

**HAVA HARP OKULU
HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKTİF KONTROLLÜ FAYDALI YÜK TAŞIMA SİSTEMLERİNİN GÜDÜM,
KONTROL VE NAVİGASYON AÇISINDAN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sertaç KİRAZ

Uzay Bilimleri Anabilim Dalı Başkanlığı

Uydu Teknolojileri Programı

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Gökhan İNALHAN

MAYIS 2013



**HAVA HARP OKULU
HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ
ENSTİTÜSÜ**



**AKTİF KONTROLLÜ FAYDALI YÜK TAŞIMA SİSTEMLERİNİN GÜDÜM,
KONTROL VE NAVİGASYON AÇISINDAN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sertaç KİRAZ

(511105)

Uzay Bilimleri Anabilim Dalı Başkanlığı

Uydu Teknolojileri Programı

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Gökhan İNALHAN

31 Mayıs 2013

Hava Harp Okulu, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsünün 511105 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, **Sertaç KİRAZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**AKTİF KONTROLLÜ FAYDALI YÜK TAŞIMA SİSTEMLERİNİN GÜDÜM, KONTROL VE NAVİGASYON AÇISINDAN İNCELENMESİ**” başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç.Dr. Gökhan İNALHAN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof.Dr. İbrahim ÖZKOL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof.Dr.Hv.Müh.Alb. Abdurrahman HACIOĞLU

Hava Harp Okulu

Teslim Tarihi : **31 Mayıs 2013**

Savunma Tarihi : **26 Haziran 2013**

Bu tez çalışmasında belirtilen görüş ve yorumlar yazara aittir. Türk Silahlı Kuvvetleri'nin ya da diğer kamu kuruluşlarının görüşlerini yansıtmaz. Ayrıca bu tez çalışması bilimsel ahlak ve etik değerler uygun olarak yazılmış olup, yararlanılan tüm eserler kaynaklarda gösterilmiştir.

Mayıs 2013

Sertaç KİRAZ

ÖNSÖZ

Tez çalışmasının başlangıcından itibaren tüm yoğun çalışmalarının arasında bana zaman ayırarak elinden gelen her şekilde yardımcı olan hocam Sayın Doç. Dr. Gökhan İNALHAN'a, paraşüt konusunda Türk Hava Kurumu İnönü Eğitim Merkezi Başkanlığı'nda 2 gün boyunca yerinde eğitim veren paraşüt öğretmen ve idarecilerine, çalışmalarım esnasında beni Ankara ofisinde misafir ederek, yabancı firmalarla her türlü konuda işbirliği yapmamı sağlayan İleri Tedarik Teknolojileri Temsilcilik ve Dış Tic. Ltd. Şti sahibi Sayın Nazan KONUK Hanım'a, tanıdığım ilk günden itibaren her türlü konuda bana cesaret vererek desteğini ve hoşgörüsünü esirgemeyen biricik eşim Makbule KİRAZ'a sonsuz teşekkürler.

Mayıs 2013

Sertaç KİRAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Paraşütün Tarihçesi ve Genel Bilgi.....	1
1.2 Sistem Entegre Yapısı ve Çalışma Prensibi	5
1.2.1 Sistem entegre yapısı.....	5
1.2.2 Sistem çalışma prensibi.....	6
1.3 Önceki Çalışmalar ve Literatür Araştırması	11
1.3.1 HDT Global Airborne Systems.....	11
1.3.1.1 FireFly™	12
1.3.1.2 MicroFly™	14
1.3.1.3 2KIT™	17
1.3.1.4 DragonFly™	18
1.3.2 MMIST Sherpa.....	22
1.3.2.1 Sherpa Provider.....	22
1.3.2.2 Sherpa Ranger	24
1.3.3 Wamore	26
1.3.3.1 Ultrafly	26
1.3.4 Uçman Havacılık.....	27
1.3.4.1 Kuzgun 150 kumandalı kargo paraşüt sistemi	27
1.4 TURAF Sistem.....	30
2. SİSTEME GENEL BAKIŞ.....	31
2.1 Görevin Amaçları.....	31
2.2 Gereksinim ve Kısıtlar	32
2.2.1 Gereksinimler.....	32
2.2.2 Kısıtlar.....	34
2.3 Sonuçlar.....	35
2.4 Görev Karakterizasyonu.....	35
2.4.1 Uygulanabilir konseptler (kavramlar)	36
2.4.1.1 Konsept 1	37
2.4.1.2 Konsept 2	38
2.4.1.3 Konsept 3	38
2.4.1.4 Konsept 4	39
2.4.1.5 Konsept 5	39
2.5 TURAF Sistemi Uygunabilir Tasarım Konsepti	39

3. AKTİF KONTROLLÜ FAYDALI YÜK TAŞIMA SİSTEMİ.....	41
3.1 GÜDÜM KONTROL VE NAVİGASYON SİSTEMİ.....	42
3.2 SERVO MOTORLAR VE KONTROL ÜNİTESİ.....	47
3.2.1 Servo motorlar.....	47
3.2.2 Servo motor sürücüsü.....	48
3.2.3 Servo motor ve kontrol ünitesi önerisi	50
3.3 UYDU KONUMLAMA SİSTEMİ	54
3.3.1 Uydu konumlama sistem önerisi	56
3.4 INERTIAL MEASUREMENT UNIT (IMU)	59
3.4.1 IMU önerisi	59
3.5 AIR DATA PROBE.....	61
3.5.1 Hava hızı sensörü önerisi	62
3.6 UÇUŞ YÖNETİM BİLGİSAYARI	63
3.6.1 Uçuş yönetim bilgisayarı önerisi	66
3.7 ALICI-VERİCİ	67
3.7.1 Alıcı-verici-1 önerisi	67
3.7.2 Alıcı-verici-2 ve kamera önerisi.....	68
3.8 LAZER ALTİMETER.....	70
3.8.1 Lazer altimetre önerisi.....	71
3.9 DEVRE SEÇİCİ (MULTIPLEXER).....	72
3.9.1 Devre seçici önerisi	73
4. AKTİF KONTROLLÜ FAYDALI YÜK PARAŞÜT SİSTEMLERİNDE RÜZGAR BİLGİSİ	75
4.1 Dropsonde nedir?	77
4.2 Rüzgar Bilgisinin Elde Edilme Metodları	79
4.3 Rüzgar Bilgisi Doğruluğunun Geliştirilmesi.....	81
5. TURAF SİSTEM TEDARİK PROJE PLANI	83
5.2 Alt Sistem Bazında Tedarik Planı	83
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
6.1 Sonuçlar.....	89
6.2 Öneriler.....	91
KAYNAKLAR.....	93
EKLER.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	99

KISALTMALAR

AC	: Alternative Current
AGU	: Airborne Guidance Unit
CARP	: Calculated Air Release Point
CoCom	: Coordinating Committee for Multilateral Export Controls
CPU	: Central Processing Unit
DC	: Direct Current
dGPS	: Differential Global Positioning System
EMC	: Electromagnetic compatibility
EMI	: Electromagnetic Interference
ESD	: Electrostatic Discharge
GKS	: Gdm Kontrol Sistemi
GNSS	: Global Navigation Satellite Systems
GPS	: Global Positioning System
HAHO	: High Altitude High Opening
HALO	: High Altitude Low Opening
IMU	: Inertial Measurement Unit
IP	: Impact Point
JAAWIN	: Joint Air Force and Army Weather Information Network
JPADS	: Joint Precision Aerial Delivery Systems
LAAS	: Local Area Augmentation System
MIL-STD	: Military Standarts
MP	: Mission Planner
PADCAT	: Precision Airdrop Technology Conference and Demonstration
PADS	: Precision Airdrop System
RC	: Radio Controlled
RF	: Radio Frequency
SAASM	: Selective Availability Anti-Spoofing Module
TUSAŞ	: Türk Havacılık ve Uzay Sanayii Anonim Őirketi
TURAF	: Turkish Air Forces
US GOES	: United States Geostationary Operational Environmental Satellite
UYB	: Uçuş Yönetim Bilgisayarı
WAAS	: Wide Area Augmentation System

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 : FireFly sistem özellikleri.....	14
Çizelge 1.2 : MicroFly sistem özellikleri.....	16
Çizelge 1.3 : MicroFly güdüm kiti özellikleri.....	16
Çizelge 1.4 : MicroFly uzaktan güdüm kiti özellikleri.....	17
Çizelge 1.5 : 2K1T sistem özellikleri.....	18
Çizelge 1.6 : DragonFly sistem özellikleri.....	20
Çizelge 1.7 : Airborne sistemleri karşılaştırma tablosu.....	21
Çizelge 1.8 : Sherpa ranger ve provider özellik karşılaştırması.....	25
Çizelge 1.9 : Kuzgun 150 sistem özellikleri.....	28
Çizelge 1.10: Mevcut sistemlerin TURAF ihtiyaçları ile karşılaştırılması.....	29
Çizelge 3.1 : DC motor özellikleri.....	51
Çizelge 3.2 : Dişli kutusu özellikleri.....	52
Çizelge 3.3: Encoder özellikleri.....	53
Çizelge 3.4 : Motor sürücüsü özellikleri.....	54
Çizelge 3.5 : Uydu konumlama sistemi alıcısı özellikleri.....	57
Çizelge 3.6 : Uydu konumlama sistemi anten özellikleri.....	58
Çizelge 3.7 : IMU özellikleri.....	61
Çizelge 3.8 : Hava hızı sensörü özellikleri.....	63
Çizelge 3.9 : UYB özellikleri.....	66
Çizelge 3.10 : Alıcı-verici-1 özellikleri.....	68
Çizelge 3.11 : Kamera özellikleri.....	69
Çizelge 3.12 : Alıcı-verici-2 özellikleri.....	70
Çizelge 3.13 : Lazer mesafe ölçer özellikleri.....	72
Çizelge 4.1 : Tahmin edilen ile gerçek rüzgar şiddetinin karşılaştırılması.....	76
Çizelge 4.2 : Sherpa Provider™ rüzgar şartları ve sonuçlar.....	76
Çizelge 5.1 : Alt sistem tedarik analizi.....	84

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 : Abbas Kasım İbn Firnas'ın bir çizimi.....	2
Şekil 1.2 : İtalyan Leonardo da Vinci'nin 1485 yılında tasarladığı paraşüt.....	3
Şekil 1.3 : Sistem entegre yapısı.....	5
Şekil 1.4 : Sistem entegre yapısı.....	6
Şekil 1.5 : Sistem çalışma prensibi.....	9
Şekil 1.6 : Firely.....	13
Şekil 1.7 : MicroFly.....	15
Şekil 1.8 : 2K1T.....	17
Şekil 1.9 : DragonFly.....	19
Şekil 1.10 : DragonFly uzaktan kontrol ünitesi.....	20
Şekil 1.11 : Sherpa provider özellikleri.....	23
Şekil 1.12 : Sherpa ranger.....	24
Şekil 1.13 : Ultrafly.....	26
Şekil 1.14 : Kuzgun 150 kargo paraşüt sistemi (havada).....	27
Şekil 1.15 : Kuzgun 150 kargo paraşüt sistemi (yerde).....	28
Şekil 3.1 : Örnek bir AGU ve çantalanmış paraşüt.....	41
Şekil 3.2 : Güdüm, kontrol ve navigasyon sistemi yapısı.....	44
Şekil 3.3 : Güdüm, kontrol ve navigasyon sisteminin alt bileşenleri.....	45
Şekil 3.4 : Blok diyagram ve hiyerarşik yapılanma.....	46
Şekil 3.5 : Servo motor çalışma diyagramı.....	47
Şekil 3.6 : Servo motor sürücüsü çalışma diyagramı.....	48
Şekil 3.7 : Makara sisteminin çalışması.....	50
Şekil 3.8 : Maxon RE 40 Ø40 mm, Graphite Brushes, 150 Watt.....	51
Şekil 3.9 : Maxon GP 42 C Ø42 mm, 3 - 15 Nm, Ceramic Version.....	52
Şekil 3.10 : Maxon MR, Type L, 1024 CPT.....	53
Şekil 3.11 : Maxon EPOS2 70/10, Digital positioning controller.....	53
Şekil 3.12 : JPADS'lerin hareket sahasında kullanımı.....	55
Şekil 3.13 : Novatel OEMV-2™.....	56
Şekil 3.14 : Novatel GPS-701-GG.....	58
Şekil 3.15 : IMU çayro ve akselometre.....	59
Şekil 3.16 : Xsense IMU, MTi 10.....	60
Şekil 3.17 : Pito-statik sistemi.....	62
Şekil 3.18 : Flytec paragliding hava hızı sensörü.....	62
Şekil 3.19 : Otopilot sistemine genel bakış.....	64
Şekil 3.20 : DragonFly™ uçuş yolu.....	65
Şekil 3.21 : The phyCARD-M-i.MX35.....	66
Şekil 3.22 : Spectra 920A.....	67
Şekil 3.23 : Kamera.....	69
Şekil 3.24 : RV-M9-U.....	70
Şekil 3.25 : Opti-Logic RS800 modülü.....	71
Şekil 3.26 : Multiplexer fonksiyon şeması.....	72
Şekil 3.27 : Multiplexer entegrasyonu.....	73

Şekil 4.1 : Onyx UL sistemi uçuş yolu	77
Şekil 4.2 : NCAR dropsonde sistemi	78
Şekil 4.3 : Dropsonde.....	79
Şekil 4.4 : US GOES uyduları görüntüsü	80
Şekil 4.5 : METEOSAT görüntüsü.....	81

AKTİF KONTROLLÜ FAYDALI YÜK PARAŞÜT SİSTEMLERİNİN GÜDÜM, KONTROL VE NAVİGASYON AÇISINDAN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde dünyanın önde gelen ileri teknoloji sahibi güçlü orduları operasyon sahasından insan faktörünü çıkartarak daha etkin ve kayıp oranı daha düşük görevler icra etme çabası içerisinde dirler. Buna paralel olarak her türlü insansız araç geliştirilmekte ve artık hemen hemen hareketin her alanında bu insansız araçları kullanabilmektedirler. İnsansız hava araçları ise bir hava unsuru olduğundan hareket şartlarında kuvvet çarpanı olarak çok büyük değere sahiptir. Bu çalışmada son zamanlarda dünya ordularının hareket sahasında etkinlikle kullanmaya başladığı Aktif Kontrollü Faydalı Yük Paraşüt Sistemleri (JPADS) incelenerek, yerli imkanlarla İHA ve UYDU üretebilen ülkemizde söz konusu sistemlerin aynı şekilde üretilip üretilmeyeceği tartışılmıştır. Çalışmalar esnasında bir çok tedarikçi ve asıl firma ile temasa geçilmiş, yurt içerisinde kendi imkanları ile bu sistemi prototip olarak üretilip test uçuşları yapmaya çalışan kişilerle temaslar kurulmuştur. Bu tez Aktif Kontrollü Faydalı Yük Paraşüt Sistemlerinin güdüm, kontrol ve navigasyon sisteminin nasıl olabileceği hakkında sistem mühendisliği yaklaşımı ile ilgili bilgiler içermektedir. Çalışmalar göstermiştir ki şu an kullanılmakta olan Aktif Kontrollü Faydalı Yük Paraşüt Sistemleri ülkemizde çeşitli imkan ve kabiliyetler sahip özel ve tüzel kuruluşların organize edilmesi ve üniversitelerde bu tür sistemler üzerine çalışmalar yürüten değerli hocalarımızın katkısı ile yerli olarak imal edilebilir.

A STUDY OF THE ACTIVE CONTROLLED USEFUL LOAD PARACHUTE SYSTEMS IN TERMS OF GUIDANCE, CONTROL AND NAVIGATION

SUMMARY

Nowadays, the world's leading powerful armies are trying to perform duties more efficiently and with a lower rate of losses of human resources by excluding human factor from operation areas. To end that, any kind of un manned vehicle is being tried to be produced and those vehicles can almost be used in each phase of operations. Being an air component, unmanned air vehicles are of great value as a force multiplier in operation conditions. In this study, the active controlled useful load parachute system (JPADS) started to used efficiently in operation areas by world's leading armies has been examined, and it has been discussed wheter those systems can be produced in our country in which certain unmanned aero vehicles (IHA) and satellites can already be produced by local means. During our research, we got in contact with several supplirs, firms, and third persons trying to produce prototype models and make check flights with them. This thesis includes information about the approach of systems engineering explaining direction, control and navigation systems of JPADS. The study shows that JPADS can also be produced nationally in Turkey in the event of that certain private and legal entities having the relevant means and capacities are organized and some esteemed teachers searching on this kind of systems at universities contribute to the studies.

1. GİRİŞ

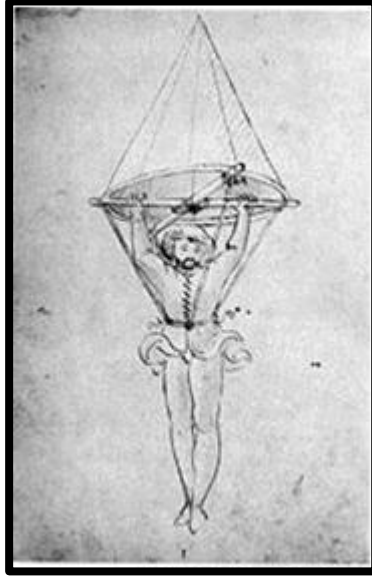
Günümüzde teknolojinin herhangi bir alanında ar-ge çalışmasına başlanılmadan önce, mevcut çalışmaların, kullanılan teknolojinin ve bu çalışmalar sonucunda elde edilen ürünlerin neler olduğunu araştırmak başlangıç için oldukça önemlidir. Buradan hareketle, Türk Hava Kuvvetlerinin ihtiyaçlarına cevap verebilecek “Aktif Kontrollü Faydalı Yük Paraşüt Sistemi” tasarımına başlamadan önce, havacılık ve uzay sektöründe öne çıkan bazı firmaların sistemlerine kısaca göz atmak faydalı olacaktır.

