit şeklinde bilinen ilk paraşüt örnekleri verilmektedir [3]. İlk kare tabanlı paraşüt örnekleri ise 17. yüzyılda Fausto Veranzio'nun yayınlanan eserinde görülmüştür. Konik şeklindeki ilk paraşüt ise 18. yüzyılda Lenormand tarafından icat edilmiştir [4].

Tarih boyu gemilerde ve yel değirmenlerinde kumaşlar kullanılarak, hareket eden havanın gücünü kullanmak üzerine tasarımlar yapılmıştır. 1250'li yıllarda Avrupa'da havanın direncini kullanarak trenleri yavaşlatmak için kumaşlar kullanılmaya başlandığı bilinmektedir [4].

Sabit kanatlı İHA'lar için paraşüt kurtarma sistemleri tasarım ve üretim basamakları araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda kurtarma sisteminin emniyetli, güvenilir ve

öngörülebilir olması gerektiği ortaya çıkmıştır [5, 6]. Bununla birlikte paraşüt kurtarma sistemlerinin sürekli kullanıma olanak sağlaması için bazı teknikler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu teknikler ile paraşüt tiplerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Paraşüt tipleri değişken sürtünme katsayı değerlerine sahip olduğu için farklı isimlerle tanımlanmıştır. Bu tiplerden en çok kullanılanları kubbe, haç biçimli ve parafoil yapılarıdır. Bunlar arasında kubbe ve haç biçimli yapıların günümüzdeki İHA'lar için daha uygun olduğu, parafoil yapıdaki sistemin ise geliştirilmeye açık olduğu, gelecekte daha fazla kullanacağı düşünülmektedir [7].

1.2. Literatür Değerlendirilmesi

Hava araçlarında iniş pilotlar için en zor görevlerden biridir. Uçakların iniş yapacağı alana doğru bir şekilde yönlendirilmesi ve uygun yaklaşma açısına sahip olması gerekir. Boeing firmasının yaptığı istatistiklerde ölümcül kazaların %53'ü iniş veya kalkış aşamalarında olduğu tespit edilmiştir [8].

Sivil havacılıkta kullanılan aletli iniş sistemi (Instrument Landing System, ILS) gibi sistemler, sabit kanatlı hava araçlarının inişinde tercih edilmektedir. Benzer şekilde sabit kanatlı İHA'larda otomatik iniş için, İHA ortak otomatik kurtarma sistemi (UAV Common Automatic Recovery System, UCARS) ve taktik otomatik iniş sistemi (Tactical Automated Landing System, TALS) kullanılmaktadır. Ayrıca Global Hawk gibi büyük sabit kanatlı İHA'lar, yüksek hassasiyetli GPS ve radyo altimetre gibi maliyetli yüksek ekipmanlara sahiptir. Bu tür kurulumları mini sabit kanatlı İHA'lara maliyet açısından ve sınırlı faydalı yük açısından sağlamak mümkün değildir. Bu nedenle mini İHA'larda hem maliyet açısından düşük maliyetli hem de faydalı yük açısından düşük ağırlıklı iniş sistemleri kullanılmaktadır [8].

Zakaria yaptığı çalışmada sabit kanatlı mini İHA'ları kurtarmak ve inişinde yardımcı olmak için paraşüt iniş sistemi tasarlamıştır [9]. Paraşüt iniş sistemi için üç farklı paraşüt kanopisi kullanılabileceğini öngörmüştür. Bunlardan parafoil yapıdaki paraşüt kanopisinin kullanılmasının verimli olmayacağını, bu tip bir paraşütün İHA'yı sürükleyeceğini hesaplamıştır. Haç şeklindeki (cricuform) paraşüt kanopisinin ise en basit tasarıma sahip ve kolay imal edilebilecek bir paraşüt olduğunu fakat sürüklenme katsayısının düşük olduğunu ve güvenilirlik açısından uygun olmadığını ifade etmiştir. Kubbe tipi paraşüt kanopisinin sürüklenme katsayısının yüksek olması, güvenilir olması

ve yönlendirilemez bir paraşüt tipi olmasından dolayı çalışmada bu paraşüt tipini kullanmıştır [9]. Yapılan çalışmada mini İHA için tasarlanmış paraşüt kurtarma sisteminde İHA'nın yere güvenle indiği tespit edilmiştir. Yaptığı çalışmada 2,6 kg İHA için paraşüt kurtarma sistemi tasarlamış ve teorik hesaplamalarda paraşütün minimum 15 m yükseklikte açılabilceği sonucuna varmıştır. Fakat uygulamalar sonucunda en uygun açılma yüksekliğinin en az 30 m yükseklikte olacağını belirtmiştir [9].

Rodzewicz ve arkadaşları, gyrocopter için paraşüt iniş sistemi tasarımı ve uygulamasını gerçekleştirmiştir [10]. Gyrocopterlerde iniş sistemindeki en büyük problem, paraşüt kanopisinin ve askı iplerinin gyrocopter rotoruna dolanma riskidir. Paraşüt sistemi, rotorun göbeğine yerleştirilerek bu riskin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Avrupa Birliği Havacılık Emniyet Ajansı (European Union Aviation Safety Agency, EASA) kuralları gereği maksimum kalkış ağırlığının 25kg ve üzeri uçuşlar için özel izin gerektirdiği için bu çalışmada iki farklı deney hazırlanmıştır. Deneylerin sonucunda, döner kanatlı insansız hava araçlarının rotorlarına paraşüt askı iplerinin karışması ve ağırlık dengesi kurulamamasından dolayı paraşüt sisteminin kullanışlı olmadığına karar verilmiştir [10].

Fahlstrom ve arkadaşları yaptığı çalışmada ise 7 farklı İHA kurtarma sisteminden bahsetmiştir [11]. Bunlardan ilki, konveksiyonel iniş yani İHA'ya bir iniş takımı ve tekerlek ekleyerek piste iniş gerçekleştirmektir. Bunun için ağ sisteminin kullanılabileceğini fakat İHA'ya kurtarma sırasında zarar verebileceği belirtilmiştir. Paraşüt kurtarma sisteminde parafoil yapıdaki paraşüt kullanımının yüksek stabilite ve düşük iniş hızına sahip olacağı için tercih edilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Dikey kalkış iniş (Vertical Take-off and Landing, VTOL) özelliğine sahip İHA'ların bu özelliği iniş sistemi olarak değerlendirilmiştir. Havadan kurtarma sisteminde ise İHA havada paraşüt açmış iken başka bir hava aracı tarafından bir kanca takılarak İHA'nın havadan kurtarılabileceği belirtilmiştir. Gemi kurtarma sistemlerinde de bazı gemi ile alakalı problemlere dikkat çekilerek kurtarma sisteminin tasarlanması gerektiğinden bahsedilmiştir [11].

İngiliz ordusunda kullanılan Phoenix tipi İHA'ların inişinde, haç şeklinde paraşüt ve hava yastığı sistemi kullanılmıştır. Paraşüt sistemi yatay kuyruk konisinin altında yer aldığı için, sistem aktif olduğunda İHA ters dönerek inişe geçmiştir. Gövdesinin altında termal görüntü sensörü bulunan bu İHA'lar, iniş sırasında ters dönerek bu sistemin korumasını

hedeflemiştir. Paraşüt sistemi aktif olduktan sonra hava yastığı sisteminin açılmasıyla İHA'nın güvenli şekilde yere temasının sağlanması amaçlanmıştır. İHA iniş sistemlerinde parafoil tipte paraşütler çok az kullanılmaktadır. Skyeye ve Eyeview İHA'lar parafoil tipte kanopi kullanan İHA sistemleridir. Parafoil kanopinin en büyük dezavantajı, paraşüt kanopisinin açılma zorluğudur. Aynı zamanda servolar yardımıyla hareket vermek ve bu hareketin geç iletilmesi de bu sistemin kullanılmasının tercih edilmeme sebeplerindendir [7, 11].

Yapılan başka bir çalışmada İHA kurtarma sisteminde en düşük maliyetli ve en uygun kurtarma sisteminin yapılması amaçlanmıştır [12]. Çalışmalarında mini İHA'lar için uygun olabilecek en iyi paraşütü tasarlamaya çalışmışlardır. Bunun için düşük referans çapına sahip paraşüt seçilmiştir. Fakat düşük iniş hızında yüksek referans çapına sahip paraşütün seçilmesinin uygun olmayacağı da bu çalışmada belirtilmiştir [12].

Abinaya ve Arravind tarafından yapılan çalışmada İHA kurtarma ve iniş sistemlerinin düşük maliyetli olarak tasarımı araştırılmıştır [13]. Bu çalışmada geleneksel tekerlekli iniş, kızaklı iniş, ağ kurtarma, paraşüt kurtarma ve orta irtifada kurtarma metotları incelenerek, bunların avantaj ve dezavantajları ele alınmıştır. Ayrıca her bir kurtarma metodunu bir diğeri ile karşılaştırarak, aralarında maliyet, emniyet, operatör gereklilikleri, karmaşıklığı ve kurtarmadaki başarı oranı gibi parametreler de incelenmiştir [13].

İHA sistemlerinin kullanımı giderek artmaya devam edeceği değerlendirilmektedir. Bu nedenden dolayı paraşütle kurtarma sistemleri oldukça ilgi çekmektedir. Hem sabit kanatlı hem de döner kanatlı İHA'lar için çeşitli şirketler paraşüt kurtarma sistemi üretmiştir. İHA'ların artması ile paraşüt kurtarma sistemleri için ulusal ve uluslararası mevzuatlar düzenlenmeye başlamıştır. Bununla birlikte İtalyan Sivil Havacılık Otoritesi paraşüt kurtarma sistemlerini de yönetmeliğe eklemiştir. Fakat bu yönetmelikte paraşüt sisteminin kullanılabileceği üst sınır 150 kg olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada paraşüt kurtarma sistemi kullanıldığı takdirde uçuş el kitabı veya eşdeğer bir belgeye sahip olması gerektiği vurgulanmıştır [14].

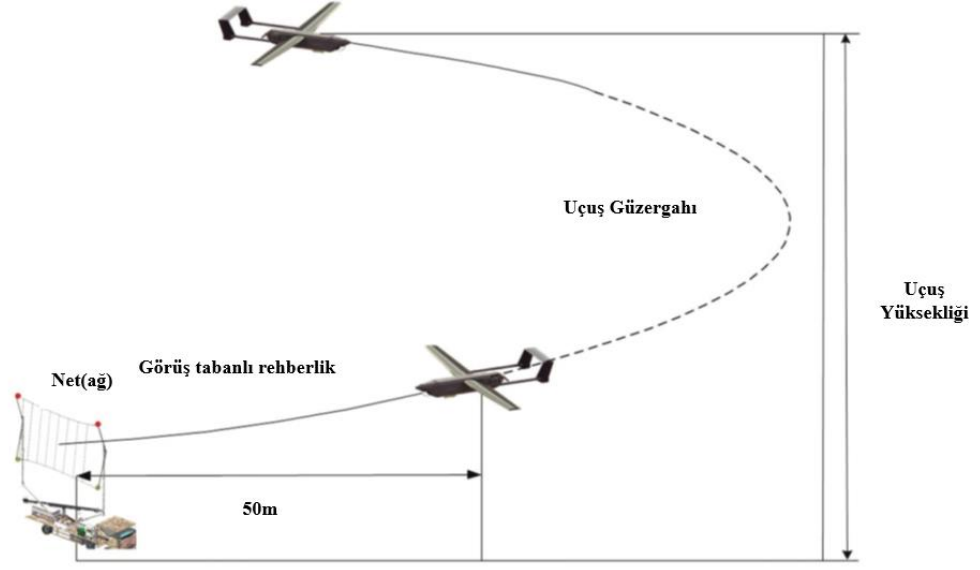
Shyu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise uzun uçuş süresi olan gözetleme, keşif ve görüntü aktarımı yapabilen Scaneagle ve Orbiter İHA'lara benzeyen paraşüt sistemine sahip bir İHA geliştirilmiştir [15]. Bu İHA 7 kg ağırlığına, 1,1m uzunluğuna ve 2,8m

kanat açıklığına sahiptir. İHA, balsa adı verilen hafif havacılık malzemesinden yapılmıştır. Bu İHA için tasarlanmış paraşüt sistemi, 100m yükseklikten denenmiş, İHA'nın dikey hızı 4-5 m/sn olarak belirlenmiştir [15].

Başka bir çalışmada Observer İHA kullanılmıştır [16]. Bu İHA, yuvarlak paraşüt kullanan bir sisteme sahiptir. Bu sistemde, dahili bir yay ve ana paraşütün açılmasını sağlayan pilot paraşüt bulunmaktadır. Observer İHA'nın paraşütle iniş testleri 200m yükseklikten başlayıp, 65m yüksekliğe kadar denenerek devam etmiştir. Bu testlerde İHA sisteminin dikey hızı 4,5 m/sn olarak ölçülmüştür. İHA üzerine yerleştirilmiş ivmeölçer verileri kullanarak yapılmış İHA iniş sisteminde paraşütün otonom olarak açılması planlanmıştır. Bununla birlikte bu çalışmada paraşüt sisteminin açılması için gerekli minimum yükseklik 20 m olarak belirlenmiştir [16].

Başka bir çalışmada İHA'larda kullanılan ağ kurtarma sistemlerinden bahsedilmiştir [17]. İHA'nın ağ sistemine iniş yapma veya kurtarma tekniği, ilk olarak 1970'li yıllarda ABD'de Aquila adlı İHA sisteminde başarıyla kullanılmıştır. Sonraki yıllarda Killer Bee, Silver Fox, BQM-147A, Ex-grone, Scout, Vulture ve Pioneer İHA sistemlerinde ağ kurtarma sistemleri başarıyla kullanılmıştır. İHA'nın ağ ile kurtarılmasında İHA'nın ağa yönlendirilmesinde kullanılan teknikler de etkilidir. Bu teknikler, radar rehberliği, GPS entegresinin rehberliği, TV izleme rehberliği ve lazer rehberliği olarak sınıflandırılmaktadır [17].

Son yıllarda İHA'lar için görüş tabanlı rehberlik ön plana çıkmaktadır. Görüş tabanlı rehberlikte temassız, bağımsız, müdahalesiz, düşük enerji tüketimi ve yüksek hassasiyeti ile fark yaratmaktadır. Aynı zamanda hafif ve ucuz bir alternatiftir. Görüş tabanlı rehberlikte kamera sayesinde İHA'nın durumu, konumu, hızı ve diğer parametreleri kullanılarak bir dizi görüntü ile İHA'nın inişine rehberlik etmesi amaçlamaktadır. Şekil 1.2'de görüş tabanlı İHA sistemi kullanılarak İHA'nın ağ kurtarma sistemi gösterilmiştir [8].



Şekil 1.1. Görüş tabanlı İHA sistemi kullanarak İHA'nın ağ sistemine inişi

Denizcilik sektöründe İHA'lar araştırma, izleme, arama ve kurtarma gibi faaliyetlerde kullanılmaktadır. Özellikle bu faaliyetler için sabit kanatlı İHA'lar tercih edilmektedir. Özel iniş ve kalkış alanı olan uçak gemilerinde de İHA kullanım ihtiyacı bulunmaktadır. Bu tarz gemilerde İHA'ların kalkışı için pnömatrik, yaylı veya lastik bantla çalışan manevralar kullanılabilmektedir. İniş için ise farklı teknikler denenmiştir. Geminin kıç kısmına ağ gererek ve bu ağın yüksekliğinin geminin kıç kısmından daha yüksek olması sağlanarak İHA'nın ağ ile kurtarılması sağlanmıştır. Küresel konumlandırma uydu sistemi (Global Navigation Satellite System, GNSS) ve gerçek zamanlı kinematik (Real-Time Kinematic, RTK) GPS kullanılarak, doğruluğun artırılması ve sapmanın azaltılması ile İHA'nın gemide bulunan ağ sistemini bulması kolaylaştırılmıştır [18]. Şekil 1.3.'de sabit kanatlı İHA'nın döner kanatlı İHA'lar tarafından taşınan ağa yaklaşması ve yakalanması gösterilmiştir [18]. Şekilde döner kanatlı İHA'ların hareket kabiliyetiyle sabit kanatlı İHA'nın rüzgâra doğru hareket etmesi sağlanarak, sabit kanatlı İHA'nın yer hızı minimum seviyeye düşürülerek, çarpma hızı azaltılmış ve sabit kanatlı İHA'da yapısal hasar olmasının önüne geçilmiştir [19]. Ayrıca iniş işleminin gemiden uzaklaştırılması büyük bir güverteye ihtiyacı ortadan kaldırmıştır.

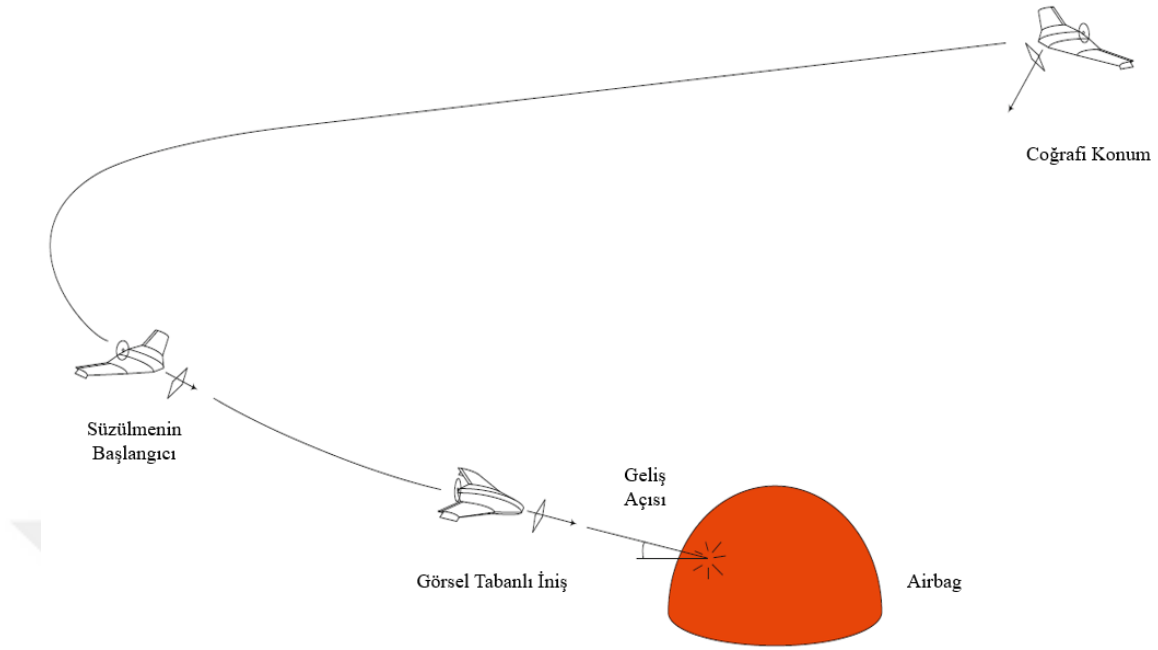
Hem insanlı hem de insansız hava araçlarında iniş safhası en çok kazanın yaşanabildiği aşamadır. Bu nedenle insanlı hava araçlarında ve büyük İHA'larda ILS ve Sierra Nevada Corporation'un UCARS ve TALS sistemleri gibi iniş sistemleri kullanılmaktadır. Fakat mini İHA'larda bu sistemlerin kullanılması maliyet ve faydalı yük açısından mümkün

değildir. Mini İHA’larda görme tabanlı güvenilir, otomatik, pasif ve ucuz sistemlerin kullanılması tercih edilmiştir. Bu sistemlerden biriside İHA’ya entegre edilen hava yastığı (airbag) sistemidir [20]. Hava yastığı sistemleri İHA’ya üç farklı şekilde entegre edilebilmektedir. Bunlardan birincisi doğrudan İHA’nın alt kısmına monte edilmiş bir sistem olup, darbe veya yüksek ivmede otomatik olarak açılabilir. İkinci sistem ise paraşütle iniş sistemi ile airbag sisteminin entegre edilmesidir. Bu sistemde hava yastığı sistemi daha çok yardımcı bir sistem olarak kullanılır. Hava yastığı sistemi paraşütle inişte yer darbesinden korumak amacıyla tasarlanmıştır. Son sistem ise hava yastığı sistemi yere kurularak İHA’nın hava yastığı sistemine iniş yapabilmesi prensibine dayanmaktadır [21].

Paraşütle iniş sistemleri 10 m’den daha az yüksekliklerde, paraşütün açılma süresinden dolayı kullanılamamaktadır. Hava yastığı sistemin en büyük avantajı, düşük irtifalarda da kullanılabilmesidir [22]. Bazı çalışmalarda hava yastığı sistemi, paraşüt iniş sistemiyle birlikte kullanılmıştır. Paraşüt sistemiyle birlikte İHA, inişinde dikey hızının 10m/sn’ye kadar çıkabilmesinden dolayı hava yastığı sistemiyle beraber kullanılması tercih edilmiştir [23].

Hava yastıkları sisteminin kullanıldığı bir diğer çalışmada gövde altına yerleştirilen 5 farklı hava yastığı tipinin bilgisayar modellemesi gerçekleştirilerek, İHA’lar üzerinde testi yapılmıştır [24]. Bu farklı tipteki hava yastıkları, dikdörtgen, yarı silindirik, silindirik, konik ve kesik konik şekillerindedir. Testler sırasında basınç tahliye valfi kullanılmış olup, valfin hava yastığı sistemi üzerinde etkisi araştırılmıştır.

Başka bir çalışmada yere sabitlenmiş yarım kubbe şeklinde olan hava yastığı sistemine yapılan inişten bahsedilmiştir [25]. Çalışmada 4 m çapında yere sabitlenmiş kırmızı renkli bir hava yastığı sistemi kullanılmıştır. Şekil 1.2’de İHA’nın hava yastığı sistemine inişi gösterilmiştir [21, 25].



Şekil 1.2. İHA'nın kubbe şeklindeki airbag sistemine inişi

Aynı zamanda airbag sistemine görüş tabanlı inişte kırmızı renkli olan diğer cisimlerle karıştırılmaması için hu-moment tekniği kullanılır. Bu teknikle kırmızı renkli farklı şekillerde olan cisimlerle kırmızı renkli hava yastığı kubbesinin karıştırılmasının görüntü işleme sayesinde önüne geçilmiştir. Böylelikle İHA'nın görüş tabanlı inişinde kırmızı renkli diğer cisimlere iniş yapabilme olasılığını en aza indirmiştir [26].

1.3. Üretimi Yapılmış İHA İniş Sistemleri

Paraşüt sistemleri, Fruity Chutes, Tulpar Uzay Havacılık ve Savunma A.Ş., Mars Parachutes, Butler Company ve My Research Company tarafından ticari olarak üretilip, satışa sunulmaktadır.

Fruity Chutes, döner kanatlı İHA'larda yaylı sistemi ve CO₂ bazlı balistik fırlatıcıların kullanabileceğini ifade etmiştir [27]. Sabit kanatlı İHA'larda ise pilot paraşüt kullanılarak, paraşütün serbest havayla buluşabileceği tavsiye etmiştir. Aynı zamanda çeşitli büyüklüklerde paraşüt seçeneği sunularak, İHA'ya en uygun paraşütün seçilmesi sağlanmıştır. Şekil 1.3'de Fruity Chutes firmasına ait balistik fırlatma mekanizması gösterilmiştir [27].



Şekil 1.3. Fruity Chutes firmasına ait balistik fırlatma mekanizması [27]

Tulpar Uzay Havacılık ve Savunma A.Ş tarafından geliştirilen, paraşüt ve fırlatma sisteminde 4 sensörden gelen verilerin işlenmesiyle paraşütün açılması sağlanmıştır [28]. İHA'da meydana gelebilecek motor ve batarya arızası gibi arızalarda paraşüt, otonom olarak açılabilmiş ve istenildiğinde manuel olarak açılabilir. Bu sistem, 1 ile 240 kg aralığında sabit, döner ve VTOL İHA'lara uygun olarak tasarlanmıştır [28].

My Research Company'nin yaptığı paraşütle iniş sistem tasarımında aynı anda iki farklı paraşüt sistemi kullanılmıştır [29]. Simetrik olarak yerleştirilmiş bu paraşütlerin, motorlar durduktan sonra aynı anda açılması ve darbe etkisini nötrleyerek, dengeli bir yük oluşturması hedeflenmiştir. Bu fırlatma sisteminde balistik sistem kullanılmıştır. İki paraşütün aynı anda kullanılması İHA'nın dengeli şekilde inmesini sağlamıştır [29].

Mars Parachutes ise çeşitli paraşüt ve fırlatma sistemleri üreterek, İHA'lara montajının yapılması üzerine çalışmıştır [30]. Hafif ve kompakt yapıda fırlatma sistemi üreterek, yüksek maliyetli, döner kanatlı İHA'ların güvenle inmesini amaçlamıştır. Aynı zamanda 58 V2 tipi fırlatma sisteminde CNC tezgâhtan üretilen hafif plastikler ile daha hassas ve daha hafif bir fırlatma sistemi tasarlamışlardır [30].

Butler Company'nin ürettiği paraşüt sistemleri ise çok çeşitli kurtarma ve iniş sistemi kabiliyetine sahiptir [31]. Paraşüt kanopisi 20cm'den 47m'ye kadar olan paraşüt sistemleri üreterek, kurtarma ve iniş gerçekleştirebilmektedir. 2 Mach hıza kadar hızlarda uçan hava araçlarına kurtarma sistemi tasarlama kabiliyetine sahiptir. Aynı zamanda sadece İHA'lar için değil, hedef drone ve diğer hava araçları içinde kurtarma sistemi tasarımına sahiptir [31].

1.4. Tezin Amacı ve Önemi

Bu tez çalışmasında günümüzde kullanımı artan sabit kanatlı İHA sistemleri için paraşütle iniş sistemi tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Diğer çalışmalara göre daha düşük maliyetli ve daha hafif paraşüt tasarımı yapılarak, uçuşun emniyetli şekilde gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Sabit kanatlı İHA'larda iniş ve kalkış aşamaları kaza kırım olaylarının çok fazla olduğu aşamalardır. İnsanlı uçaklarda ve büyük İHA'larda inişte ve kalkışta ILS gibi sistemler kullanıldığından dolayı bu hava araçları emniyetli iniş yapabilmektedir. Fakat özellikle mini İHA'lar için ILS vb. iniş sistemleri maliyet açısından çok yüksektir. Aynı zamanda faydalı yük açısından da mini İHA'lar için verimsizdir. Bu sebeplerle mini İHA'larda paraşüt, net (ağ) ve hava yastığı iniş sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler, maliyet yönünden daha uygun ve daha hafiftir. Bu sistemlerden ise en çok tercih edileni ve kullanılanı paraşütle iniş sistemleridir.

Literatürde yer alan paraşüt sistemlerine göre çok daha uygun maliyetli paraşüt sistem üretimi yapılarak özellikle sabit kanatlı İHA'nın iniş sisteminde kullanılması amaçlanmıştır. Uygun maliyetle birlikte hafif bir tasarıma sahip olması daha fazla alanda kullanılmasını da sağlayacaktır. Aynı zamanda son yıllarda üretilen İHA'ların büyük çoğunluğunun mini İHA sınıfında olması bu sistemin önemini daha çok ortaya koymaktadır.

2. BÖLÜM

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

2.1. İnsansız Hava Aracının Tarihsel Gelişimi

1903'te Wright kardeşlerin gerçekleştirdiği ilk uçuşla birlikte havacılıktaki gelişmeler hız kazanmıştır. Bundan kısa süre sonra da insansız hava araçları ve sistemleri üzerine yapılan tasarım ve üretim çalışmaları başlamıştır. Tarihteki ilk İHA, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi 1916 yılında Amerikalı Lawrence ve Elmer Sperry tarafından yapılmıştır. Bu hava aracında jiroskop kullanılarak ilk kez otomatik pilot ile uçuş gerçekleştirilmiştir[32, 33].



Şekil 2.1. Lawrence ve Elmer Sperry Tarafından Geliştirilen İHA Görseli

I. Dünya savaşı sırasında çok sayıda insanlı uçak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak geleneksel olan bu sistemlerde kayıpların fazla olması ve maliyetlerin yüksek olmasından dolayı insansız sistemlerin kullanılabilmesi fikri bilim insanları tarafından ele alınan en temel konulardan birisi haline gelmiştir. İHA'lar uçaklara göre pilotsuz uçabilmesi, uzun

sürekli gözlem uçuşlarının yapılabilmesi ve maliyet açısından çok avantajlı olduğundan daha fazla tercih edilmiş ve araştırılmıştır [33].

I. Dünya Savaşının sonlarına doğru ABD ordusunda Kettering tasarımı adı altında bir tasarım yapılmıştır. Bu tasarım daha sonradan Kettering Bug ismini almıştır. Bu tasarımda uçan bir bomba fikri ortaya konmuştur. Uçak şeklinde tasarlanarak, jiroskopik prensiple hareket ederek ve daha önceden yörüngesi çizilerek hedefe gitmesi amaçlanmıştır. Hedefe yaklaştığında motoru kapatıp ve kanatları bırakıp hedefe çarparak bombanın infilak etmesi planlanmıştır. Fakat yapılan testlerde bu tasarım başarısız olmuştur [34].

Şekil 2.2’de görülen F-5L hava aracı tarihte ilk kez radyo kontrollü hem iniş hem de kalkış yapabilen insansız hava aracı olmuştur. Eylül 1924’te F-5L ilk telsiz kontrollü uçuşunu yaptıktan sonra çok sayıda başarılı test uçuşu yapmıştır. Fakat Aralık 1925’teki başarısız bir testin ardından proje iptal edilmiştir. Bu başarısız testin ardından 1936 yılına kadar İHA’lara ilgi azalmıştır [34].



Şekil 2.2. 15 Eylül 1924 Tarihinde, Tarihte İlk Kez Bir Radyo Kontrollü Curtiss F-5L’nin Uçuşu

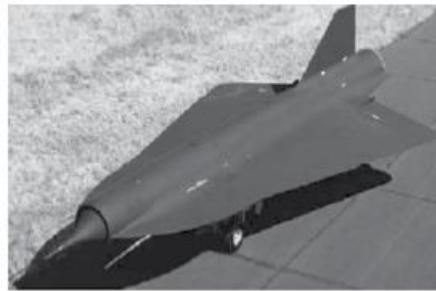
II. Dünya Savaşı’yla birlikte İHA’lar çeşitli alanlarda kullanılmaya devam etmiştir. Almanlar tarafından V-1 adlı hava torpidosu geliştirilmiştir. Hedef İHA türünde olan bu İHA, Londra şehrini bombalamak amacıyla üretilmiştir. Benzer dönemlerde, ABD’de deniz kuvvetleri tarafından kullanılmak üzere N2C-2 adlı hedef dronlar üretilmiş ve çok sayıda ABD donanmasının korunması görevinde yer almıştır. II. Dünya Savaşı’nda yine ABD tarafından kullanılan TDR-1 saldırı İHA’sı uçak gemilerinden kalkarak Pasifik

Okyanusu'nda Japon gemilerine saldırılar düzenlemiştir. Şekil 2.3'de II. Dünya Savaşı'ndan kalan son TDR-1 İHA gösterilmiştir [34, 35].



Şekil 2.3. TDR-1 Saldırı İHA'sı

II. Dünya Savaşı'ndan sonra da İHA tasarım ve geliştirme çalışmaları devam etmiştir. 1955 yılında ABD ordusu ve İngiliz Beechcraft Şirketi tarafından tasarlanmış olan insansız keşif uçağı, ilk uçuşunu gerçekleştirmiştir. 1959-1960'lı yıllara gelindiğinde ABD pilotların düşman bölgesinde kaybedilmesi endişesiyle İHA'lara daha fazla önem verilmeye başlanmıştır. 1964 yılında ABD tarafından Vietnam'da İHA, ilk kez aktif olarak çatışmalarda kullanılmıştır. Bununla birlikte Vietnam Savaşı'nda ABD çok sayıda İHA kullanmış ve savaş sırasında 554 adet İHA'sını kaybetmiştir. 1966 yılında Çin üzerinde yüksek irtifada keşif görevleri yerine getirebilmek amacıyla Lone Eagle projesi başlatılmıştır. Şekil 2.4'de bu projede tasarlanmış olan D-21 Tagboard hava aracı gösterilmiştir [36].



Şekil 2.4. D-21 Tagboard

Vietnam Savaşı sırasında ABD çok sayıda İHA kullanmış ve bu İHA'ları paraşütle indirmeye çalışmıştır. İlk olarak DC-130 tipi insanlı uçaklardan havaya atılan Lightning Bug isimli İHA'lar, Kuzey Vietnam üzerinde keşif görevleri gerçekleştirip, Güney Vietnam'a dönerek, paraşütle iniş yapmışlardır. Fakat bu inişlerde bu İHA'ların okyanusa, pirinç tarlalarına ve düşman topraklarına indiği görülmüştür. Ayrıca bu inişlerde İHA'da kırımların olması ve keşif kayıtlarının yok olması nedeniyle paraşütle inişlerin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle İHA'yı ve keşif kayıtlarını kurtarabilmek için MARS adı verilen bir proje geliştirilmiştir. Bu projede İHA'nın paraşütü açtıktan sonra havada iken bir helikopter tarafından kurtarılması amaçlanmış ve istenilen noktaya indirilmiştir. Bu şekilde İHA ve keşif kayıtları kurtarılmış ve MARS projesi başarılı bir proje olarak tarihe geçmiştir. Şekil 2.5'de Lightning Bug İHA'sının paraşüt ile inişi gösterilmiştir [37].



Şekil 2.5. Paraşüt ile İniş Yapan Lightning Bug İHA'sı

Soğuk savaş dönemlerinde İHA alanındaki gelişmeler ABD'de yavaş ilerlemiştir. 1980'li yıllara gelindiğinde tekrar İHA'lara önem verilmiştir. Pioneer tipi İHA, İsrail'den satın alınmış ve bu İHA, ABD Deniz Kuvvetleri'nde gözetleme amacıyla kullanılmıştır. Kullanırken gemiden kalkış ve iniş yapabilmesi için geliştirmeler yapılmıştır. Şekil 2.6'da bir Pioneer tipi İHA'nın mesh (net) sistemi ile kurtarıldığı gösterilmiştir [35].



Şekil 2.6. Pioneer Tipi İHA'ının Mesh (Net) Sistemi ile Gemide Kurtarılması

ABD İHA'larına verdiği önemle İHA'ları keşif, hedef gözetleme, hedef tespit, meteorolojik veri toplama ve radar verilerini bozma gibi amaçlarla kullanmak ve geliştirmek üzerine yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte 90'lı yıllarda orta menzilli Predator İHA geliştirilmiştir. Predator İHA'lar ilk olarak Bosna'da keşif ve gözetleme amacıyla kullanılmıştır. Predator, 2000'li yıllardan itibaren silah taşımaya ve hedefe bomba atmaya başlamıştır. Bununla birlikte ilerleyen yıllarda bomba taşıma kabiliyetiyle birlikte Predator geliştirilerek yeni nesil MQ-9 Reaper ortaya çıkmıştır [38].

Gözlem ve keşif için daha küçük İHA'lara ihtiyaç duyulacağı tespit edilmiştir. Bunun için Pioneer, Shadow ve Hunter projeleri geliştirilmiştir. Bu projelerden sonra gözlem ve keşif için mini ve mikro İHA'lar da kullanılmaya başlamıştır. Bu İHA'lar elektrikli olması ve sessiz çalışması sebebiyle istihbarat amacıyla da kullanılmıştır. Şekil 2.7'de Shadow tipi bir İHA'nın uçuşa hazırlanışı gösterilmiştir [38].



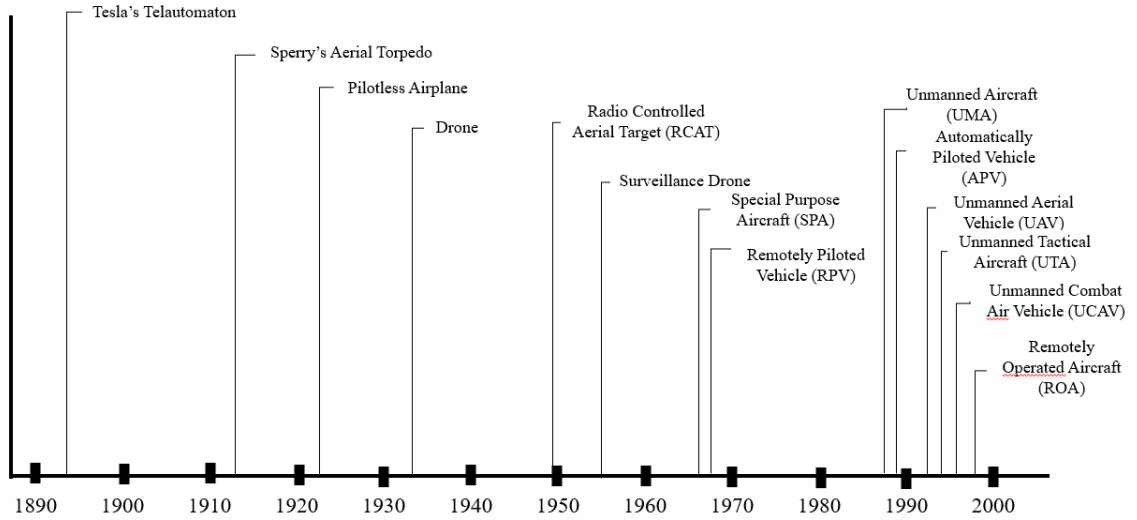
Şekil 2.7. Shadow İHA'nın Uçuşa Hazırlanışı

1990'lı yıllarda soğuk savaşın sona ermesiyle birlikte Dünya'da çok sayıda ülke geliştirici, üretici ve operatör olarak İHA'lara pozitif bir eğilim göstermiştir. İHA'ların gelişmesi ile yazılım ve robotik teknolojilere daha fazla güven artmış ve kullanılmıştır. Fakat son yıllardaki silikon chip üretimindeki sorunlar, bu gelişimi yavaşlatmıştır. Sadece robotik anlamda değil teknolojinin gelişimiyle birlikte hava aracı gövdesinde de değişiklikler olmuştur. Tarih boyunca kumaştan ahşaba, alüminyumdan titanyuma ve oradan da kompozit malzemelere yönelen hava aracı gövdesinde hem dayanıklılık artmış hem de ağırlık yönünden hafiflemiştir. Bir sonraki adımda transgenetik biyopolimerlerin kullanılabilmesi düşünülmektedir. Bu yapılar karbon kompozite göre 2 kat daha dayanıklı, %25 daha hafif ve esnektir [35].

İnsanlı hava araçlarında 1980'li yıllarda kokpitteki personel sayısı 3'ten 2'ye düşürülmüştür. Zamanla bu sayı otonom sistemlerle birlikte 1'e düşecektir. İlerleyen zamanlarda ise tamamen otonom olarak uçaklar uçabileceklerdir. Bu uygulamanın ilk olarak kargo uçaklarında denenmesi beklenmektedir. Bu uçaklarda sorun olmaması halinde yolcu uçaklarında da tamamen otonom ve pilotsuz uçuşların yapılabilmesi düşünülmektedir. Geleceğin İHA'larının uzaktan kontrol edilen hava araçlarından çıkıp, belirli bir görevi yerine getirebilmek için bağımsız hava araçlarına dönüşmesi beklenmektedir [35].

İHA'ların emniyetinin artması, halkın güvenini kazanması ve diğer havacılık bileşenleri tarafından kabul edebilmesi için yasal mevzuatların oluşturulması gerekmektedir. Bu düzenlemeler, uluslararası havacılık otoriteleri tarafından İHA'ların kabulünü de sağlar. Oldukça farklı çeşit ve boyutta İHA'lar tarih boyunca üretilmiştir. Şekil 2.8'de tarihte önemli görülen İHA'ların kronolojisi sunulmuştur [35].

Türkiye'de ise İHA gelişmeleri ilk olarak 1990'lı yılların başlarında başlamıştır. İHA'lar ABD'den ithalat edilmiş hem de TUSAŞ tarafından bu yıllarda üretilme denemeleri başlamıştır. 2000'li yıllara kadar verimli bir İHA kullanımı olmamıştır. 2000'li yıllarda TSK'nın acil ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla İHA ithalatı yapılmaya başlanmıştır. Fakat ABD'nin İHA'ları vermek istememesi nedeniyle ABD'den ithalat yapılamamıştır. İsrail'den Heron ithalatı yapılmış olup, İsrail'le yaşanan sorunlar nedeniyle Heronlarda verimli bir şekilde kullanılamamıştır. Bu sebeplerden dolayı yerli üretim İHA'lara daha çok önem verilmiştir [39].



Şekil 2.8. İHA'lara Tarih Boyu Verilen İsimler Kronolojik Olarak Sıralanması

Kamu ve özel şirketler tarafından çok sayıda İHA tasarlanarak üretilmeye başlanmıştır. Kamu şirketi olan TUSAŞ tarafından Turna, ANKA ve Aksungur isimleri verilen İHA'lar üretilmiştir. Özel sektör şirketlerinden Bayraktar tarafından Bayraktar mini İHA, TB2 ve Akıncı İHA'ları üretilmiş olup, kullanılmaya başlanmıştır. Hem kamu şirketleri hem de özel şirketler tarafından üretilen İHA'lar günümüzde başka ülkelere ihraç edilmektedir. Şekil 2.9'da Bayraktar firması tarafından üretilmiş TB2 İHA bulunmaktadır [39, 40].



Şekil 2.9. Bayraktar Tarafından Üretilmiş TB2 İHA

TUSAŞ tarafından süpersonik hıza ulaşan İHA tasarımı yapılmaktadır. Yine Bayraktar firması tarafından çıkarma gemilerine iniş yapılabilmesi için tasarlanmış TB3'lerin 2024 yılı içerisinde kullanılmaya başlanması beklenmektedir. Aynı zamanda Bayraktar tarafından muharip insansız savaş uçağı tasarımı olan Kızılelma da prototip aşamasındadır. Yine Kızılelma da 2023 yılı içerisinde ilk uçuşunu yapmıştır. Tablo 2.1'de 2020 itibariyle Türkiye'de geliştirilmekte olan İHA'ların adları yer almaktadır [39, 40].

Tablo 2.1 Türkiye’de Geliştirilmekte Olan İHA’lar

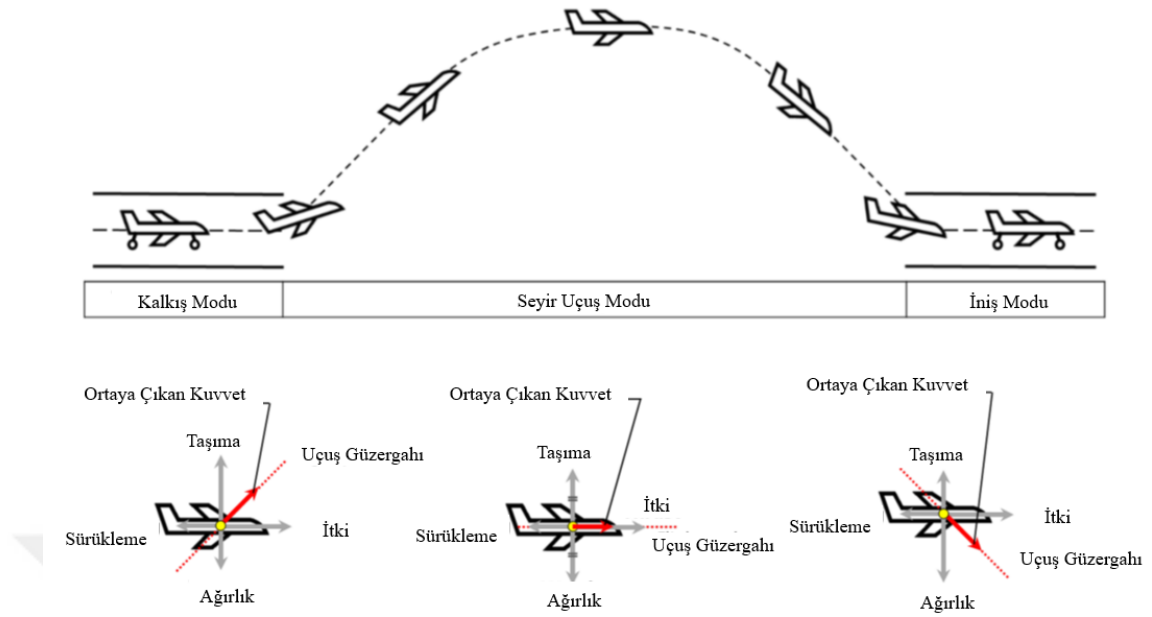
İHA/SİHA Adı	Yıl	Firma	Ağırlığı (Kg)	Uçuş Süresi
Aksungur	2021	TUSAŞ	1800	24 saat
Akıncı Bayraktar	2021	Baykar	5500	24 saat
DİHA	2021	Baykar	30	12 saat
MİUS	2023	Baykar	3500	4-5 saat

2.2. İHA’ların Sınıflandırılması

İHA’ların yıllar içinde geliştirilmesiyle çok sayıda kullanım alanı ortaya çıkmıştır. İHA’ların çeşitliliğinin ve kullanım alanlarının artması İHA’larda sınıflandırılma zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. İHA’ları sınıflandırmak kullanıcı için fayda sağlamaktadır. İHA’lar ağırlığına, menziline, irtifasına, kanat yapısına ve motor çeşidine göre farklı performans parametrelerinde sınıflandırılmaktadır. Performans parametrelerinin yanı sıra hedef gözlem tespiti, radar ve haberleşme sistemi, havadan teslimat, yangın söndürme ve tarımsal ilaçlama gibi görevlere göre de sınıflandırılabilir. Ayrıca İHA’lar sabit kanat, döner kanat ve VTOL (hem yatay hem de dikey iniş ve kalkış yapabilen) olmak üzere aerodinamik özelliklerine göre de sınıflandırılabilir [41, 42].

2.3. Sabit Kanatlı İHA’lar

Sabit kanatlı İHA’lar, kanat, gövde, motor ve pervane bileşenlerine sahiptir. Sabit kanatlı İHA’larda kaldırma kuvveti gövdeye sabitlenmiş olan kanatların üzerinde havanın hareketi ile oluşmaktadır. Bu İHA’lar geriye doğru hareket edememekte ve havada asılı kalamamaktadır. Kanat üzerinde havanın mekanik olarak hareket edebilmesi için motor ve pervaneden gelen itki kuvvetine ihtiyaç vardır. Kalkış ağırlığı olan stall hızına ulaşıldığında İHA kalkış yapabilmektedir. Bu nedenle İHA’nın kalkış yapabilmesi için pist veya kalkış rampası gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Sabit kanatlı İHA’nın kalkış, uçuş ve iniş safhalarında İHA’ya etkileyen kuvvetler, Şekil 2.10’da sunulmuştur [43, 44].



Şekil 2.10. Sabit Kanatlı Uçuş Mekanizmasının Şematik Diyagramı ve Uçuş Modunun Geometrik Analizi

Sabit kanatlı İHA'lar, diğer kategori İHA'lara göre düşük güç gereksinimine sahip olduğu için daha uzun uçuş sürelerine sahiptir. Bununla birlikte menzili, diğer kategori İHA'lara göre çok daha fazladır. Bir noktadan diğer noktaya hızlı erişim sağladığı için gözetleme ve haritalandırma amacıyla tercih edilmektedir. Ancak kalkış ve inişte pist ihtiyacının olması en büyük dezavantajıdır [45].

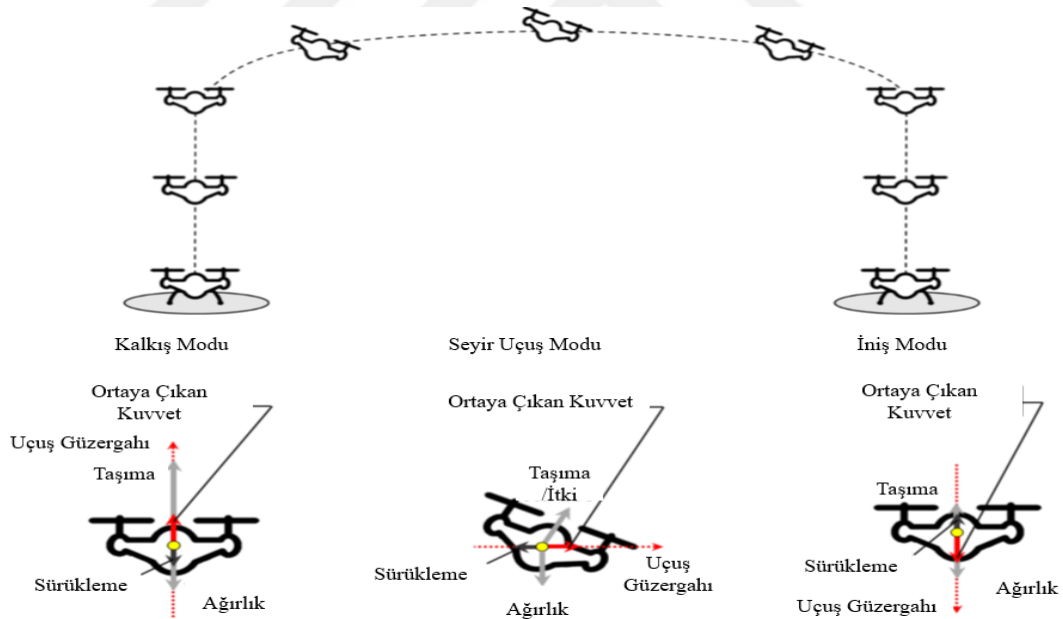
Kanat profilinin üst yüzeyinde bir düşük basınç alanının ve alt yüzeyinde bir yüksek basınç alanının oluşması taşıma kuvvetini oluşturmaktadır. Flap ve winglet kullanımı kaldırma kuvvetini artırmaktadır. Aynı zamanda sabit kanatlı İHA'larda kullanılan flap ve winglet düşük hızlarda kalkış ve iniş yapabilmeyi sağlamaktadır. Bu durumun dezavantajı sürtünme kuvvetini artırması ve uçuş süresini de azaltmasıdır[46, 47].

Sabit Kanatlı İHA'lar, köpük, plastik, ahşap, karbon fiber, alüminyum ve G-10 (yüksek yoğunluklu fiberglas laminant) gibi malzemelerden oluşmaktadır. Köpük, plastik ve ahşap gibi malzemeler mini ve mikro İHA'larda daha çok kullanılmaktadır. Karbon fiber, alüminyum ve G-10 ise ağır ve büyük İHA'larda daha çok tercih edilmektedir. Köpük kolay şekillendirilebilir ve esnek bir malzemedir. Fakat yük taşıma kapasitesi düşük ve mukavemet yönünden zayıftır. Plastik ve ahşap ise hafiftir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Karbon fiberler çok hafif ve mukavemetli olmasına rağmen diğer

malzemelere göre pahalıdır. Alüminyum ve G-10 ise mukavemet yönünden güçlüdür ve dayanımları yüksek olmasına rağmen diğer malzemelere göre çok ağırdır [48].

2.4. Döner Kanatlı İHA'lar

Döner kanatlı İHA'lar dönen ve hareket eden pervaneler vasıtasıyla yer çekimine karşı doğrudan kaldırma kuvveti oluşturmaktadır. Yerçekimi ve sürüklenme kuvvetinin toplamından daha fazla itki kuvveti oluşturarak dikey kalkış yapabilmektedir. Dikey iniş yapabilmesi için ise sürtünme ve itki kuvvetinin toplamı yerçekimi kuvvetinden az olmalıdır. Döner kanatlı İHA'larda hareket ve yönlendirme, motorlar arasındaki güç farkının kombinasyonu ile yapılmaktadır. Şekil 2.11'de döner kanatlı İHA'nın sabit irtifasını korumak için uçuş mekanizmasının hareketi gösterilmiştir [44].

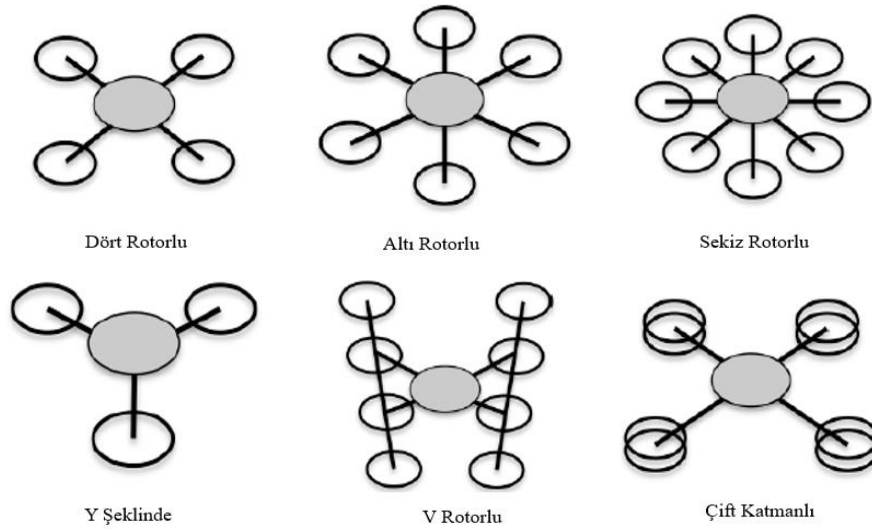


Şekil 2.11. Döner Kanatlı Uçuş Mekanizmasının Şematik Diyagramı ve Uçuş Modunun Geometrik Analizi

Döner kanatlı İHA'lar herhangi bir yönde uçabilmekte ve aniden irtifa, hız ve yön değiştirebilmektedir. Sabit bir şekilde havada asılı kalabilmekte (hover) ancak rotorlarının sürekli itki üretmesi gerekmektedir. Bu nedenle kısa uçuş süresi ve düşük menzile sahiptir. Havada asılı kalma kabiliyetleri sayesinde gözetleme ve izleme görevleri için idealdir. Basit yapıları sayesinde kolay imal edilen bir yapıya sahiptir.

Kompakt boyutları ile taşımaya uygun ve düşük maliyetle üretilebilen İHA kategorisidir. Döner kanatlı İHA'ların en büyük dezavantajı, yukarıda da belirtildiği üzere daha fazla güç tüketimine ihtiyaç duymalarıdır [43, 49].

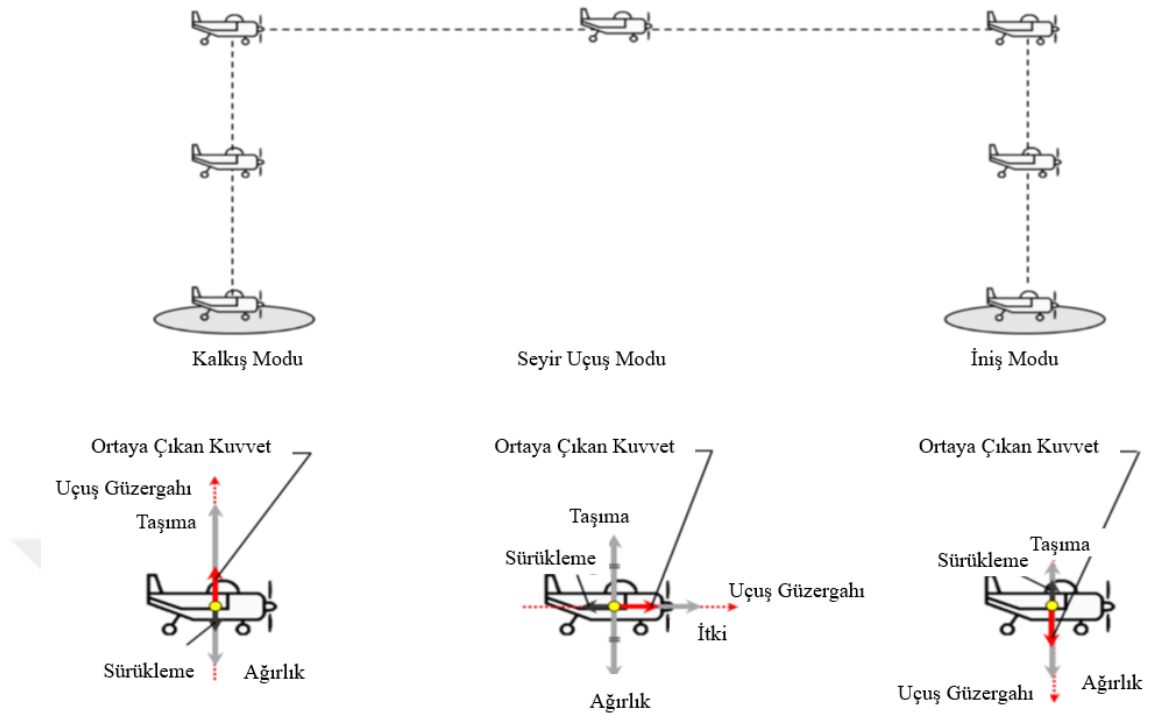
Döner kanatlı İHA'lar, sabit kanatlı İHA'ların aksine gövde tasarımı için kol sayısı ve rotor yerleşimi dışında yüksek aerodinamik ve geometrik gereksinimleri yoktur. Gövde tasarımı genellikle dört rotorlu, altı rotorlu ve sekiz rotorlu olabilmektedir. Ayrıca kolların dizilimi Y şeklinde, X şeklinde ve V şeklinde tasarlanabilmektedir. Her bir kol da bir veya iki rotor bulunabilmektedir. Kol ve rotor sayısının artması stabiliteyi ve faydalı yük taşıma kapasitesi artırmakta ancak rotor sayısının artması batarya verimliliğini düşürmektedir. Şekil 2.12'de farklı tipte döner kanat konfigürasyonları gösterilmiştir [50].



Şekil 2.12. Farklı Tiplerde Döner Kanat Konfigürasyonları

2.5. Hibrit İHA'lar

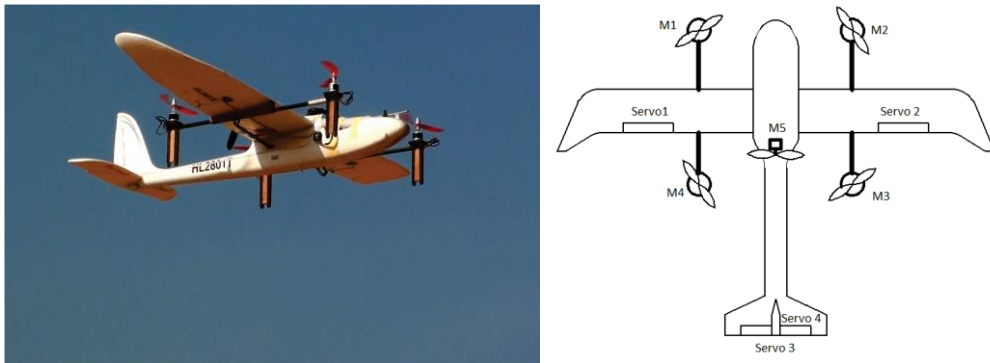
Hibrit kanatlı İHA'lar, hem sabit kanatları hem de döner kanatları kullanarak taşıma kuvveti üretmektedir. Hem sabit kanatlı İHA'nın avantajını hem de döner kanatlı İHA'nın avantajını kullanabilmek için sabit ve döner kanat İHA'ların özelliklerini bir araya getirme fikrinden ortaya çıkmıştır. Bu İHA'da döner kanatlı İHA'nın dikey iniş/kalkış ve havada askıda kalma özellikleri ile sabit kanatlı İHA'nın uzun mesafe uçuşu ve yüksek hızlarda uçuş avantajlarını bir araya getirilmiştir. Şekil 2.13'de hibrit İHA'ların inişi/kalkışı ve seyir uçuşu gösterilmiştir [44, 51].