Bu kapsamda çalışmanın birinci bölümünde paraşütün tarihi safahati ve genel çalışma prensipleri ile kullanım alanlarına değinilecek, sonrasında ise HDT Global Airborne Systems, MMIST, Wamore ve Uçman Havacılık firmalarının tasarladığı sistemler üzerinde durulacaktır.

1.1 Paraşütün Tarihçesi ve Genel Bilgi

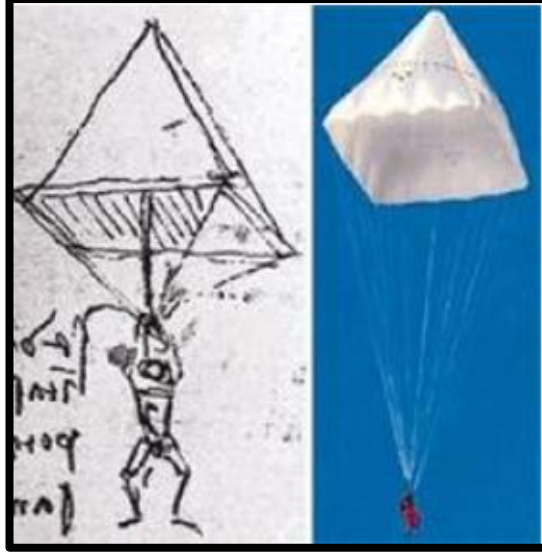
Yerçekimi kuvveti havadan yeryüzüne doğru düşmekte olan cisim üzerinde etkili olmaktadır. Bu etki düşen cismin hızını artıracak şekildedir. Cismin hızı arttıkça doğru orantılı olarak havanın direnci de artar. Cisim üzerinde etkili olan yer çekimi kuvveti söz konusu hava direnci ile eşit olana kadar cismin düşüş hızı artarak devam eder, eşitlik sağlandığında ise cismin düşüş hızı sabitlenir ve cisim bu hız ile yeryüzüne düşer. Bu hız havadan yere düşen cismin son hızı olarak ifade edilir. Son hız ile cisim yoğunluğu arasında doğru orantı bulunmaktadır. Havadan yeryüzüne atlayış yapan bir canlının kütlesi artırılmadan, ilave teçhizat ile düşüş anında karşılaşacağı hava direnci artırılabilir. Artan hava direncine paralel olarak son hızı azaltılabilir ve canlı düşük hızlarda emniyetli bir şekilde yere iniş yapabilir. İşte son hızı azaltmak amacıyla ilave olarak kullanılan bu teçhizata “paraşüt” adı verilmektedir.

Paraşütün eski tarihlerde kullanımına bakılacak olursa; Arap mucit Abbas Kasım İbn Firnas'ın M.S. 810-887 yılları arasında paraşüte benzeyen alet kullandığına dair kayıtlarla karşılaşılacaktır (Şekil 1.1).[1] Çin'de bulunan kayıtlarda ise 1306 yılında tahta çıkan Çin imparatorunun onuruna Pekin'de bir cambazın yüksek bir yerden atlayış yaptığı belirtilmektedir. İtalyan sanatçı Leonardo da Vinci 1452-1519 yılları arasında bir paraşüt tasarımı yapmış ve piramit şeklindeki bir çadırın altına iplerle bağlanmış insan taslağı çizmiştir. (Şekil 1.2). [1]



Şekil 1.1 : Abbas Kasım İbn Firnas'ın bir çizimi.

Güneş'ten korunmak amacıyla kullanılan şemsiyeden esinlenen insanlar paraşütün günümüzde kullanıldığı şekle benzer bir yapıyı ortaya koymuştur. Fransız baloncu Joseph Montgolfier'in 1770'lerde bir kuleden paraşütle canlı koyunu aşağıya bırakması, Louis Sebastien Lenormand'ın 1783'te bir kuleden paraşütle atlaması ve Jean Pierre Blanchard'ın 1785'te balondan bir köpeği paraşütle aşağı atması, şemsiye şeklindeki paraşüt kullanımının tarihteki örnekleridir. Ardından Andre Jacques Garnerin 1797'de paraşüt kullanarak Paris'in üzerinden balondan atlaması kendisine bu alandaki en başarılı atlayış gerçekleştiren ilk kişi olma ünvanını kazandırmıştır. İnsanların merakına bağlı olarak gerçekleştirilen atlayış denemeleri ile balondan paraşütle atlamak 19'uncu yüzyılda insanlar tarafından çok sevilen bir eğlence haline gelmiştir.



Şekil 1.2 : İtalyan Leonardo da Vinci'nin 1485 yılında tasarladığı paraşüt.

Tarihte şemsiyeye benzeyen ve kubbe tipi olarak bilinen paraşütler en iyi performansı veren paraşütler olarak nitelendirilmektedir. Bu tarz bir kubbe tipi paraşüt ilk olarak 1880 yılı civarında dizayn edilmiştir. Kubbe tipi paraşütler, atlayış sonrasında çantadan çıkarılarak ya da atlayış öncesi açılarak kullanılmaktaydı. Bu atlayışlarda meydana gelen sıkıntıları farkederek Amerikalı L. Stevens 1908 yılında farklı tarzda atlayışlar denemiştir. Atlayış yapan kişinin belirli bir süre serbest düşme gerçekleştirdikten sonra bir çanta içinde yanında taşıdığı kubbeye bağlı ipi çekerek paraşütü açma yöntemi bunlardan bir tanesidir.

Bu zamana kadar yüksek bir yerden ya da balondan atlamak suretiyle gerçekleştirilen atlayışlar, bu tarihten sonra yerini uçaktan atlayışa bırakmıştır. Bu alanda ABD'li Yüzbaşı Albert Berry uçaktan paraşütle ilk başarılı atlayışı gerçekleştiren kişi olarak 1912 yılında kayıtlara geçmiştir.

Paraşütün muharebe alanında kullanılması I. Dünya Savaşı'nda balon mürettebatına ve pilotlara temin edilmesi ile başlamıştır. 1918 yılında Floyd Smith tarafından havada ipi çekilerek serbest bırakılan tipteki çantalı paraşütlerin patenti alınarak pilotların ve mürettebatın acil durumlarda uçaktan kurtulma aracı olarak kullanılması fikri doğmuştur. Leslie Irvin tarafından ise bu paraşütler geliştirilerek dünya çapında kullanımı yaygınlaştırılmıştır.

Paraşütün II. Dünya Savaşı yıllarındaki gelişimine bakıldığında ise geliştirilen uçuş mürettebatının paraşüt yardımıyla kazalardan kurtuldukları anlaşılmaktadır. Bu dönemlerdeki üstünlük savaşları ve gelişen teknoloji karşısında uçaklar da gelişim sürecine girmiş ve yüksek hızlara ulaşabilen makinalara dönüşmüşlerdir. Ancak yaşanan acil durumlarda pilotların böylesine yüksek hızlı uçaklardan bu tarz paraşütlerle kurtulamaması, insanları paraşüt teknolojisinde yeni arayışlara yönlendirmiştir. II. Dünya Savaşı'nın etkili güçlerinden biri olan Almanya bu konuda çalışmalarını hızlandırmış ve bazı avcı uçaklarında yaylı bir mancınık düzeneği kullanmaya başlamıştır. Ancak yaşanan mekanik aksaklıklar pilot koltuğu altına yerleştirilen fişeklerin ateşlenmesi ile koltuğun uçak dışına fırlatılmasının en iyi çözüm olduğunu ortaya koymuştur. İhtiyaç halinde pilotu uçaktan ayıran bu sisteme sahip fırlatma koltukları ilk kez İngiltere'de geliştirilmiş olup, günümüzde otomatik olarak çalışmaktadır.[1, 2]

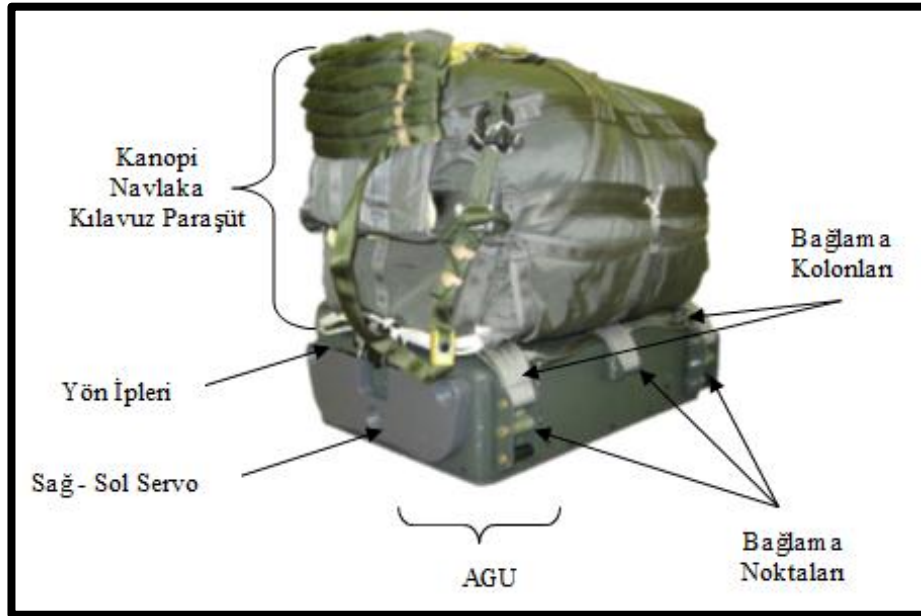
Havacılık sektöründeki gelişmelere paralel olarak paraşütlerin kullanım alanları da yaygınlaşmaktadır. Örneğin, yüksek iniş hızına sahip jet uçakları, pist başına teker koyduktan sonra duruncaya kadar uzun mesafe katetmektedir. Bu mesafenin olabildiğince kısa olması için, F-4 gibi bazı uçaklar frenleme yaparak yavaşlamayı sağlayan paraşütlerle donatılmıştır. Paraşütün uzay alanında kullanımına en güzel örnek ise görevini tamamlayarak Dünya'ya dönen uzay araçlarıdır. Yüksek süratlerde atmosfere girerek yere yaklaşan bu araçlarda yavaşlayarak güvenli bir biçimde yere inilmesi için diğer yapılara ilave olarak paraşütler kullanılmaktadır.

Paraşütçülük havacılık alanında sürekli ilgi görmüş ve kısa zamanda insanlar tarafından üzerinde araştırma yapılan bir spor dalı haline gelmiştir. Uçurtma üreticisi Domino Jalbert tarafından tasarlanan sportif paraşüt 1970'li yıllarda yoğun ilgi görmüştür.[2] Daha önceden konumu bilinen bir hedefin üzerine yüksek doğrulukla inebilmeyi amaçlayan aktif kontrollü faydalı yük taşıma sistemi konseptinde özel tasarım paraşütler geliştirilmiştir. Söz konusu paraşütler, insansız hava aracı kategorisinde olup, uzaktan kumada ve konumlama sistemi yardımıyla otonom olarak hareket etmektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte son zamanlarda çeşitli sistemlerle donatılmış özel tasarımı ileri teknoloji kullanan bu paraşütler ordu ve sivil toplum örgütleri tarafından lojistik ihtiyaçları havadan belirli bir irtifa ve mesafeden insansız olarak ulaştırmak için kullanılmaya başlanmıştır. Devam eden bölümde, bu sistemlerin çalışma prensibi ile üretimini ve geliştirilmesini yapan bazı önde gelen havacılık firmalarının paraşüt sistemleri incelenecektir.

1.2 Sistem Entegre Yapısı ve Çalışma Prensibi

1.2.1 Sistem entegre yapısı



Şekil 1.3 : Sistem entegre yapısı.

Kanopi katlanmış halde navlaka içerisinde bulunmaktadır. Navlakanın ucunda ilk olarak açılmak üzere hazır bulunan kılavuz paraşütü mevcuttur. Kanopi riserlar (bağlama kolonları) vasıtası ile 4 noktadan bağlanarak AGU üzerine yerleştirilmektedir. Riserlar birleşme noktalarından geçerek yüke bağlanırlar. Böylece riserlar doğrudan yükü taşımakta, bunun yanı sıra AGU'yu 4 noktadan dengelemektedir. Sistem entegre yapısı (Şekil 1.3) ve (Şekil 1.4) 'te gösterilmiş olup AGU üzerine herhangi bir yük binmemektedir. [3, 4]



Şekil 1.4 : Sistem entegre yapısı.

1.2.2 Sistem çalışma prensibi

Sistemin bir bütün halinde uçaktan atılarak yeryüzüne temas edene kadar geçecek süre içerisinde takip edilen işlem adımları Şekil 1.5'te belirtilmiştir. [4]



Paraşüt, yük ve kontrol ünitesi birbirine irtibatlandırılmış şekilde serbest bırakılır.



İlk önce kılavuz paraşüt açılır, bu esnada sistem düşüşe devam eder.



Kılavuz paraşütün dolması ile birlikte navlaka içindeki kanopi serbest kalır.

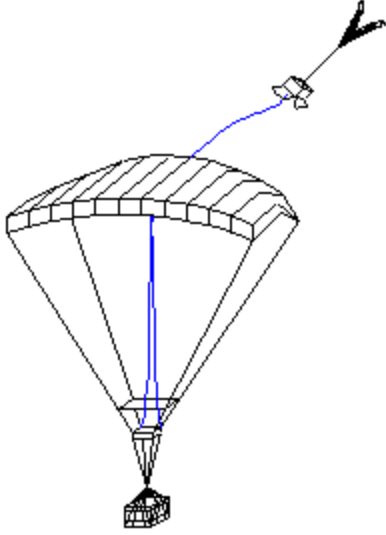


Kılavuz paraşüt ve navlaka AGU'ya irtibatlandırılmış halde kalır.

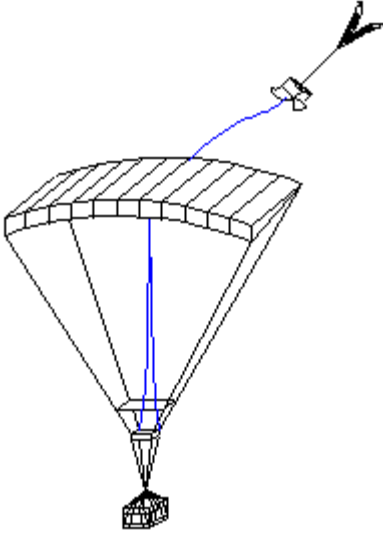


Kılavuz paraşüt sönmüş bir vaziyette kalır.

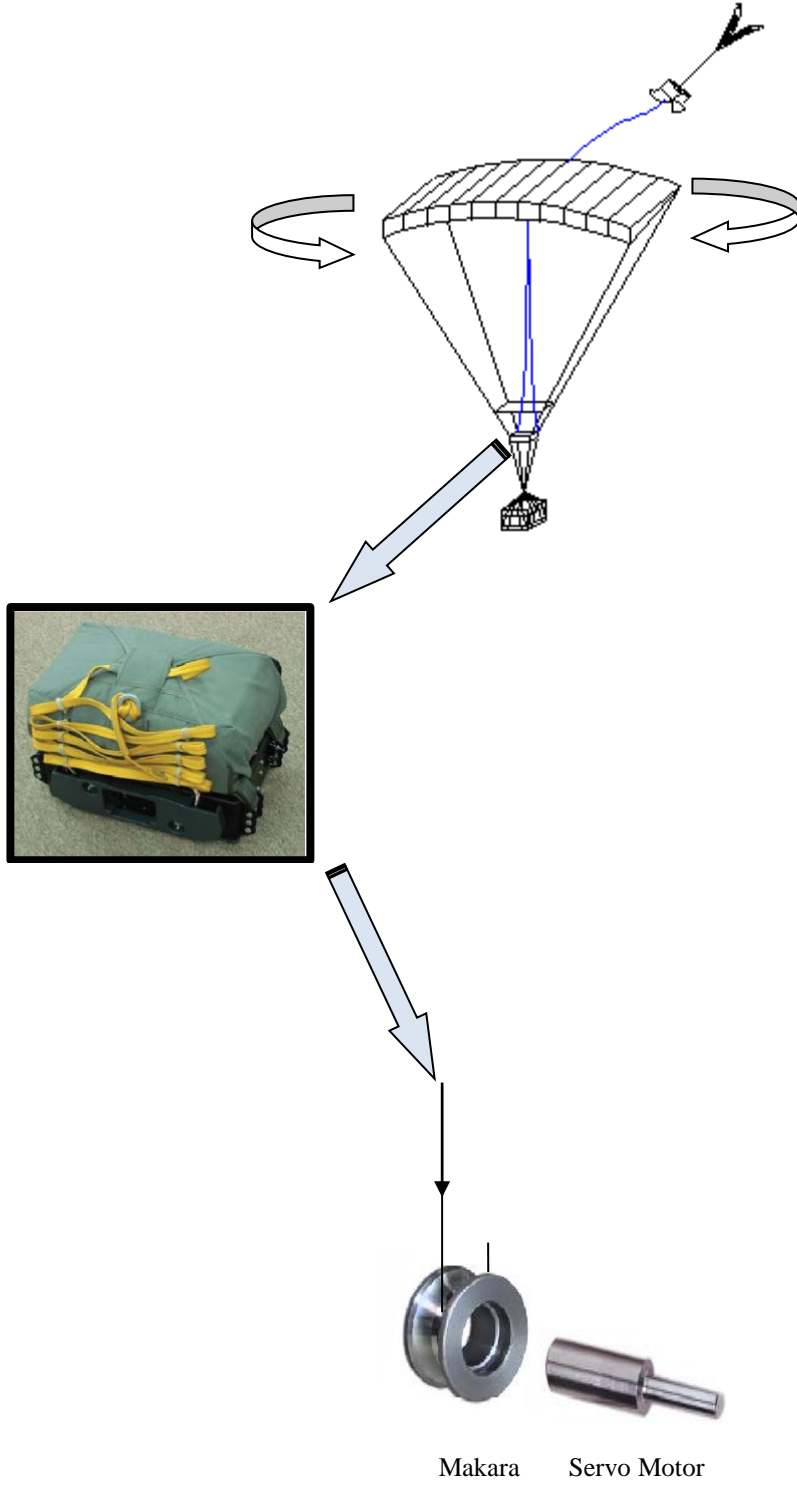
Kanopi dolmadan önce slider üst tarafta açılmaya hazırdır.