Şekil 2.13. Hibrit Kanatlı İHA'nın Uçuş Aşamaları

Hibrit İHA'lar Tail sitter, Tilt rotor, Tilt ject, Tilt wing ve Vector thrust türlerinde olabilmektedir. Tail sitter hibrit İHA konfigürasyonunda İHA ve itki sistemleri dikey şekilde durarak kalkış yapar ve gerekli irtifaya çıkıldığında 90 derece dönerek uçuşunu kanatlarını kullanarak yapmaktadır.

Tilt rotor, Tilt ject ve Tilt wing tiplerinde ise itki sistemlerini dikey tutarak kalkışını yaparak gerekli irtifaya çıkmaktadır. Gerekli irtifaya çıktıktan sonra itki sistemleri 90 derece dönerek uçuşunu gerçekleştirmektedir. Şekil 2.14'te sabit kanat ve quadrotor türünde bir döner kanatın birleştirilmesinden oluşan bir hibrit İHA gösterilmiştir [52].



Şekil 2.14. Sabit ve Döner Kanatın Birleştirildiği Hibrit İHA

2.6. Ağırlıklarına Göre İHA'lar

İHA'lar için ağırlıklarına göre sınıflandırmada belli bir standart yoktur. Otoriteler ve kuruluşlar tarafından farklı sınıflandırmalar yapılmaktadır. Tablo 2.2'de ABD Savunma Bakanlığı'nın yaptığı sınıflandırmada azami kalkış ağırlığı, çalışma irtifası ve hızına göre beş farklı sınıflandırma gösterilmiştir [48].

Tablo 2.2 ABD Savunma Bakanlığına Göre Azami Kalkış Ağırlığı, Çalışma İrtifası ve Hızına Göre Sınıflandırma

İHA Grubu	Maksimum Kalkış Ağırlığı (lb.)	Operasyon İrtifası (Ft)	Hız (Knot)
Grup 1	< 20	< 1,200	< 100
Grup 2	21-55	< 3,500	< 250
Grup 3	< 1,320	< 18,000	
Grup 4	> 1320	> 18,000	Hız Limiti Yok
Grup 5			

Hassanalıan ve Abdelkefi çalışmalarında çok farklı tipte sınıflandırmaları incelemiştir. Tablo 2.3'de yer alan sınıflandırmada ağırlık ve kanat açıklığını göz önüne alarak bir sınıflandırma yapmışlardır. Bu sınıflandırma da menzil veya görev türü dikkate alınmamıştır [48, 51].

Tablo 2.3. Ağırlık ve Kanat Açıklığını Göz Önüne Alarak Bir Sınıflandırma

İHA Sınıfı	Ağırlık	Kanat Açıklığı
İHA	> 5 Kg	> 2m
Mini İHA	≤ 5 Kg	≤ 2m
Mikro İHA	≤ 2 Kg	≤ 1m
NANO İHA	≤ 50 g	≤ 15cm
PİKO İHA	≤ 3 g	≤ 2.5cm

Türkiye’de ise SHGM tarafından ağırlıklarına göre sınıflandırma yapılmıştır. SHGM yaptığı sınıflandırmada İHA’ları dört farklı türde sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırmayı SHT-İHA talimatıyla yayınlamıştır. SHGM tarafından yapılan sınıflandırmalarda Tablo 2.4’de de gösterildiği gibi 500 gramın altındaki İHA’lara yer verilmemiştir [53].

Tablo 2.4. SHGM’ye Göre İHA Ağırlık Sınıflandırılması

İHA Sınıfı	Ağırlık (Azami Kalkış Ağırlığı)
İHA 0	$500\text{g} \leq \text{İHA} < 4\text{kg}$
İHA 1	$4\text{kg} \leq \text{İHA} < 25\text{kg}$
İHA 2	$25\text{kg} \leq \text{İHA} < 150\text{kg}$
İHA 3	$150\text{kg} \leq \text{İHA}$

3. BÖLÜM

PARAŞÜT SİSTEMLERİ

3.1. Paraşütün Tarihsel Gelişimi

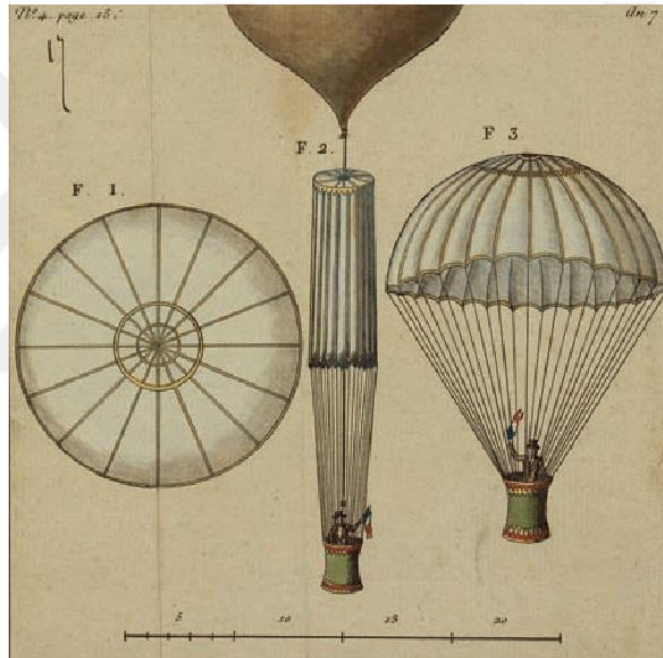
Paraşüt kelimesi Fransızca ve Latince kökenli bir sözcüktür. Latince karşı anlamı taşıyan “para” kelimesi ve Fransızca düşme anlamı taşıyan “chute” kelimelerinin birleşmesinden oluşmuştur. Bu kelimelerin birleşimi ile paraşüt kelimesi “düşmeye karşı” anlamı taşımaktadır [54].

Tarihte ilk defa paraşüt benzeri hava aracına Çin kaynaklarında rastlanılmaktadır. MS. 221 yılında Çin hükümdarı Shih Huang Ti tarafından Çin Seddi üzerinden atlayışların yapıldığı ifade edilmektedir. Yazılı kaynaklarda ise ilk kez Leonardo da Vinci tarafından 15. yüzyılda eskiz defterine çizdiği kare ahşap bir çerçeveye yerleştirilen piramit şeklindeki çizimlerde görülmüştür. Fakat Da Vinci’nin bu çizimlerinin uygulamaya geçildiği bilinmemektedir. 1617 yılında Fauste Veranzio isimli bir mucit Venedik’de Da Vinci’nin çizimlerine benzeyen bir icat ile kuleden atlamıştır [55].

Modern anlamdaki ilk paraşüt örneklerini 1783 yılında Sebastien Lenormand isimli Fransız mucit yapmıştır. Lenormand abajura benzeyen bir paraşütle Babotte Kulesi’nin tepesinden önce dökme demirden bir ağırlık, sonra bir kedi, daha sonra da kendi köpeğini paraşütle atmayı denemiştir [56].

1797’de André Jacques Garnerin pamuklu kumaştan dairesel ve sert bir çerçeve olmadan paraşüt yapmıştır. Ayrıca paraşütten bir yolcu için sepet sarkıtmıştır. Garnerin salınımları azaltmayı amaçlayan paraşütteki ilk havalandırma deliğini de tasarlayan bilim insanıdır. 1797’de kendisi ve paraşütünü bir balonla havaya kaldırarak Paris şehrinin yaklaşık 2.000 feet yukarısından güvenli bir şekilde paraşütle iniş yapmıştır. Bununla birlikte eşi Jeanne Genevieve 1798 yılında Garnerin ile paraşüt atlayışı yaparak paraşütten atlayan ilk kadın olmuştur. Şekil 3.1’de Garnerin’in yaptığı paraşüt tasarımı gösterilmektedir[57].

Garnerin'in paraşüt tasarımındaki salınımları en aza indirmek için İngiliz bilim adamı Sir George Cayley, çare olarak tepe noktası aşağıya bakacak şekilde kullanılacak koni şeklinde bir paraşüt tasarlamıştır. Ters koni şeklindeki paraşütün teoride sağlam olduğunu kanıtlanmış ancak pratikte başarıya ulaşamamıştır. İngiliz bilim insanı Robert Cocking, 1837'de ters koni şeklindeki paraşüt konseptine dayalı bir paraşüt tasarımı denemiş ve bu paraşütü, yapısının yeterince güçlü olmaması nedeniyle, 1700 metre yükseklikten atlarken paraşütün parçalanması sonucu hayatını kaybetmiştir. Robert Cocking, paraşüt kazası ile hayatını kaybeden ilk insandır [58].



Şekil 3.1. Garnerin'in Paraşüt Tasarımı

1887'de Thomas Baldwin tarafından harnes (kuşam tertibatı) icat edilmiştir. 1890'da ise Paul Letteman ve Kathchen Paulus tarafından sırt çantası içerisine girebilen paraşüt icat edilmiştir. Bu paraşüt sisteminde kılavuz olarak küçük bir paraşüt kullanılmıştır. Bu sistemde kılavuz paraşüt önce açılıp, sonradan ana paraşütün harnes içerisinden çıkarılması prensibine dayanmaktadır [5, 55].

1912'de Yüzbaşı Albert Berry, Missouri'de, St. Louis'in 1.500 feet (460 metre) üzerinde bir uçaktan ipekten yapılmış bir paraşüt ile ilk paraşüt atlayışını gerçekleştirmiştir. 1913 yılında Georgie Thompson bir uçaktan atlayan ve paraşüt kullanarak inen ilk kadın olmuştur. I. Dünya Savaşı'nın sonlarına doğru ilk olarak Almanlar tarafından paraşüt

birlikleri kurulmuştur. Almanlar'dan sonra Fransızlar ve İngilizler de Hava Kuvvetlerin'de paraşüt atlayışlarına önem vermişlerdir. Ancak I. Dünya Savaşı sırasında kullanılan paraşütler, modern standartlara göre derme çatma mekanizmalar olarak karşımıza çıkmaktadır [57, 58].

Modern paraşüt kanopisi, pilot paraşütü ve ana paraşütü ile I. Dünya Savaşı'ndan sonra aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Paraşütün en aktif kullanıldığı zaman ise II. Dünya Savaşı olmuştur. II. Dünya Savaşı'nda taraflar müttefiklerine gıda ve mühimmatı uçaktan paraşütle atmışlardır. II. Dünya Savaşı sırasında savaş pilotları ve bombardıman uçakları mürettebatı da paraşüt kullanmıştır. Düşman ateşiyle vurulan veya yakıtı biten savaş uçaklarının pilotları paraşüt kullanarak hayatlarını kurtarmışlardır [57].

Paraşütler II. Dünya Savaşı'ndan sonra da askeri amaçla kullanılmaya devam etmiştir. 1954'te ABD tarafından Kore Savaşı'nda, 1956'da İngilizler ve Fransızlar tarafından Süveyş Kanalı'nı ele geçirmek için Mısır'a karşı, yine ABD tarafından 1968'de Vietnam Savaşı'nda paraşüt kullanılmıştır [58].

Spor olarak paraşütle atlama ise 1960'lı yıllarda ortaya çıkmıştır. Spor paraşütü yıllar içinde geleneksel yuvarlak paraşütten günümüzde yaygın olarak görülen kare (aslında dikdörtgen) paraşütlere doğru evrim geçirmiştir. Yuvarlak paraşütler; naylondan yapılmış ve paraşüt kanopisi, pilot paraşütü ve askı ipleri ile harnesten oluşmaktadır. Yuvarlak paraşütlerin içine havanın dışarı çıkmasını sağlamak için delikler yerleştirilmiştir. Bu yuvarlak paraşütlerin ilk üretildiğinde hızı saatte 8-11 km'ye kadar çıkabilmekte idi ancak günümüzde 20-30 km hıza ulaşabilen paraşütler üretilmektedir. Ancak kısa süre sonra sportif havacılıkta yuvarlak paraşütün yerini bir uçak kanadının aerodinamik prensiplerini kullanarak uçan ve son derece manevra kabiliyeti olan yüksek performanslı parafoil paraşütler almıştır [59].

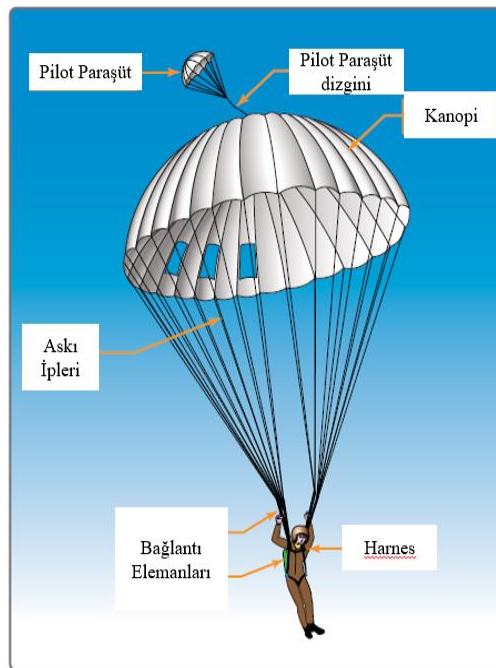
Türkiye'nin paraşüt ile tanışması ise 1935 yılında Mustafa Kemal Atatürk tarafından Türkkuşu'nun kurulması ile başlamıştır. Bu yıllarda ilk olarak paraşüt eğitimleri Sovyet Rusya'dan alınmıştır. Askeri olarak paraşütle indirmelerin önem kazanması ile Türk Hava Kuvvetleri (THK) de 1950'li yıllara kadar eski adıyla Türkkuşu olan THK'da eğitim almıştır. 1956 yılında ise TSK (Türk Silahlı Kuvvetleri) bünyesinde özel paraşüt bölüğü kurulmuştur. Türk ordusu paraşütle indirme tugaylarını Kıbrıs Barış Harekâtı sırasında aktif olarak kullanmıştır [60].

3.2. Paraşüt Sistem Bölümleri

Bir paraşütün iki ana bileşeni, kanopi ve askı ipleridir. Paraşüt kanopisi, yavaşlatıcı kuvveti sağlayan, sürüklenme üreten bileşendir. Bu kuvvet, askı ipleri aracılığıyla paraşütü faydalı yüke veya hava aracına bağlayan bir taşıyıcı kolona (riser) yönlendirilir. Bazı faydalı yüklerde ise askı ipleri ise bir taşıyıcı kolon olmadan doğrudan hava aracına bağlanabilmektedir [61].

Paraşüt, mümkün olduğunca en düşük ağırlığa ve en düşük hacme sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. Yüksek hız aralığında şişirme sırasında aşırı kuvvetler olmadan düzgün açılma kabiliyetine sahip olmalıdır. Bu gereksinimleri karşılamak için paraşütler, askı ipleri ve bağlantı elemanları vb. gibi destekleyici parçalara sahip kubbe yapısına uygun olacak şekilde planlanmalıdır [62].

Ayrıca ana paraşüt kanopisiyle birlikte bazı paraşütlerde yedek paraşüt kanopisi bulunmaktadır. Yedek paraşüt kanopisi, acil durum paraşüt kanopisi olarak da adlandırılır. Bununla birlikte bir diğer paraşüt bölümü ise harnesdir. Harnesler, kanopiler hariç uçuşa elverişli bir paraşütü tamamlamak için gerekli diğer parçaları içerir. Şekil 3.2’de paraşüt sistem bölümleri gösterilmiştir [63].



Şekil 3.2. Paraşüt sistem bölümleri

Ana ve yedek paraşütler için bazı paraşüt tiplerinde pilot paraşüt adı verilen kılavuz paraşütler bulunmaktadır. Bu pilot paraşütler, serbest bırakıldığında hava akımına girerek bir sürüklenme cihazı görevi gören ve kanopiyi harnesten çeken küçük bir paraşüt sistemidir. Pilot paraşütleri, yaylı veya manuel olarak atılabilmektedir. Bazı askeri veya acil durum pilot paraşütleri balistik olarak da açılabilir [63].

3.3. Paraşüt Konfigürasyonları

Paraşütlerin temel amacı, yüksek sürtünme kuvveti üreterek, yer çekimi kuvvetine karşı geciktirici bir kuvvet üretmektir. Paraşüt operasyonlarında paraşüt çeşitleri 3 temel parametreye göre belirlenmektedir. Bunlar sürüklenme katsayısı, açılma kuvveti katsayısı ve ortalama salınım açısıdır. Bu parametrelerdeki değişimlere göre çeşitli paraşüt tipleri üretilmiştir [61].

3.3.1. Yuvarlak Paraşütler

Paraşüt teknolojisinin ilk icat edilen ve kullanılan türüdür. Paraşütün şekli yarım küreyi andırmaktadır. Askı ipleri yuvarlak paraşütün çevresi boyunca hücrelere bağlantıları yapılarak ortalama salınım açısı ayarlanabilmektedir. Bu paraşüt tipi daha çok askeri, acil durum ve kargo işlemlerinde uygulanmıştır. Modern spor paraşütlerinde bu tarz konfigürasyonlar nadiren kullanılmaktadır [7, 55].

Yuvarlak paraşütler geliştirilerek Annular yani pull down apex içeren ve Polikonik tip paraşütler ortaya çıkmıştır. Yuvarlak paraşütteki bu geliştirmelerin amacı, ortalama salınım açısını düşürmek ve stabilizeyi artırmaktır. Bu paraşütler yönlendirilebilir ve yönlendirilemez olarak da tasarlanmıştır. Fakat yönlendirilebilen paraşütler çok fazla manevra kabiliyetine sahip değildir. Şekil 3.3'te MC1-1C serisi yuvarlak paraşüt kullanan bir paraşütçü gösterilmiştir [64, 65].

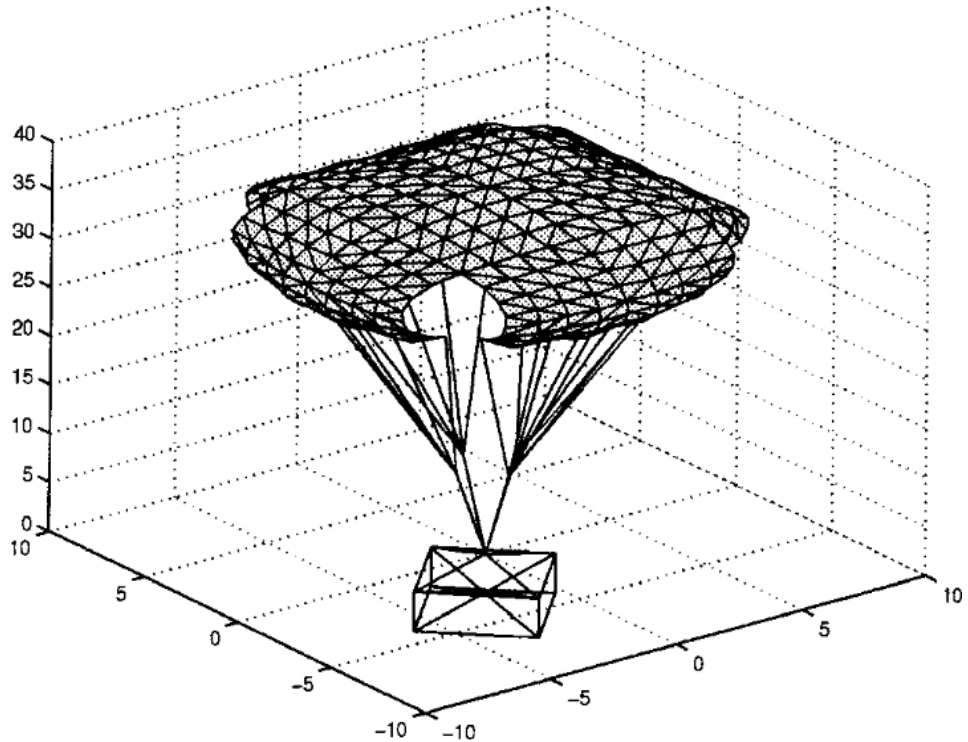
3.3.2. Haç Biçimli Paraşütler

Haç biçimli paraşütler, 1940'lı yılların sonlarında Silver Spring isimli laboratuvarında geliştirilmiştir. Haç biçimli paraşütler, ortalama salınım açısının azaltılmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Yuvarlak paraşütlere göre ortalama salınım açısı daha azdır ve stabil bir iniş sağlamaktadır [61, 66].



Şekil 3.3. Yuvarlak Paraşüt Kullanan Bir Paraşütçü

Haç biçimli paraşütler, uçakların inişini yavaşlatmak, yarış arabalarını durdurmak ve dengelemek için kullanılmaktadır. Haç biçimli paraşütlerin dönme eğilimleri diğer paraşüt tiplerine göre yüksektir. Bu nedenle kanopinin aşırı şişmesine engel olacak sınırlayıcı ip bağlantıları sayesinde bu eğilim azaltılabilmektedir. Şekil 3.4’te haç biçimli paraşütün açık konfigürasyonu gösterilmiştir [66, 67].



Şekil 3.4. Haç Biçimli Paraşütün Açık Konfigürasyonu

3.3.3. Rogallo Kanat Paraşütler

Rogallo kanat paraşütler, ileri hızı ve sürüklenme katsayısını artırmak için tasarlanmıştır. Kanat tasarımı yelken kanat görünümündedir. Bu kanopi tipi, çoğunlukla oyuncak uçurtmalarda görülmekle birlikte, uzay araçları için iniş paraşütleri yapımında ve monotrike gibi ultra hafif motorlu hava taşıtları için de kullanılmıştır. Bununla birlikte, yapım zorluğu ve ardından ram-air paraşüt kanopisinin kullanılmaya başlanması, günümüzde bu kanopi türünün nadiren kullanılmasına yol açmıştır. Şekil 3.5'te Rogallo kanat paraşüt tipine örnek bir paraşüt sunulmuştur [66, 68].



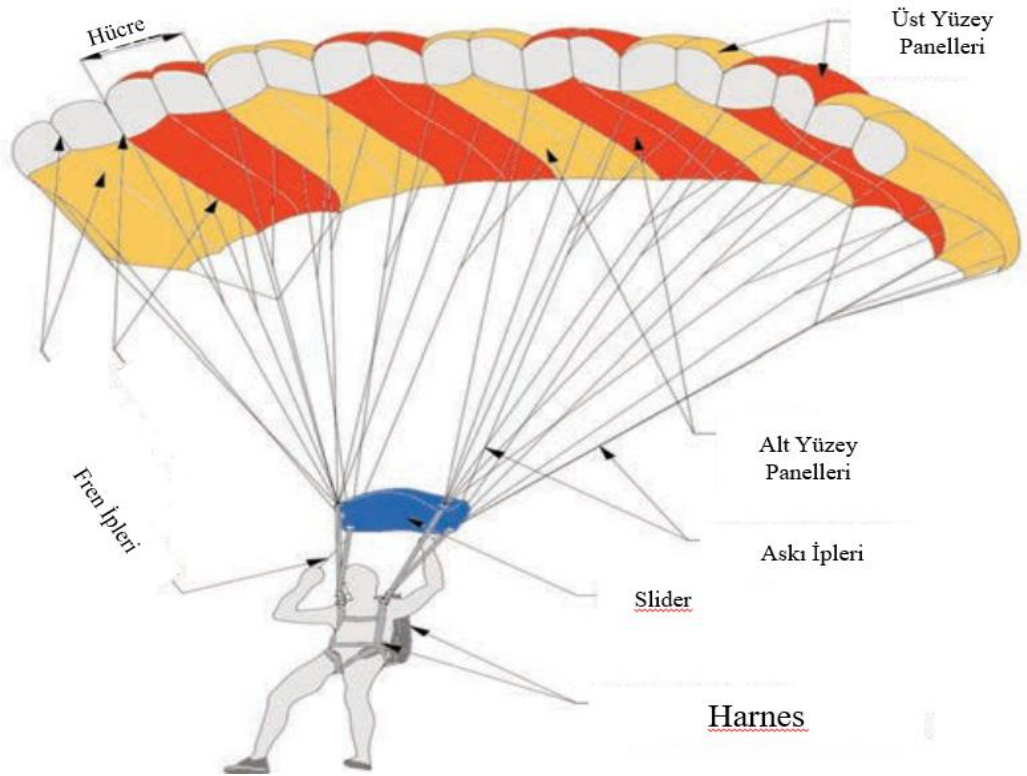
Şekil 3.5. Rogallo Paraşüt Tipine Ait Bir Örnek

3.3.4. Ram-Air (Parafoil) Paraşütler

Ram-Air paraşütler, 1970'lerde başarılı bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Ram-Air kanopisinin üst yüzey panelleri ve alt yüzey panelleri arasında ribler oluşmaktadır. Bu ribler aerodinamik profilleri uçak kanadının yapısına benzemektedir. Paraşütün hücum kenarında bulunan hücrelerden havanın girmesiyle airfoil şekil oluşmaktadır. Oluşan bu şekilde, kanadın alt ve üst yüzeyi arasında basınç farkı sebebiyle taşıma kuvveti ortaya çıkmaktadır. Paraşüt kanopisi, üst ve alt yüzey panellerine dikilen bitişik hücrelerden oluşan bir sistemden inşa edilmektedir. Modern Ram-Air kanopilerde, hücreler daha

büyük bir en boy oranına izin vermek ve bu şekilde daha büyük bir süzülme oranı elde etmek için yüksüz ribler ile bölünmüştür. Şekil 3.6'da Ram-Air paraşüt örneği gösterilmiştir [69].

Ram-Air paraşütlerin, yüksek süzülme açısı ve çok iyi yönlendirilebilmesinden dolayı kullanım alanları oldukça fazladır. Bu nedenle Ram-Air paraşütleri, günümüzde spor paraşütleri olarak sıkça kullanılmaktadır. Ayrıca askeri operasyonlarda ve kargo teslimatlarında da kullanılabilir. Bir Ram-Air paraşüt, iki farklı kanopiden oluşmaktadır. Ana kanopi her atlayışta kullanılmakta ve yedek kanopi ise ana kanopide bir problem olması durumunda açılmaktadır. Ana kanopi sürekli kullanımdan dolayı ultraviyole (UV) ışınlarına maruz kalmaktadır. Bu nedenle yorgunluk ve hava geçirgenliğinin belli sürelerde kontrol edilmesi gerekmektedir [69, 70].



Şekil 3.6. Ram- Air Paraşüt Bölümleri

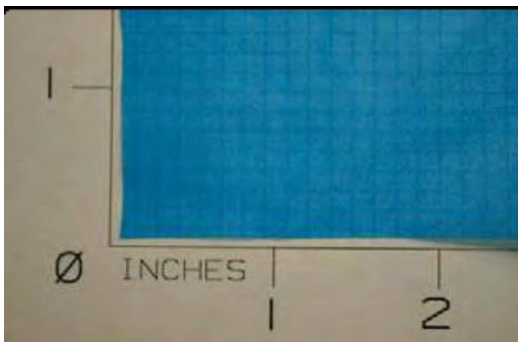
3.4. Paraşüt Sistem Ekipmanları

Paraşüt kanopisi, ilk olarak keten kumaştan yapılmıştır. Daha sonra paraşüt kanopisinde ince, hafif, paketlenmesi kolay, daha dayanıklı ve pratik olduğu için ipek kumaş kullanılmıştır. II. Dünya Savaşı sırasında ipek kumaş tedarik edilmediği için naylon

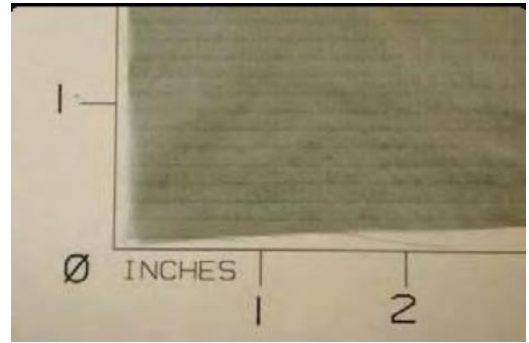
kumaş kullanılmaya başlanmıştır. Naylon kumaşın ipek kumaşa göre daha esnek olduğu ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda küflenmeye karşı dayanıklı ve daha ucuzdur. Sentetik ve kevlar kumaşlar günümüzde kullanılmaya başlansa da paraşüt kanopileri için hala en çok tercih edilen ve kullanılan malzeme naylon kumaşlardır [71, 72].

Paraşüt kanopilerinde kullanılan naylon kumaşlar 1930'lu yılların sonunda Wallace Carothers tarafından icat edilmiştir. Bu naylon kumaşlara poliamid ismi de verilmektedir. Paraşüt kanopilerinde dayanıklı, elastik yapıda ve yırtılmaz naylon kumaşlar tercih edilmektedir. Yırtılmaz yani ripstop kumaş adı verilen naylon kumaş, üretim esnasında özel bir örgü tekniği ile oluşturulmaktadır. Ripstop kumaşlarda örgü dik açılarla çapraz biçimde yapılarak, kare desenlerin ortaya çıktığı bir örgü şeklindedir. Bu teknikle ipliklerin birbiri üzerinden kayarak yırtılmasının engellenmesi ve daha güçlü kumaşların elde edilmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda varsa kumaş üzerindeki küçük yırtıkların devam etmesi de engellenmektedir. Şekil 3.7 (a) ve (b)'de ripstop örgü sistemi ile üretilmiş paraşüt kanopilerinde en çok tercih edilen F111 ve Zero P3 isimli kumaş türleri gösterilmektedir [63, 73].

Paraşüt kumaşlarının en önemli özelliklerinden bir tanesi de hava geçirgenliğidir. Hava geçirgenliği paraşütün aerodinamik performansını etkileyen önemli bir fiziksel özelliktir. Yüksek hava geçirgenliğine sahip paraşüt kumaşları stabilizeyi artırmaktadır ancak hava direncini de düşürmektedir. Kumaşın hava geçirgenliğini kumaş iplikleri arası gözeneklerin boyutu, sayısı ve kumaş kalınlığı önemli oranda etkilemektedir. Şekil 3.8'de paraşüt kumaşının yapısı gösterilmektedir[74].

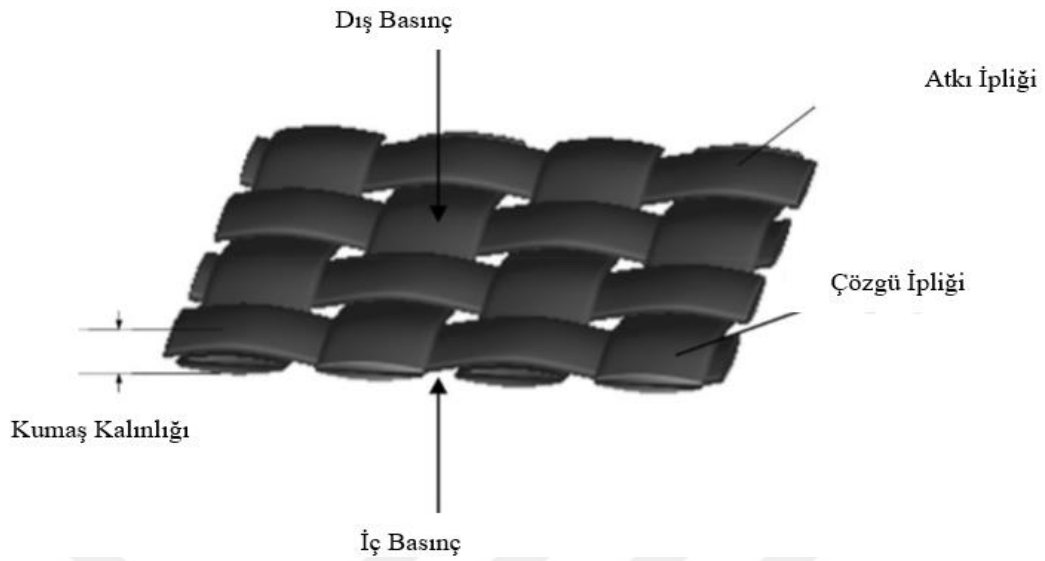


(a)



(b)

Şekil 3.7. (a) Zero P3 kumaş örneği, (b) F111 kumaş örneği.



Şekil 3.8. Paraşüt Kumaşının Yapısı

Paraşütlerde kullanılan askı ipleri naylon, polyester, kevlar ve sentetik iplerden üretilmektedir. Paraşüt iplerinde en çok kullanılan malzeme de naylondur. Naylon ipler, esneklik, dayanıklılık ve maliyet açısından uygundur. Aynı zamanda naylon ve polyester ipler, suya karşı dayanıklıdır. Naylon iplerin en büyük dezavantajı ise güneş ışınlarına karşı göreceli olarak dayanıksız oluşudur. Günümüzde ise naylon ipler en çok tercih edilen askı ipleridir [73].

Kevlar ipler, aramid liflerden üretilmektedir. Spectra ipler ise sentetik liflerden üretilen paraşütlerde kullanılan ip türüdür. Kevlar ve spectra, yüksek mukavemeti ile ön plana çıkmaktadır. Fakat düşük sürtünme katsayısı ve yüksek maliyetleri kullanımda kevlar ve spectra ipleri dezavantajlı hale getirmektedir [71].

Paraşüt kumaşlarının ve askı iplerinin üretici tavsiyelerine göre belirli aralıklarla değiştirilmesi gerekmektedir. Kullanım ömrü büyük ölçüde iniş alanına bağlıdır. Toprak ve taşlı zeminler ipleri daha çok yıpratırken, çim gibi yumuşak zeminler ipleri daha az yıpratıldığı için ip ömürlerini uzatabilmektedir. Aynı ortamda polyester bir askı ipi, 600 atlayışa kadar dayanabilirken spectra askı ipi, 800 atlayışa kadar dayanabilmektedir [62].

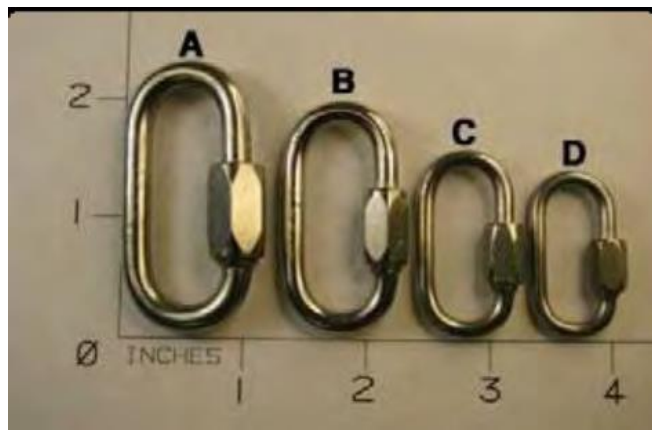
Harnesler ise yük ağırlığının ve açılma kuvvetlerinin iniş sırasında eşit olarak dağıtılması amacıyla tasarlanmıştır. Taşınan yükün şekline uyacak şekilde kolonlarla tutturulmuştur. Harnes, pamuk, kevlar, naylon veya polyesterden üretilmektedir. İlk harnesler, paraşütçünün üzerine oturduğu salıncak benzeri bir yapıya sahiptir. Bu tip harneslerin tehlikeli ve emniyetsiz olduğu anlaşılmıştır. Bu harneslerin yerine bacak, sırt ve göğüs

emniyet kemerleri içeren günümüzde sıklıkla kullanılan harnesler tercih edilmektedir. Şekil 3.9’da en çok kullanılan ve farklı harneslerin de öncüsü olan harnes gösterilmektedir [63].



Şekil 3.9. Tamamen Emniyetli Harnes

Paraşütlerde kullanılan bağlantı elemanları ise karabinalar, çıtçıtlar ve tutamaklardır. Yük taşıyan bu bağlantı elemanları, kadmiyum, çinko kaplamalı dövme karbon çeliği, dövme alaşımlı çelik veya dövme alüminyum alaşımlardan yapılmaktadır. Son yıllarda paslanmaz çelikten bağlantı elemanları üretilmiştir. Ancak paslanmaz çelikten üretilen bağlantı elemanları daha serttir ve daha maliyetlidir. Şekil 3.10’da örnek bağlantı elemanları gösterilmiştir [63].

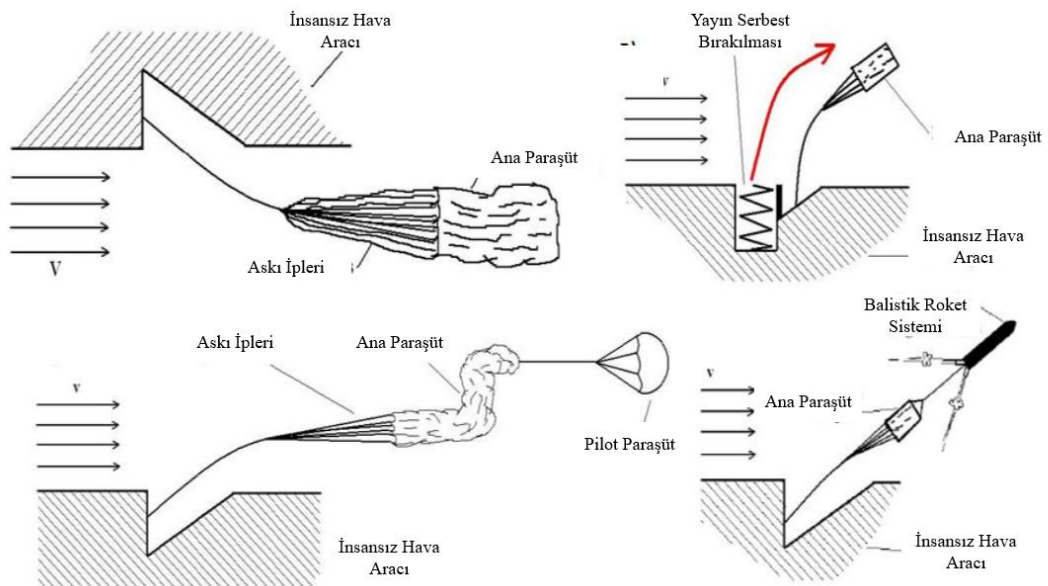


Şekil 3.10. Paraşüt Sistemlerinde Kullanılan Bağlantı Elemanları

3.5. Fırlatma Mekanizmaları

Paraşütle iniş sistemlerinin önemli faktörlerinden biri de fırlatma sistemidir. Fırlatma sistemi, paraşütün açılmasını sağlayan yapıdır. Paraşütün açılmasını sağlayan dört farklı sistem bulunmaktadır. Serbest açılma, pilot paraşüt, yaylı sistem ve balistik roket sistemleri kullanılabilmektedir. Serbest açılmada paraşütün serbest akışa bırakılarak, havanın gücü ile açılması beklenmektedir. Yaylı sistemde paraşütü serbest hava akışına bırakmak için yüksek güçlü bir yay kullanılır. Pilot paraşüt yönteminde ana paraşütün serbest havayla buluşabilmesi için küçük bir paraşütün kılavuzluk yapması tasarlanmıştır. Balistik roket sisteminde ise ana paraşütü serbest havayla buluşturabilmek için açılı nozullu bir roket kullanılmaktadır [9].

Bu dört sistemin birbirlerine göre çeşitli avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Maliyet açısından pilot paraşüt ve yaylı sistem balistik roket sistemine göre daha uygundur. Açılma süresinde ise en hızlı açılma balistik roket sistemine sahip fırlatma mekanizmasıdır. Sistemin kurulum basitliği açısından pilot paraşüt yaylı sistem ve balistik roket sistemine göre daha basittir. Sistemlerin kapladığı alan ve ağırlık açısından ise yaylı sistem pilot paraşüt ve balistik roket sistemine göre daha fazla yer kaplamakta ve daha ağırdır. Bu sistemlerden balistik roket sistemi daha çok kalkış ağırlığı yüksek İHA'larda tercih edilmektedir. Şekil 3.11'de örnek paraşüt fırlatma sistemleri gösterilmiştir [9].



Şekil 3.71. Fırlatma Sistemleri

4. BÖLÜM

İHA BİLEŞENLERİ, YÖNTEM VE GEREÇLERİ

4.1. Gövde ve Pervane

İHA'ların gövdesi köpük (depron), plastik, ahşap (balsa), alüminyum ve kompozit destekli yapılardan oluşabilmektedir. Depron, plastik ve balsa gibi malzemeler hafiftir ve şekillendirilmesi kolaydır. Genellikle hafif ve mini İHA'lar için tercih edilmektedir. Kompozit malzemelerin mukavemeti, diğer malzemelere göre daha yüksektir ve daha hafiftir ancak alternatif malzemelere göre maliyeti yüksektir. Alüminyum malzemeler ise çok motorlu İHA'larda ve kargo taşımacılığı gibi yük taşıyan İHA'larda kullanılmaktadır. Tablo 4.1'de İHA gövde malzemelerinin yoğunluğu, gerilme mukavemeti, artıları ve eksileri gösterilmektedir [48].

Bu tez çalışmasında üretmiş olduğumuz İHA'nın gövdesinde, kolay şekillendirilebilir ve maliyet yönünden uygun olması nedeniyle sıkıştırılmış köpük olan depren kullanılmıştır. 4mm ve 6mm kalınlıktaki deprenlerle İHA'nın gövdesi ve kanat yapısı oluşturulmuştur. Gövdenin yapısal mukavemetini artırmak için balsalarla desteklenmiştir. Kanat yapısında airfoil yapının oluşturulabilmesi için teknik resim programı olan Solidworks'de kanat yapısı çizilerek, sıcak tel kesim tezgâhında üretimi sağlanmıştır.

Tablo 4.1. İHA Gövde Malzemelerinin Yoğunluğu, Gerilme Mukavemeti, Artıları Ve Eksileri

Malzeme	Yoğunluk (g/cm)	Çekme Dayanımı (MPa)	Artıları	Eksileri
Köpük (Depren)	0.005	46 - 60	Kolay şekillendirilebilir, Esnek	Zayıf
Plastik	0.006 - 1.96	2 - 88	Hafif, yaygın olarak kullanılabilir	Değişken Güç
Ahşap	0.17	7 - 88		
Karbonfiber	1.75	2,000 – 5,600	Çok hafif, Güçlü	Pahalı
G-10	1.80	262 - 310	Güçlü	Ağır
Alüminyum	2.70	276 - 310		

İHA üretiminde gövde konfigürasyonu, kanat konfigürasyonu ve pervane konumu tasarımları gözden geçirilmiştir. Gövde konfigürasyonunda üç farklı gövde incelenmiştir. Geleneksel yapıda olan gövde konfigürasyonu, kanadın önde, yatay ve dikey stabilizenin arkada olduğu tasarımdır. Canard gövde konfigürasyonu ise yatay stabilizenin önde olduğu, kanadın ortada, dikey stabilizenin ise arkada olduğu tasarımdır. Üçüncü konfigürasyon olan uçan kanat konfigürasyonu ise gövde ve kanadın birleştirildiği tasarımdır. Bu üç tasarım arasından üretim kolaylığı, stabilite, elle ve katapult (mancınık) ile fırlatma kolaylığından dolayı geleneksel gövde yapısı tercih edilmiştir [75].

Kanadın gövde üzerindeki konumlandırılmasında ise üç farklı tasarım incelenmiştir. Kanat gövdeye üstten, alttan ve ortadan bağlanabilmektedir [75]. Bu üç tasarım arasından üretim kolaylığı, stabilite, elle, katapult ile fırlatma ve yerden yükseklik avantajlarından dolayı üstten kanat profili tercih edilmiştir.

Kanat çeşitleri arasından seçim yaparken ise dikdörtgen kanat, konik kanat, orta kısımdan prizmatik yapılmış üç kanat çeşidi incelenmiştir. Bu üç kanat türünden dikdörtgen kanat, aerodinamik performans ve yapısal mukavemet açısından, konik kanat ve orta kısımdan itibaren prizmatik yapılmış kanada göre dezavantaja sahiptir. Fakat düşük ses altı uçuşlarda dikdörtgen kanat daha çok tercih edilmektedir. Aynı zamanda dikdörtgen kanat diğer iki kanat türüne göre hem üretim kolaylığı hem de maliyet açısından daha uygundur [75]. Bu nedenle bu tez çalışmasında dikdörtgen kanat kullanılmıştır. Ayrıca gövde yapısında yatay ve dikey stabilizenin birlikte olmasına karar verilmiştir. Kuyruk konfigürasyonunda yatay ve dikey stabilizenin yerleşebileceği üç farklı konfigürasyon mevcuttur. Bunlar geleneksel, T-kuyruk ve V-kuyruk konfigürasyonlarıdır. İmalat sürecinin kolaylığı, ağırlık yapısı ve aerodinamik performans açısından geleneksel tip kuyruk yapısı daha avantajlıdır [75]. Bu konfigürasyonun yapımı kolay ve güçlü bir yapıya sahiptir. Bu nedenlerle çalışmada geleneksel tipte kuyruk yapısı kullanılmıştır.

Pervane ve motor konumlandırılmasında dört farklı konfigürasyon incelenmiştir. Motor ve pervanenin önde olduğu, kanatlara yerleştirilmiş iki adet motor ve pervane, motor ve pervanenin ortada kanadın arkasında olduğu ve motor ve pervanenin kuyruğun arkasında olduğu tasarımlardır [75]. Bunlardan motorun ve pervanenin önde olduğu tasarım, üretim kolaylığı ve güvenli fırlatılabilmesinden dolayı tercih edilmiştir.

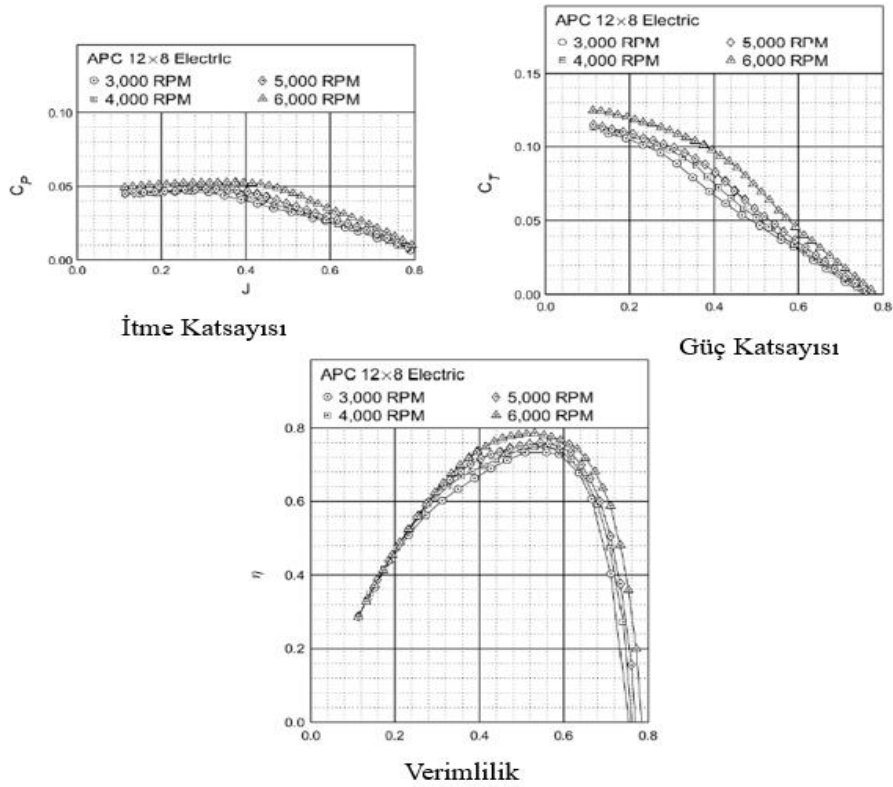
İHA'nın gövdesinde sürüklenme kuvvetini azaltmak için gövde, kanat ve kuyruk bölümleri reklam kaplamaları ile giydirilmiştir. Bu kaplamalar aerodinamik performans açısından önemlidir. Ayrıca kanat üzerindeki parazit sürüklenme kuvvetini azaltmaktadır [76, 77]. Gövdenin arka kısmına doğru paraşüt sistemi ekleneceğinden dolayı ağırlık merkezini sağlayabilmek amacıyla, gövdenin ön kısmına batarya yerleştirilmesi düşünülmüştür. Bu nedenle gövdenin ön kısmında bir alan açılmıştır. Bataryanın arkasında ise uçuş kontrolcüsü yer alarak gövde içerisinde elektronik bağlantıların rahat ve kolay bir şekilde yapılması sağlanmıştır.

Hava araçları hafif ve verimli bir itiş gücüne ihtiyaç duymaktadır. Mini İHA'lar için bu pervane tabanlı bir sistemi anlamına gelmektedir. Bu tip sistemlerde değişken hatveli pervaneler üretmek zor olduğundan dolayı sabit hatveli pervaneler kullanılmaktadır. İHA pervaneleri ahşap, karbon kompozit, fiberglas, aramid, alüminyum, naylon, fiberglas takviyeli naylon (APC), çelik, vb. gibi malzemelerden yapılabilmektedir. APC pervaneler çalışma ve mukavemet açısından mini İHA'lar için diğer malzemelere göre çok daha verimlidir. Bu nedenle İHA'da 12x8 APC pervane kullanılmıştır. Şekil 4.1'de APC 12x8 pervanenin performansı, güç katsayısı ve verimliliği gösterilmektedir [76, 77].

4.2. Uçuş Kontrolcüsü

Uçuş kontrolcüleri içerisinde jiroskop, ivmeölçer, barometre, manyetometre ve GPS içerdiği için İHA sisteminin beynidir. Günümüzde her türlü yazılımsal değişikliğe izin veren açık kaynak kodlu uçuş kontrol kartları ve yazılımları oldukça popülerdir. Açık kaynak kodlu yazılımlar ardupilot, openpilot, paparazzi, Pixhawk, multiwii, dornecode, diy drones, erlerobotics ve robot operating system (ROS) gibi otopilot sistemlerinden oluşmaktadır. İHA'da pixhawk açık kaynak kodlu yazılımın bir sürümü olan pixhawk cube kullanılmıştır [50].

Pixhawk Cube uçuş algoritmalarını hızlı ve güvenilir bir şekilde işler ve ana işlemciye ek olarak yedek bir işlemcide bulundurmaktadır. Bu işlemci yedekleme sağlamak ve ana işlemcide hata olması durumunda devreye girmektedir. Otonom uçuş modları ve görev planlaması yapılabilmekte ve belirlenen görevleri otonom olarak gerçekleştirebilmektedir. Sistem içerisinde üç adet IMU sensörü, barometre ve manyetometre bulunmaktadır [78, 79].



Şekil 4.1. APC 12x8 Pervanenin Performans Özellikleri

Pixhawk Cube içerisindeki ARM, Cortex tabanlı 32 bitlik ana işlemciye ve 14 adet sinyal genişlik modülasyonu (Pulse-Width Modulation, PWM) çıkışına sahiptir. Sabit kanatlı İHA'larda özel işlemci ve bağımsız güç kaynağı ile uçuş sırasında kurtarma ve manuel olarak müdahale edebilmek için entegre yedekleme sistemi bulunmaktadır. Ayrıca UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter), I2C ve CAN girişleri de bulunmaktadır. Yedekleme sistemi, manuel müdahale ve otopilot sisteminin karışmasını önleyerek verilen komutların karışmasını engellemektedir. NVIDIA, Raspberry Pi gibi yardımcı programları destekleyerek faydalı yükün görevini yerine getirmesine yardımcı olabilmektedir. Şekil 4.2'de Pixhawk Cube ve çıkışları gösterilmiştir [78, 79].

4.3. Elektronik Hız Kontrolcüsü

Elektronik hız kontrolcüsü (EHK), bir elektrik motorunun hızını, dönüş yönünü değiştirmek ve dinamik bir fren gerçekleştirmek için kullanılan elektronik bir devredir. EHK'lar elektrikle çalışan radyo kontrollü modellerde sıklıkla kullanılmaktadır. Fırçasız motorlar için girişine uygulanan DC gerilim kuvvetini, AC üç fazlı düşük voltajlı bir gerilime dönüştürmektedir [80].



Şekil 4.2. Pixhawk Cube ve Çıkışları

Bir elektronik hız kontrolcüsü, BEC (Battery Eliminator Circuit), bir işlemci ve anahtarlama FET (Field Effect Transistors)'leri içeren üç temel bileşenle tasarlanabilmektedir. Bir EHK'da transistör tüm işleri gerçekleştirerek anahtar rol oynamaktadır. Motorun ve bataryanın tam akımını ve voltajını gözlemlemektedir. Bu transistör, elektrik motorunun kuvvetini azaltmak için akım akışını kontrol eden bir anahtar gibi çalışmaktadır [80].

EHK seçimi yaparken bataryayı gereğinden fazla tüketmeden İHA'nın elektrik ihtiyacının karşılanması gerekmektedir. ESC akım değeri motorun akım değerinden %10-20 daha yüksek olmalıdır. Bu aşırı ısınmasını önleyecek ve maksimum gazda çalışırken bir miktar hareket alanı sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında kullanılan İHA'da seçilen Emax 850KV motor ve APC 12x8 pervanenin tam güçte sürekli akım değeri maksimum 70A olarak belirlenmiştir. Bu nedenle sürekli akım değeri 70A, maksimum akım değeri da 80A olan Şekil 4.3'te gösterilmiş EHK, İHA'da kullanılmıştır. Seçilmiş olan EHK aynı zamanda 4S 3300 mAh Li-Po bataryaya da uygun olarak tercih edilmiştir [81].



Şekil 4.3. İHA'da Kullanılan EHK

4.4. Güç Sistemleri (Motor)

Li-Po bataryalar elektrik itki sistemine sahip İHA'larda en yaygın kullanılan güç kaynaklarıdır. İHA'da Li-Po bataryanın kullanılmasından dolayı fırçasız motor kullanılması tercih edilmiştir. Fırçasız motorların yüksek verim, daha uzun ömür, daha az bakım, sürekli veya uzun süreli çalışma kolaylığı ve hassas hız kontrolü sayesinde fırçalı motorlara göre daha avantajları bulunmaktadır [50, 82].

Fırçasız motorlar, stator ve rotor olmak üzere iki ana parçadan oluşmaktadır. Stator, sabit olan ve elektromıknatısları tutan kısımdır. Rotor ise sabit mıknatısları tutan hareketli ve dönen kısımdır. Inrunner ve outrunner tipinde iki farklı fırçasız motor tipi vardır. Inrunner tipinde rotor statorun içinde, outrunner tipinde ise rotor statorun dışında dönmektedir. Inrunner tipindeki motorlar, yüksek hızda çalışarak, daha az tork üretmektedir. Fakat outrunner tipindeki motorlar, daha yavaş hızda dönerler ve daha fazla tork üretilmektedir. Bu nedenle sabit kanatlı İHA'da yüksek tork ihtiyacından dolayı outrunner tipindeki fırçasız motorlar daha sık kullanılmaktadır [83].

Fırçasız motorlardaki en önemli parametrelerden biri de motora güç girişi karşılığında elde edilen, dönüş hızını tanımlayan KV'dır. Geniş ve büyük motorlar genellikle daha yüksek torka ve daha düşük KV'ya sahiptir. Küçük motorlar ise yüksek KV'ya ve düşük torka sahiptir. Motor seçiminde maksimum güç de dikkate alınması gereken bir husustur. Motorun güç sınırlarının aşılması, verimliliğin düşmesine ve hatta motorun zarar görmesine neden olabilmektedir [83].

Yukarıda ifade edilen nedenlerle EHK ve Li-Po bataryada en verimli şekilde çalışabilecek Emax 850 KV ve outrunner fırçasız motor kullanılacaktır. Seçilen motor, üretici dokümanlarına göre maksimum 3,2 kg sabit kanatlı İHA için uygundur. Ayrıca APC 12x8 pervane ve 70A EHK ile verimli çalışabilmektedir. Şekil 4.4'te İHA'da kullanılan motor ve pervane gösterilmiştir.

4.5. Kontrol Sistemi ve Ekipmanları

4.5.1. Radyo Kontrol

İHA'yı uzaktan kontrol edebilmek için radyo frekansı ile çalışan, bir alıcı ve vericiye ihtiyaç duyulmaktadır. Vericiden gelen komutlar, radyo sinyalleri vasıtasıyla İHA'ya aktarılabilir, İHA kontrolü için kullanılabilir. Bir radyo alıcısı ve vericisi aynı

protokolde ve aynı frekans aralığında çalışabilmelidir. İHA vericileri, 27MHz, 72MHz, 433MHz, 900MHz, 1,3GHz ve 2,4Ghz, 433MHz, 900MHz ve 1,3GHz gibi birçok frekansı kullanmaktadır ancak çoğu verici, 2,4 GHz’de çalışmaktadır. Her radyonun kullanıcı arayüzü olan kendi işletim sistemi vardır. OpenTX ve FRSky en çok kullanılan açık kaynaklı işletim sistemlerindendir [84].

Vericiler üzerinde sağ-sol ve ileri geri hareket özelliği olan iki adet stick (kumanda kolu) bulunmaktadır. Bu kumanda kolları, İHA’nın temel kontrol yüzeylerini hareket ettirilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda gaz artırıp azaltma da kullanılmakta ve bu iki kumanda kolu dört farklı modda çalışabilmektedir. Üç farklı kumanda yüzeyi olan aileron, elevatör ve rudder, bu iki kumanda kolunda farklı konumlarda bulunabilmektedir. Aynı şekilde gaz azaltma ve artırma işlemi de bu kontrol stickleri ile değişmektedir. Bu dört moddan en yaygın kullanılanı mod 2’dir. Mod 2’de sol kumanda kolunda sağa ve sola hareket, rudder kontrol yüzeyini hareket ettirirken, ileri ve geri hareket, gaz azaltma ve artırma işlemlerini yapmaktadır. Sağ kumanda kolunda ise sağa ve sola hareket, aileron kontrol yüzeyini hareket ettirirken, ileri ve geri hareket, elevatör kontrol yüzeyini hareket ettirmektedir [85].

Verici üzerinde kumanda kollarının yanı sıra gimballar ve anahtarlar (switch) bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan iki tür gimbal bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi dijital diğeri ise analogdur. Dijital olan daha hassas olduğu için günümüzde daha fazla tercih edilmektedir. Anahtarlar ise uçuş modlarını veya atanmış olan komutları değiştirebilmek için kullanılmaktadır. Anahtarlar iki veya üç konumlu olabilmektedir. İHA’ya komutlar, kanallar aracılığı ile iletilmektedir. İHA’lar için en az altı kanallı alıcılar tavsiye edilmektedir [85].