Kanopinin dolması esnasında iplerin gerilmesi ile beraber slider aşağıya doğru açılarak şok etkisi sonucu kanopinin patlamasını ve iplerin karışması engellemektedir.



Kanopi tam dolduktan sonra sistem AGU tarafından otonom kontrollü hareket için hazır hale gelmektedir.



Şekil 1.5 : Sistem çalışma prensibi.

Kanopinin yön ve fren ipleri AGU'nun sağ ve sol taraf iç kısmında bulunan makaralara irtibatlandırılmıştır. Bu makaralar AGU içerisinde bulunan servo motorlara irtibatlandırılmıştır.

Uzaktan radyo kontrolü ya da koordinatların GPS üzerinde önceden girilmesi ile otonom olarak görev yaparak paraşüt sistemini istenilen hedef noktasına ulaştırmayı hedefleyen AGU, aldığı komutlar ile servo motorları harekete geçirir.

Servo motorların dönüşü ile birlikte şaft mili vasıtası ile servoya bağlı olan makara dönmeye ve üzerinde bulunan paraşüt yön ipini sarmaya başlar.

Sağ servo motora komut verildiğinde sağ makara sağ yön ipini sarar ve sağa dönüş gerçekleşir.

Buna karşılık sol servo motora komut verildiğinde sol makara sol yön ipini sarar ve sola dönüş gerçekleşir.

Servonun ters komut hareketi ile sarım yapılan makara ilk pozisyonuna gelir, bu sırada sarılan ip de ilk pozisyonunu alır. Bu işlem dönüş bitene kadar sürer. Böylece dönüş işlemi gerçekleşmiş olur.

Her iki servonun aynı anda kumanda alması ile birlikte sağ ve sol makaralar harekete geçerek frenleme yapılır.

1.3 Önceki Çalışmalar ve Literatür Araştırması

1.3.1 HDT Global Airborne Systems

Havadan faydalı yük atma sistemlerini tasarlayan, üreten ve geliştiren, başta ABD ordusu olmak üzere müttefik ülkelerin görev isterlerine cevap vermeyi amaçlayan HDT Global Airborne Systems firması, bünyesinde 45 kg ile 19 ton faydalı yük kapasiteli sistemler bulundurmaktadır.

Airborne Systems firmasına ait otonom çalışan ve sistemin maliyet etkinliğini ekonomik seviyede kılacak teçhizat tasarımları ile havadan atılan yükün istenilen hedef noktasına emniyetli bir şekilde inmesine olanak sağlayan MicroFly™, FireFly™, DragonFly™ ve 2K1T™ olarak tanımlı aktif kontrollü paraşüt sistemleri askeri ve özel operasyonlar, insani yardım kuruluşları ile sivil arama ve kurtarma operasyonlarında son 20 yıldır etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

MicroFly™, FireFly™, DragonFly™ ve 2K1T™ sistemleri 100 lb. (45 kg)'den 10000 lb. (4500 kg)'ye kadar olan yükleri taşıma kabiliyetindedir. Airborne Systems, ayrıca taşıma kapasitesini 40000 lb. (18100 kg)'ye kadar çıkararak MegaFly ve GigaFly sistemlerini de geliştirmektedir. Hepsi ortak bir algoritma, kullanıcı ara yüzü ve görev planlayıcı ile çalışmaktadır. Paketleme metodu bütün sistemler için aynı olup, farklı sistemlere entegrasyonu için çok az ilave eğitim gereklidir.

FireFly™ paraşüt sistemi Amerikan Savunma Bakanlığı tarafından kullanılan 2200 lb (2K, 1000 kg) kapasiteli faydalı yük paraşüt sistemidir. Sistemin güdüm, kontrol ve navigasyon yazılım sistemi gerçek zamanlı olarak çevresel şartları analiz ederek faydalı yükü istenilen noktaya daha hassas bir konumlamaya ile indirebilmektedir. 25000 ft. irtifadan atılabilen sistem, hava koşullarına bağlı olarak 25 km. ve üzeri menzile sahiptir. Uzaktan kumanda ile manuel olarak kontrol edilebilmektedir.

Dragonfly™ paraşüt sistemi Amerikan Savunma Bakanlığı tarafından kullanılan 10000 lb (10K, 4500 kg) kapasiteli tam otonom GPS kontrollü faydalı yük paraşüt sistemidir. Havadan indirme güdüm ünitesi ile (Airborne Guidance Unit, AGU) sistemin konumu 4 saniyede bir hesaplanır, uçuş kontrol algoritması sürekli olarak ayarlanır ve maksimum doğrulukla hedefe ulaşılması sağlanır.

2K1T™ faydalı yük paraşüt sistemi tek kullanımlık ve ram-air tipi düşük maliyetli bir paraşüt sistemidir. FireFly™ sisteminin bir tamamlayıcısı olan 2K1T™, aynı yüksek performans ve kapasite ile çalışmakta olup, kullanıcının paraşütü keserek güdüm kontrol sistemini serbest bırakabilmesine olanak sağlamaktadır. FireFly™ sisteminden farklı olarak paraşütün toplanması, katlanması ve depolanması safhaları olmadığından 2K1T™ sistemi daha hızlı ve hareket kabiliyeti açısından daha gelişmiş bir sistemdir. Diğer Airborne sistemleri gibi Amerikan ordusu tarafından aktif olarak kullanılmaktadır. [4]

1.3.1.1 FireFly™

FireFly™ paraşüt sistemi Şekil 1.6 [6,7] deniz seviyesinden 25000 ft. kadar bırakıldığı irtifadan istenilen noktaya kendi kendine uçabilen bir sistemdir. 2200 lb'ye (1000 kg) kadar faydalı yük ile 25 km.'ye kadar süzülerek 150 m. hata payı ile hedef noktaya iniş yapabilme kabiliyetine sahiptir (Çizelge 1.1).[6, 7] Yatay ve dikey olarak kullanılan bu mesafe, havadan yükü atan ve karadan aynı yükü alan ekip için emniyet mesafesi oluşturarak ekiplerin güvenliğini artırmaktadır. Otonom uçuş kabiliyeti, konuşlanmış kuvvetlerin idamesini sürdürmek için gerekli olan araç trafiğini ve konvoyları azaltarak birliklerin lojistik ihtiyaçlarını maksimum düzeyde karşılamaya olanak sağlar.



Şekil 1.6 : Firely.

FireFly™ sistemi Amerikan 2000 lb. JPADS programı için Amerikan Savunma Bakanlığı tarafından seçilmiş, bugüne kadar binlercesi operasyonel sahada kullanılmış ve belirli ağırlık aralığındaki tüm lojistik isterleri uzak Amerikan kuvvetlerine ulaştırmıştır.

FireFly™ sistemi güdüm, kontrol ve navigasyon yazılımı ile sürekli olarak çevresel şartları analiz etmekte, elde edilen verilerle uçuş algoritmasını saniyede birçok kez optimize ederek çok yüksek bir hedefi tutturma oranı ile hedef noktaya ulaşabilmektedir.

Kullanıcı yalnızca hedef noktanın lokasyon ve faydalı yük ağırlığı bilgilerini sisteme girerek sonuca ulaşabilmektedir. Mevcut rüzgar bilgisi FireFly™ sistemi tarafından sürekli gerçek zamanlı olarak okunmaktadır.

Sistem JPADS görev planyacısının tüm sürümleri ile uyumlu olarak çalışabilmektedir. Ayrıca 802.11 kablosuz arayüzü ile JPADS Görev Planlayıcısı ve Uzaktan Kumanda Ünitesi ile kullanılabilir.

Çizelge 1.1 : FireFly sistem özellikleri.

TEKNİK BİLGİ	
Yük kapasitesi	700 - 2,200 lb (315 kg) - (1.000 kg)
Sistem ağırlığı	167 lb (75 kg)
Kanat açıklığı	56 ft (17 m)
Veter hattı	18 ft (5,5 m)
Hücre sayısı	19
Açılış şoku (maks.)	4.5 g
Maksimum bırakma irtifası	25,000 ft (7620 m)
Minimum bırakma irtifası	3500 ft (1067 m)
Maksimum süzülüş, L/D rüzgârsız	4.0 : 1

1.3.1.2 MicroFly™

MicroFly™ (Şekil 1.7) [8], emniyetten ödün vermeyen ve eğitim gereklerini arttırmadan askeri görev kabiliyetlerini geliştiren, kullanım kolaylığı, esneklik ve düşük maliyet sağlayan, bağımsız bir malzeme ulaştırma sistemidir.

Hem malzemenin hem de atlayıcının yere beraber inmesine imkân sağlamak için, HAHO(Yüksek İrtifa Yüksek Açılış)/ HALO(Yüksek İrtifa Yüksek Açılış) ekleme takımlarıyla aynı paraşütü kullanacak şekilde tasarlanmıştır. Sistem küçük ağırlık aralığı (113.9 - 226.3 kg) (Çizelge 1.2) [8] olan yükü, belirlenmiş alanlara ulaştırmak için kullanılabilir.

MicroFly™, harici bir etki olmadan, güdüm kiti (

Çizelge 1.3) [8] vasıtasıyla hedef noktasına uçacak şekilde tasarlanmıştır. Rüzgar içinde veya bir yol gibi doğrusal bir hat boyunca, belirli bir iniş alanına bağımsız inişler yapabilme imkanına sahiptir. Uzaktan kumanda (Çizelge 1.4) [8] ile çoklu MicroFly™ sistemleri aynı anda manuel olarak kontrol edilebilmektedir.



Şekil 1.7 : MicroFly.

MicroFly™ kullanımı kolay bir sistemdir. Paketlenmesi ve hazırlığı, klasik bir paraşütü paketlemek için gereken zamandan daha azdır. 10 dakika içinde hiçbir proteknik alet gerektirmeden, bir paraşüte monte edilebilmektedir. MC-5, HG-380 (Hi-Glide™) paraşütleri dahil tüm hava paraşütleri ile uyumludur. Bu özellik sistemin esnekliğini ve uyumluluğunu ortaya koymaktadır.

Kurulumdan sonra, MicroFly™ kullanımı için, sadece hedef noktasının yeri ve yüksekliği yeterlidir. İsteğe bağlı olarak rüzgar içine veya düz bir hatta iniş için herhangi bir iniş açısı girilebilmektedir.

MicroFly™ birim maliyeti düşük bir sistemdir. Kullanıcılara, pahalı test süreçleri ve geliştirme maliyetlerine ihtiyaç duymadan hassas hava ulaştırma teknolojisini çalıştırma imkânı sunmaktadır. MicroFly™'ın eğitim süreci maliyet açısından kolay karşılanabilmelidir.

Görev gerekleri, klasik yollarla taşınamayacak ilave bir malzemeyi talep ettiği zaman, tek alternatif tandem yığın paraşüt sistemidir. Tandemin kelime anlamı sırt sırta ya da üst üste bağlamadır. Bu sistemler, özel ekipman ve ilave eğitime ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca, paraşüt ile kanat yüklenmesindeki fark nedeniyle bir tandem yığın paraşüt atlayıcısı, diğer atlayıcılara göre daha fazla alçalma oranına ve hava hızına sahip olmaktadır. Bu durum atlayıcının iniş alanında yalnız kalabileceği anlamına gelmektedir.

Buna ek olarak, bir arıza durumunda, tandem atlayıcısı yükü bırakabilir. Bu durum ise atlayıcının kontrol edilemeyen bir paraşüt altında alçalması anlamına gelir. Her iki senaryo da planlanan görevde önemli değişikliklere yol açmaktadır.

Bir tandem sisteminin aksine, Microfly™, özel ekipman veya ilave eğitim gerektirmez. Teçhizatın yakın kalmasına ve operasyon boyunca ekipmanın kontrol altında kalmasına olanak vermektedir.

Çizelge 1.2 : MicroFly sistem özellikleri.

TEKNİK BİLGİ	
Yük kapasitesi	251-499 lb (113,9 kg) - (226,3 kg)
Sistem ağırlığı	64 lb (29 kg)
Kanat açıklığı	Paraşüte göre değişkendir
Veter hattı	Paraşüte göre değişkendir
Hücre sayısı	Paraşüte göre değişkendir
Açılış şoku (maks.)	4.5 g
Maksimum bırakma irtifası	24.500 ft (7467,6 m)
Minimum bırakma irtifası	3.500 ft (1067 m)
Maksimum süzülüş, L/D rüzgârsız	6.0 : 1

Çizelge 1.3 : MicroFly güdüm kiti özellikleri.

GÜDÜM KİTİ ÖZELLİKLERİ	
Boyut	48,9 X 30,5 X 13,3 cm
Ağırlık	43 lb (19,5 kg)
Şarj Zamanı	45 dak.

Çizelge 1.4 : MicroFly uzaktan güdüm kiti özellikleri.

UZAKTAN GÜDÜM KİTİ ÖZELLİKLERİ	
Boyut	18 X 12,5 X 3,8 cm
Ağırlık	1 lb (0,45 kg)
Görüş Mesafesi	18 mil
Batarya	Standart AA boyutunda

1.3.1.3 2K1T™

2K1T™ paraşüt sistemi (Şekil 1.8), deniz seviyesinden 25000 ft'e kadar bırakıldığı irtifadan istenilen noktaya ulaşabilen ve 2000 lb'ye (907 kg) kadar faydalı yük taşıyabilen bir sistemdir (Çizelge 1.5).[3] 20 km'ye kadar süzülerek 150 m. hata payı ile hedef noktaya iniş yapabilme kabiliyetine sahiptir.

2K1T™ “ram-air” tipi, tek kullanımlık ve düşük maliyetli bir paraşüt sistemi olup, kullanıcının faydalı yükü ve güdüm sistemini keserek paraşütü geride bırakabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu özellik kullanılan paraşütün tekrar alınarak kullanıma hazırlanması gerekliliğini ortadan kaldırmakta ve bu sayede maliyet etkin kılınmaktadır. Ayrıca yer ekibinin güvenliği de sağlanmaktadır.



Şekil 1.8 : 2K1T.

2K1T™ sistemi, FireFly™ sistemi ile aynı performans-faydalı yük kapasitesine sahiptir. 20 kereye kadar kullanılabilen FireFly™ sisteminde, paraşütün tekrar kullanıma hazır hale getirilmesi ve uygun şartlarda depolanması gibi özel işlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple 2K1T™ sistemi FireFly™ sistemine göre daha pratik bir sistemdir. Tek kullanımlık kanopi özelliği ile 2K1T™ sistem paraşütü bütünüyle hazır olarak bulunduğundan sadece faydalı yüke takılmak sureti ile kısa sürede operasyona hazır hale gelmektedir.

2K1T™ sistemi Amerikan 2000 lb JPADS programı için Amerikan Ordusu tarafından seçilmiş ve operasyonel sahada tüm uzak noktadaki birliklerin lojistik desteği için kullanılmaktadır. Sistem FireFly™ sisteminden sonra modellenmiş ancak alternatif materyallerin kullanılmasıyla performanstan ödün verilmeden daha ekonomik hale getirilmiştir.

Çizelge 1.5 : 2K1T sistem özellikleri.

TEKNİK BİLGİ	
Yük kapasitesi	700-2.000 lb. (315-907 kg)
Sistem ağırlığı	70 lb (32 kg)
Açılış şoku (maks.)	4.5 g
Maksimum bırakma irtifası	25.000 ft (7620 m)
Minimum bırakma irtifası	3.500 ft (1067 m)
Maksimum süzülüş, L/D rüzgârsız	3.2 : 1

1.3.1.4 DragonFly™

Dragonfly™ (Şekil 1.9) 5000 lb. (2,250kg)'den 10000 lb. (4500kg)'ye kadar olan yükleri taşıma kabiliyeti olan, GPS güdümlü tamamen bağımsız bir faydalı yük taşıma sistemidir. Sistem maksimum denge kabiliyeti için süzülüş oranı 3.75:1 olan tam eliptik bir ram-air tipi bir paraşüte sahip olup, belirlenen hedef noktasının içinde bulunduğu 250 m. yarıçaplı alana inebilme kabiliyetine sahiptir (Çizelge 1.6). [9]



Şekil 1.9 : DragonFly.

Dragonfly™ sistemi, Amerikan 10000 lb. JPADS programı için Amerikan Savunma Bakanlığı tarafından kullanılmaktadır. Dragonfly™ paraşüt paketlenirken, güdüm kitinin ayrı olarak şarj edilmesine, bakımının yapılmasına ve depolanabilmesine olanak vermektedir. Bu modüler tasarım sayesinde atışlar arasındaki hazırlık zamanlarının 4 saatten daha az olması sağlamaktadır. Dragonfly™'ı programlamak için gereken tek bilgi hedef noktasının koordinatlarıdır. Güdüm ünitesine rüzgâr bilgisinin yüklenmesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Güdüm ünitesi, saniyede 4 kez pozisyonu hesaplayarak maksimum doğruluğu elde etmek için sürekli olarak uçuş algoritmasını düzenler. Bu düzenlemeler ile son yaklaşıma kadar kararlı bir uçuş gerçekleştirerek iniş yapılır.

Dragonfly™ Amerikan JPADS görev planlayıcısı ile uyumludur. Görev planlama programı, tahmin edilen rüzgâr bilgisini ve Dragonfly™ paraşütünün uçuş karakteristiklerini kullanarak paraşütün bırakma noktasını hesaplamaktadır. Airborne Systems görev planlayıcının arazi haritalama programı kullanarak simule edilmiş görevleri sanal bir çevrede çalıştırma kabiliyeti vardır.

Dragonfly™ sağlık bildirimlerini uzaktan görüntülemeyi mümkün kılan 802.11 kablosuz arayüzü ile donatılmıştır. Bu özellik izole edilmiş operasyonel alanlara atılan teçhizatlara maksimum teknik destek sağlamayı mümkün kılmaktadır.



Şekil 1.10 : DragonFly uzaktan kontrol ünitesi.