Şekil 4.4. İHA’da Kullanılan Fırçasız Motor

Bu çalışmada Şekil 4.5’de gösterilen 2.4 GHz frekansa sahip Jumper marka T18 model alıcı ve verici kullanılmıştır. Verici üzerinde 4.3 inç büyüklüğünde IPS ekran bulunmaktadır. Bu ekran üzerinde İHA ile ilgili temel ayarlar yapılabilmektedir. Alıcı sekiz farklı kanal üzerinden aktarımda bulunabilmektedir. Alıcı, 4-4.8V aralığında çalışma voltajına sahip olup, 100mA akım çekmektedir. Açık alanda 2 km menzile sahiptir [86].

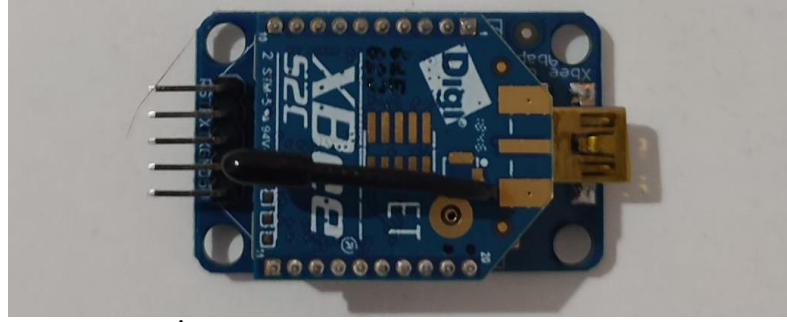


Şekil 4.5. İHA’da Kullanılan Alıcı ve Verici

4.5.2. Telemetri Kontrol

Telemetri alıcı ve vericisi, İHA ve yer kontrol istasyonu arasında uzaktan karşılıklı veri alışverişini sağlamaktadır. Telemetri sistemi teknik bilgilerin gerçek zamanlı olarak aktarılmasının yanı sıra verilerin kaydedilmesi için de tasarlanmıştır. Veri kaydı uçuş kontrolörünün dahili belleğinde, telemetri modülünün dahili belleğinde, yer kontrol istasyonunda veya özel bir kaydedicide gerçekleştirilebilmektedir. Telemetri, batarya voltajı, batarya akım tüketimi, batarya sıcaklığı, uçuş kontrolcüsü çalışma modu, uçuş süresi, irtifa, doğrusal ve dikey hız, ivmeölçer göstergesi, motor hızları, mevcut GPS koordinatları, mevcut uydu sayısı ve başlangıç noktası gibi verileri içermektedir [87].

Telemetri bilgileri radyo kanalı üzerinden iki yönlü UART iletişimi sağlayan özel bir radyo modem ekipmanı kullanılarak, doğrudan uçuş kontrolcüsüne iletilmektedir. Telemetri, kontrol paneli ekranında veri sunumu ile iki yönlü radyo kontrol aparatı yardımıyla yere iletilebilmektedir. Telemetriler 2.4 GHz, 900 MHz ve 868 MHz frekanslarında çalışabilmektedir [88].



Şekil 4.6. İHA’da Kullanılan Xbee Pro S2C Telemetrisi

Xbee Pro S2C telemetrisi, 2.4 GHz frekansında yayın yapmaktadır. Haberleşmede IEEE 802.15.4 ağ protokolü Xbee telemetrisi tarafından kullanılmaktadır. Kullanılan Xbee Pro S2C telemetrisi, 90m kapalı alan, 3200m açık alan menziline sahiptir. Xbee Pro S2C telemetrisinin çalışma gerilimi 2.7-3.6V aralığında, çalışma akımı ise 120mA olarak belirlenmiştir. Xbee telemetrisi pixhawk ile telem 1 portu üzerinden veri giriş ve çıkışı yapabilmektedir. Şekil 4.6’da Xbee Pro S2C telemetrisi gösterilmiştir [89].

4.5.3. Yer Kontrol İstasyon Yazılımı

Yer kontrol istasyon yazılımı, İHA’nın uçuş boyunca takip edilmesi ve uçuş verilerinin operatöre aktarılmasının yanı sıra İHA kurulumunu sağlamaktadır. Yer kontrol istasyonu bilgisayar veya telefon üzerinde İHA USB kablo veya telemetri vasıtasıyla iletişim kuran bir yazılım uygulamasıdır. İHA’nın performansına ve konumuna ilişkin verileri gerçek zamanlı bir şekilde gösteren sanal bir kokpite benzemektedir. Bununla birlikte İHA üzerindeki kameralardan canlı video akışı da yer kontrol istasyonu üzerinde görüntülenebilmektedir. İHA’yı kontrol etmek, yeni görevler yüklemek ve parametreleri ayarlamak için de yer kontrol istasyonları kullanılmaktadır. Uçuş kontrolcüsü kullanmadan önce İHA konfigürasyonunu ayarlamak ve donanım ile ilgili yazılımları güncellemek içinde yer kontrol istasyonu gereklidir [90].

Mission Planner, APM Planner 2, MAVProxy, QGroundControl, UgCS, LOGOS, Tower (DroidPlanner 3), MAVPilot, AndroPilot ve SidePilot gibi en az on farklı açık kaynak kodlu yer kontrol istasyonları bulunmaktadır. QGroundControl telefon, tablet ve bilgisayarda kullanılabilirliği ve kullanım kolaylığı açısından en çok tercih edilen yer kontrol istasyonudur [90].

Şekil 4.7’de arayüzü belirtilen QGroundControl, PX4 veya ardupilot ile çalışan İHA’lar için tam uçuş kontrolü ve araç kurulumu sağlamaktadır. Yeni başlayan kullanıcılar için kolay ve anlaşılır, deneyimli kullanıcılar için ise üst düzey özellikler sunmaktadır. Otonom uçuş için görev planlanmasını, araç konumunu, uçuş rotasını, görev noktalarını, araç göstergelerini gösteren uçuş haritası ekranı, 3 boyutlu görseller verebilmesi ve birden fazla İHA’yı yönetme desteği temel özelliklerdendir. QGroundControl, Windows, OS X, Linux platformları, IOS ve Android gibi cihazlarla çalışabilmektedir. Bu nedenlerle İHA’da yer kontrol istasyon yazılımında QGroundControl arayüzü kullanılmıştır [91].



Şekil 4.7. İHA’da Kullanılan QGroundControl Arayüzü

5. BÖLÜM

İHA VE İNİŞ SİSTEM TASARIM VE ÜRETİMİ

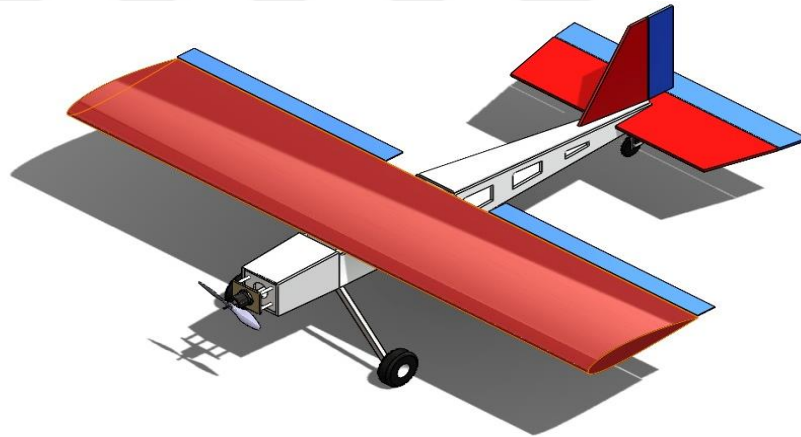
Bu tez çalışmasında mini sınıf sabit kanatlı İHA'lar için düşük maliyetli paraşüt iniş sistem tasarımı ve üretiminin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada test uçuşları ve paraşüt sisteminin denemeleri yapılmıştır. Bu testler için kaza kırım ihtimali göz önünde tutularak düşük maliyetli İHA tasarlanmış ve üretilmiştir. Üretimde onarımların kolay yapılabilmesi ve sürdürülebilir olması amacıyla piyasada kolay temin edilebilecek yapısal ve elektronikler kullanılmıştır. Tasarımda daha önceden pek çok kişi tarafından üretilen ve çok sayıda uçuş gerçekleştiren Stick model İHA referans alınmıştır. Bu modelin referans alınma sebeplerinden bir diğeri ise gövde üzerinde elektroniklerin ve farklı sistemlerin yerleştirilebilmesi için geniş bir alana sahip olmasıdır.

Bu tez çalışması genel olarak iki bölüme ayrılmıştır. İlk bölümde İHA ve sistemleri, ikinci bölümde ise paraşüt sistemi tasarımı, üretimi ve entegrasyonu ele alınmıştır. Bu doğrultuda ilk olarak İHA'nın yapısal tasarımı ve üretimi, daha sonra fırçasız motor, EHK, uçuş kontrolcüsü, servo motorlar ve telemetri entegrasyonu yapılmıştır. Daha sonra da bunların yer testleri gerçekleştirilmiş ve tüm sistem bileşenlerinin çalışması kanıtlandıktan sonra paraşüt sistem tasarımı için ilk giriş parametresi olan kütle hesaplamaları yapılmıştır. Paraşüt sistemi için azami kalkış kütlesi (Maximum Take Off Mass, MTOM) belirlendikten sonra paraşüt fırlatma mekanizması ve paraşüt kütle tahmini yapılmıştır. Daha sonra paraşüt çapı, ip uzunluğu ve hücre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarım aşaması tamamlandıktan sonra fırlatma mekanizması ve paraşüt üretimi ardından test uçuşları yapılmıştır.

5.1. İHA Yapısal Bileşenlerin Üretimi

İHA yapısal parçalarında depron, balsa, kontrplak, alüminyum, XPS ve PLA kullanılmıştır. İHA gövdesinde maliyet ve onarımının kolay olmasından dolayı çoğunlukla depron tercih edilmiştir. Kanat için kullanılan XPS köpük, CNC sıcak tel ile

kesilmiş ve daha sonra oracover ile kaplanarak aerodinamik açıdan sürüklenme kuvveti azaltılmıştır. Depron kesimi için Solidworks yazılımı ile tasarım yapılarak lazer kesim tezgahında üretilmiştir. Düşük yüklemelerin olduğu yapısal parçalar, UHU Por ile birleştirilmiş ve birincil yapılar ise kısa sürede sertleşebilen (5 dakika ve 10 dakika) epoksi reçine ile birleştirilmiştir. Ana iniş takımları, ağırlık merkezine yakın, alüminyum plakalar ile esnek ve mukavemetli olarak üretilmiştir. Yatay ve dikey stabilize 6mm depcon plakadan kesilerek plastik menteşeler ile kontrol yüzeylerine bağlanmıştır. Rudder kontrol yüzeyi ile arka iniş takımının kontrol edilebilmesi amacıyla alüminyum tel ile basit bir mekanizma yapılmıştır. İHA'da itki motoru olarak kullanılan fırçasız motorun yerleştirilebilmesi için kontrplak destek kullanılmıştır. Şekil 5.1'de İHA'nın 3 boyutlu modeli gösterilmiştir.

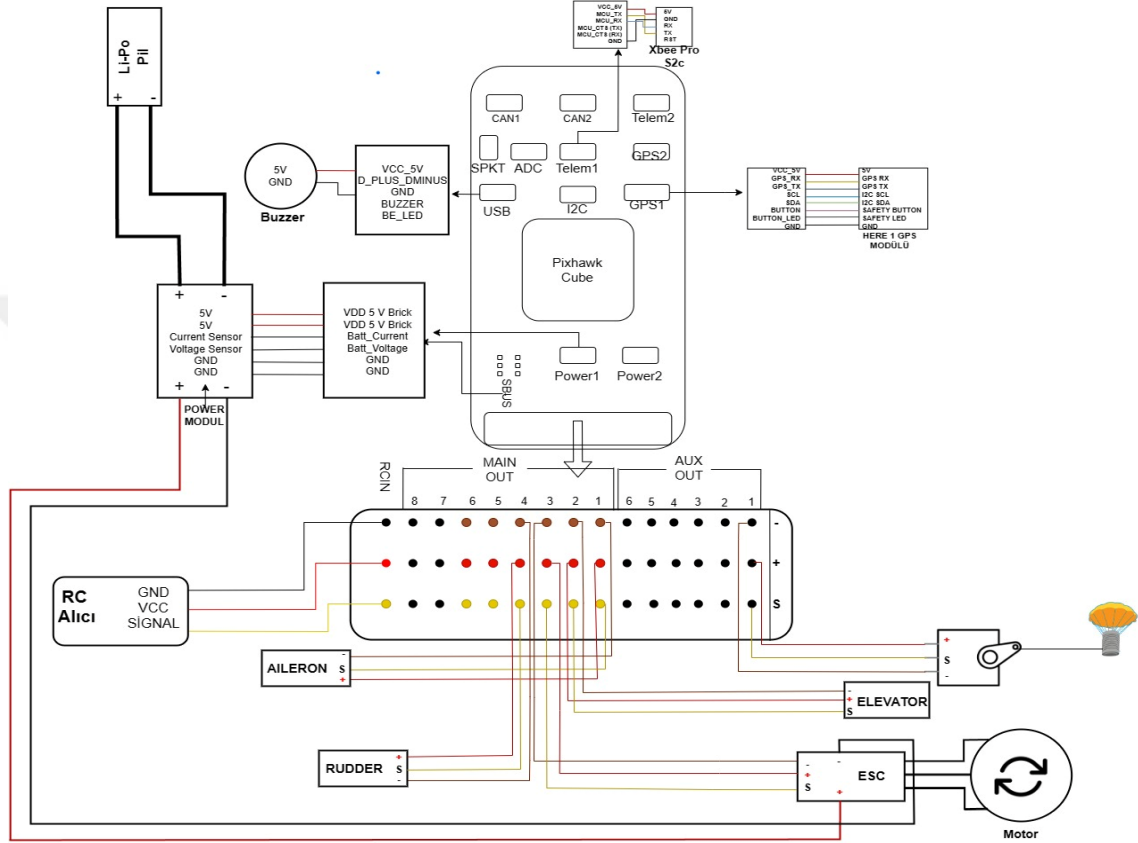


Şekil 5.1. İHA'nın Üç Boyutlu Modeli

5. 2. İHA Elektronik Donanımların Entegrasyonu

İHA uçuş kontrolcüsü olarak Pixhawk Cube Black kullanılmıştır. Pixhawk kontrol kartı açık kaynaklı QGroundControl yazılımı ile tam kurulumu imkân tanımakta ve basit arayüzü sayesinde yer kontrol bilgisayarı olarak uçuş verilerinin izlenmesini sağlamaktadır. İHA'nın bütün elektronik bileşenleri üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olan uçuş kontrolcüsü aynı zamanda giriş ve çıkış portları ile diğer elektroniklerin bağlantılarına olanak tanımaktadır. Şekil 5.2'de İHA'nın bütün elektronik bağlantılarını açıklayan devre şeması gösterilmiştir. İHA'nın geleneksel tasarıma sahip olmasından dolayı aileron, elevatör ve rudder kontrol yüzeyleri bulunmakta ve bunların hareketleri üç adet servo motor ile sağlanmaktadır. Ayrıca itki motoru olarak kullanılan fırçasız DC motor ile toplamda dört adet ana çıkış, uçuş kontrolcüsünde sırasıyla MAIN OUT pinine

bağlanmıştır. Ek olarak çalışmada paraşüt sisteminin açılması için fırlatma mekanizmasının tetiklenmesinde kullanılacak bir adet servo motor ise AUX OUT-1 pinine bağlanmıştır.



Şekil 5.2. Pixhawk Giriş ve Çıkışları

Şekil 5.2’de belirtildiği gibi RC IN girişi RC kumanda alıcısı tarafından kullanılmakta ve haberleşme için büyük önem taşımaktadır. Ayrıca İHA parametrelerinin uçuşta izlenebilmesi için kullanılan telemetri TELEM-1 portuna bağlanmıştır. GPS ve harici IMU bulunan Here modülü ise GPS1 portundan bilgi alışverişini sağlamaktadır. Bataryanın emniyetli olarak kullanılması (anlık aşırı yükleme koruması) ve devamlı olarak çekilen akım ve anlık voltaj bilgilerinin doğru olarak ölçülebilmesine olanak tanımak için Power Module kullanılmaktadır. Power Module, batarya ve EHK arasında yer almaktadır ve bilgilerin aktarımı için kullanılan diğer bir giriş ise POWER 1 portuna bağlanır.

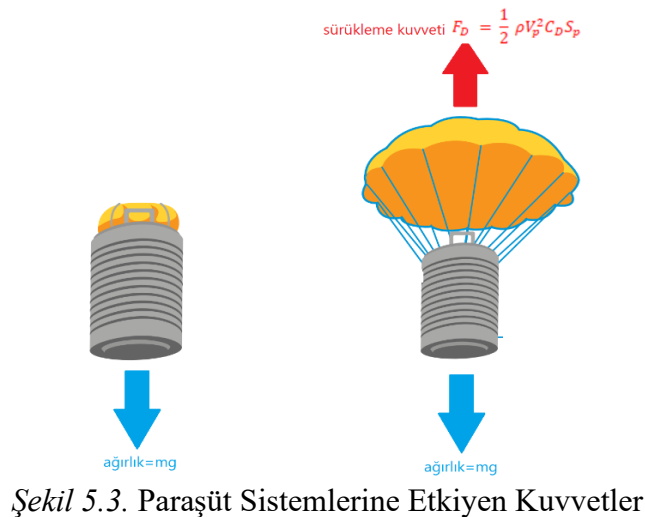
Bütün elektroniklerin bağlantıları tamamlandıktan sonra yer kontrol istasyonu ile uzaktan haberleşme sağlayabilmek için telemetri yer modülü USB port ile bilgisayara bağlanacaktır. Firmware kurulumu için ilk olarak QGroundControl Vehicle Setup

menüsünden Firmware sekmesi üzerinden ayarlamalar yapılmıştır. Daha sonra sırasıyla İHA konfigürasyon ayarları, RC kumanda ayar ve kalibrasyonları, sensör kalibrasyonları, uçuş modlarının ayarlanması, batarya kalibrasyonu ve EHK kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Oluşabilecek acil durumlar için Fail Safe ayarlamaları da oluşturulmuştur.

5.3. Paraşüt Sistem Tasarımı ve Üretimi

Paraşütler, sürtünme kuvvetinden faydalanan nesnelerin düşüş hızını yavaşlatmak ve stabilite sağlamak için temel fizik ve aerodinamik eşitlikler kullanılarak üretilen araçlardır. Eski bir tarihe sahip olan paraşütler, farklı pek çok kullanım alanına sahiptirler ve günümüzde sıklıkla havacılık uygulamalarında kullanılmaktadır. Paraşütler, insanların, ekipmanların, kargoların, İHA'ların yüksek irtifadan yumuşak inişleri için kullanılmaktadır. Günümüzde daha popüler olan paraşüt sistemleri, sportif havacılık ve amatör havacılık branşları içinde hızla, farklı şekil ve boyutlarda kullanılmaktadır. Son yıllarda İHA sistemlerinin sivil kullanım alanlarının artışı ve değerli faydalı yüklerin kullanımı ile paraşüt sistemleri İHA'lar için de farklı ölçülerde tasarlanmıştır.

Paraşüt sistemi, İHA'lar için acil durumlarda kurtarma sistemi ve inişlerin yapılamayacağı dar alanlara iniş yapılabilmesi gibi kullanım alanlarına da sahiptir. Paraşüt sistemleri İHA üzerinde belirli fizik kuralları ile farklı zaman dilimlerinde değişken kuvvetler oluşturabilmektedir. Oluşan bu kuvvetlerin, cisimler üzerindeki etkisi Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Paraşüt Sistemlerine Etkiyen Kuvvetler

Paraşüt tasarım sürecinde ilk giriş parametresi olarak toplam kütlenin tahmin edilmesi önem arz etmektedir. Bu önemle kütle temel alınarak, tasarlanacak paraşütün üretmesi istenen sürüklenme kuvveti hesaplanmakta ve paraşüt konfigürasyonu, yüzey alanı gibi değişkenler kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Şekil 5.3'deki görselde paraşüt açılmadan önce sistem üzerine etki eden ağırlık ve paraşüt açıldıktan sonra sistem ağırlığına ters yönde oluşacak sürüklenme kuvveti gösterilmiştir. Eşitlik (5.1)'de ağırlık ve sürüklenme kuvveti arasındaki teorik bağlantı verilmiştir.

$$F_D = mg \quad (5.1)$$

Eşitlik (5.1)'e göre F_D sürüklenme kuvvetini, m kütleyi ve g yer çekim ivmesini göstermektedir. Eşitlik (5.2)'de sürüklenme kuvveti ifade edilmiştir [92].

$$F_D = \frac{1}{2} \rho V_p^2 C_D S_p \quad (5.2)$$

Burada, C_D sürüklenme katsayısı, S_p iz düşümsel olarak paraşüt alanı, V_p paraşüt hızı ve ρ hava yoğunluğudur. Eşitlik (5.1) ve Eşitlik (5.2)'den hareket edilerek, Eşitlik (5.3) oluşturulmuştur [92].

$$\frac{1}{2} \rho V_p^2 C_D S_p = mg \quad (5.3)$$

Kütle, paraşüt düşme hızı ve sürüklenme katsayısı gibi parametreler belirlendikten sonra Eşitlik (5.4)'te gösterildiği gibi paraşüt için gerekli olan yüzey alanı hesaplanabilmektedir [92].

$$S_p = \frac{2mg}{\rho V_p^2 C_D} \quad (5.4)$$

Eşitlik (5.4)'te hesaplanan paraşüt alanı temel alınarak R_p paraşüt çapı Eşitlik (5.5)'e göre hesaplanabilmektedir [92].

$$R_p = 2\sqrt{\frac{S_p}{\pi}} \quad (5.5)$$

Paraşüt tasarımları yapılırken bazı temel kriterler önemlidir. Bu önemle öncelikle paraşüt sisteminin taşıması istenen yük değeri belirlenmelidir. Bir diğer kriter, C_D sürüklenme

katsayısı olup, literatürde en çok kullanılan paraşüt tiplerinin hareketle subsonik ve süpersonik hızlardaki sürüklenme katsayıları Tablo 5.1’de gösterilmiştir. Ek olarak Tablo 5.1’de paraşüt türlerinin salınım açıları, şok yük faktörü ve üretim kolaylığı hakkında bilgi verilmiştir ve aynı zamanda çalışmada kullanılacak paraşüt tipinin belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır.

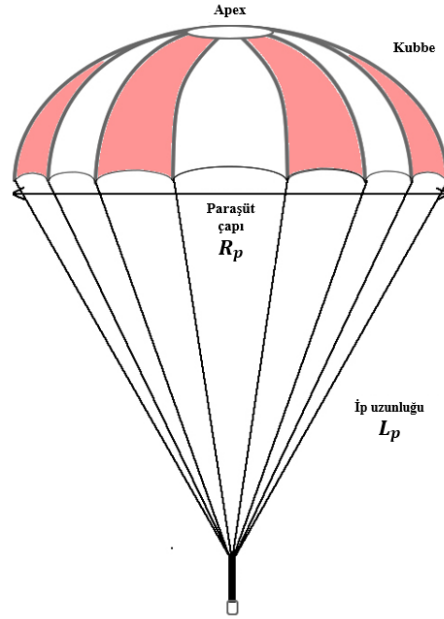
Tablo 5.1. Paraşüt Türlerinin Salınım Açıları, Şok Yük Faktörü ve Üretim Kolaylığı Hakkında Bilgiler

Paraşüt türü	Subsonik Sürüklenme Katsayısı (C_D)	Süpersonik Sürüklenme Katsayısı (C_D)	Salınım Açıları (deg)	Şok Yük Faktörü	Üretim Kolaylığı	Süpersonik Kullanımı
Haç Biçimli	0.6-0.8	Uygun Değil	0-40	1.2	Çok kolay	Hayır
Yuvarlak	0.6-0.95	0.45-0.7	10-40	1.4-1.8	Çok kolay	Hayır
DGB	0.4-0.6	Uygun Değil	5-15	1.3	Kolay	2.7 Mach Üzeri
Annular	0.9-1.0	Uygun Değil	0-5	1.4	Kolay	Hayır
Guide-Surface	0.3-0.4	Uygun Değil	0-5	1.4	Kolay	Evet
Ringsail	0.75-1.0	Uygun Değil	5-20	1.1	Zor	Evet
Ringslot	0.55-0.65	Uygun Değil	0-5	1.05	Zor	Evet
Ribbon	0.45-0.65	Uygun Değil	0-3	1.0-1.3	Orta	Evet
Rotafoil	0.8-1.0	Uygun Değil	0-5	1.05-1.1	Orta	Hayır

Paraşüt matematiksel modeli için önemli olan konulardan birisi de taşıyıcı iplerin ölçüsünün belirlenmesidir. Burada Eşitlik (5.5)’ten ve Şekil 5.4’ten yola çıkarak Eşitlik (5.6) yazılabilmektedir.

$$L_p = 1,1 * (R_p + S_l) \quad (5.6)$$

Eşitlik (5.6)’ya göre L_p ip ölçüsünü, S_l ise dikiş veya kesim payını göstermektedir [92].



Şekil 5.4. Annular Paraşüt Sistem Bölümleri

Paraşüt sistemleri tasarlanırken belirlenmesi gereken ilk parametrelerden birisi de belirlenen kütlenin dikey hızıdır. Dikey hız, genellikle yere indirilmesi istenen nesnenin türüne göre değişkenlik gösterebilmektedir. Örneğin bir yamaç paraşütü uçuşunda pilot tarafından kullanılan yedek paraşüt, bir insanı yere indirebilmesi için emniyet kuralları gereğince en fazla 5 m/s hıza sahip olmalıdır. Burada kullanılan sistem, hayati öneme sahip olduğu için bu değer, çarpma enerjisi (impact energy) minimuma indirilerek tasarlanmaktadır [15]. Bir diğer örnek ise model roket sistemlerinin yere emniyetli inişleri için kullanılan paraşüt sistemleridir. Model roketler için toplam kütle, büyük önem taşıdığı için iniş hızları 6.5-7 m/s arasında olabilmektedir. Burada iniş hızları yüksek tutularak paraşüt çapı ve alanı daha düşük olabilmekte ve böylece paraşüt sisteminin toplam kütlesi de daha düşük olabilmektedir [92]. Benzer pek çok kullanım alanına göre paraşüt tasarımları ve tipleri değişkenlik gösterse de öncelikle dikey hızın belirlenmesi veya belirli limitler arasında kalmasına özen gösterilmelidir.

İHA sistemlerinin inişleri için literatürde farklı hız değerleri göz önüne alınarak paraşüt sistemleri tasarlanabildiği gözlemlenmiştir. Burada temel esaslardan birisi de İHA faydalı yük ve değerli elektroniklerinin yoğunluğuna göre tasarımlarda geliştirilmiştir. Literatüre göre mini İHA'lar için 5 m/s dikey hız belirtilmiş bu çalışmada tasarlanan ve üretilen sabit kanatlı İHA içinde paraşüt sisteminin 5 m/s maksimum hız ile inebilmesi

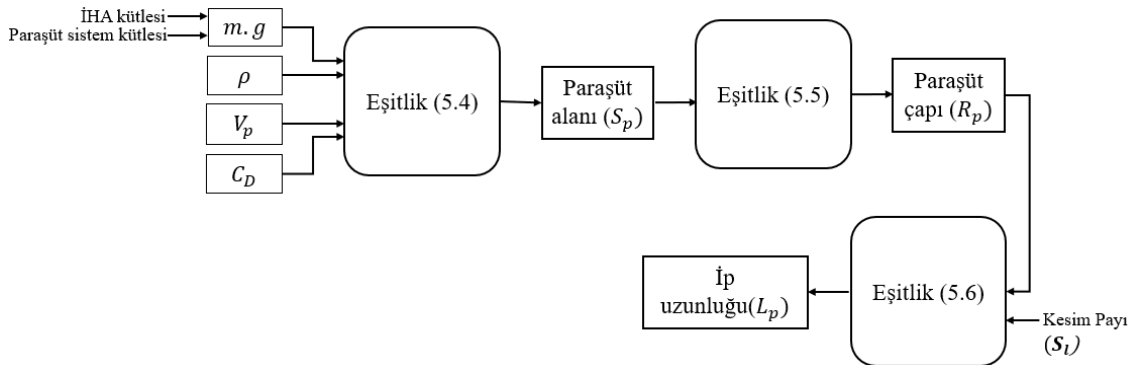
amaçlanmıştır. Bu değer, 5 kg ve altında kütleye sahip olan sabit kanatlı İHA'lar için uygundur [9].

İHA sistemleri için geliştirilen paraşüt sistemlerinde dikkat edilmesi gereken konulardan birisi de paraşüt katlandıktan sonra gövdeye yerleştirilmesidir. Bu yerleşimde İHA gövdesinin sınırlı alana sahip olduğu bütün tasarım aşamalarında göz önünde tutulmalıdır. Çalışmada kullanılan paraşüt sisteminin sınırlı alana yerleştirilebilmesi için paraşüt kumaş alanının daha düşük olması gerekir. Bunun için Eşitlik (5.4)' e göre paraşüt yüzey alanını etkileyen faktörler, kütle, yer çekimi ivmesi, hava yoğunluğu, sürüklenme katsayısı ve dikey hız değerleridir. Burada kütle, yer çekimi ivmesi, hava yoğunluğu ve dikey hız değerleri sabit olduğu varsayılmaktadır. Böylece sadece sürüklenme katsayısının tasarım aşamasında değiştirilebilmesi mümkündür. Sürüklenme katsayısı temelde paraşüt konfigürasyonu ve kumaş hava geçirgenliğine (porosity) bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Burada paraşüt konfigürasyonu en büyük etkiye sahip olduğu için İHA kurtarma ve iniş sistemlerinde, sürüklenme katsayısı en yüksek paraşüt tiplerinin tercih edilmesi kütle ve alandan kazanç sağlamaktadır.

Paraşüt tasarımlarında göz önünde bulundurulması gereken bir diğer konu da paraşütlerin açılma adımlarıdır. Burada temel olan paraşütün katlanma biçimi ve fırlatma mekanizmasından çıkış hızıdır. Bütün bu aşamalarda paraşütün konfigürasyonu da açılma hızı ve minimum açılma mesafesini belirlemektedir. Yüksek kütleli sistemlerde genellikle düşük irtifalarda etkili bir açılma gerçekleştirmek için yaylı fırlatma mekanizmaları yerine balistik sistemler tercih edilmektedir. Bu tez çalışmasında üretilen paraşüt iniş sistemi için maliyet, üretilebilirlik, sürdürülebilirlik, hafiflik, düşük ağırlık ve küçük katlama hacmine sahip olması temel isterler arasındadır. Burada sürdürülebilirlik kavramı oldukça önemlidir. Bunun nedeni ise acil durumlarda kurtarma sistemi olarak tasarlanan paraşütler nadiren kullanılabildiği için sürdürülebilir bir tasarıma sahip değildir. Ancak bu tez çalışmasında tasarlanan ve üretilen sistem normal durumlarda iniş sistemi olarak kullanılabileceği için sistemin devamlı aktif olması ve tüm uçuşlarda eksiksiz çalışması istenmektedir.

Bu çalışmada test uçuşları için kullanılacak sabit kanatlı İHA sisteminin yere inişlerinde kullanılabilecek bir paraşüt iniş sistem tasarımı, üretimi ve testleri yapılmıştır. Paraşüt tasarım adımları ve giriş parametreleri Şekil 5.5'de gösterilen blok diyagrama göre gerçekleştirilmiştir. Bu gerçekleştirimde ilk olarak testlerin rahatlıkla yapılabileceği ve

paraşüt sisteminin kolayca entegre edilebileceği bir İHA modeli üretilmiştir. Üretilen İHA'nın uçuşa hazır hale getirilerek kütesinin ölçülmesi ve paraşüt tasarımı için temel giriş parametresinin belirlenebilmesi gerekmektedir. Önceki bölümde detaylı olarak donanımlarının ve tasarımının açıklandığı İHA'nın Şekil 5.6'da gösterildiği gibi uçuşa hazır halinin ölçülen kütlesi, batarya dahil 1450 gram olduğu gözlemlenmiştir. Böylece paraşüt tasarımı için ilk giriş parametresi ortaya çıksa da uçuşta kullanılacak kumaş, ipler ve fırlatma mekanizmasının da bu kütleye dahil edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle İHA paraşüt sistem kütlesinin doğru tahmin edilebilmesi amacıyla piyasada aktif olarak kullanılan benzer sistemler göz önünde bulundurularak çıkarımlar yapılmıştır. Bu amaçla kullanılan paraşüt kurtarma sistemlerinde FruityChutes, Mars Parachute, Tulpar, MyResearch Company ve Butler paraşüt markalarının benzer ürünleri esas alındığında ortalama paraşüt sistem ağırlığı 500 gram olarak toplam ağırlığa eklenmiştir. Böylece toplam kalkış ağırlığı, fırlatma mekanizması ve İHA dahil edildiğinde yaklaşık 1950 gram kabul edilmiştir. Matematiksel model bölümünde açıklandığı gibi İHA sistemi için kullanılması düşünülen paraşüt yüzey alanı, Eşitlik (5.4)'e göre hesaplanmaktadır.



Şekil 5.5. Paraşüt Tasarımı Giriş ve Çıkış Blok Diyagramı



Şekil 5.6. İHA'nın Paraşüt Sistemi ile Uçuşa Hazır Halinin Gösterimi

Eşitlik (5.4)'e göre paraşüt tasarımında kullanılan sabitlerden birisi de hava yoğunluğudur. Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneme uçuşları Kayseri şehrinde 1100 metre rakımda gerçekleştirildiği için ortalama hava yoğunluğu $1,11 \text{ kg/m}^3$ olarak kabul edilmiştir. Eşitlik (5.4)'e göre bir diğer kavram ise daha önce de açıklanan dikey hızdır. Çalışmada uçuş yapacak sabit kanatlı İHA için iniş hızı maksimum $5,5 \text{ m/s}$ olarak belirlenmiştir. Yer çekimi ivmesi de sabit $9,81 \text{ m/s}^2$ olarak alınmıştır. Eşitlik (5.4)'te belirlenmesi gereken en kritik değer ise C_D katsayısıdır. Tablo 5.1'e göre 5 kg altında en çok tercih edilen ve literatürde çok sık karşılaşılan paraşüt tipleri ile ilgili olarak subsonik ve süpersonik hızlarda sürüklenme katsayısı, şok yüklemeleri ve üretilebilirlik parametreleri gösterilmiştir. Bu çalışmada minimum paraşüt alanı amaçlandığı için Eşitlik (5.4) göz önüne alındığında sürüklenme katsayısı en yüksek olan paraşüt konfigürasyonları, annular ve daire (circle) tipleridir. Ancak burada etkili olan bir diğer unsur da salınımdır. Bütün paraşüt konfigürasyonları farklı açılarda salınımlar ve rüzgâr karşısında yatay sürüklenme miktarına sahiptir. Bu nedenle çalışmada belirli irtifada açılması istenen paraşütün yatayda hareket ederek farklı bölgelere ilerlemesi ve paraşütün altında kalan İHA'nın bu salınımlar ile yere temas etmemesi önemlidir. Bu nedenle çalışmada annular paraşüt konfigürasyonu kullanılmasına karar verilmiştir. Annular paraşüt konfigürasyonu diğer konfigürasyonlara göre daha yeni bir tasarım olmasına rağmen havacılıkta pek çok uygulama alanı bulmuştur. Bunun başlıca nedeni, apex sistemi sayesinde diğer konfigürasyonlara göre oldukça stabil bir iniş ve minimum salınımlar oluşturmastır.

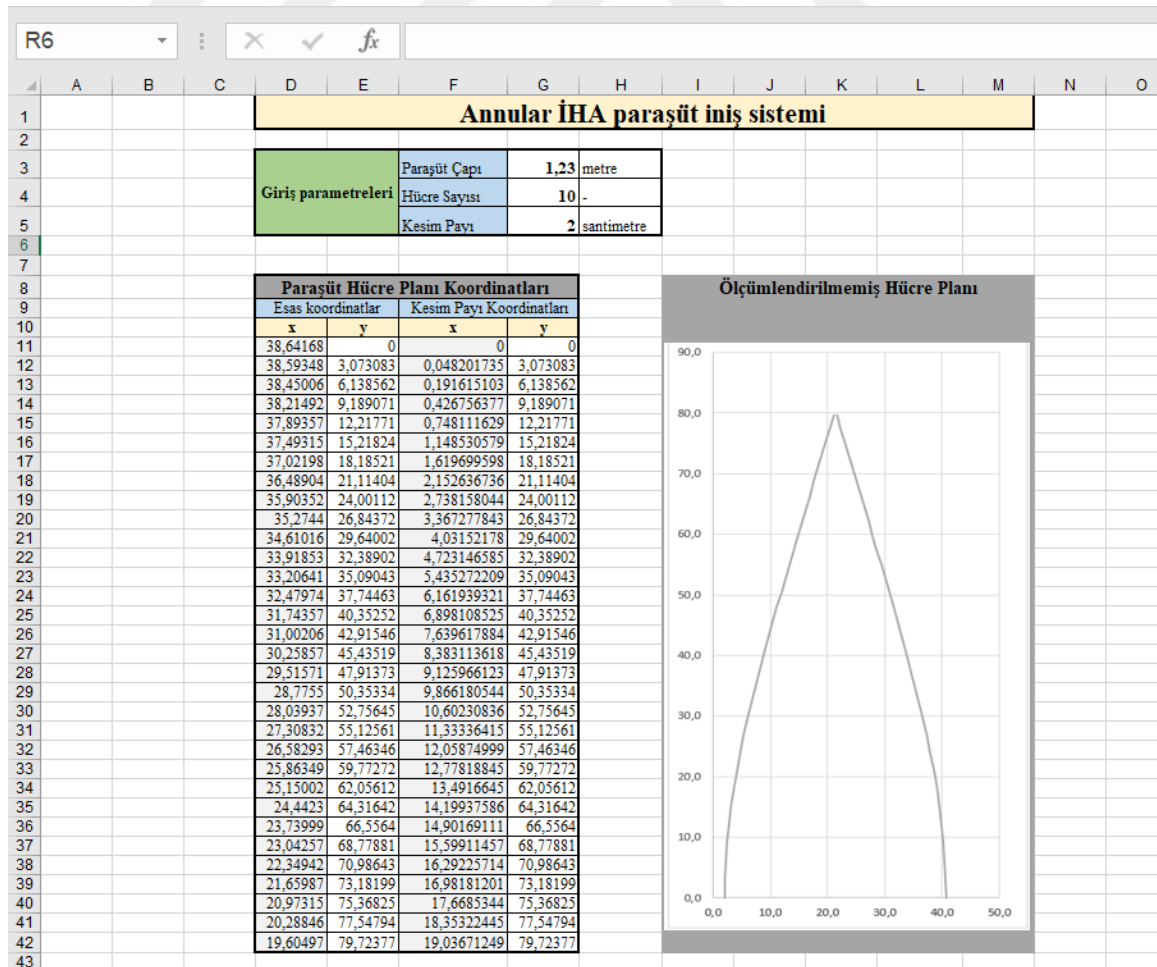
Tablo 5.2. Paraşüt Sistemi Giriş Parametreleri

Giriş Parametreler	Değer	Birim
Paraşüt Konfigürasyonu	Annular Paraşüt	-
Yoğunluk	1,11	kg/m^3
Kütle	1950	gram
Yerçekimi İvmesi	9,81	m/s^2
Sürüklenme Katsayısı	0,9-1,0	-
Dikey Hız	5,5	m/s
Görev İrtifası	30	Metre
Kesim Payı	2	Santimetre

Şekil 5.5'e ve Şekil 5.7'ye göre Eşitlik (5.4) kullanılarak yapılan hesaplamalarda paraşüt alanı, 1,19 m² olarak belirlenmiştir. Paraşüt çapı ise Eşitlik (5.5) kullanılarak 1,23 m olarak hesaplanmıştır.

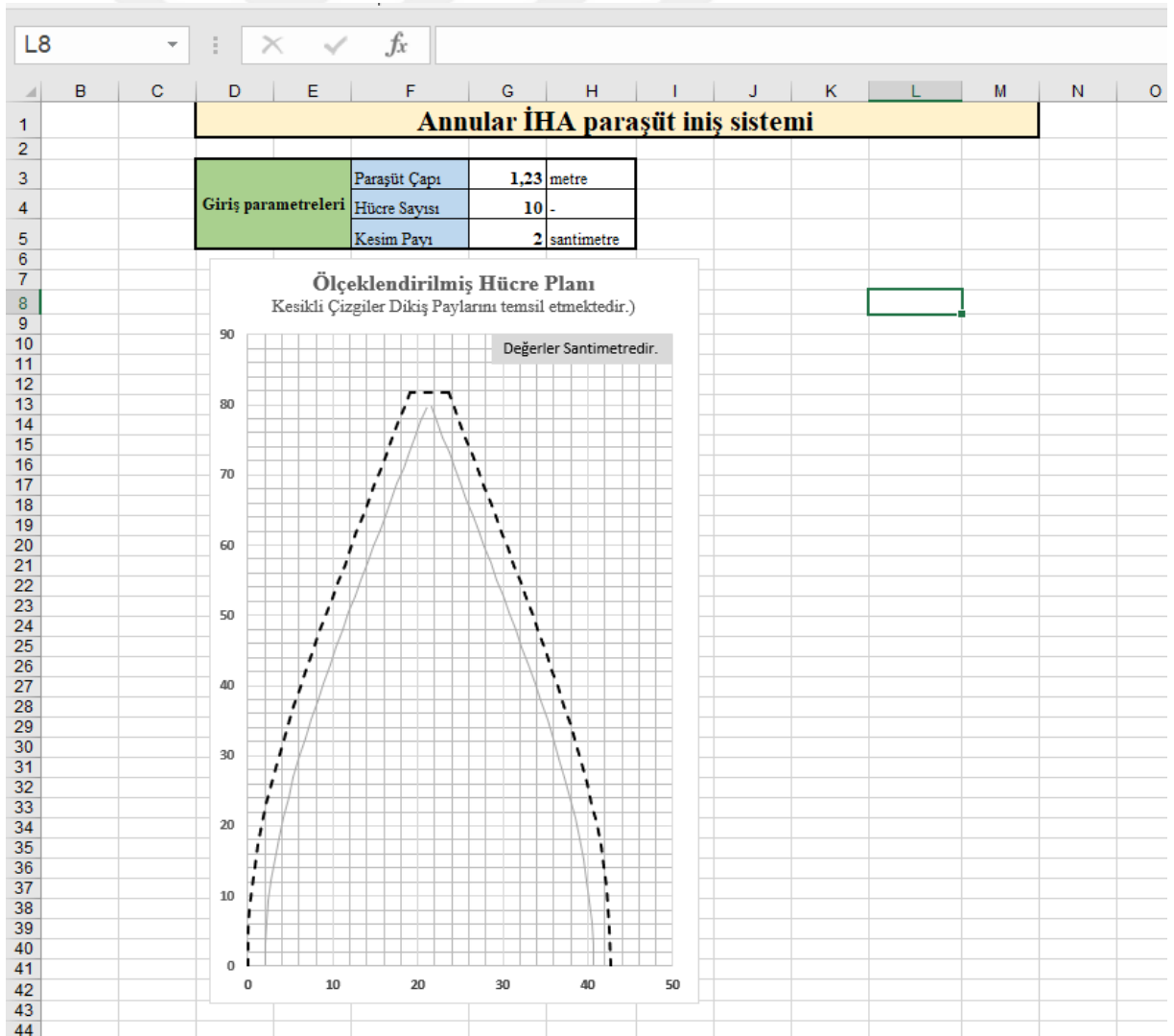
5.4. Paraşüt Hücre ve Genel Tasarımı

Paraşüt çapı belirlendikten sonra hücre sayısı ve hücrelerin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Hücre tasarımı için 3 boyutlu modelleme yazılımları veya sayısal tasarımlar yapılmaktadır. Bu çalışmada sayısal olarak hücre tasarımı gerçekleştirmek için Excel formatında hazırlanan 2 boyutlu tasarım süreci gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.7'de hazırlanan arayüz ve giriş parametreleri gösterilmiştir. Hücre sayısı, literatürde benzer ölçekte yapılan çalışmalar ve piyasada en çok tercih edilen sistemler göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Bu çalışmada üretim kolaylığı ve stabilitenin artırılması amacıyla on hücreli paraşüt yapısı tercih edilmiştir.



Şekil 5.7. Paraşüt Hücre Sayısal Tasarımı

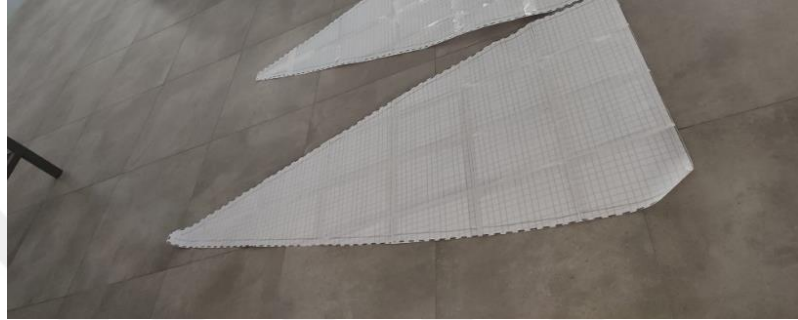
Şekil 7’de oluşturulan Excel dosyası basit bir arayüz ile daha sonra farklı ölçülerde üretilebilecek paraşüt hücre tasarımları için pratik bir çözüm oluşturmaktadır. Burada kullanıcıların Eşitlik (5.4) ve (5.5) yardımıyla hesapladıkları paraşüt alanı ve çapı ile belirledikleri hücre sayısı girilerek üretilecek olan hücrenin koordinatları belirlenebilmektedir. Şekil 5.7’de yer alan tabloda sol taraftaki koordinatlar iki farklı x ve y düzleminde verilmektedir. Sol tarafta bulunan x ve y koordinatları paraşüt hücresinin dikimden sonra oluşturacağı şekli belirtmekte ve sağ taraftaki koordinatlar ise dikiş paylarını dahil ederek kumaş üzerinde kesimi yapılacak alanı belirtmektedir. Sağda verilen görsel ise koordinatların oluşturduğu iki boyutlu şeklin ön izlemesidir ve ölçeklendirilmemiştir. Şekil 5.8’de ise daha önce koordinatları oluşturulan hücre bilgilerinin Excel dosyası üzerinde gerçek boyutları gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Gerçek Boyutları Paraşüt Hücre Planı

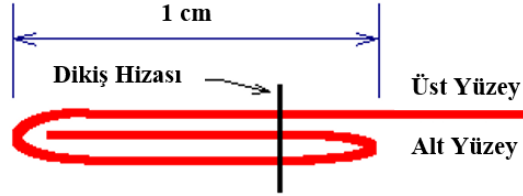
5.5. Paraşüt Kubbe Üretimi

Planı oluşturulan paraşüt hücresinin Şekil 5.9’da gösterildiği gibi tam ölçekli olarak baskıları alınmıştır. Baskılar, dikiş payları hesaba katılarak Şekil 5.8’de gösterilen kesikli çizgilerden kesilerek, kumaş üzerine aktarımı için işaretlemeleri yapılmıştır.

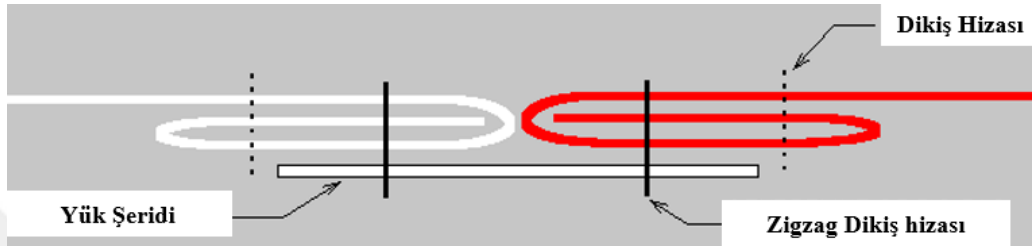


Şekil 5.9. Paraşüt hücre tasarım planı

Hücre planları kumaş üzerine yerleştirilerek kumaş kalemleri ile işaretlendikten sonra kesilmiştir. On adet hücre eşit ve düzgün kesimin ardından birleştirilmesi için dikiş işlemlerine başlanmıştır. Hücrelerin birleştirilmesi ve paraşüt açılışı esnasında oluşacak şok sırasında hasar görmemesi için dikiş ipliğinin kalitesi, dikiş sıklığı ve tipi büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasında dikişler için %100 naylon yapısı ile endüstriyel dikiş makinelerinde kolay kullanılabilen ve yüksek mukavemet değerlerine dayanım sağlayabilen TEX 70 model iplikler kullanılmıştır. Ultra hafif kumaş teknolojisinin kullanıldığı bu çalışmada, kumaşın dikişlerde aşınma olasılığını ortadan kaldırmak için TEX 70 ipler üstün dayanıklılık sağlamaktadır. Bu iplik için kopma mukavemeti 40 N ve çapı ise 0.33 mm olarak üretici tarafından belirtilmiştir. Hücrelerin birleştirilmesi için endüstriyel tipte pek çok dikiş tipini ve sıklığını ayarlayabildiğimiz Brother ZE-856/858 marka model dikiş makinesi kullanılmıştır. Özellikle anlık şok yüklemelerinde kumaş ve iplere yükün dağıtılabilmesi için iplerin kanopi ve apex ile birleştirilmesinde zigzag dikişler kullanılmıştır. Hücrelerin dikişleri tamamlandıktan sonra kumaşa atk ve çözümlerinin saçaklanması ve yapısının bozulmasını önlemek için biye yapılmıştır. Şekil 5.10’da hücrelerin katlama ve dikiş paylarının nasıl hizalandığı gösterilmiştir. Şekil 5.11’de ise iki hücrenin birbirleri ile birleşimleri, zigzag dikiş hizası ve yük şeridi ile birleşimleri gösterilmiştir [92].



Şekil 5.10. Hücrelerin Katlama Ve Dikiş Payları



Şekil 5.11. İki Hücrenin Birbirleri ile Birleşimleri, Zigzag Dikiş Hızası ve Yük Şeridi ile Birleşimleri

Şekil 5.12’de atılan dikişler ve kullanılan endüstriyel dikiş makinesi gösterilmiştir. Ayrıca şekilde paraşütün yapısını oluşturmasında gerekli taşıyıcı iplerin yerleştirilmesi için loop bağlantıları ve bunların kumaş ile birleştirilmesi gösterilmiştir. Bu loop bağlantıları sayesinde ilerleyen aşamalarda yapılabilecek modifikasyonların veya ip boylarının değiştirilmesinde büyük kolaylık sağlayacaktır.



Şekil 5.12. Atılan Dikişler ve Kullanılan Endüstriyel Dikiş Makinesi

5.6. Paraşüt İp Üretimi ve Montajı

Paraşüt sistemleri için hayati öneme sahip olan bölümlerden birisi de iplerdir. Paraşüt tasarımları için ip ölçülerinin doğru belirlenmesi, sistemin emniyetli çalışması ve sürüklenme katsayısının tutarlı olması açısından gereklidir. Bu çalışmada tasarlanan ve üretilen paraşütler için ip ölçüleri hesaplanırken Eşitlik (5.6)'dan yararlanılmıştır. Eşitlik (5.5) kullanılarak hesaplanan paraşüt çapı ve dikiş payı, Eşitlik (5.6)'ya uygulanarak, her bir hücre için kullanılacak ip boyu belirlenmiştir. Bu çalışma için 1,23 m paraşüt çapı için 2 santimetre kesim payı belirlenmiş ve ip uzunlukları 1,38 metre olarak belirtilmiştir. Burada paraşütün ip uzunluğuna ek olarak kubbe ile bağlantıları, dikiş payı ve bütün iplerin İHA'ya bağlantısı göz önüne alınarak yaklaşık 10 santimetre pay bırakılarak ipler kesilmiştir.

Paraşüt için kullanılan taşıyıcı ipler, hücre sayısı kadar yani 10 adet ipten oluşmuştur. Burada hücre sayısı ve ip sayısının fazla olmasının bir diğer avantajı ise anlık olarak yüklenebilecek şok gerilimlerinin ip sayısına bölünerek dağıtılmasıdır. Çalışmada kullanılan paraşüt taşıyıcı ipleri, ripstop ve %100 naylon yapısı sayesinde doğal mukavemet ve esneklik özelliklerine sahiptir. Ayrıca taşıyıcı ipler, 100 kg üzerinde yüksek kopma mukavemetinin yanı sıra, uzun süreli kullanımlarda boylarında düşük uzunlukta uzama veya kısalma özelliklerine de sahiptir. Ek olarak İHA'ların pek çok paraşüt iniş sisteminde kullanılan taşıyıcı iplerden daha düşük ağırlığa sahiptir.

Paraşüt için kubbe ve iplerin birleştirilmesi, anlık gerilimlerde kopma ve bağlantı noktalarında oluşabilecek deformasyonlar göz önüne alınarak dikilmelidir. Bu nedenle çalışmada kubbe ve taşıyıcı iplerin montajları sırasında yük şeritlerine yapılan looplar kullanılmıştır. Bu looplar, yük şeritlerine doğrudan bağlandıkları için anlık gerilimleri homojen olarak hücrelere aktarır. Şekil 5.12'de loopların ve yük şeritlerinin birleşimleri ile looplar ve iplerin bağlantıları gösterilmiştir. Yük şeritleri ile loop birleşimleri her kenarda 4 dikiş adımı olacak biçimde yaklaşık 30 derecelik zigzag dikişler ile yapılmıştır. Askı ipleri ve paraşütün birleştirilmesiyle Şekil 5.13'te gösterilen paraşüt üretimi tamamlanmıştır.



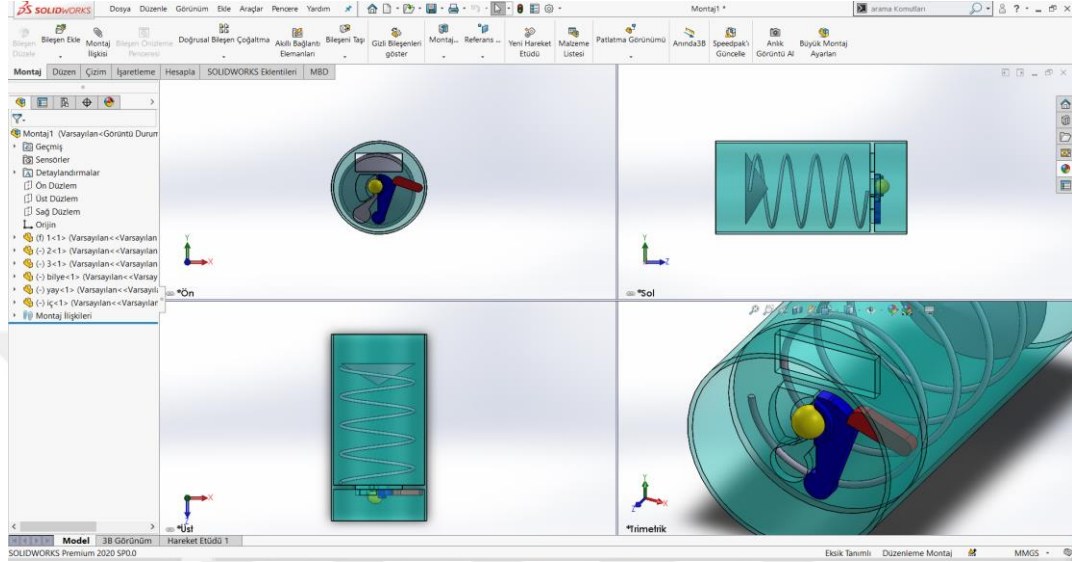
Şekil 5.13. Tamamlanan Paraşüt

5.7. Fırlatma Mekanizması Tasarım ve Üretimi

Paraşüt sistemleri için fırlatma mekanizması hem paraşütün muhafazası hem de paraşütün ihtiyaç anında açılabilmesi için önemlidir. Bu önemle, fırlatma mekanizmalarında farklı tasarımlar ve bırakma sistemlerinin yanı sıra servo motor veya balistik sistemler ile paraşütün tetiklenebilmesi sağlanabilmektedir. Fırlatma mekanizmalarının gövde parçaları genellikle kompozit malzemelerden üretilmesinin yanı sıra plastik veya alüminyum alaşımlardan da üretilmektedir. Bu tez çalışmasında fırlatma mekanizması için maliyet ve hafiflik açısından karbon fiber ve PLA parçalar kullanılmıştır. 3 boyutlu katı model oluşturma yazılımı olan Solidworks ile tasarlanan fırlatma mekanizması, Şekil 5.14'te gösterilmiştir. Tetik mekanizmasının tamamı 4 farklı PLA parçadan oluşturulmuştur ve 3 boyutlu yazıcı yardımıyla üretilmiştir. Üretim aşamasında Solidworks yazılımı kullanılarak tasarlanan parçalar STL formatında kaydedilmiştir ve Gcode formatına dönüştürülmesi için CURA yazılımına aktarılmıştır. CURA'da parçaların yoğunlukları %50 olarak belirlenmiş ve Ender3 Model yazıcıdan baskıların alınabilmesi için ayarlanmıştır. Üretimleri yapılan parçalar Şekil 5.15'te gösterilmiştir.

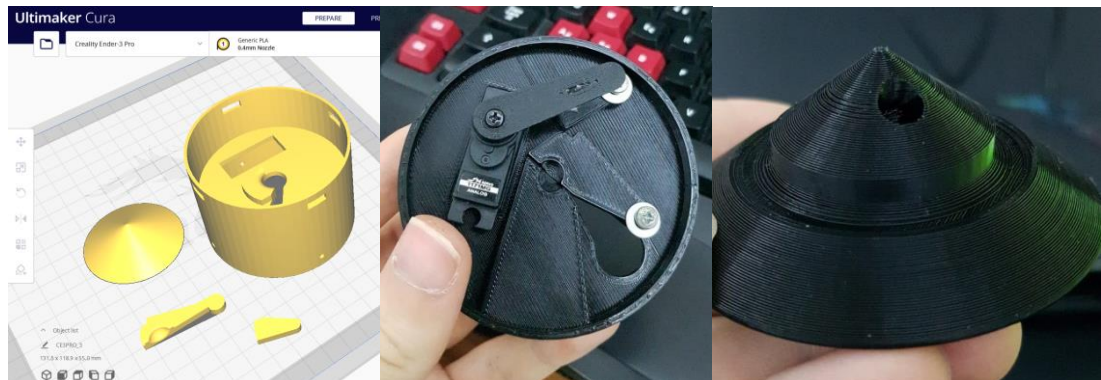
Paraşütün katlandıktan sonra muhafaza edilmesi için 70mm dış çapa sahip karbon fiber boru kullanılmıştır. 1 mm et kalınlığına sahip karbon fiber boru aynı zamanda paraşütün fırlatılması esnasında rahatlıkla paraşütün çıkışına izin verebilmesi için pürüzsüz ve kaygan olarak üretilmiştir. Fırlatma mekanizmasının tetiklenebilmesi için uçuş kontrolcüsünün AUX OUT1 portuna bağlanabilecek servo motor kullanılmıştır. PS-1171MG model metal dişli 17 gram ağırlığa sahip servo motor ile yaklaşık olarak 3,5 kg

kuvvet uygulayabilmektedir. Servo motorun güçlü olması ve metal dişliye sahip olması, yayın gerilimleri sırasında sistemin istem dışı açılımlarının önüne geçebilmektedir.