Uzaktan kontrol ünitesi (Şekil 1.10) [9] sistemi bir görev için uzaktan programlamayı ve paraşüt atılmadan önce sistemin faaliyet durumunu izlemeyi sağlamaktadır. Uzaktan kontrol ünitesi Dragonfly™ uçaktan atıldıktan sonra koordinatları ve baş açısını izlemeyi sağlar. İsteğe bağlı olarak bir operatör hava güdüm ünitesini devreden çıkartarak manuel uçuş yapılabilir.

Çizelge 1.6 : DragonFly sistem özellikleri.

TEKNİK BİLGİ	
Yük kapasitesi	5000-10.000 lb (2250-4500 kg)
Sistem ağırlığı	508 lb (154 kg)
Kanat açıklığı	100 ft (30 m)
Veter hattı	35 ft (10,7 m)
Hücre sayısı	35
Açılış şoku (maks.)	4.5 g
Maksimum bırakma irtifası	25000 ft (7620 m)
Minimum bırakma irtifası	400 ft (1220 m)
Maksimum süzülüş, L/D rüzgârsız	3.75:1

Airborne sistem özelliklerinin karşılaştırılması (Çizelge 1.7)'de sunulmuştur. [10]

Çizelge 1.7 : Airborne sistemleri karşılaştırma tablosu.

	MicroFly™	FireFly™	DragonFly™	MegaFly™	GigaFly™
Faydalı Yük Kapasitesi	200 to 500 lb 90 kg to 225 kg	700 to 2,200 lb 315 kg to 1.000 kg	5,000 to 10,000 lb 2.250 kg to 4.550 kg	20,000 to 30,000 lb 9.100 kg to 13.600 kg	30,000 to 42,000 lb 13.600 kg to 19.000 kg
Yüzey Alanı	Değişken	1,025 ft ² 99.23 m ²	3,500 ft ² 325.16 m ²	9,000 ft ² 836.13 m ²	10,400 ft ² 966.16 m ²
Açıklık	Değişken	56 ft 17 m	110 ft 33.5 m	170 ft 51.8 m	195 ft 59.4 m
İp Uzunluğu	Değişken	18 ft 5.48 m	33 ft 10 m	56 ft 17.0 m	64 ft 19.5 m
Hücre Sayısı	Değişken	19	35	63	71
Maks. İrtifa	24,500 ft 7,467.6 m	24,500 ft 7,467.6 m	24,500 ft 7,467.6 m	24,500 ft 7,467.6 m	24,500 ft 7,467.6 m
Maks. Süzülme, L/D (rüzgarsız)	Up to 6.0 : 1	3.5 : 1	3.5 : 1	3.5 : 1	3.5 : 1
Hassasiyet	100-150 m (80%)	<150 m (80%)	<250 m (80%)	<250 m (80%)	<250 m (80%)

1.3.2 MMIST Sherpa

MMIST firması bünyesinde üretilen bütün Sherpa sistemleri tam bağımsız GPS güdümlü, SAASM (Selective Availability Anti-Spoofing Module)¹ GPS desteği ve opsiyonel olarak uzaktan kontrol seçeneği sunan, bir düğme ile uçuş anında hedef noktayı tekrar programlama imkânına sahip sistemlerdir. Sherpa sistemleri ters rüzgârlı şartlarda da görev yapabilme kabiliyetine sahiptir.

Sherpa sistemleri, kolay tekli operasyonlar için, MMIST Launch PADS çoklu görev yöneticisi ile birlikte kullanılmaktadır. Ayrıca standart PADS eğitim programının bir parçası olan Amerikan Savunma Bakanlığı'nın JPADS görev planlayıcısı ile uyumludur.

1.3.2.1 Sherpa Provider

2003 yılından beri operasyonel olarak Amerika dahil 10 ülke genelinde askeri servisler tarafından kullanılan GPS güdümlü hava ulaştırma sistemidir. Askeri ve özel kuvvetler tarafından, insani yardım, arama-kurtarma faaliyetleri, ticari malzeme nakli, keşif, ormancılık ve araştırma alanlarında kullanılmaktadır.

Provider ortak güdüm ünitesi sayesinde uçaktan atılan 100 – 10000 lb aralığında ağırlığa sahip yükleri hedefe ulaştıracak ve çoklu profillere kolayca entegre olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 1.11). [11] Kompakt, hafif ve modüler tasarımlı bir güdüm ünitesine sahiptir. Diğer hava ulaştırma sistemlerine nazaran, taşınan yük ağırlığı başına düşen maliyeti daha azdır.

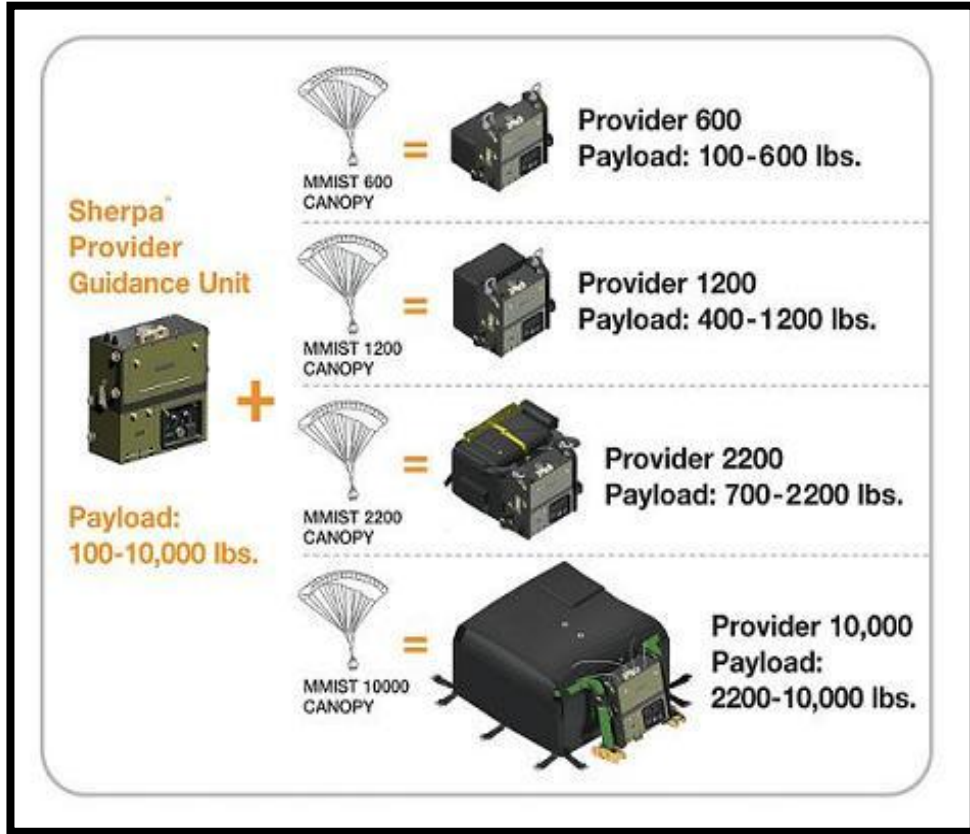
Hangi kapasitedeki kanopiyi Provider ürünle birlikte temin edeceğini seçme opsiyonuna sahip olan kullanıcı, Provider ortak güdüm ünitesinin sunduğu bu esneklik sayesinde PADS alımlarında kendi tasarımını oluşturma imkanı bulmaktadır.

¹ SA: (Selective Availability-Seçici Kullanabilirlik). Uydudan gelen C/A (Course Acquisition) kod sinyallerine gürültü eklenerek doğruluğun düşürülmesi.

ASM: (Anti Spoofing Module). Uydudan gelen P kodlu sinyallere kripto yüklenerek Y kodunun elde edilmesi. [12]

Günümüzde 10000 lb. taşıma kapasiteli ürün gerekli olmasa da, ordular günlük gereksinimlerini Provider ile karşılarken, basit bir kanopi alımı ile bir sonraki yük kapasitesini taşıyabilme olanaklarını da devam ettirebilmektedir. Bir ortak güdüm ünitesi ve program elde iken, eğitim ve lojistik maliyetleri, her ağırlık aralığı için ayrı bir sistem kullanımı ile karşılaştırıldığında küçük bir miktar olarak ortaya çıkmaktadır.

Provider sistemi Ranger sistemindeki gibi HAHO² ve HALO³ kabiliyetine sahiptirler.



Şekil 1.11 : Sherpa provider özellikleri.

Sherpa Provider'ın Avantajları

- 100 – 10000 lb. yükleri taşıyabilen ortak güdüm ünitesi
- 100 m'den daha iyi iniş doğruluğu
- Sıfır yanal rüzgârda hedef noktasından 18 km menzile iniş

² HAHO : High Altitude High Opening (Yüksek İrtifa Yüksek Açılış)

³ HALO : High Altitude Low Opening (Yüksek İrtifa Alçak Açılış)

- Maksimum 25000ft (deniz seviyesinden) bırakış irtifası
- HAHO/ HALO programlanabilir gecikme
- Atıştan inişe kadar hassas güdüm
- Çoklu iniş seçeneği
- Paraşütçü personel ile uyum
- Çoklu paraşüt sistemleri ile kolayca birleşebilen yapı
- Kablosuz 802,11/ kablolu görev planlayıcı
- Ortak MMIST Launch PADS çoklu görev yöneticisi
- JPADS görev planlayıcısı ile uyum
- Tekrar göreve hazır olma çabukluğu
- Kullanıcının seçebildiği yaklaşma baş açısı
- Manuel iniş
- Selective Availability Anti-Spoofing Module (SAASM)

1.3.2.2 Sherpa Ranger

Sherpa Ranger sistemi (Şekil 1.12) [13] müşterinin isterlerine göre hazırlanabilen, maliyeti etkin, dikey ve yatay olarak güvenli mesafelerden faydalı yükü yüksek doğruluklu olarak hedefle buluşturabilen bir sistemdir. Küçük yükler için tasarlanmış kompakt ve hafif olan Ranger'ın güdüm sistemi 100 ve 1200 lb arasındaki yükleri dağınık halde görev yapan kuvvetlere ulaştırmak için geliştirilmiştir.



Şekil 1.12 : Sherpa ranger.

Sherpa Ranger güdüm kiti 2 adet paraşüt mekanizmasına (100-600 lb, 400-1200 lb) kolayca entegre edilerek iki farklı yük taşıma kapasitesine sahip birer sistem oluşturulabilmektedir. Aynı güdüm sistemi bir başka mekanizma ile birleşerek paraşütlü personeli manuel olarak herhangi bir müdahaleye gerek kalmadan önceden belirlenmiş hedefe ulaştırabilmektedir.

Sherpa Ranger'ın Avantajları

- 100 metre hata payı
- Kompakt ve hafif güdüm kiti (33 lb, pillerle birlikte)
- HAHO/HALO
- Kablosuz 802.11/ kablolu görev yönetimi
- Selective Availability Anti-Spoofing Module (SAASM)

Tüm Sherpa sistemleri, tam otonom GPS güdümlü olup SAASM GPS desteğine sahiptir ve opsiyonel olarak uzaktan kontrol olanağına sahiptir. Ayrıca uçuş anında hedef nokta yeniden programlanılarak değiştirilebilmektedir. Sherpa ranger ve sherpa provider sistemlerinin özelliklerinin karşılaştırılması (Çizelge 1.8)'de sunulmuştur.

[13]

Çizelge 1.8 : Sherpa ranger ve provider özellik karşılaştırması.

	Ranger	Provider
Faydalı Yük Kapasitesi	100 - 2,200 lbs	100 - 10,000 lbs
Menzil	20 km	18 km
Maks. İrtifa	25,000 ft	25,000 ft
Min. İrtifa	4000 ft	Bilgi Yok
Hassasiyet	100m	100m
Çalışma Sıcaklığı	-20°C ile 60°C	-20°C ile 60°C

1.3.3 Wamore

Airborne ve MMIST firmaları gibi Wamore firmasında uzaktan kumandalı otonom uçuş özelliğine sahip faydalı yük paraşütleri tasarlayan, üreten ve geliştiren bir firmadır.

1.3.3.1 Ultrafly

Wamore firması tarafından ultra hafif ağırlık sınıfı, bağımsız, hassas kargo taşıma sistemi olarak tasarlanan Ultrafly sistemi (Şekil 1.13), 250-500 lb (113-226 kg.) kargoyu ortalama 50 m hata payı ile programlanan iniş noktasına ulaştırma kabiliyetine sahiptir. [14]



Şekil 1.13 : Ultrafly.

Sistem C-130, C-123, C-17, V-22, SKYVAN, CASA 212, CH-46 ve CH-47 uçaklarında operasyonu destekleyen bir unsur olarak kullanılmaktadır. 43x28x12 cm. boyutlarında ve 16 kg. ağırlığındaki güdüm kontrol ünitesi 2006 yılından bu yana kullanılmaktadır. Sistemin paraşüt ile beraber toplam ağırlığı 65 lb'dir.

Ultrafly kullanıcı tarafından programlanabilen düşüş zamanı ve irtifa ile HAHO/HALO kabiliyetine sahip bir sistemdir. Standart MC-4/5 askeri personel paraşütünü kullanmaktadır. Kargo ulaştırma moduna kolayca geçiş için dönüşüm kiti mevcuttur.

Sistemin paketlenme ve hazırlık işlemleri için gerekli olan süre klasik bir paraşütün hazırlık işlemleri için gerekli süreden daha fazla değildir. Bu sayede gece ya da gündüz indirme harekâtı yapan bir birliğin operasyona hazır olma süresini kısaltır.

1.3.4 Uçman Havacılık

Uçman Havacılık Ltd.Şti. 1994 yılında Ankara’da kişisel girişimlerle yerli olarak kurulmuştur. Şirket değişik büyüklükte yüklerin uçaktan atılarak istenilen bölgeye güvenle sevk edilebilmelerini sağlamak amacıyla çeşitli sistemlerin ar-ge çalışmalarını yürütmektedir.

1.3.4.1 Kuzgun 150 kumandalı kargo paraşüt sistemi



Şekil 1.14 : Kuzgun 150 kargo paraşüt sistemi (havada).

Kuzgun 150 kumandalı kargo paraşüt sistemi (Şekil 1.14, Şekil 1.15) beraberinde atlayış yapan personel tarafından havadan veya bir başka personel tarafından yerden kumanda edilebilmektedir. Sıfır geçirgenliğe sahip kumaş ile üretilmiş kanat tipi paraşütü sayesinde emniyetli bir iniş sağlanabilmektedir. Talebe göre yüksek ağırlık ve GPS kumandalı modelleri üretilmektedir. [15]



Şekil 1.15 : Kuzgun 150 kargo paraşüt sistemi (yerde).

Çizelge 1.9 : Kuzgun 150 sistem özellikleri.

TEKNİK BİLGİ	
Yük kapasitesi	150 kg
Sistem ağırlığı	30 kg
Hücre sayısı	9
Maksimum bırakma irtifası	15000 ft.
Minimum bırakma irtifası	1500 ft.
Maksimum süzülüş, L/D rüzgârsız	4.0:1

Mevcut aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemlerinin Türk Hava Kuvvetlerinin ihtiyaçlarına göre karşılaştırılması (Çizelge 1.10)'da sunulmuştur.[10]

	TURAF Sistem	MicroFly™	FireFly™/2K1T	DragonFly™	MegaFly™	GigaFly™	Ranger	Provider
Faydalı Yük Kapasitesi	500 - 750 kg	90 - 225 kg	315 - 1.000 kg	2.250 - 4.550 kg	9.100 - 13.600 kg	13.600 - 19.000 kg	45 - 1000 kg	45 - 4.500 kg
Menzil	25 km	29 km	25 km	25 km	25 km	25 km	20 km	18 km
Maks. İrtifa	25000 ft	24,500 ft	24,500 ft	24,500 ft	24,500 ft	24,500 ft	25,000 ft	25,000 ft
Min. İrtifa	4000-5000 ft	4000 ft	5000 ft	8000 ft	Bilgi Yok	Bilgi Yok	4000 ft	Bilgi Yok
Hassasiyet	Maks. 200 m	100-150 m	<150 m	<250 m	<250 m	<250 m	100m	100m
Çalışma Sıcaklığı	M.S. -31 ile 65°C	-31 ile 65°C	-31 ile 65°C	-31 ile 65°C	-31 ile 65°C	-31 ile 65°C	-20 ile 60°C	-20 ile 60°C
Uzaktan Kumanda Kontrolü	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
Otonom Kumanda Kontrolü	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var

Çizelge 1.10:Mevcut sistemlerin TURAF ihtiyaçları ile karşılaştırılması

1.4 TURAF Sistem

Önceki çalışmalar ve literatür araştırması kısmında Dünya'nın önde gelen aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemleri ile Türkiye'de ar-ge aşamasında olan uzaktan kumandalı sistemin teknik detayları ve öne çıkan özellikleri incelenmiştir. Takip eden bölümlerde bu sistemlere benzer yapıda bir TURAF aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemi tasarlanacaktır.

TURAF sistemi 500 ile 750 kg. yük taşıma kapasitesinde, maksimum 25 km. menzilden ve 25000 ft irtifadan atılarak 200 m hata payı ile hedef noktasına ulaşabilecek, askeri standartlara sahip olmak üzere uzaktan veya otonom olarak iki farklı opsiyonda kumanda edilebilen aktif kontrollü bir faydalı yük paraşüt sistemi olacaktır.⁴

Bundan sonraki bölümde TURAF sisteminin amaçları, gereksinim ve kısıtları, görev karakterizasyonu ve uygulanabilir konseptleri detaylı bir şekilde incelenecek olup, elde edilen sonuçlar doğrultusunda paraşüt ve faydalı yük taşıma sistemleri tasarlanacaktır.

⁴ İhtiyaca ilişkin kriterler arama kurtarma ihtisaslı personel tarafından belirlenmiştir.

2. SİSTEME GENEL BAKIŞ

Günümüzde dünyanın ileri gelen birçok ülkesi kriz ortamlarında gerçekleştirilen alan savunması, çıkarma, arama kurtarma ve insani yardım gibi çeşitli operasyonlarda sıcak bölgede ihtiyaç duyulan malzeme ve insan desteğini kısa zamanda sağlayabilmek amacıyla en etkili yöntem olarak kabul edilen havadan gönderme yöntemini kullanmaktadır. Havadan indirme görevlerinde kullanılan paraşüt sistemleri bir önceki bölümde irdelenerek teknik özellikleri ortaya konulmuştur.