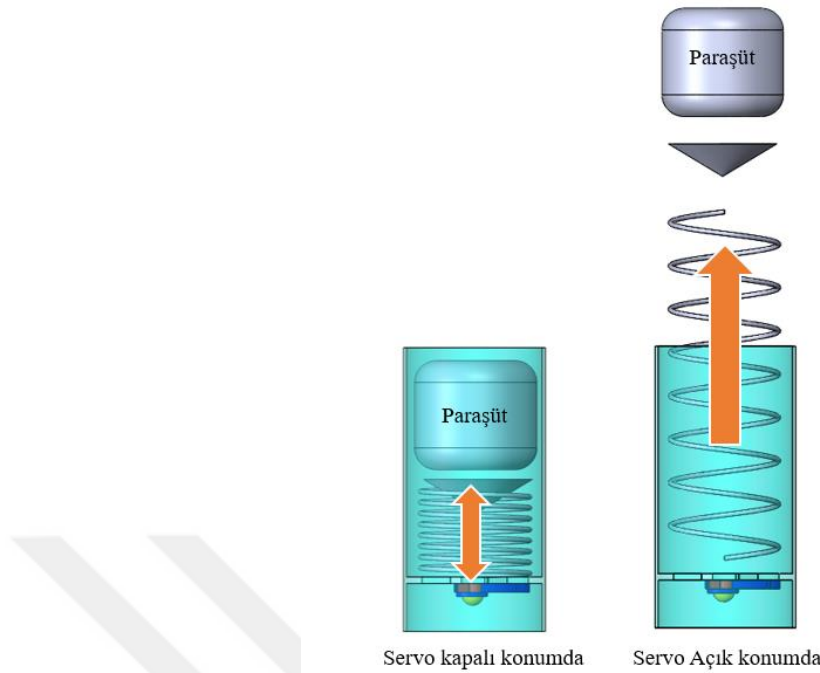


Şekil 5.14. Paraşüt Fırlatma Mekanizmasının Solidworks Tasarımları

Fırlatma mekanizması, pilot tarafından verilen komut ile paraşütün serbest bırakılması için kullanılmaktadır. Bu amaçla sistemde paraşütün uçuş esnasında hava aracı veya alt sistemlerine takılmadan hızla açılabilmesi için yayın basma kuvvetinden yararlanılarak fırlatılmaktadır. Uçuş öncesinde kurulumu yapılan fırlatma mekanizmasında yayın gerilimini serbest bırakmamak için servo motor ile kilitlenmektedir. Böylece pilot tarafından bir komut gönderilmediği sürece servo motor yayın enerjisini depolayarak paraşütün fırlatılmasını engelleyecektir. Şekil 5.16’da fırlatma mekanizmasının kapalı ve açık konumlarda vereceği tepki gösterilmiştir.



Şekil 5.15. CURA yazılımı ve üretilen PLA parçaların gösterimi



Şekil 5.16. Paraşüt Fırlatma Mekanizmasının Açık ve Kapalı Konum Gösterimleri

Fırlatma mekanizmasında kullanılan PLA parçalar ve karbon fiber boru, maliyeti minimize etmek için büyük etki sağlamıştır. Aynı zamanda pek çok benzer üründe kullanılan ağır metallerin bu çalışmada tercih edilmemesi İHA kalkış ağırlığına daha az etki etmiştir. Böylece kullanıcılara benzer sistemlerde uçuş sürelerinde yaşadığı problemlerin ortadan kaldırılabilceği de gösterilmiştir. Fırlatma mekanizmalarının kararlı çalışabilmesinin yanı sıra içerisine yerleştirilen paraşütlerin ve iplerin belirli bir düzen ile katlanması da sistem için önemlidir. Bu önemle annular konfigürasyonunda üretilen paraşütün kolay ve hızlı katlanabilmesi kullanıcılar için büyük avantaj sağlayacaktır.

Fırlatma mekanizması, servo motora bağlı bir tetik mekanizması sayesinde yayda oluşan basma kuvvetini pilot tarafından verilecek bir komut ile serbest bırakmaktadır. Serbest bırakılan yay enerjisi önceden de bahsedildiği gibi paraşütün hızla fırlatılmasına sebep olmaktadır.

5.8. Paraşüt Fırlatma Mekanizmasının Yer Testi ve İHA Entegrasyonu

Bu kısımda paraşüt üretimi ve fırlatma mekanizmasının üretimi tamamlandıktan sonra birbirleri ile uyumlu çalışabileceğinin test edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla fırlatma mekanizması yerde kurularak paraşütün entegrasyonu yapılmıştır. Daha sonra servo

motorun giriş kabloları servo test cihazına bağlanmış ve tetiklenmesi için komut gönderilmiştir. Burada farklı katlama teknikleri denenerek fırlatma mekanizması ile uyumlu çalışması test edilmiştir. Bu testlerde paraşütün sıkıştırılarak dairesel biçimde özensiz yerleştirilmesi durumunda bile fırlatma mekanizmasının başarılı çalıştığı kanıtlanmıştır. Ancak en ideal yerleştirilme şeklinin uzun ve ince katlanarak, silindir karbon fiber borunun içini tam dolduracak şekilde yerleştirilmesi ile sağlanabildiği görülmüştür. Aynı zamanda yerde yapılan testlerde paraşütün fırlatma mekanizmasına sıkıştırılmadan ve zorlanmadan yerleştirilmesi durumunda paraşütün çok daha hızlı mekanizmadan ayrıldığı gözlemlenmiştir. Paraşüt fırlatma mekanizmasının yer testleri sayesinde sistemin kararlılığı ve oluşabilecek acil durum senaryolarında verebileceği tepkiler görülmüştür.

Paraşüt iniş sistemi toplam kütlesi tasarım aşamasında 500g olarak tahmin edilmiş ancak üretimden sonra 465 gram olarak ölçülmüştür. Çalışmada İHA üzerine yerleştirilen paraşüt sisteminin İHA yapısal bütünlüğüne zarar vermemesi için fırlatma mekanizmasının yerleştirildiği bölgelere epoksi reçine ve kontrplak destekler eklenmiştir.

İHA üzerine fırlatma mekanizması yapısal olarak yerleşimi yapıldıktan sonra sistemin uçuş kontrolcüsüne bağlantısı yapılmıştır. Kullanılan servo motor 5 Volt ile çalışabildiği için harici bir besleme kaynağına ihtiyaç duyulmamıştır. Şekil 5.2’de gösterilen uçuş kontrolcüsü olan Pixhawk Cube üzerinde AUX OUT1 çıkış portuna bağlanan servo motor besleme ve sinyal girişini bu port üzerinden karşılamıştır. Daha sonra Jumper RC kumanda vericisi dahili ekranından paraşüt fırlatma mekanizmasının aktive edilmesi için SW-A isimli switch 5 numaralı kanala aktarılmıştır. Standart mini sınıf sabit kanatlı İHA için RC kumandada aileron, elevatör, rudder ve throttle, ilk 4 kanalı kullandığı için yardımcı çıkış olarak 5. kanal tercih edilmiştir.

QGroundControl yer kontrol istasyon yazılımı Vehicle setup menüsünden Şekil 5.17’de gösterildiği gibi AUX5 kanal fonksiyonu Parachute olarak ayarlanmış ve Disarmed minimum ve maksimum PWM değerleri sırasıyla 900, 1000 ve 2000 olarak belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan paraşüt iniş sistemi aynı zamanda acil durumlarda da kullanılabilmesi için ayarlanmıştır. Bunun için QGroundControl yer kontrol istasyon yazılımından parametreler sekmesi altında yer alan PARACHUTE_DISABLE parametresi 0 olarak belirlenmiştir.

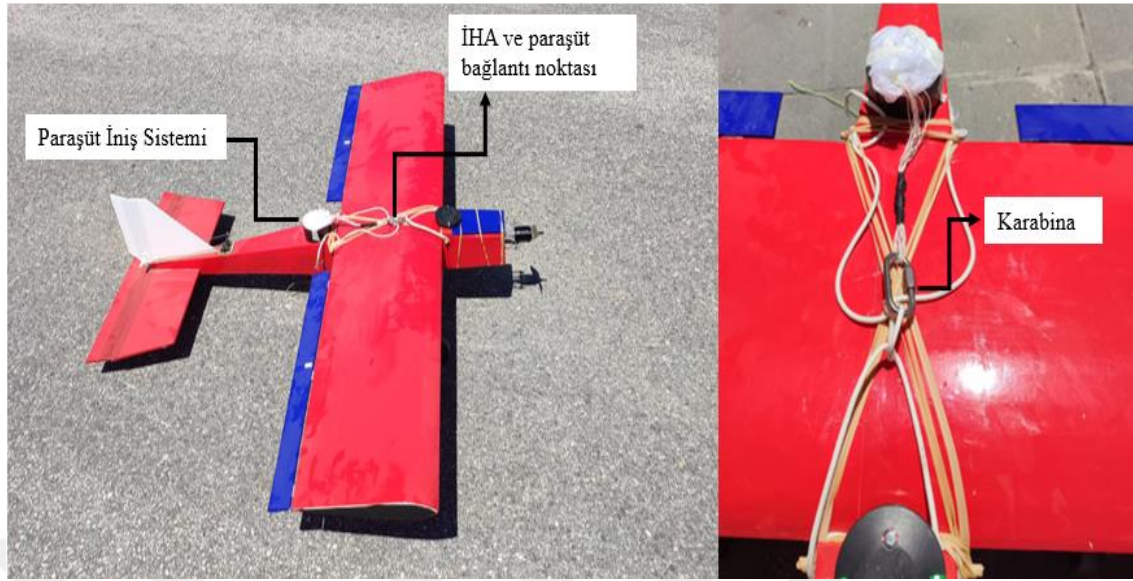
Ek olarak PARACHUTE_ENABLE parametresi 1 ve PARACHUTE_RELEASE parametresi ise 2 olarak değiştirilmiştir. PARACHUTE_RELEASE parametresi, İHA'da oluşabilecek bir acil durumda paraşütün aktif hale getirilmesinden sonra Kill Mode yani motorların anında durdurulmasını sağlayacaktır. Acil durumlarda paraşüt sisteminin kullanılabilmesi için uçuş kontrolcüsü devamlı olarak İHA performansını ve veri iletişimini kontrol altında tutmaktadır.



Şekil 5.17. Paraşüt İniş Sisteminin Aktifleştirilmesi İçin Kanal ve PWM Ayarlamalarının Gösterilmesi

Fırlatma mekanizması ve paraşüt İHA üzerine entegre edildikten sonra tetikleme sisteminin çalışması kontrol edilmiştir. İlk kontrollerde İHA batarya ve telemetri bağlantıları yapıldıktan sonra ARM edilmiş ve tetikleme manuel olarak SW-A switchi ile yapılmıştır. Paraşütün başarılı olarak fırlatılmasının ardından diğer denemelerde açık alanda itki motoruna tam güç verilerek paraşütün tetiklenebilmesi test edilmiştir. Bu testin temel amacı, fırcasız motorun tam yüklemeye, servo motorun çalışması için gerekli voltaj değerlerinde düşme olup olmadığını kontrol etmektir. Böylece fırlatma mekanizması ve İHA, bir bütün olarak uçuşa hazır hale getirilmiştir.

Paraşüt atıldıktan sonra İHA'nın emniyetli inişi için paraşüt ile bağlantı yapılması gerekmektedir. Bu bağlantı noktası aynı zamanda İHA ağırlığına ve ivmeye göre bir şok kuvveti oluşturmaktadır. Şok kuvvetinin sisteme zarar vermemesi ve paraşütün kopmaması için alüminyum 3mm karabina ile İHA paraşüt bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Bağlantının İHA ağırlık merkezinde veya yakınlarında bulunması İHA'nın emniyetli inişi için büyük önem taşımaktadır. Bu önemle çalışmada paraşütün İHA'ya bağlantısı ağırlık merkezine oldukça yakın yapılmıştır. Şekil 5.18'de paraşüt açıldıktan sonra İHA'nın paraşüt tarafından taşınacağı bağlantı noktası gösterilmiştir.



Şekil 5.18. İHA Paraşüt Bağlantı Noktası, Paraşüt İniş Sistemi ve Karabina Gösterimi

5.9. Paraşüt Sisteminin Maliyet Karşılaştırması

Dünya genelinde kullanılan paraşüt sistemlerinde bakıldığında az sayıda firmanın İHA'lar için iniş ve kurtarma paraşütleri ürettiğini gözlemlenmiştir. Bunun sebepleri olarak hem İHA iniş sistem paraşütlerinin maliyeti hem de İHA sistemine entegrasyonunun zor olmasıdır. Bununla birlikte mini İHA'lar için üretilecek paraşütlerin hacimsel olarak az yer kaplaması gerekmektedir. Paraşüt iniş sisteminin kütlesinin de hafif olması da beklenmektedir. Böylece paraşüt üreticileri yüksek sürtünme katsayısına sahip ve düşük salınım yapan paraşüt üretiminden kaçınmaktadır. Aşağıda günümüzde kullanılan ve üretilen benzer paraşüt sistemlerine ait bilgiler verilmiştir.

Az sayıda paraşüt iniş veya kurtarma sistemi üreten firmalardan en çok bilineni fruitychutes markasıdır. Bu markanın üretmiş olduğu paraşüt sistemlerinden iki tanesi mini sabit kanatlı İHA'lar için kullanılabilmektedir. Bunlardan bir tanesi maksimum ağırlığı 1,8 kg ağırlığındaki İHA'lar için uygun bir diğeri de maksimum 3,2 kg ağırlığındaki İHA'lar için uygundur. Bu paraşüt sistemlerinin özelliklerine bakıldığında maksimum 1,8 kg ağırlığındaki İHA'lar için kullanılan sistem 221 gram ağırlığında, 15 cm büyüklüğünde paraşüt açma çantasına sahip, 4,6 m/sn dikey hızla iniş yapabilen ve 312 \$ satış fiyatı belirlenmiştir. Maksimum 3,2 kg ağırlığındaki İHA'lar için uygun olan paraşüt sistemi ise 270 gram ağırlığında, 15 cm büyüklüğünde paraşüt açma çantasına sahip, 4,6 m/sn dikey hıza sahip ve 350 \$ satış fiyatına sahiptir [93, 94].

Paraşütle iniş sistemi üreticilerinden Mars parachutes firması mini İHA'lar için üretmiş olduğu Mars 58 model iniş ve kurtarma sistemi maksimum 4,5 kg olan İHA'ların kullanabilmesi için tasarlanmıştır. Bu iniş sisteminin özellikleri 277,5 gram ağırlığında, 148 cm paraşüt çapına sahip, servo ve yaylı bir fırlatma sistemine sahiptir. Bu paraşüt Mars parachutes firması tarafından 450 \$ fiyatını satılmaktadır [95].

Fruity chutes markası tarafından üretilmiş harrier model İHA iniş ve kurtarma sistemi de optimum 2,5 kg ağırlığındaki İHA'lar için ve maksimum 5 kg ağırlığındaki İHA'lar için uygun olduğu belirtilmiştir. Bu sistemin özellikleri ise iniş sırasında 4,6 m/sn dikey hıza sahip, paraşütü yerleştirmek için 40mm çapında ve 154 mm uzunluğundaki karbonfiber fırlatma mekanizmasına sahip, paraşütü havaya fırlatmak için güçlü bir yay sistemine sahiptir. Tüm bu özelliklerle birlikte paraşüt sistemi 154 gram ağırlığına sahip ve 416,24\$ fiyata sahiptir [96].

Yine fruity chutes markası tarafından üretilmiş skycat recovery bundle modelindeki paraşüt iniş ve kurtarma sistemi 2,5 kg ağırlığındaki İHA'lar için ve maksimum 5 kg ağırlığındaki İHA'lar için uygundur. Skycat model 272 gram ağırlığında, 48mm çapında karbonfiber fırlatma sistemine sahiptir. Bu model paraşüt iniş sistemi 755,5 \$ fiyata sahiptir [97].

Bazı firmalar tarafından üretilmiş İHA paraşüt iniş ve kurtarma sistem örnekleri tabloda verilmiştir. Bu tez çalışmasında mini sabit kanatlı İHA için düşük maliyetli paraşütle iniş sistemi tasarlanmıştır. Üretilmiş olan paraşütle iniş sistemine ait maliyetler de Tablo 5.3.'de verilmiştir. Fiyatlandırma paraşüt iniş sistemlerinin yurt dışında Amerikan doları para biriminde olması ve üretimde kullanılan malzemelerin büyük çoğunluğunun yurt dışından temin edilmesi dolayısıyla Amerikan doları cinsinden verilmiştir. Tablo 5.4.'de verilen fiyatlandırmalar satın alınan ürün miktarının değil bir paraşüt sistemi için kullanılan miktarlar göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

5.10. İHA'nın Paraşüt Sistemi ile Uçuş Testi ve Uçuş Verilerinin İncelenmesi

İHA elektronikleri ve fırlatma mekanizmasının yer testleri başarıyla tamamlandıktan sonra gerçek uçuş testleri yapılmıştır. Test uçuşları için yerleşim alanlarından uzak olan Kayseri'nin Talas ilçesinde bulunan Talas Belediyesi Model uçak pisti tercih edilmiştir.

Tablo 5.3. Paraşütle İniş Sistemine Ait Maliyetler

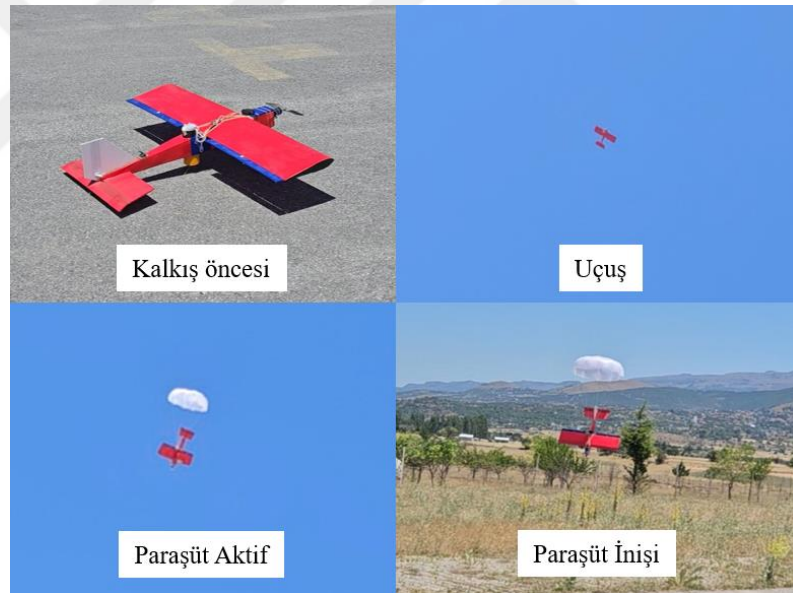
Malzeme	Model (Tür)	Fiyat
Kumaş	0,66 Oz membran ripstop	19\$
Paraşüt ipi	Ripstop naylon ip	4\$
Servo motor	JX Servo PS-1171MG Metal dişli	10\$
Karbon fiber boru	Et kalınlığı 1mm olan 70mm çapında karbon fiber boru	12\$
Mini karabina	Alüminyum 5 kN	5\$
Yay	Paslanmaz çelik	5\$
Diğer giderler	PLA vb. malzemeler	2\$
Paraşüt Üretimi	İşçilik	30\$
Toplam Fiyat		87\$

Tablo 5.4. Bazı Firmalar Tarafından Üretilmiş İHA Paraşüt İniş ve Kurtarma Sistem Örnekleri

İniş Sistemi	Sistem Ağırlığı	Maksimum Kullanılabileceği Ağırlık	Fiyat
Fruity chutes sabit kanat (1,8 kg)	221 gram	1,8 kg	312\$
Fruity chutes sabit kanat (3,2 kg)	270 gram	3,2 kg	350\$
Fruity chutes skycat	272 gram	5 kg (2,5 kg optimum ağırlık)	755,5\$
Fruity chutes harrier	154 gram	5 kg (2,5 kg optimum ağırlık)	416,24\$
Mars Parachutes (Mars 58)	277,5 gram	4,5 kg	450\$
Üretilen Paraşüt	465 gram	2,1 kg	87\$

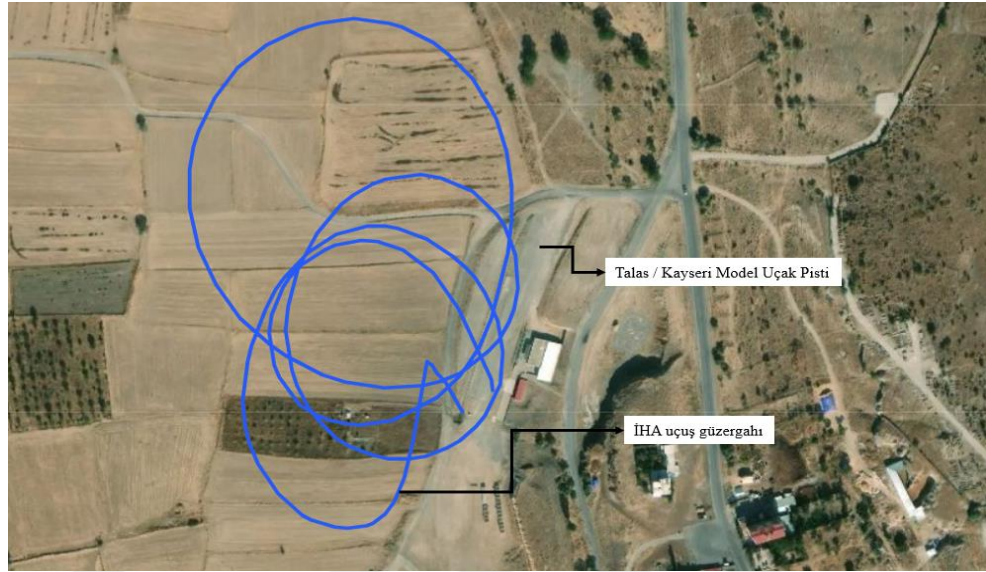
İlk olarak uçuş emniyetini sağlamak için uçuş kontrolcüsünün kalibrasyonu ve telemetri haberleşme mesafesi uçuş alanında test edilmiştir. İHA ağırlık merkezi kontrolü, batarya

seviyeleri ve yapısal parçalar tekrar kontrol edildikten sonra fırçasız motorun itki testi ve servo motorların trim ayarlamaları yapılmıştır. Kısa uçuş esnasında İHA Stabilize Mode ile pilot kontrolünde kalkış gerçekleştirmiş ve kalkıştan sonra belirli irtifa değerinin üzerine çıkarılarak uçuş dengesinin tam anlamıyla sağlanabilmesi için küçük trim ayarlamaları ile dengeli bir uçuş pozisyonuna getirilmiştir. Paraşüt tetiklemesinde kullanılan servo motorun SW-A switch bağlantısı kontrol edildikten sonra GPS uydu sayısı ve sinyal kalitesi de kontrol edilmiştir. 2 dakika 36 saniyelik kısa bir uçuş sonrasında paraşüt iniş sistemi aktif hale getirilerek, İHA emniyetli bir iniş gerçekleştirmiştir. Uçuş sonrasında yapılan kontroller sonucunda İHA yapısal parçalar, elektronikler ve paraşüt iniş sisteminde herhangi bir kırım oluşmadığı gözlemlenmiştir. Kalkış öncesi, uçuş ve paraşüt ile iniş Şekil 5.19’da sunulmuştur.



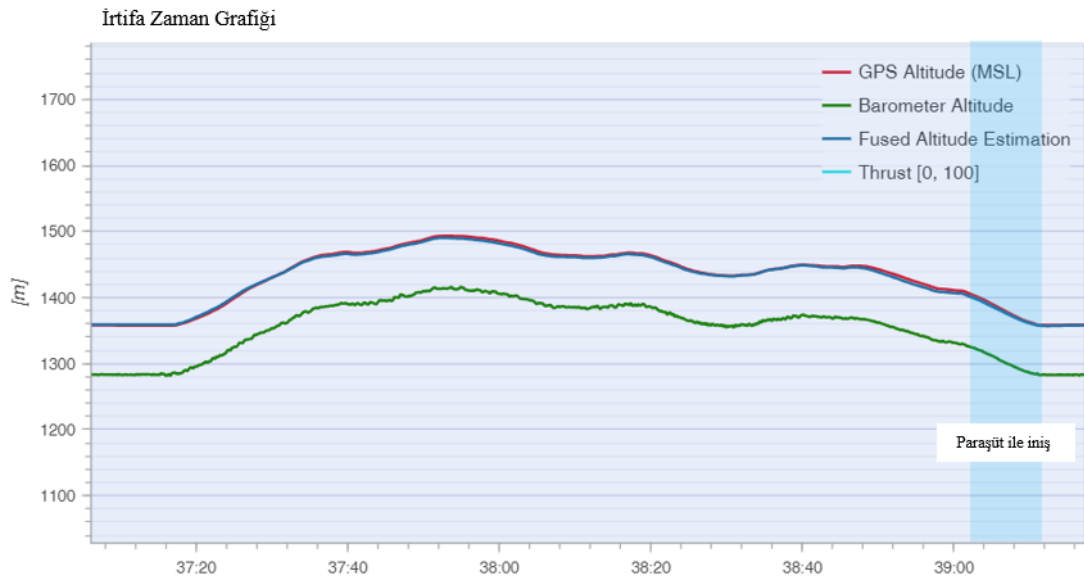
Şekil 5.19. İHA'nın Uçuş Safhaları

Uçuşta toplam 2,68 km mesafe katedilmiş ve maksimum 134 metre irtifaya çıkılmıştır. Paraşüt yaklaşık olarak 47 metre irtifadan aktif hale getirilmiş ve paraşüt ile iniş toplam 11 saniyede gerçekleşmiştir. Bu aşamada paraşüt açıldıktan sonra İHA, 4.27 m/s yani 14 FPS dikey hız ile alçalmıştır. Uçuş boyunca izlenen güzergâh ve uçuş bölgesinin gösterimi Şekil 5.20’de verilmiştir. Mavi çizgiler İHA uçuş güzergahını temsil etmektedir. Uçuş boyunca irtifadaki değişimlerin gösterildiği irtifa-zaman grafiği, Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20. Uçuş Boyunca İzlenen Güzergâh ve Uçuş Bölgesi

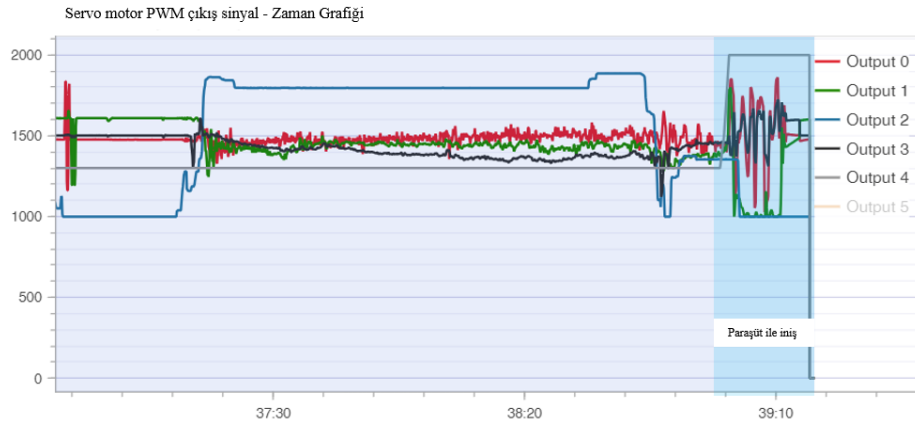
İrtifanın değişken olmasının temel sebebi, uçuşun pilot kontrolünde Stabilize Mode ile gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. GPS desteği ile otonom olarak testlerin gerçekleştirilebilmesi mümkün olsa da bu çalışmada İHA'nın tepkilerini daha rahat kontrol altına alabilmek ve müdahale edebilmek için pilot kontrolünde uçuş yapılması uygun görülmüştür. Şekilde gösterilen irtifa ve zaman grafiğinde dahili barometrik basınç sensöründen alınan irtifa değerleri yeşil, GPS alıcısı tarafından kaydedilmiş irtifa değişim bilgileri ise kırmızı renk ile gösterilmiştir.