Bu bölüm içerisinde ise Türk Silahlı Kuvvetlerinin çeşitli birliklerinde kullanımına ihtiyaç duyulan ve yerli olarak tasarlanacak TURAF paraşüt sisteminin birincil ve ikincil amaçları, gereksinimleri, kısıtları ve birincil-ikincil sonuçları incelenerek çeşitli konseptler ortaya konulacaktır.

2.1 Görevin Amaçları

Birincil Amaç
<ul style="list-style-type: none">✓ Hava Kuvvetleri Komutanlığı bünyesinde arama kurtarma görevi yapan birliklere, aktif kontrollü uzaktan kumandalı paraşüt sistemi kullanılarak tek başına ya da personel ile birlikte havadan atılan malzemenin (bot, yaşam kiti vs.) operasyon bölgesinde istenilen noktaya indirebilme kabiliyetini kazandırmak.✓ Türk Hava Kuvvetlerine yeni görev kabiliyeti ve uçak haricinde bir kuvvet çarpanımı kazandırarak diğer ülkeler arasındaki gücünü ve saygınlığını arttırmak.

İkincil Amaç

- ✓ Türk Hava Kuvvetleri bünyesindeki Hava Harp Okulu Komutanlığı ve etkileşimde bulunduğu üniversiteler ile ortaya konulacak olan prototip sayesinde, aktif kontrollü uzaktan kumandalı paraşüt sistemlerinde Know-How bilgi ve tecrübesini elde edebilecek bir AR-GE çalışması yaparak yerli bir teknoloji elde etmek.
- ✓ Aktif kontrollü uzaktan kumandalı paraşüt sistemleri teknolojisinde dışa bağımlılığı azaltmak.
- ✓ Sistemin sivil kullanım alanlarının belirlenerek bu amaçla yapılacak olan üretim planına sivil sanayi ve kuruluşları dahil etmek, yerli havacılık sektöründe yeni bir iş kolu oluşturmak.

2.2 Gereksinim ve Kısıtlar

2.2.1 Gereksinimler

Fonksiyonel Gereksinimler		
Performans	✓ Havadan atma özellikleri	➤ 25000 ft. irtifadan 25 km. mesafeden
	✓ Hedef nokta hassasiyeti	➤ 200 m. yarıçaplı alan
	✓ Taşıma kapasitesi	➤ 500-750 kg. lık yük

Operasyonel Gereksinimler		
Dayanıklılık	✓ Malzeme toleransı	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 1m. ye kadar 30 dk. su geçirmezlik ➤ İniş darbelerine karşı dayanıklılık ➤ Sarsıntılara karşı dayanıklılık
Yönlendirme	✓ Kumanda kontrol ünitesi	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Askeri standartlarda üretilmiş olma ➤ Hem radyo kontrollü hem de GPS kontrollü çalışabilme ➤ 500-750 kg kapasiteli kanat tipi kargo paraşütünü kontrol edebilecek güçte olma ➤ Her biri min. 2,5 ton taşıyabilen kargo sabitleme demirlerine sahip olma
Mekanizma	✓ Paraşüt-kargo bağlantısı	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rüzgârlı havalarda yere temas eden kargonun sürüklenmemesi için paraşütün kargodan ayrılmasını sağlayacak bir sistem içermesi

2.2.2 Kısıtlar

Kısıtlar		
Yapı	✓ Taşınabilecek miktarda yükleme yapılmalıdır.	➤ Maks. 750 kg. ağırlık taşınmalıdır.
Maliyet	✓ Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilebilecek miktarda olmalıdır.	➤ Yaklaşık olarak 500.000 \$ dan fazla olmamalıdır. (Başlangıç seviyesi eğitim dahil)
Tarih	✓ En kısa zamanda kullanıma verilmelidir.	➤ Tasarım ve proje aşaması için maks. 3 yıl ➤ Malzeme tedarigi için maks. 1 yıl Üretim için maks. 1 yıl
Politik	✓ Ülke prestiji ve milli menfaatler için kullanılmalıdır.	➤ Türkiye Cumhuriyeti Savunma Sanayi Müsteşarlığı tarafından finanse edilerek destek verilmelidir.

2.3 Sonuçlar

Birincil Sonuç
<ul style="list-style-type: none">✓ 500-750 kg'lık bir faydalı yükü 200 metre yarıçapında istenilen bir alana emniyetli bir şekilde indirmek.✓ Aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sisteminin tüm alt bileşenlerini herhangi bir arıza meydana getirmeden devreye koymak.
İkincil Sonuç
<ul style="list-style-type: none">✓ Sistem programlanan uçuş yolunun dışına çıkarsa uzaktan kumanda ile manuel olarak parat yer ekiplerinin yakınına indirmek.✓ Sistemin kontrolden çıkması durumunda mevcut GPS sistemi ile sistemin yerini tespit etmek ve yer ekipleri ile koordine ederek kargoya ulaşmak.

2.4 Görev Karakterizasyonu

Aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemleri hlihazırda birçok firma tarafından farklı konfigürasyonlar, algoritmalar, elektronik sistemler ve materyaller kullanılarak günümüzde orduların ve diğerk sivil toplum kuruluşlarının envanterine kazandırılmıştır. Alt sistemlerin çeşitliliği sayesinde farklı kombinasyonlarda birçok aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemi imal edilebilir. Onlarca seçenek içerisinden Türk Hava Kuvvetlerinin yukarıdaki bölümlerde sıralanmış olan isterleri doğrusunda optimum bir sistem oluşturabilmek ancak ihtiyaçların karakterize edilmesi ile sağlanabilir.

Bu bölümde amaçlar, gereksinimler ve kısıtlar doğrultusunda ihtiyaç duyulan sistemin karakteristiği oluşturularak, ileri bölümlerde seçilecek olan alt sistemler için doğru bir yaklaşım belirlenecektir. Bu sebeple görev konseptini oluşturmak iyi bir başlangıç olacaktır.

2.4.1 Uygulanabilir konseptler (kavramlar)

Bu projede bahsedilen “aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemleri” nin birinci amacı Hava Kuvvetleri Komutanlığı bünyesinde arama kurtarma görevi yapan birliklere, aktif kontrollü uzaktan kumandalı paraşüt sistemi kullanılarak havadan atılan malzemenin (bot, yaşam kiti vs.) operasyon bölgesinde istenilen noktaya düşme kabiliyetini kazandırmaktır. Çoğu hava şartında görev yapması amaçlanan bu sistemin belirlenen amaçlara ulaşabilmesi için konsepti doğru tanımlayarak en mükemmel olanı seçmemiz gerekir.

Bu başlık altında aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemleri için düşünülebilecek olan konseptlerin incelemesi yapılacaktır. Burada adım adım ilerlemek ve mümkün olan tüm konseptleri soru-cevap şeklinde tartışmak en doğru yöntem olacaktır.

1. Görev çeşitliliği dikkate alınarak söz konusu sistem hangi faydalı yük ağırlığı aralığında optimize edilmelidir?

Sistem tasarımı olarak günümüzde piyasada mevcut olan 100 ile 42000 lb arasında çeşitli faydalı yük ağırlıklarında çalışabilecek alt sistemler mevcuttur. Ancak Türk Hava Kuvvetleri'nin arama-kurtarma görevlerinde harekât esnekliği göz önüne alındığında mevcut şartlarda personelin ihtiyaçlarını karşılayabilecek olan sistem 500 kg ile 750 kg arasındaki faydalı yükleri emniyetli bir şekilde belirlenen hedefe indirebilen sistemin yeterli olacağı değerlendirilmektedir.

2. Sistemin kendi ağırlığı ve boyutları ne olmalıdır?

Hava kuvvetlerinin isterlerini karşılayabilecek olan sistem, mevcut sistemler referans alınarak tasarlanacak olursa yaklaşık olarak 30 ile 45 kg arasında olabileceği öngörülmektedir. Bu da mevcut arama-kurtarma görevlerinde kullanılan Hava Kuvvetleri envanterindeki AS532 Cougar helikopterleri ve CN235 CASA uçakları için karşılanabilecek bir ağırlık değeridir.

3. Paraşüt sisteminin belirlenen noktaya yüksek doğrulukla indirilebilmesi için nasıl bir kontrol sistemi kullanılmalıdır?

Sistemin önceden programlanmış GPS koordinatlarına inebilmesi için otonom bir güdüm kontrol ünitesi ve herhangi bir şekilde güdüm kontrol sisteminde bir hata oluştuğunda ya da hareket şartlarının ani değişiminde sistemin kontrol edilebilmesine imkan sağlayan radyo frekanslı uzaktan kumandalı bir kontrol sisteminin olması gerekmektedir. GPS sisteminden alınacak olan yüksek doğruluklu konum bilgileri otonom bir güdüm kontrol alt sistemi tarafından işlenerek doğrultma bilgileri üretilecek, bu bilgilerle de paraşüt yönelimi için servo motoruna komutlar verilerek sistemin istenilen noktaya düşük bir hata payı ile indirilebilmesi sağlanacaktır.

4. Harekât şartlarında görev yapacak olan paraşüt ve mekanizmaların yapısı nasıl olmalıdır?

Tasarlanacak olan sistemin kara ve deniz üzeri arama-kurtarma görevlerinde etkinlikle kullanılabilmesi için denize düştüğü andan itibaren yaklaşık olarak 30 dakika ıslanmayacak, karaya düşüş anında oluşan tepki kuvvetine karşı koyabilecek dayanıklılıkta tasarlanmalıdır.

Görev özelliğine ilişkin yukarıda belirtilen isterler ortaya konulduktan sonra aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemi için ulaşılabilir seviyede birkaç konsept oluşturulabilir.

2.4.1.1 Konsept 1

Birinci konsept olarak paraşüt sisteminin otonom özellikte çalışması ve bunun sonuçları düşünülebilir. Sisteme entegre edilmiş olan görev planlayıcısı, daha önceden girilmiş olan hedef koordinat bilgileri üzerinde, sistemin belirli periyotlarla elde etmiş olduğu rüzgar bilgileri eklenerek sanal bir yol haritası oluşturulabilir. Bu yol haritası kullanılarak aktif kontrollü güdüm sistemi ile faydalı yükün istenilen koordinatlara ulaşması sağlanabilir.

2.4.1.2 Konsept 2

Konsept 1’de belirtilen sistemin işleyişi esnasında meydana gelebilecek olağan dışı hatalar sebebiyle yükün istenilen hedef bölgesine ulaştırılmasında yaşanabilecek aksaklıkların önüne geçebilmek için, otonom kontrolün yanı sıra uzaktan kumanda ile kontrol sisteminin hazırda tutulması bir başka seçenek olabilir.

İkinci konseptin temelini oluşturan bu uzaktan kumanda sistemi sayesinde yedekli olarak yönlendirme yapılabileceği gibi harekât görevlerinin en önemli özelliklerinden biri olan ve elastikiyet olarak tanımlanan görev şartlarının anlık değişim ihtiyacına cevap verebilecek yeteneğe sahip olunacak ve hareket ortamında üstünlüğün elde tutulmasına imkan sağlanabilecektir.

Bu yedekli sistem genel maliyet artışına sebep olabilir, ancak sonuç itibari ile görevin başarılmaması oranının artmasına büyük katkı sağlayacağı için maliyet etkinliği düşünüldüğünde kesinlikle gerekli olabileceği düşünülmektedir.

2.4.1.3 Konsept 3

Özellikle hareket ortamlarında yoğun çatışmaların yaşandığı riskli bölgeler haricinde arama kurtarma, insani yardım görevlerinde paraşütçü personelin dahil edileceği bir sistem geliştirmek üçüncü konsept olacaktır.

Buradaki birinci amaç personelin manuel olarak paraşütü kontrol ederek hassas cihazların arızalanması sebebiyle meydana gelebilecek görev başarısızlığı riskini azaltmaktır.

İkinci amaç ise paraşütçü personelin hedef noktaya kadar yük ile birlikte seyahat etmesi ve yere son temas noktasına yakın irtifada yükten ayrılması sayesinde paraşütçü ile yükün birbirine yakın noktalara indirilmesidir. Böylece personel yüke çarpma sonucu meydana gelebilecek sakatlanmalardan korunmuş olacak ve göreve bizzat dahil olacaktır.

2.4.1.4 Konsept 4

Harekat ortamında paraşütün toplanarak katlanması ve görev planlayıcısı ile birlikte tekrar kullanıma hazır hale getirilmesi için harcanacak zamanın harekat üstünlüğünü muhafaza etmeye olumsuz katkı sağlayacağı göz önüne alınarak paraşüt sisteminin tek kullanımlık olarak dizayn edilmesi ve düşüşü takiben sistemden ayrılarak terk edilmesi dördüncü konsept olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu sayede her bir saniyenin önem arz ettiği kritik harekat şartlarında hızlı hareket etme imkanı sağlanarak zaman kaybetmeden sistemin tekrar göreve hazır hale getirilmesi sağlanacaktır.

2.4.1.5 Konsept 5

Beş numaralı konsept yukarıda belirtilen tüm konseptleri kapsamaktadır. Her bir konseptte ortaya konulan, harekât kabiliyetlerine pozitif etki sağlayacak her bir özellik bu konseptte bir araya getirilerek, her türlü harekât şartlarında görev kabiliyetine sahip, tekrar göreve hazır olma süresi düşük olan ve hem faydalı yükün hem de personelin istenilen noktaya yüksek doğruluklu olarak indirilebilmesine olanak sağlayan bir aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemi tasarlanabilir.

2.5 TURAF Sistemi Uygulanabilir Tasarım Konsepti

Yukarıda ortaya konulan uygulanabilir konseptler dikkate alındığında, TURAF aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemi için en optimum konseptin 5 numaralı konsept olduğu değerlendirilmektedir.

Her bir konsept bir önceki konseptin eksikliklerini tamamlayabilecek şekilde olup 5 numaralı konsept diğer tüm konseptlerde belirtilen özelliklere sahiptir. 5 numaralı konsept haricindeki konseptler tek başlarına tasarımda kullanıldığı takdirde Türk Hava Kuvvetlerinin görev isterlerine cevap veremeyecek ve etkinlik açısından dünyadaki mevcut diğer sistemlerin gerisinde kalacaktır.

Konsept 5'in seçilmesi ile tasarlanacak olan TURAF aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemi hem otonom ve hem de uzaktan kumanda edilebilen, görev isterlerine göre kargo ve personel nakli yapabilen ve göreve hazır olma süresini kısaltan kanopi dizaynına sahip bir sistem olacaktır.

3. AKTİF KONTROLLÜ FAYDALI YÜK TAŞIMA SİSTEMİ

Aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemi herhangi bir hava aracından önceden hesaplanmış belirli bir yükseklik ve mesafeden (calculated air release point, CARP) atılan, içerisindeki çeşitli alıcı-verici sistemleri ve sensörler ile çevresel şartları analiz ederek GPS kontrollü olarak hedef noktasına uçuş yapabilen bir paraşüt sistemidir. Bu sistemlerin bir çoğu otonom kontrol sisteminde herhangi bir arıza meydana geldiğinde uzaktan kumanda vasıtası ile kontrol edebilecek şekilde tasarlanmıştır.

Aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemleri genel olarak güdüm, kontrol ve navigasyon sistemi, ram air tipi paraşüt sistemi ve faydalı yük taşıma sistemi olmak üzere 3 ana sistemden meydana gelmektedir. GKS sistemlerini içeren alt bileşenler AGU (air guidance unit) olarak adlandırılan darbelere ve çevresel şartlara dayanabilecek nitelikteki bir kutu içerisinde bulunur. Örnek olması açısından bir GKS ünitesi (Şekil 3.1)'de [16] sunulmuştur.



Şekil 3.1 : Örnek bir AGU ve çantalanmış paraşüt

Bu tez çalışması kapsamında aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemleri güdüm kontrol ve navigasyon açısından incelenecek olup, ram air tipi paraşüt sistemi ile faydalı yük taşıma sistemleri “Aktif kontrollü faydalı yük taşıma sistemlerinin paraşüt, yapı ve mekanizma açısından incelenmesi” konulu tezde detaylı olarak incelenmiştir (MERCAN, Ü. 2013).

3.1 Güdüm Kontrol Ve Navigasyon Sistemi

Güdüm kontrol sistemi füze, uydu ve uçak gibi yüksek süratlerde seyir eden araçların, sahip olduğu sistemler sayesinde belirlenen koordinatlara otonom olarak ulaşmasını sağlayan bir sistemdir. Örneğin insanlar tarafından bir füzenin yönlendirilmesinin yapılması, insanların algılama ve tepki süreleri elektronik sistemlere göre daha uzun olduğu için mümkün değildir. Daha yavaş ve yönlendirmesi insanlar tarafından yapılabilen sistemler içinse navigasyon sistemleri kullanılmaktadır.[17]

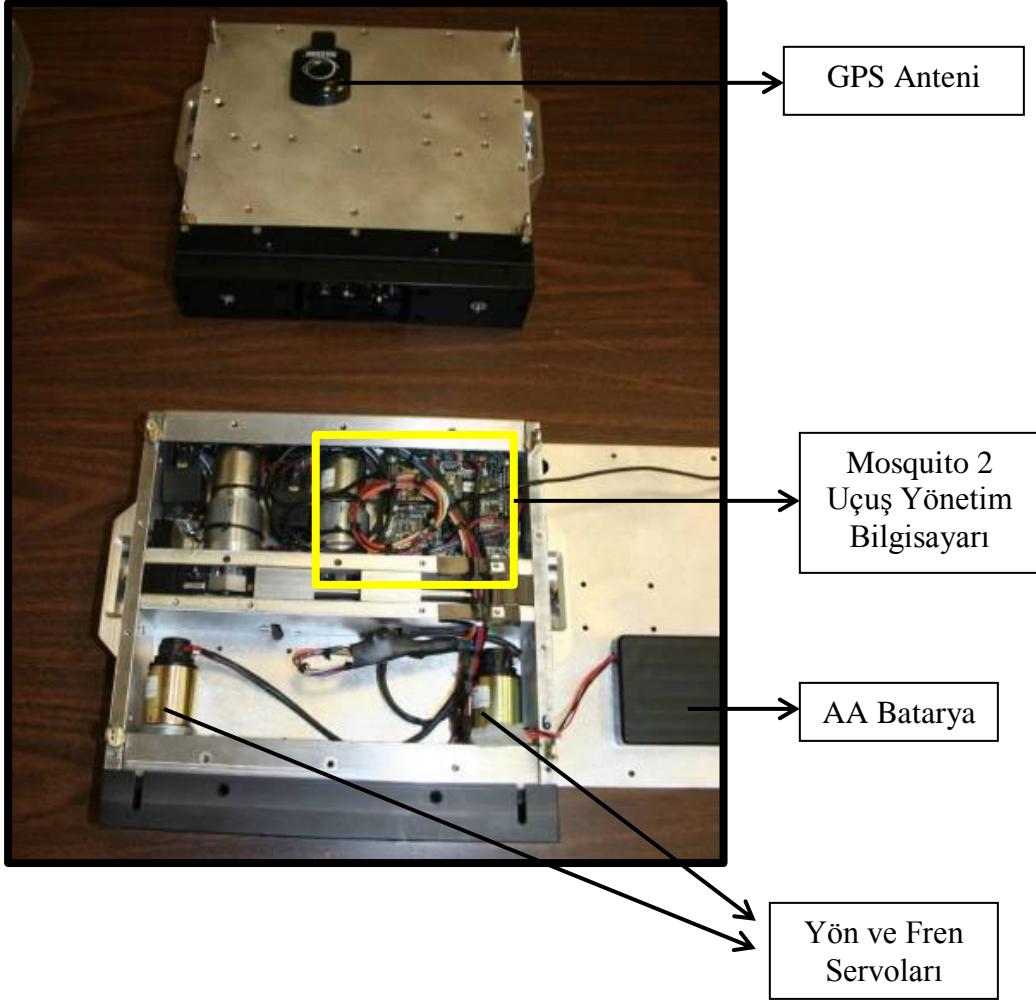
Bu bölümde incelenecek olan sistem, hava aracından atılan faydalı yükün istenilen hedef noktasına herhangi bir insan kontrolü olmaksızın otonom seyir yeteneği ile ulaşması için konum, yükseklik, rüzgar bilgisi, atmosferik basınç gibi ihtiyaç duyulan parametreleri algılayıp işleyen, bunun sonucunda çeşitli komutlar ile alt sistemlerin birbirleri ile uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlayan bir sistemdir. Güdüm kontrol sistemi üç ana alt görev grubundan oluşur. Bunlar girdi grubu, işlem grubu ve çıktı grubu olarak adlandırılırlar.

Girdi grubu alt sistemi çeşitli anten, alıcı, kamera, sensör ve diğer ham veri giriş modüllerinden oluşur. Bu modüller görevin isterlerine göre sistemin iletişim halinde olduğu ortamdan çeşitli bilgileri toplar.[17] Aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sisteminin girdi grubu gps, imu, air data prob, lazer altimetre ve alıcı-verici modülleridir.

İşlem grubu bir veya daha fazla merkezi işlem birimi (CPU) ile elektronik regülasyon, manipülasyon ve destek ünitelerinden meydana gelir. İşlem grubu modüllerinin işlevi, girdi grubu aygıtlarından gelen ham veriyi belirli algoritmalara göre derlemek, gerekirse önceden oluşturulmuş veri tabanlarındaki değerleri ile karşılaştırmak ve otonom olarak yönetilen aracın yön, belirli bir referans noktası ya da hedefe göre konum, hız ve ivme gibi sayısal değerlerinin değiştirilip değiştirilmemesi gerektiğine karar vermektir. Verilen kararlar sürekli olarak çıktı grubu aygıtlarına aktarılır.[17] Söz konusu sistemde kullanılan işlem grubu modülü “Uçuş Yönetim Bilgisayarı” olarak adlandırılan bir otopilot bilgisayarıdır.

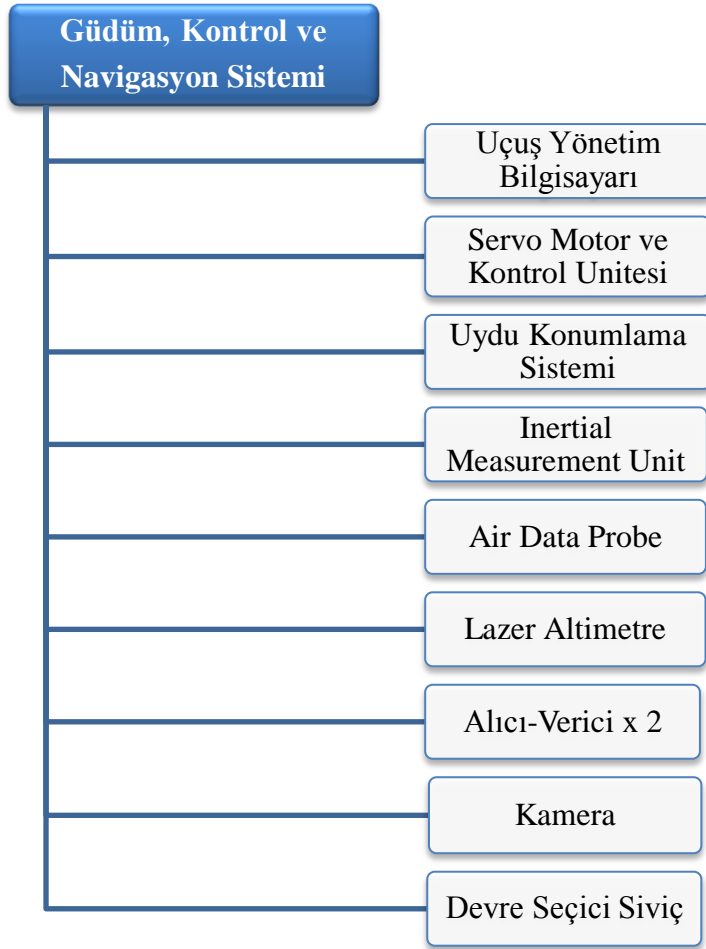
Çıktı grubu sistem elemanları, girdi grubundan gelen ham verilerin işlem grubunda işlenmesi ile elde edilen komutlara göre, gerçek zamanlı olarak güdümlenen aracın görevin gerektirdiği hareketleri yüksek doğrulukla yerine getirmesini sağlar.[17] Aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sisteminde çıktı grubu olarak 2 adet dc servo motor kullanılmaktadır.

Aşağıda (Şekil 3.2)’de 50 kg.’a kadar kargo taşıyabilen MDS3 isimli aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemine ait güdüm, kontrol ve navigasyon ünitesinin yapısı gösterilmiştir.[18]



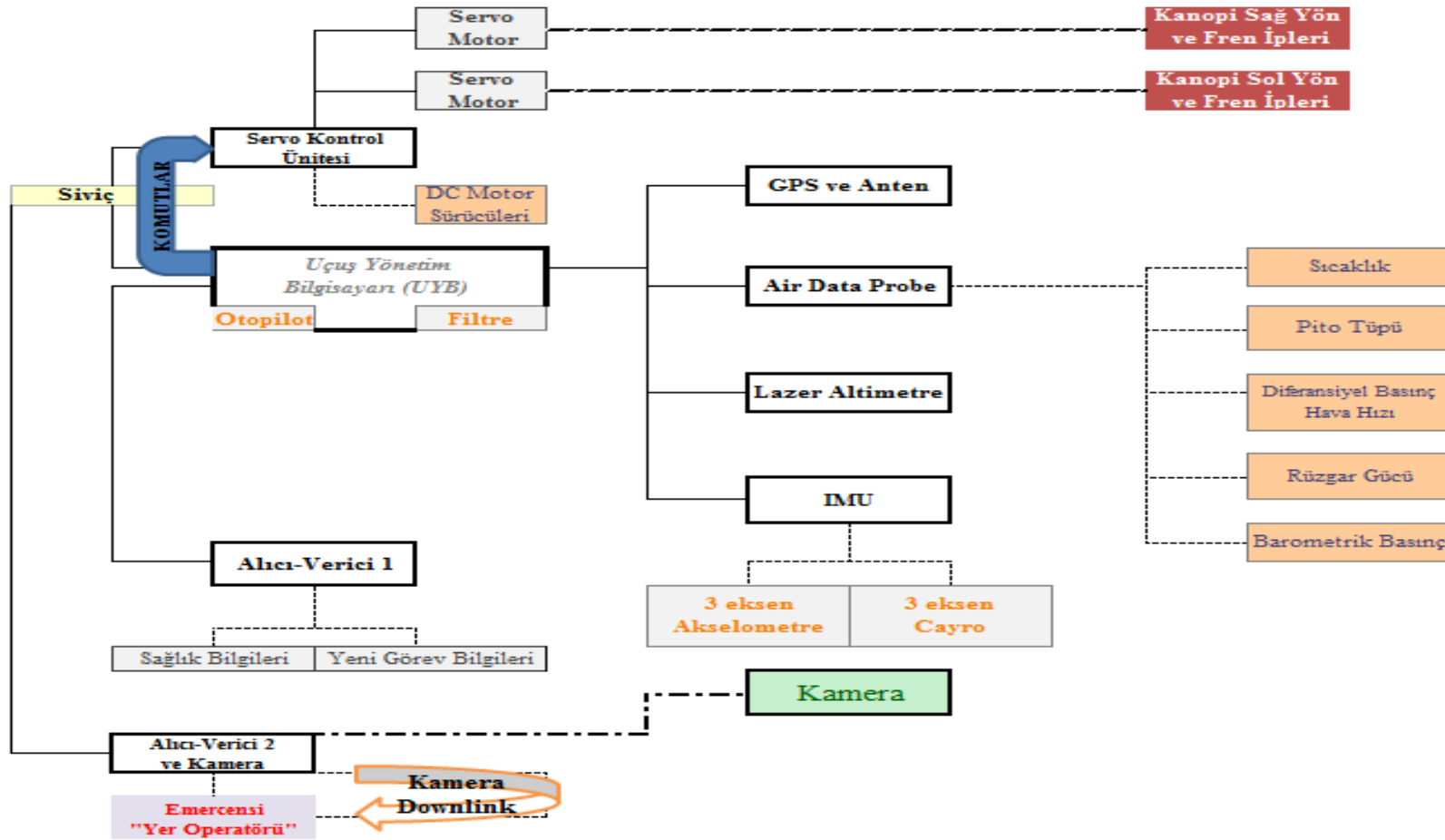
Şekil 3.2 : Güdüm, kontrol ve navigasyon sistemi yapısı

Güdüm Kontrol ve Navigasyon Sistemi birbiri ile uyumlu halde çalışan, herhangi bir arıza durumunda siviç vasıtası ile sistemin emercensi olarak kontrol edilebileceği şekilde tasarlanmış 9 adet alt sistemden oluşmaktadır.



Şekil 3.3 : Güdümlü kontrol ve navigasyon sisteminin alt bileşenleri.

(Şekil 3.3)'de alt bileşenleri verilen güdümlü kontrol ve navigasyon sisteminin blok diyagramı ve hiyerarşik yapılanması (Şekil 3.4)'te detaylı olarak açıklanmıştır.

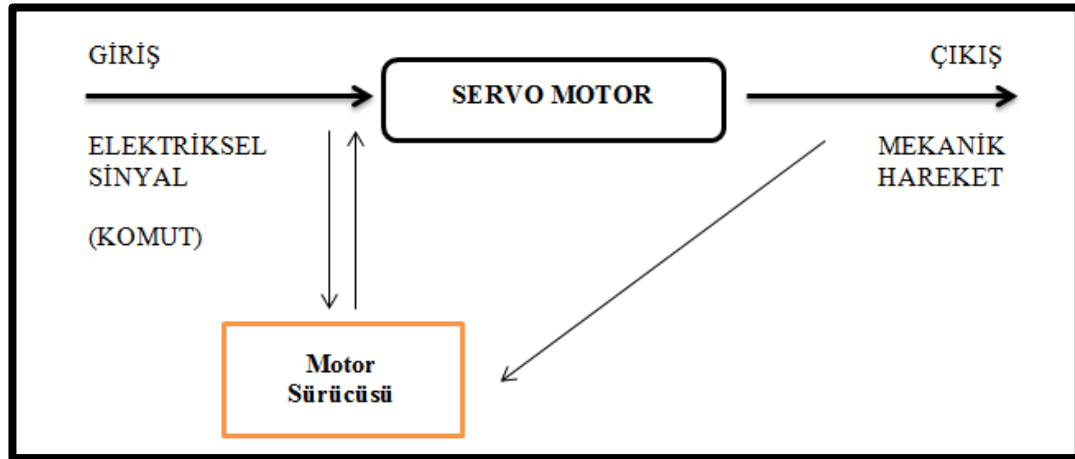


Şekil 3.4 : Blok diyagram ve hiyerarşik yapılanma

3.2 Servo Motorlar Ve Kontrol Ünitesi

3.2.1 Servo motorlar

Servo motoru 1 devir/dakikalık hız bölgelerinin altında bile kararlı çalışabilen, hız ve moment kontrolü yapılabilen, hatayı algılayarak yan bir geri besleme düzeneğinin yardımıyla herhangi bir mekanizmanın işleyişini denetleyen ve oluşmuş olan hataları gideren otomatik bir aygıttır. Bu sistemler mekaniki alanlarda kullanılabileceği gibi elektronik ve hidrolik-pnömatik gibi alanlarda da kullanılabilir. Günümüzde üretilen servo motorların çalıştırma sürücüleri tamamen mikroişlemci kontrollü ve dijital yapıdadırlar. Servo sürücüler servo motorun hareketini çoğu zaman noktadan noktaya konum kontrolü, hız kontrolü ve ivme programlaması yaparak kontrol ederler. Aşağıda Şekil 3.5'te servo motorların genel olarak çalışma prensibi gösterilmiştir.[19, 20]



Şekil 3.5 : Servo motor çalışma diyagramı

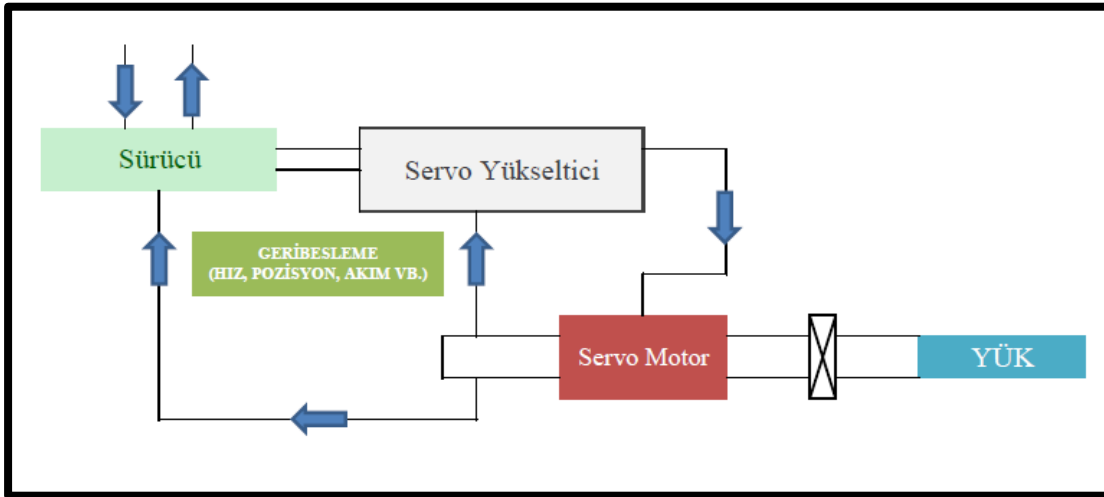
Servo motorlar içerlerinde herhangi bir alternatif akım (AC), doğru akım (DC) veya adım (Step) motoru bulundurmaktadırlar. Servo motorların AC ile çalışan modelleri fırçasız, DC ile çalışan modelleri ise fırçalıdır. DC servomotorlar genellikle “elektronik hareketli denetleyiciler” adı verilen elektronik yapıllı sürücü/programlayıcı devrelerle kontrol edilirler. Bu bölümde incelenecek olan doğru akım ile çalışan servo motorlardır. [19, 20]

Bir servo motor Őu karakteristiklere sahip olmalıdır [19, 20] :

- Geniş bir hız sınırı içinde kararlı olarak çalıŐabilmeli,
- Devir sayısı, hızlı ve dűzgűn Őekilde deėiŐtirilebilmeli,
- Uzun sűreler boyunca ısınma yapmadan belirli bir hız aralığında çalıŐabilmeli,
- Rűlantide çalıŐırken yűkű belirli bir pozisyonda tutmaya yeterli torku űretebilmelidir

3.2.2 Servo motor sűrűcűsű

Servo motor sűrűcűsű, aktarma organı ve yűkten oluŐan mekanik servo sistemin hız, moment veya pozisyon deėiŐkenlerinden hepsinin yada herhangi birinin, bu deėiŐkenlerle ilgili verilen referans deėerlerine uygun olarak hareket ettirilmesini saėlayan elektronik bir sistem elemanıdır. Servo sűrűcűleri DC servo sűrűcűler ve AC servo sűrűcűler olarak ikiye ayrılır. [19, 20]



Őekil 3.6 : Servo motor sűrűcűsű çalıŐma diyagramı

(Şekil 3.6)'da servo motor sürücüsünün genel olarak sistemi nasıl denetlediği gösterilmiştir. Uçuş yönetim bilgisayarından gelen sinyaller sürücü tarafından servo motorun işleyebileceği hale getirilerek motorun nasıl çalışması gerektiği ile ilgili komut üretir. Sinyaller yükselticide kuvvenlendirilerek servo motoruna iletir. Motor gerekli akım ile beslendiğinden yükü kaldırabilecek kadar tork ve devir meydana getirerek gerekli hareketi sağlar. [19, 20]