Şekil 5.21. İHA'nın İrtifa-Zaman Grafiği

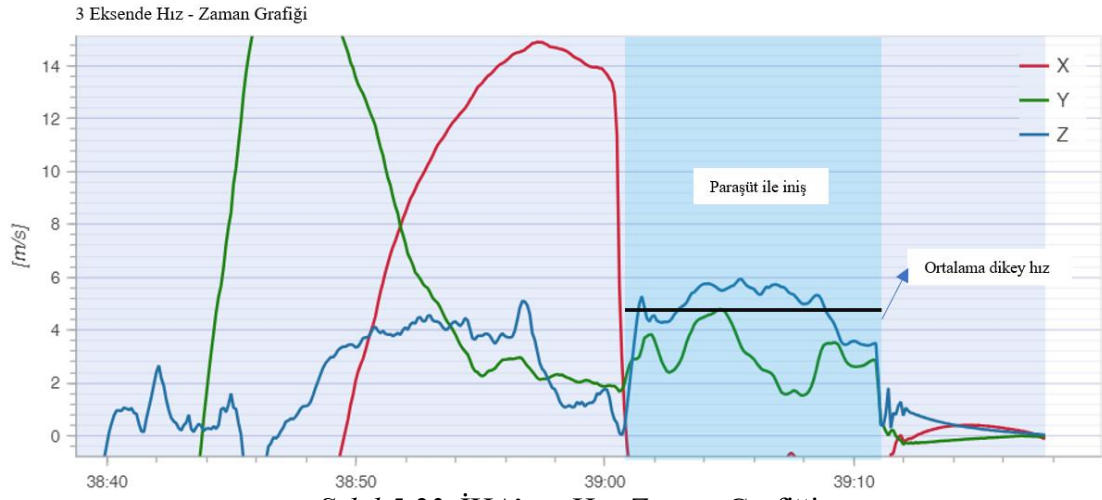
Ayrıca tahmini olarak GPS ve barometrik basınç sensöründen alınan verilerin bileşkesi alınarak oluşturulan tahmini irtifa değeri ise mavi renk ile gösterilmiştir. Şekil 5.21'deki işaretli alan ise paraşüt aktif olduktan sonra inişe kadar olan irtifa değişimini belirtmektedir.

İHA'nın uçuşu boyunca ki servo motor PWM çıkış sinyalinin zamana göre değişimi Şekil 5.22'de gösterilmiştir. Output 0, 1, 2 ve 3 sırasıyla aileron, elevatör, throttle, rudder servo motorlarını, Output 4 ise paraşüt fırlatma mekanizması Servo motorunu temsil etmektedir. Uçuş boyunca İHA sürekli irtifa değişiklikleri yaptığı için fırçasız motor devamlı %80'nin üzerinde çalıştırılmıştır. Ancak paraşüt açılmadan 15 saniye önce İHA'nın motor gücü kesilerek süzülüşe başlamıştır. Şekildeki mavi alan paraşüt inişi sırasında servo motorların PWM çıkışlarını göstermektedir. Kontrol yüzeylerinin paraşüt açıldıktan sonra devamlı hareket etmesinin nedeni ise İHA stabilize mode uçuşunda kendisini dengeye getirebilmek istemesinden kaynaklanmaktadır. Output 4, uçuş boyunca herhangi bir PWM çıkışı almamış ancak pilot tarafından verilen komuta uyararak uçuşun 156. saniyesinde PWM çıkışını maksimuma çıkararak tetikleme işlemini gerçekleştirmiştir.



Şekil 5.22. Servo motor PWM Çıkış Sinyal-Zaman Grafiği

Şekil 5.23'de uçuş boyunca olan X, Y ve Z eksenlerindeki zamana göre hızlanma değerleri gösterilmiştir. Grafikteki mavi alan, paraşüt açıldıktan sonra ki İHA'nın hızını göstermektedir. Z eksenini mavi renkli çizgi ile gösterilmiş ve İHA'nın dikey hızını temsil etmektedir. Siyah çizgi ile ortalama dikey hız olan 4,27 m/s değeri açıkça gösterilmiştir.



Şekil 5.23. İHA'nın Hız-Zaman Grafiği

6. BÖLÜM

TARTIŞMA VE SONUÇ

6.1. Tartışma

Teknolojinin gelişimi ile havacılık sektörü de hızlı gelişimine devam etmektedir. Bu hızlı gelişim ile pek çok havacılık alanında önemli ilerlemeler yaşanmaktadır. Bu alanlardan biri olan İHA sistemleri, son yıllarda pek çok sivil ve askeri başarı elde etmiş olsa da beraberinde pek çok emniyet sorunlarını ortaya çıkarmıştır. Özellikle sivil İHA sistemlerinin gelişmesi ile pek çok sektör tarafından İHA kullanımı kaçınılmaz hale gelmiştir. Ancak sivil alanlarda ve özellikle alçak irtifalarda operasyon gerçekleştiren İHA sistemleri, yerleşim alanları için büyük tehlikeler barındırmaktadır. Bu nedenle uçuş gerçekleştiren sivil amaçlı İHA sistemleri için bir takım emniyet artırıcı önlemler alınmaktadır. Bunun sebebi İHA'larda en çok kaza yaşanan aşamaların iniş ve kalkış aşamaları olmasıdır.

Bu konuda literatürdeki İHA sistemleri için yapılan çalışmaların çoğunluğu döner kanatlı İHA'lar üzerinedir. Bunun sebebi, daha çok sivil amaçla kullanılan döner kanatlı İHA'ların kolay kullanımı ve dar alanlarda kalkış ve iniş yapabilme kabiliyetinin bulunmasıdır. İnişi kolaylaştırmak ve acil durumlarda önlem alınabilmesini sağlamak amacıyla literatürde hava yastığı, mesh ve paraşüt iniş sistemlerinin kullanımını konu alan çok sayıda çalışma yapılmıştır.

6.2. Sonuç

Literatürde döner kanatlı İHA iniş sistemlerini konu alan çok sayıda çalışma yapılmasına rağmen sabit kanatlı İHA iniş sistemleri için çok az sayıda akademik çalışma yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmaların çoğunluğunda özellikle sivil amaçlı uygulamalar için yerleşim alanlarında kullanılan sabit kanatlı İHA'lar, iniş ve kalkış yapmak için uygun bir piste ve iniş sistemlerine gereksinim duyarlar. Bu tez çalışmasında sabit kanatlı İHA sistemleri için uygun maliyetli ve düşük ağırlıklı paraşüt iniş sisteminin hesaplamaları

yapılmış ve tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu sistem gerçek uçuşlar ile test edilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, tasarım için literatürde ve pazarda bulunan paraşüt sistemleri incelenerek uygun iniş hızları tespit edilmiştir. Ek olarak, yamaç paraşütleri, roket iniş sistemleri ve helyum balonları gibi paraşüt iniş sistemlerine ihtiyaç duyan pek çok tasarım da detaylı olarak incelenmiştir. Daha sonra sabit kanatlı İHA sistemleri için paraşüt iniş sisteminin matematiksel modellemesi, tasarımı, üretimi ve testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca paraşüt iniş sistemi için ultra hafif malzemeler ve optimum fırlatma mekanizması sayesinde hafif ve uygun maliyetli bir sistem ortaya çıkmıştır. Ek olarak paraşüt iniş sisteminin test edilmesi için sabit kanatlı İHA üretilmiş ve sistem entegrasyonu yapılmıştır. Yapılan test uçuşlarının değerlendirilebilmesi için İHA uçuş ve iniş aşamaları uçuş kontrol kartı tarafından sürekli izlenerek kayıt altına alınmış ve grafikler yardımıyla analiz edilmiştir.

Bu tez çalışmasında, geleneksel kontrol yüzeylerine sahip bir İHA üzerinde test edilmiş olması, bu sistemin pek çok sabit kanatlı İHA'da aktif olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Paraşüt iniş sisteminde ultra hafif ripstop kumaş ve askı iplerinin kullanılmasının yanı sıra modern dikiş teknikleri ile üretilmesi çalışmanın özgün taraflarını belirtmektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan sarf malzeme ve üretim teknikleri sayesinde literatürde ve piyasada bulunan diğer paraşüt sistemlerine oranla maliyet üzerinde büyük bir iyileştirme yapılmıştır. Bununla birlikte fırlatma sistem tasarımı mevcut diğer sistemlere göre paraşütün açılmasını ve farklı hava aracı konseptlerine entegre edilebilmesi düşünüldükçe tasarlanmıştır. Fırlatma mekanizmasının tetiklenebilmesi için kullanılan Servo motor ise küçük güç tüketimi ve yüksek torka sahip olması ile birçok hava aracında kullanılabilesinin önünü açmıştır. Fırlatma mekanizmasında optimum basma kuvvetine sahip yay kullanılarak sistemin alçak irtifalarda bile kolaylıkla paraşüt inişini aktifleştirmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada üretilen paraşüt iniş sistemi, literatürde ve piyasada bulunan benzer özellikteki sistemlere göre %71 daha uygun maliyetli olacağı kanıtlanmıştır. Ayrıca fırlatma mekanizması dahil edilmeden paraşüt ağırlığı 56 gram olarak tespit edilmiştir. Bu tasarımın, literatürde verilmiş veya piyasa da kullanılan benzer özellikteki diğer sistemlere göre %12 daha hafif bir paraşüt tasarımı olduğunu görülmüştür. Fırlatma mekanizması için ilerleyen dönemlerde yapılacak çalışmalar ile çok daha hafif tasarım

hedeflenmiştir. Çalışmada maliyet ve ağırlık yönünden sağlanan avantajlar ile sabit kanatlı İHA sistemleri için geliştirilecek iniş sistem tasarımlarına önemli katkılar sağlayacağı ön görülmüştür. Bu çalışma ilerleyen dönemlerde İHA iniş sistemleri konu alınarak yapılacak bilimsel çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Uçuş testlerinde kullanılan İHA'nın uçuş kontrol kartı sayesinde stabilize mod kullanılarak pilot tarafından kontrol edilmiştir. Uçuşlar Talas model uçak pistinde, emniyetli ve yerleşim alanlarından uzak uçuş sahasında gerçekleştirilmiştir. Kısa süreli kalkış ve uçuş aşamasından sonra yer kontrol istasyonuna önceden atanan switch yardımıyla fırlatma mekanizması tetiklemiş ve paraşüt serbest bırakılmıştır. 1,42 saniye sonra paraşüt tam olarak açılmış ve İHA planlandığı gibi boş alana emniyetli iniş gerçekleştirmiştir. Bu iniş toplama 11 saniye sürmüş ve dikey hız tasarım aşamasında planlandığı gibi 4,27 m/s (14 FPS) olarak kaydedilmiştir. Paraşüt açılma süresi ve İHA'nın paraşüt ile iniş sırasındaki dikey hızı havacılık otoriteleri tarafından belirlenen ve literatürde tavsiye edilen limitlere uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın ilerleyen dönemlerde sabit kanatlı ve sivil amaçlı İHA sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılabilmesine büyük katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

Literatürde bütün iniş sistemlerini ele alan çalışma bulunmaması ve Türkçe bir kaynağın bu sistemleri açıklamaması sebebiyle bu çalışmanın gelecekte bu konuyla ilgili yapılacak pek çok çalışmaya ışık tutacağı ön görülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Austin, R., 2010. Unmanned Aircraft Systems – UAVS Design, Development and Deployment. John Wiley & Sons, Ltd, 173-181 pp.
2. Williams, K. W., 2004. A Summary Of Unmanned Aircraft Accident/Incident Data: Human Factors Implications. Civil Aerospace Medical Institute Federal Aviation Administration, Oklahoma City, 5-7 pp
3. Fahlstrom, P., Gleason, T. J., 2012. Introduction to UAV Systems, Fourth edition. New Delhi, India, John Wiley & Sons Ltd., 17-31 pp.
4. White, L., 1968. The invention of the parachute, **Technology and Culture, The Johns Hopkins University Press**, 9 (3): 462-467.
5. Bellis, M., 2019. History of the parachute. (Web page: <https://www.thoughtco.com/history-of-the-parachute-1992334>), (Date accessed: September 28, 2023)
6. Wilson, J., History of parachuting and CSPA. (Web page: <https://www.cspa.ca/en/node/228>), (Date accessed: April, 2024)
7. Wyllie, T., 2001. Parachute recovery for UAV systems, **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, 73(6): 542–551.
8. Kim, H. J., Kim, M., Lim, H., Park C., Yoon, S., Lee, D., Choi, H., Oh, G., Park, J., Kim, Y., 2013. Fully autonomous vision-based net-recovery landing system for a fixed-wing UAV. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, 18 (4): 1320-1333.
9. Zakaria, M., 2013. Design and fabrication of low cost parachute recovery system for UAVs, pp. 1-15. *15th International Conference on Aerospace Sciences and Aviation Technology*, May 28-30, 2013, Cairo, Egypt.
10. Rodzewicz, M., Glowacki, D., Szczepanik, T., Hajduk J., 2018. Experimental investigations into parachute rescue systems. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, 90 (4): 667-678.

11. Gleason, T. J., Fahlstrom, P. G., 2016. Recovery of UAVs, **Encyclopedia of Aerospace Engineering, 2016 John Wiley & Sons, Ltd.**, 1-7.
12. Wu, H., Wang, Z., Zhou, Z., Jia, J., Wang, R., 2020. Research on dynamics behaviours of small UAV parachute recovery system. **International Journal of Mechatronics and Automation**, **7** (3): 156-164.
13. Arravind, R., 2017. Selection of low-cost recovery system for unmanned aerial Vehicle. **International Research Journal of Engineering and Technology**, **5** (4): 1074-1078.
14. Piancastelli, L., Bernabeo, R. A., Cremonini, M., Cassani, S., Calzini, F., Pezzuti, E., 2018. Optimized parachute recovery systems for remote piloted aerial systems. **Journal Of Engineering And Applied Sciences**, **16** (13): 4590–4597.
15. Shyu, L. S., Hsiao, Y. C., 2014. Mini UAV design and manufacture with bungee launched / Parachute recovery. **Applied Mechanics and Materials, Trans Tech Publications**, 97–100.
16. Al-Madani, B., Svirskis, M., Narvydas, G., Maskeliūnas, R., Damaševičius, R., 2018. Design of fully automatic drone parachute system with temperature compensation mechanism for civilian and military applications. **Journal of Advanced Transportation**, 1-11.
17. Shi, H., Lu, Y., Hou, Z., Huang, S., 2018. 3D dubins net-recovery path planning for fixed wing UAV, pp. 604-610, *The 30th Chinese Control and Decision Conference*, July 2018, China.
18. Wei, X., Wei, D., Sui, X., Cao, L., Su, Q., 2022. Design and simulation study of shipboard uav net recovery device, pp. 12038, *International Conference on Mechanical, Aerospace Technology and Materials Application*, 23-25 September, 2022, Chengdu, China.
19. Klausen, K., Fossen, T. I., Johansen, T. A., 2018. Autonomous recovery of a fixed-wing UAV using a net suspended by two multirotor UAVs. **Journal of Field Robotics**, **35** (5): 717–731.

20. Shim, D. H., Huh, S., Min, B. M., 2008. A vision-based automatic landing system for fixed-wing UAVs using an inflated airbag, *AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit*, 18-21 August, 2008, Honolulu, Hawaii.
21. Huh, S., Shim, D. H., 2010. A vision-based landing system for small unmanned aerial vehicles using an Airbag. **Control Engineering Practice**, **18** (7): 812–823.
22. Ansari, K. I. B. H., Shendge, A., Pakhrani, K., Singh, R., 2023. Design and development of an auto-inflatable airbag as the failsafe system of unmanned aerial Vehicle. **Materialstoday Proceedings**, **77**: 983–990.
23. UAV and drone parachute recovery - manta air. (Web page: https://manta-air.com/uav_safety_and_recovery_systems/), (Date accessed: April, 2024).
24. Alizadeh, M., Sedaghat, A., Kargar, E., 2014. Shape and orifice optimization of airbag systems for UAV parachute landing, **International Journal of Aeronautical and Space Sciences**, **15** (3): 335-343.
25. Shim, D. H., Huh, S., Min, B. M., 2010. A vision-based automatic landing method for fixed-wing UAVs. **Journal of Intelligent and Robotic Systems**, **57**: 217-231.
26. Chandra, K. R., Ghosh, S., 2019. Hu-moment-based autonomous landing of a UAV on a hemispherical dome, pp. 19-25, *International Conference on Unmanned Aircraft Systems*, 11-14 June, 2019, Atlanta, GA, USA.
27. Drone parachute, multicopter parachute, UAV, RC aircraft recovery | fruity chutes. (Web page: https://fruitychutes.com/uav_rpv_drone_recovery_parachutes), (Date accessed: April, 2024).
28. UAV recovery parachutes – tulpar space aviation & defence. (Web page: <https://tulparlabs.com/en-us/products/parachute-systems/uav-recovery-parachutes/>), (Date accessed: April, 2024).
29. My research - a set of rescue parachutes. (Web page: <http://myresearch.company/parachutes.phtml>), (Date accessed: April, 2024).
30. Drone parachute - 58 V2 - mars parachutes. (Web page: <https://www.aeroexpo.online/prod/mars-parachutes/product-185948-34353.html>), (Date accessed: April, 2024).

31. UAV parachute recovery systems | butler parachute systems. (Web page: <https://www.butlerparachutes.com/military-parachutes/uav-recovery-systems/>), (Date accessed: April, 2024).
32. Nonami, K., 2007. Prospect and recent research & development for civil use autonomous unmanned aircraft as UAV and MAV. **Journal of System Design and Dynamics**, **1** (2): 120–128.
33. Palik, M., Nagy, M., 2019. Brief history of UAV development. **Repüléstudományi Közlemények**, **31** (1): 155–166.
34. Keane, J. F., Carr, S. S., 2013. A brief history of early unmanned aircraft, **Johns Hopkins APL Technical Digest**, **32** (3): 558–571.
35. Newcome, L. R., 2004. Unmanned Aviation: A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston, Virginia, 3 pp.
36. Prisacariu, V., 2017. The history and the evolution of UAVs from the beginning till the 70s. **Journal of Defense Resources Management**, **8** (1):181–189.
37. Whitmore, B. A., 2016. Evolution of unmanned aerial warfare: a historical look at remote airpower - a case study in innovation, US Army Command and General Staff College Fort Leavenworth United.
38. Blom, J. D., 2010. Unmanned Aerial Systems: *A Historical Perspective*. Kansas: Combat Studies Institute Press US Army Combined Arms Center Fort Leavenworth.
39. Çetinkaya, S. G., Koç, M., 2023. Türkiye'nin insansız hava araçları serüveni. **Anadolu Strateji Dergisi**, **5** (1): 1–27.
40. Yazar, S., Ateş, E., 2021. Türkiye'nin insansız hava aracı (İHA) ihracat rekabet gücünün analizi, **Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi**, **3** (1): 7–16,
41. Ukaegbu, U., Tartibu, L., Okwu, M., 2021. Unmanned aerial vehicles for the future: classification, challenges, and opportunities, *4th International Conference on Artificial Intelligence, Big Data, Computing and Data Communication Systems, Proceedings*, 5-6 August, 2021, Durban, South Africa.

42. Arjomandi, M., 2007. Classification of unmanned aerial vehicles, Australia, (Web page: <http://www.airforce-technology.com/projects/x47/>), (Date accessed: April, 2024).
43. Mohsan, S. A. H., Khan, M. A., Noor, F., Ullah, I., Alsharif, M. H., 2022. Towards the unmanned aerial vehicles (UAVs): a comprehensive review, **Drones**, **6** (6): 1-27.
44. Lee, C., Kim, S., Chu, B., 2021. A survey: flight mechanism and mechanical structure of the UAV. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, **22** (4): 719–743.
45. Chamola, V., Kotes, P., Agarwal, A., Naren, Gupta, N., Guizani, M., 2021. A comprehensive review of unmanned aerial vehicle attacks and neutralization techniques. **Ad Hoc Networks**, 111: 102-324.
46. Types of drones - fixed wing, (Web page: <https://www.airsight.com/learn/airspace-security/drone-fundamentals/types-of-drones-fixed-wing>), (Date accessed: April, 2024).
47. Selim, S., Akşar, E., 2018. Sabit kanatlı insansız hava araçlarında (İHA) kanat tasarımının uçuş süresi, manevra kabiliyeti ve kalkış hızı (V_{stall}) üzerine etkilerinin araştırılması, *VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*, 18-21 Eylül, 2018, Eskişehir.
48. Alghamdi, Y., Munir, A., La, H. M., 2021. Architecture, classification, and applications of contemporary unmanned aerial vehicles. **IEEE Consumer Electronics Magazine**, **10** (6): 9–20.
49. Singhal, G., Bansod, B., Mathew, L., 2018. Unmanned aerial vehicle classification, applications and challenges: a review, (Web page: <https://www.preprints.org/manuscript/201811.0601/v1>), (Date accessed: April 19, 2024).
50. Chen, S., Laefer, D. F., Mangina, E., 2016. State of technology review of civilian UAVs, **Recent Patents on Engineering**, **10** (3): 160–174.

51. Hassanalian M., Abdelkefi A., 2017. Classifications, applications, and design challenges of drones: A review, **Progress in Aerospace Sciences**, **10** (3): 160-174.
52. Gunarathna, J. K., Munasinghe, R., 2018. Development of a quad-rotor fixed-wing hybrid unmanned aerial vehicle, pp. 72-77. *4th International Multidisciplinary Moratuwa Engineering Research Conference*, 30 May-01 June, 2018, Moratuwa, Sri, Lanka.
53. SHGM, 2023. İnsansız hava aracı sistemleri talimatı. (Web page: https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/tali-matlar/2020/SHT-IHA_Rev-04.pdf), (Date accessed: April, 2024).
54. Skydiving history, Seven hills skydivers of madison, WI. (Web page: <https://sevenhillsskydivers.org/skydiving-history/>), (Date accessed: January, 2024).
55. Historical review, ParachuteHistory.com. (Web page: <https://www.parachutehistory.com/eng/drs.html>), (Date accessed: January, 2024).
56. Bernon, de O., 2024. The parachute, a french invention of distant siamese origins. **Journal of the Siam Society**, **109** (2): 95–101
57. Anderson, D., Graham, I., Williams, B., 2009. Flight and motion : the history and science of flying. M.E. Sharpe, Armonk, NY, 566 pp.
58. Early history of parachuting, Australian Parachute Federation. (Web page: <https://www.apf.com.au/sports-jumping/learning/articles-and-member-theses/early-history-of-parachuting>), (Date accessed: January, 2024).
59. Parachute, Aeronautical Safety Device Britannica. (Web page: <https://www.britannica.com/technology/parachute>), (Date accessed: January, 2024).
60. Başara, L., Güvenç S., 2022. Kıbrıs için havalandılar G-günü, Son tanıkların anlatımlarıyla Kıbrıs Barış Harekatı'nın hava cephesi, Kronik Kitap. 384 pp.
61. Knacke, T. W., 1991. Parachute recovery systems design manual, Naval Weapons Center, China lake, CA.

62. Szafran, K., Kramarski I., 2018. Fatigue degradation of the structure of parachute systems. **Fatigue of Aircraft Structures**, 2018 (10): 93–103.
63. Federal Aviation Administration, 2015. Parachute rigger handbook. Safety Research Corporation of America, Oklahoma City, USA, 350 pp.
64. Saim, R., Mohd, S., Shamsudin, S. S., Zulkafli, M. F., Yunos, S. N. M. M., Rahman, M. R. A., 2020. CFD letters computational fluid dynamic (CFD) analysis of parachute canopies design for aludra SR-10 UAV as a parachute recovery systems (PRS), **CFD Letters**, 12 (2): 46–57.
65. Parachute, New World Encyclopedia. (Web page: <https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Parachute>), (Date accessed: April, 2024).
66. Different parachute types: Styles of canopy for skydiving. (Web page: <https://awe365.com/a-summary-of-different-parachute-types/>), (Date accessed: April, 2024).
67. Accorsi, M., Leonard J., Benney R., Stein K., 2000. Structural modeling of parachute dynamics, **AIAA Journal**, 38 (1): 139–146.
68. Parachute Types, Long Island Skydiving Center. (Web page: <https://www.longislandskydiving.com/blog/what-parachute-types-are-there/>), (Date accessed: April, 2024).
69. Szafran, K. S., Kramarski, I., 2019. Fatigue Degradation of the Ram-Air Parachute Canopy Structure, **Fatigue of Aircraft Structures**, 2019 (11):103–112.
70. Mkrtchyan, H., Johari, H., 2011. Detailed aerodynamic analysis of ram-air parachute systems in steady flight, *21st AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference and Seminar*, May 2011.
71. Çitoğlu, F., Esi, B., 2017. Parachute fabric and its manufacturing process, **International Journal of Science Environment and Technology**, 6 (5): 3214–3224.
72. “How parachute is made, material, manufacture, making, history, used, parts, components, structure, machine, History. (Web page:

- <https://www.madehow.com/Volume-5/Parachute.html>), (Date accessed: April, 2024).
73. Poynter, D., 1991. The parachute manual a technical treatise on aerodynamic decelerators, Para Publishing, .Fourth edition. Santa Barabra, CA, USA.
 74. Nie, S., Yu, L., Sun, Z., Wu, Z., 2022. Analytical model for the air permeability of parachute fabric and structure parameters sensitivity analysis. **Journal of the Textile Institute**, **113** (5): 761–768.
 75. Ariyanto, M., Setiawan, J. D., Prabowo, T., Haryanto, I., Munadi, 2018. Design of a low-cost fixed wing UAV. *MATEC Web of Conferences*, vol. 159, 30 March 2018.
 76. Dantsker, O. D., Caccamo, M., Deters, R. W., Selig, M. S., 2022. Performance testing of apc electric fixed-blade uav propellers, *AIAA AVIATION 2022 Forum, American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 20 January 2022.
 77. Barnhart, R. K., Marshall, D. M., Shappee, E., 2021. Introduction to unmanned aircraft systems. CRC Press, Third editon, 525pp.
 78. The cube black, copter documentation. (Web page: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-thecube-overview.html>), (Date accessed: April, 2024).
 79. Hex cube black flight controller, PX4 Guide (main). (Web page: https://docs.px4.io/main/en/flight_controller/pixhawk-2.html#where-to-buy), (Date accessed: April, 2024).
 80. Electronic speed control (ESC) : circuit, types, working & its applications. (Web page: <https://www.elprocus.com/electronic-speed-control-esc-working-applications/>), (Date accessed: April, 2024).
 81. What is an electronic speed controller & how does an ESC work, Tyto Robotics. (Web page: <https://www.tytorobotics.com/blogs/articles/what-is-an-esc-how-does-an-esc-work>), (Date accessed: April, 2024).
 82. What is the difference between a brushless and a brushed motor? (Web page: <https://www.powerelectric.com/motor-resources/motors101/what-is-the->

- difference-between-a-brushless-and-a-brushed-motor**), (Date accessed: April, 2024).
83. How brushless motors work & how to test them, tyto robotics. (Web page: **https://www.tytorobotics.com/blogs/articles/how-brushless-motors-work?_pos=1&_sid=6a3195235&_ss=r**), (Date accessed: April, 2024).
 84. Kekre, A., How to choose radio transmitter and receiver, medium. (Web page: **<https://medium.com/@kekreaditya/how-to-choose-radio-transmitter-and-receiver-10f8fa93eca2>**), (Date accessed: April, 2024).
 85. Drone transmitter and receiver guide,robocraze. (Web page: **<https://robocraze.com/blogs/post/drone-transmitter-and-receiver-guide>**), (Date accessed: April, 2024).
 86. JumperRC. (Web page: **<https://www.jumper-rc.com/>**), (Date accessed: April, 2024).
 87. Vasylenko, M. P., Karpyuk, I. S., 2018. Telemetry system of unmanned aerial vehicles. **Electronics and Control Systems**, 3 (57): 95-100.
 88. Nasution, T., Siregar, H., Yasir, I., 2017. UAV telemetry communications using zigbee protocol, *International Conference on Materials Physics and Mechanics*, Institute of Physics Publishing, 23 July 2017, Langkawi, Malaysia
 89. Support resources. (Web page: **<https://hub.digi.com/support/products?type=documentation>**), (Date accessed: April, 2024).
 90. Choosing a ground station, plane documentation. (Web page: **<https://ardupilot.org/plane/docs/common-choosing-a-ground-station.html>**), (Date accessed: April, 2024).
 91. QGroundControl user guide, QGC guide (master). (Web page: **<https://docs.qgroundcontrol.com/master/en/qgc-user-guide/>**), (Date accessed: April, 2024).
 92. Richard nakka's experimental rocketry site. (Web page: **<https://www.nakka-rocketry.net/paracon.html>**), (Date accessed: May, 2024).

93. Fruity Chutes Inc, fixed wing recovery bundle, 7lb (3.2kg) @ 15fps. (Web page: <https://shop.fruitychutes.com/collections/fixed-wing-bundle/products/fixed-wing-recovery-bundle-7lbs-3-2kg-15fps>), (Date accessed: April, 2024).
94. Fruity Chutes Inc, fixed wing recovery bundle, 3.9lb (1.8kg) @ 15fps. (Web page: <https://shop.fruitychutes.com/collections/fixed-wing-bundle/products/fixed-wing-recovery-bundle-3-9lbs-1-8kg-15fps>), (Date accessed: April, 2024).
95. Drone parachute, 58 V2, mars parachutes. (Web page: <https://www.aeroexpo.online/prod/mars-parachutes/product-185948-34353.html>), (Date accessed: April, 2024).
96. Fruity Chutes Inc, harrier 40-42 drone parachute bundle, 2.5kg at 4.6m/s. (Web page: <https://shop.fruitychutes.com/collections/drone-and-uav-parachute-recovery/products/harrier-40-42-drone-parachute-bundle-2-5kg-4-6m-s>), (Date accessed: April, 2024).
97. Fruity Chutes Inc, Skycat Recovery Bundle, 5.5lb (2.5kg) @ 15fps -. (Web page: <https://shop.fruitychutes.com/collections/skycat-launchers-2-5-kg-to-20-kg/products/skycat-recovery-bundle-5-5-lbs-2-5kg-15fps>), (Date accessed: April, 2024).

ÖZGEÇMİŞ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimler Enstitüsü	2024
Lisans	EÜ S.H.Y.O. Uçak Elektrik- Elektronik	2016
Lise	Turgut Özal Anadolu Lisesi, MALATYA	2010

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2020- Halen	Kapadokya Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2019–2020	Yükselen Kanatlar M.T.A.L	Öğretmen
2017-2019	Türk hava Yolları Teknik A.Ş	Uçak Teknisyeni

YABANCI DİL

İngilizce