Dişli kutuları (redüktör) mekanik sistemlerde hızı ve torku değiştirmek için kullanılır. Kullanılan dişlilerin sayısı, büyüklükleri ve diş sayıları dişli kutularının teorik mekanik avantajını ya da torkun veya hızın kaç kat arttığını belirler. Dişli kutularında hızın ve torkun kaç kat değiştiği redüksiyon oranı ile belirtilir. Örneğin 100:1 redüksiyon oranına sahip bir motorda, motor shaftının 100 dönüşünde dişli kutusu çıkışındaki son dişlinin shaftı bir dönüş yapıyor anlamına gelir. Yani hız 100 kat azalmış, tork ise buna bağlı olarak 100 kat artmış olur. Sistemin yüksek tork ihtiyacı motor tipine uygun olan bir dişli kutusu ile karşılanacaktır.[21]

Verilen komutlar doğrultusunda hareket eden servo motorun konum ve hız geri beslemesini yapan ve istenilen pozisyon ve hız haricinde hareket edip etmediğini kontrol eden bir “feedback encoder” kullanılması gerekmektedir

(Şekil 3.7)'de görüldüğü gibi aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemlerinde servo motor çıkışına irtibatlandırılmış makaralar gelen dönü ile sarım yaparak paraşüt yön iplerini çekerler. Sağ servo motora verilen komut ile sağ makara dönü yapar ve sağ yön ipi makara üzerine sarılır, böylece paraşütün sağa dönüş hareketi gerçekleşir. Buna benzer şekilde sol servo motora verilen komut ile sol makara dönü yapar ve sol yön ipi makara üzerine sarılarak paraşütün sola dönüş hareketi gerçekleşir. Verilen ters komut ile sarım yapan makara ilk pozisyonuna dönerek paraşütün dönüşten çıkmasını sağlar. Motorların aynı anda çalışarak her iki ipide çekmesiyle ise frenleme yapılır.[22]



Şekil 3.7 : Makara sisteminin çalışması

3.2.3 Servo motor ve kontrol ünitesi önerisi

24 Volt DC voltaj ile çalışan ve paraşüt yön ve fren iplerini kesintisiz olarak ağır hava şartlarında çekerek yönlendirmeyi sağlayabilecek şekilde yüksek tork üretebilen kabiliyette bir servo motor kullanılması gerekmektedir. Kullanılan servo motor hem hafif hemde seri ve güçlü olmalıdır. Bu özelliklerde aşağıda (Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Çizelge 3.1, Çizelge 3.2, Çizelge 3.3,Çizelge 3.4) detaylı bilgileri verilen dc servo motor kullanılabilir.[23]



Şekil 3.8 : Maxon RE 40 Ø40 mm, Graphite Brushes, 150 Watt

Çizelge 3.1 : DC motor özellikleri

Özellikler	
Voltaj	24 V
Dönüş Hızı	6930 rpm
Tork (max. devamlı tork)	170 mNm
Stall Torku	2280 mNm
Çalışma sıcaklığı	-30 ile +100 °C
Max. İzin Verielen Dönüş Hızı	12000 rpm
Dönüş Yönü	Saat Yönü
(CW)Ağırlık	480 g
Çap	40 mm



Şekil 3.9 : Maxon GP 42 C Ø42 mm, 3 - 15 Nm, Ceramic Version

Çizelge 3.2 : Dişli kutusu özellikleri

Özellikler	
Dişli Oranı	43 : 1
Max. Devamlı Tork	15 Nm
Uzunluk	70 mm
Çalışma Sıcaklığı	-40 ile +100 °C
Çap	42 mm
Ağırlık	460 g



Şekil 3.10 : Maxon MR, Type L, 1024 CPT

Çizelge 3.3: Encoder özellikleri

Özellikler	
Her Turdaki Sayım	1024
Max. Hız	18750 rpm
Voltaj	4.7 ile 5.2 V
Çalışma Sıcaklığı	-25 ile +85 °C



Şekil 3.11 : Maxon EPOS2 70/10, Digital positioning controller

Çizelge 3.4 : Motor sürücüsü özellikleri

Özellikler	
Ağırlık	330 g
Boyutlar	150x93x27 mm
Çalışma Sıcaklığı	45 ile -10 °C
Yazılım Desteği	Windows 8, XP SP3, Vista

3.3 Uydu Konumlama Sistemi

Global Positioning System (GPS), Dünya üzerinde insanlı ya da insansız hava araçlarına yüksek doğrulukla konum, hız ve zaman gibi seyrüsefer bilgilerini 24 saat esasına göre aktarım yapmak üzere tasarlanmış bir sistemdir.

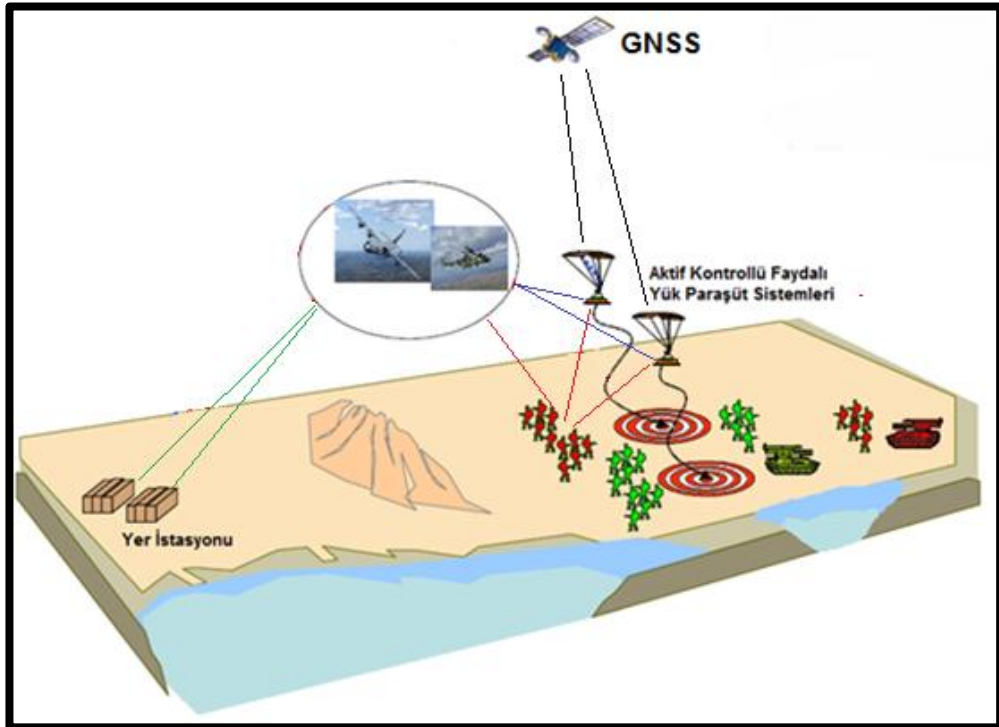
GNSS Augmentation, konumlama sisteminin dış ünitelerin yardımıyla hassaslık, güvenilirlik ve erişilebilirliğini artırmak olarak tanımlanmaktadır. GPS hatalarının en büyük kaynağı iyonosfer ve atmosferdir. Yeryüzünde koordinatları çok doğru bilinen bir noktada GPS yayını izleyerek yapılan ölçümlerden GPS hatası çıkarılır. Daha sonra bu hata civar coğrafi bölgeye yayınlanarak daha doğru bir GPS sinyali elde edilir. GNSS Augmentation, sistemin harici bilgiyi alış biçimine göre farklı dallara ayrılır. Yer tabanlı olarak düzeltme yapan sistemler LAAS (Local Area Augmentation System) ve dGPS (Differential Global Positioning System), uydu tabanlı olarak düzeltme yapan sistem ise WAAS (Wide Area Augmentation System)'dir.[24]

Aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemlerinin yerküre üzerinde mevcut konumunun takip edilebilmesi ve sistemi hedef nokta koordinatlarına yönlendirecek olan komutların üretilebilmesi için en gerekli ve temel sistem uydu konumlama sistemidir. Paraşütün istenilen noktaya en düşük hata payıyla indirilebilmesi, anlık konum bilgisinin çok yüksek hassasiyetlerde elde edilebilmesiyle mümkündür. Buda en etkili ve ekonomik olarak GNSS sistemlerini kullanarak sağlanabilir.

Sistem bırakıldığı anda otonom olarak GPS bağlantısı kurarak o anki konum bilgisine ulaşır. Daha sonra sensörler vasıtası ile algıladığı rüzgar, basınç ve doğrultu gibi bilgilerle birlikte mevcut konum bilgisini uçuş yönetim bilgisayarında işleyerek, daha önce girilmiş olan hedef noktasına ulaşmak için gerekli yönlendirme komutlarını üretir.

Yönlendirmenin otonom olarak yapılabilmesi için aktif kontrolü faydalı yük paraşüt sistemimizde bir GPS alıcısı ve anteni kullanacağız. Yalnız burada önemli olan, kullanmış olduğumuz GPS sisteminin yüksek çözünürlüklü konum bilgisi sağlayan ve GNSS Augmentation özelliğini destekleyen bir GPS alıcısına sahip olmasıdır.

Aşağıda (Şekil 3.12)'de operasyon sahasında aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemlerinin GNSS uyduları ile diğer uçuş ve yer birimleri arasındaki bağlantıyı anlatmaktadır.[25]



Şekil 3.12 : JPADS'lerin hareket sahasında kullanımı

3.3.1 Uydu konumlama sistem önerisi

Aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sisteminde içerisinde yukarıda bahsedilmiş olan GNSS Augmentation özelliğine sahip bir GPS sistemin kullanılmalıdır. Çünkü diğer ülkeler tarafından halihazırda üretilmekte olan kargo sistemleri 80 metre gibi yüksek bir hassasiyetle hedefe ulaşabilmektedir. Bu sebeple GNSS uydularından alınacak olan konum bilgilerinin çok hassas olması gerekmektedir. Aşağıda (Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Çizelge 3.5, Çizelge 3.6) örnek olabilecek özellikteki bir sistem tasarlanmıştır.[26]

Bugünkü GPS teknolojisinde CoCom Limits (Coordinating Committee for Multilateral Export Controls) adıyla bilinen bazı kısıtlamalar mevcuttur. Eğer bir sistem 60000 ft üzerinde bir irtifada veya 1900 km/sa'den daha hızlı seyir halinde ise GPS izlemesi kesilmektedir. Ancak bizim tasarlayacağımız sistemde bu hız ve yükseklik değerleri geçerli olmadığından sistemimiz için CoCom limitleri herhangi bir problem teşkil etmemektedir.[27]



Şekil 3.13 : Novatel OEMV-2™

Çizelge 3.5 : Uydu konumlama sistemi alıcısı özellikleri

Özellikler																
Kanal Konfigürasyonu	72 Channels 14 GPS L1, 14 GPS L2 12 GLONASS L1, 12 GLONASS L2 2 SBAS															
Yatay Konum Doğruluğu	Single Point L1 1.5 m Single Point L1/L2 1.2 m SBAS2 0.6 m DGPS 0.4 m RT-203 0.2 m															
Ölçüm Hassasiyeti	<table><thead><tr><th></th><th>GPS</th><th>GLO</th></tr></thead><tbody><tr><td>L1 C/A Code</td><td>4 cm</td><td>15 cm</td></tr><tr><td>L1 Carrier Phase</td><td>0.5 mm</td><td>1.5 mm</td></tr><tr><td>L2 P(Y) Code</td><td>8 cm</td><td>8 cm</td></tr><tr><td>L2 Carrier Phase</td><td>1 mm</td><td>1.5 mm</td></tr></tbody></table>		GPS	GLO	L1 C/A Code	4 cm	15 cm	L1 Carrier Phase	0.5 mm	1.5 mm	L2 P(Y) Code	8 cm	8 cm	L2 Carrier Phase	1 mm	1.5 mm
	GPS	GLO														
L1 C/A Code	4 cm	15 cm														
L1 Carrier Phase	0.5 mm	1.5 mm														
L2 P(Y) Code	8 cm	8 cm														
L2 Carrier Phase	1 mm	1.5 mm														
İlk Çalışma Süresi	İlk Kez 60 s Daha Sonra 35 s															
Hız Ölçüm Doğruluğu	0.03 m/s															

Boyutlar	60 x 100 x 13 mm
Ağırlık	56 g
Voltaj	+3.3 VDC [+5%/-3%]
Çalışma Sıcaklığı	-40 ile +85°C



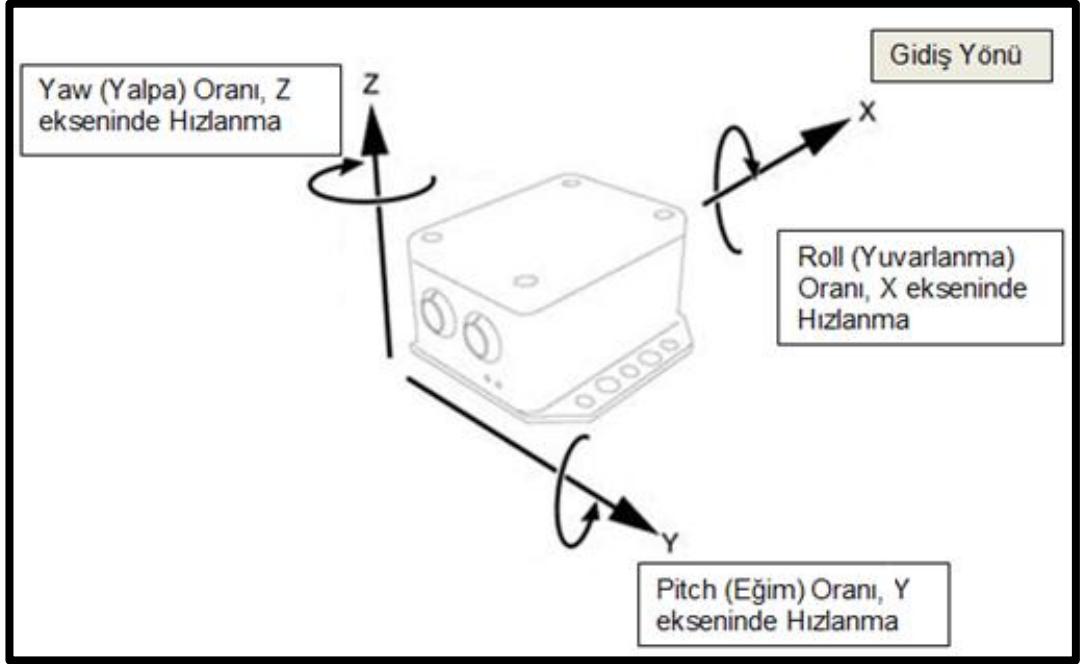
Şekil 3.14 : Novatel GPS-701-GG

Çizelge 3.6 : Uydu konumlama sistemi anten özellikleri

Özellikler	
Boyutlar	185 mm çap x 69 mm
Ağırlık	500 g
Voltaj	+4.5 ile +18.0 VDC
Çalışma Sıcaklığı	-40°C ile +85°C

3.4 Inertial Measurement Unit (IMU)

Imu 3 boyutlu ekseninde hareket halinde olan bir aracın hızını, oryantasyonunu ve yer çekiminden dolayı üzerine binen yükleri akselometre ve cayroskop kullanarak ölçen elektronik bir cihazdır. Imu'lar genel olarak bir uçağın, insansız hava araçlarının veya uyduların yönlendirmesini kontrol etmek amacı ile kullanılırlar. Bazı kombinasyonları GPS sinyali kesildiğinde belirli bir süre boyunca aracın GPS'ten elde edilen bilgilerini tahmin metodları ile elde edebilir. Örneğin bir tünele giren arabanın konumu tahmini olarak bir süre boyunca yaklaşık bir şekilde bilinebilir.[28]



Şekil 3.15 : IMU cayro ve akselometre

3.4.1 IMU önerisi

Atalet sensörleri 3 boyutlu pozisyon ve durum bilgilerini üretir. Günümüz MEMS teknolojisi bu sensörlerin oldukça küçük ve hafif olabilmelerine olanak sağlar. Atalet sensörleri;

- 3 eksenli çayro ve akselerometre
- Manyetometre
- Konumlama uydusu alıcısı
- Pito basıncı sensörü
- Ultrasonik sensör
- Kızılötesi sensör
- Kamera sensörü içerebilirler.

Aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemlerinde (Şekil 3.15 ve Çizelge 3.7) gösterilen özelliklerde bir IMU kullanmak paraşütün ivmesini, sistemin üzerine düşen G kuvvetini, sistemin oryantasyonunu ve yönelmelerini öğrenmemizi sağlar.[29]



Şekil 3.16 : Xsense IMU, MTi 10

Çizelge 3.7 : IMU özellikleri

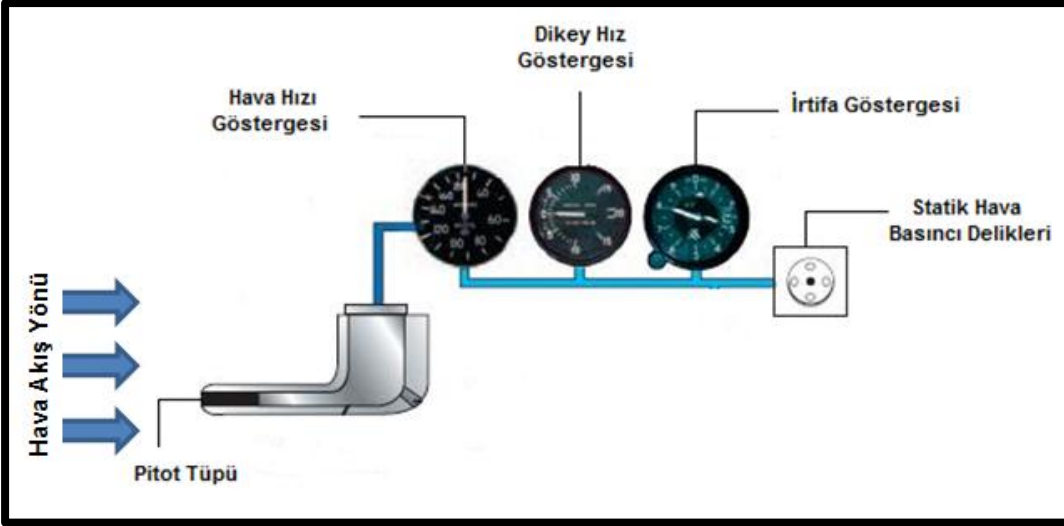
Özellikler	
Voltaj	4.5 ile 34VDC
Çalışma Sıcaklığı	-40°C ile +85°C
Gecikme	<2 ms
Boyutlar	57x42x23 mm
Ağırlık	52g

3.5 Air Data Probe

Bu sistem pitot tüpü, statik ve dinamik basınç delikleri ile ham bilgileri hesaplayan bir işlemciden oluşur. Pitot statik sistemin amacı; air data işlemcisine bu probelardan gelen dinamik (pitot) ve ortam (statik) basınç bilgilerini sağlamaktır. Air data işlemcisi ise bu ham bilgileri işleyerek hava hızı, barometrik basınç, irtifa, dikey hız (varyo), hava sıcaklığı, hücum açısı ve kayma oranı bilgileri gibi sinyallere çevirerek uçuş yönetim bilgisayarına iletir.[30]

Genellikle hava araçlarının burun kısmında bulunan, ucu delik sivri uçlu çubuklara pitot tüpü denir. Hava aracının tasarımına göre en az hava karışıklığının olduğu bir bölgede uçuş yönüne doğru bakar. Hava aracı hareket halindeyken meydana gelen hava akımı pitot tüpünün içinde basınç oluşturur. Pitot tüpünden alınan basınç ile pitot tüpünün yan yüzeyinde bulunan statik basınç deliklerinden gelen basınç arasındaki fark kullanılarak hava aracının uçuş esnasındaki hava hızı ölçülür. [30]

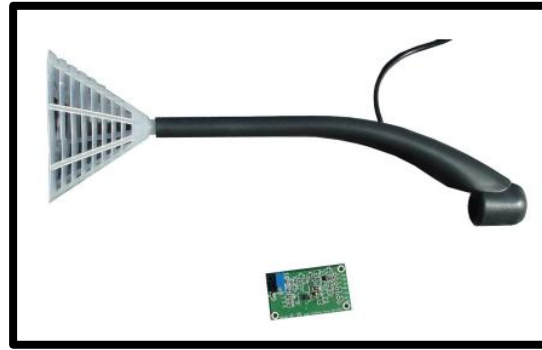
Günümüzde kullanılan pitot sistemleri üzerindeki sensörler sayesinde yalnızca basıncı ve hızı ölçmezler. Diğer bilgilerde bir tek pitot üzerinde konuşlu sensörler ile sağlanabilir. Basit olarak bir pitot sisteminin çalışma prensibi aşağıdaki (Şekil 3.17)'de gösterilmiştir.[30]



Şekil 3.17 : Pito-statik sistemi

3.5.1 Hava hızı sensörü önerisi

Bizim sistemimizde gerekli olan bilgi uçuş istikametindeki hakim rüzgarın şiddetinin değeridir. Buda hava hızını anemometer kullanarak ölçebilen basit proplar ile sağlanabilmektedir. Ancak anemometer probları ile ölçülen hava hızı paraşütün ve karşı rüzgarın toplan hızını göstereceği için bu bilginin işlenmesi gerekmektedir. GPS sisteminden alınan paraşütün yer hızı probdan elde edilen toplam hızdan çıkartılarak karşı rüzgarın hızı bulunabilir. (Şekil 3.18 ve Çizelge 3.8)'de TURAF sisteminde kullanılabilir örnek bir sensörün özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.18 : Flytec paragliding hava hızı sensörü

Çizelge 3.8 : Hava hızı sensörü özellikleri

Özellikler	
Voltaj	+5.3 ile +26 VDC
Çalışma Sıcaklığı	-40°C ile +85°C

3.6 Uçuş Yönetim Bilgisayarı

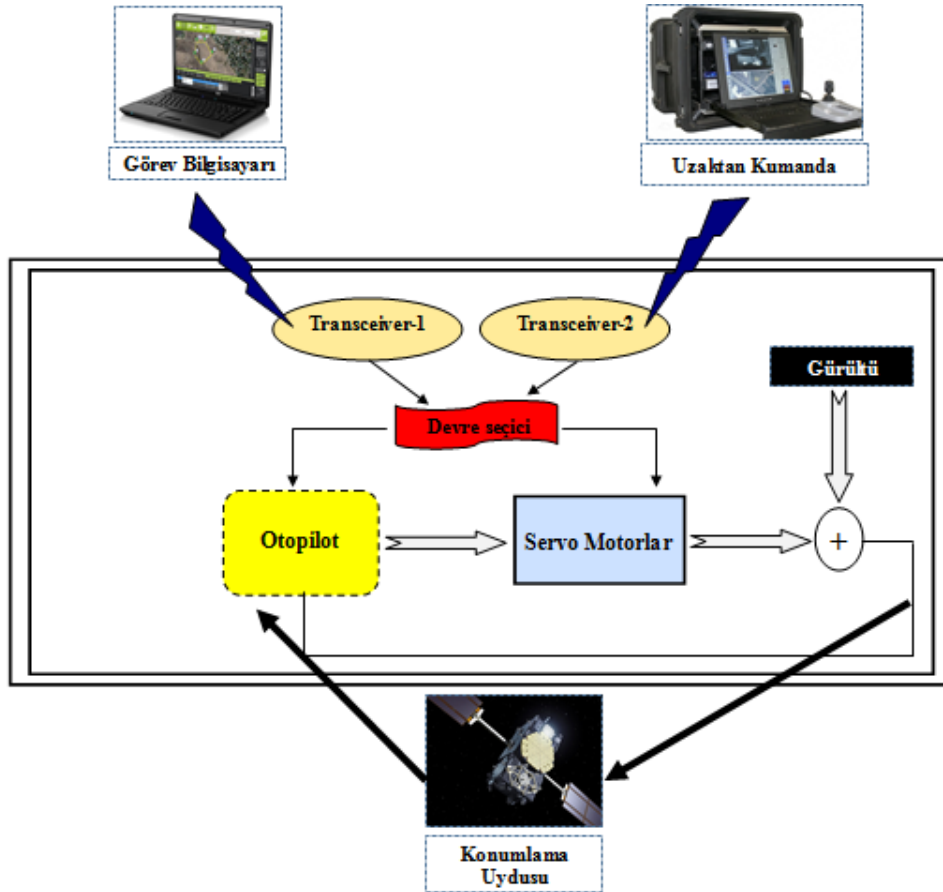
Herhangi bir insansız hava aracınının mekaniki, elektriki ve hidroliki sistemlerini kullanarak, hava aracını insan müdahalesi olmadan kontrol edebilen ve yönlendirmesini sağlayabilen sistemlere “uçuş yönetim sistemi” denir. Otopilot ise uçuş yönetim sistemi içerisinde yer alan ve herhangi bir insan kontrolü olmadan hava aracını yönlendiren donanımsal ve yazılımsal sistemlerdir. Otopilot sistemleri günümüzde model uçaklardan uydulara kadar birçok alanda kullanılmaktadır.[32]

Günümüz teknolojisiyle çeşitli insansız hava aracı sınıflarına uygun, farklı elektronik donanım, kontrol ve yazılım mimarisinde aviyonik sistemler geliştirilmektedir. Bu sistemler uçağın gerçek pozisyonunu GPS, radyo navigasyonu aletleri ve hava aracı içerisindeki pozisyon güncelleme cihazlarından devamlı olarak güncelleyerek, otopilot kontrol paneli veya uçuş bilgisayarındaki bilgileri baz alarak uçağı kumanda ederler.[32]

Bir otopilot sisteminin temel amacı hava aracınının sürekli olarak girilen referans hattını veya kontrol noktalarını takip etmesini sağlamaktır. Gelişmiş otopilot sistemleri hava aracınının kalkış, yükseliş, alçalış, yol izleme ve iniş aşamalarında yönlendirme sağlayabilmektedirler. Yalnız dikkat edilmesi gereken nokta otopilot uçuş yönetim sisteminin yalnızca bir bileşeni olduğudur. Otopilot sistemi kontrol mod değişimleri için yer istasyonu ile iletişim kurabilmeli, konumlama uydularından yayınlanan pozisyon güncellemelerini alabilmeli ve kontrol sinyallerini hava aracı üzerindeki kumanda sistemlerine gönderebilmelidir. Otopilot tüm bunları gerçekleştirebilmek için çeşitli sensörlere ihtiyaç duyar. Bu sistemlerle birlikte otopilot sistemi yukarıda kısaca bahsedildiği gibi uçuş yönetim sistemini oluşturur.[32]

Otopilot sistemi 2 bileşenden oluşan (durum izleme ve kontrol etme) bir kapalı-döngü sistemidir. Genel olarak durum izleme bileşeni atalet ölçümü yapan, çayro, akselerometre ve manyetik sensörlerden oluşan bir sistemdir. Bunun haricinde kızılötesi ve görsel tabanlı durum izleme yapan sistemlerde mevcuttur. Sensörlerden alınan bilgiler konumlama uydularından gelen konum bilgileri ile kombine edilerek bir sonraki durum kestirmesi yapılır ve kontrol sinyalleri üretilir. Farklı kontrol stratejilerine dayanarak otopilot sistemleri PID (proportional-integral-derivative, Oransal-İntegral-Türev) tabanlı, bulanık mantık tabanlı, yapay sinir ağları tabanlı ve diğer tabanlı olarak kategorilere ayrılabilir.[32]

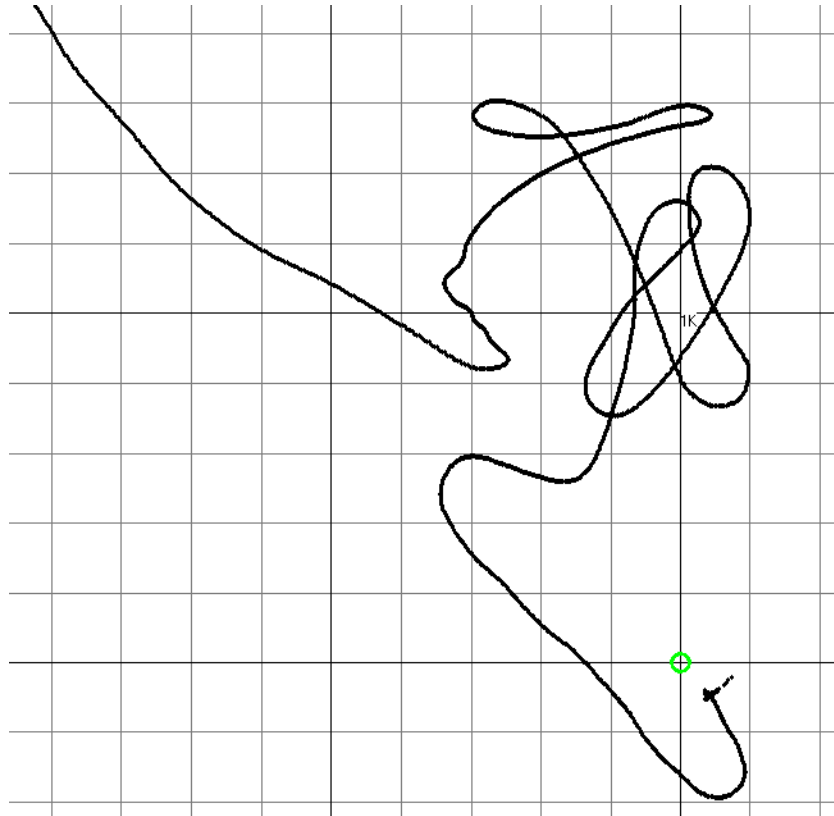
Aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemlerinde otopilot, GPS ve sensörlerden aldığı bilgileri kullanarak görev bilgisayarı tarafından tasarlanan uçuş paterninde sistemi hedef noktasına ulaştırmak için kumanda motorlarına komutlar üretir. Burada önemli olan tasarımda kullanılacak olan bileşenlerin az enerji tüketimli, hafif ve küçük boyutlu olması gerekliliğidir.



Şekil 3.19 : Otopilot sistemine genel bakış

(Şekil 3.19)'da açıklandığı üzere otopilot sistemi bir yer istasyonu, uydu konumlama sistemi ve acil durumlarda manuel uçuş için uzaktan kontrol ünitesine ihtiyaç duyar. UYB yer istasyonu tarafından sağlanan rüzgar bilgisi ve uçuş paterni bilgilerini, GPS üzerinden aldığı konum bilgilerine göre değerlendirir. Daha sonra kendisini önceden hesaplanan uçuş güzergahı üzerinden hedef noktaya ulaştırır.

DragonFly™ ile 23 Ekim 2009 tarihinde 17,000 ft. MSL irtifa ve 7.8 km. mesafeden 3200 kg. faydalı yük ile yapılan atışta sistemin izlediği yol aşağıda (Şekil 3.20) sunulmuştur. Sistem 345 baştan gelen 5 knot rüzgarda 127 m. hata ile iniş yapmıştır.[33]



Şekil 3.20 : DragonFly™ uçuş yolu

3.6.1 Uçuş yönetim bilgisayarı önerisi

TURAF aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemi tasarımında kullanılacak uçuş yönetim bilgisayarı özellikleri (Şekil 3.21 ve Çizelge 3.9)'da sunulmuştur.[34]



Şekil 3.21 : The phyCARD-M-i.MX35

Çizelge 3.9 : UYB özellikleri

Özellikler	
Voltaj	3.3 - 5.0 V
Çalışma Sıcaklığı	-30°C ile +85°C
Boyutlar	60x60 mm
Ağırlık	52g
Güç Tüketimi	0.8 W

3.7 Alıcı-verici

Transceiver kavramı alıcı ve vericinin ayrı kumanda kutularında tasarlandığı 1920li yılların başlarında ortaya çıkmıştır. Aynı devreyi ve anteni kullanan alıcı ve verici sistemleri tasarlanarak tek bir kumanda kutusunda birleştirilmiş ve transceiver (**transmitter-receiver**) cihazı olarak adlandırılmıştır. Sistem genel olarak elektronik siviç vasıtası ile dinleme esnasında vericiyi kapatma ve yayın esnasında ise alıcıyı kapatma prensibi ile çalışır.

İnsansız hava aracı sistemlerinde hava aracı ile yer istasyonunun uzak noktalarda iletişiminin sağlanması için transceiver denilen uzak nokta alıcı-verici modüllerinin kullanılması gerekmektedir. Bu sayede sistemin hertürlü uçuş, sağlık ve görev bilgilerine erişilebilir, gereken durumlarda ise değişiklik uçuş parametrelerinde gerekli değişiklikler yapılabilir. Yer istasyonunda bulunan görev bilgisayarı ile paraşüt sisteminin kontrol noktaları (waypoints) yada uçuş güzergahı uçuş yönetim bilgisayarına yüklenir. Uçuş esnasında sistemin güzergah üzerinde hangi noktada olduğu, rüzgar, basınç, sıcaklık, uydu bağlantısı, batarya düzeyi, sistem sağlık bilgisi gibi verileri yer istasyonuna transceiver ile aktarılır. Herhangi bir hata durumunda yer istasyonunda oluşturulan yeni kontrol noktaları ve uçuş güzergahı transceiver ile hızlı bir şekilde uzak mesafeden sisteme yüklenir.

3.7.1 Alıcı-verici-1 önerisi

Aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sisteminde kullanılacak olan transceiver ünitesi hafif, küçük boyutlu, az enerji tüketimli ve en az 25 km mesafeden kaliteli bir iletişim sağlayabilecek bir sistem olmalıdır. Tasarımda kullanılacak bir örnek ünite (Şekil 3.22 ve Çizelge 3.10)'de sunulmuştur.[35]



Şekil 3.22 : Spectra 920A

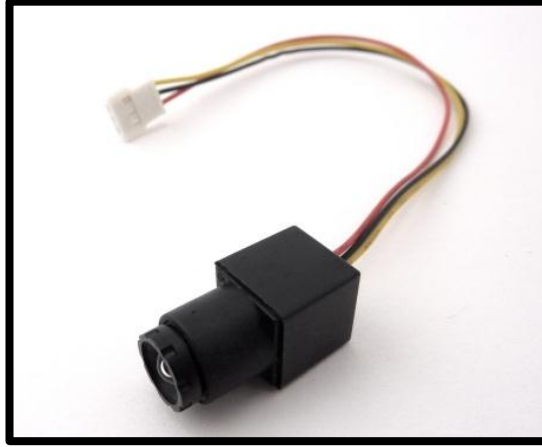
Çizelge 3.10 : Alıcı-verici-1 özellikleri

Özellikler	
Voltaj	9 ile 30 VDC
Çalışma Sıcaklığı	-40°C ile +85°C
Menzil	100+ km
Frekans	902 - 928 MHz
Boyutlar	111mm x 98mm x 43mm
Ağırlık	420g
Bağlantı Hızı	19.2 kbps - 230.4kbps

3.7.2 Alıcı-verici-2 ve kamera önerisi

Aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sisteminde meydana gelen herhangi bir alt sistem arızası sonucu otonom uçuş özelliği yitirilir ise uzaktan kumanda modülü ile sistemin kontrol edilebilmesi için bir RF modeme ihtiyaç olacaktır. Bu sistem diğer alt sistemlerden bağımsız olmalı ve bir siviç vasıtası ile uçuş yönetim bilgisayarından bağımsız olarak sisteme kumanda edebilmelidir. Eğer paraşüt sistemi üzerinden hiçbir veri alınamaz duruma gelinir ise düşük çözünürlüklü bir kamera ile görerek şartlarda eğitilmiş paraşüt kumanda operatörü ile sistem emniyetli bir şekilde uçurularak hedef noktası (yada yakınlarına) indirilebilir. Bu sebeple alıcı-verici sistemi ile bir downlink oluşturulmalıdır. Bu link üzerinden yer kontrol ünitesine görüntü aktarılabilir ve emercensi durumlarda sistem kurtarılabilir.[36]

Tasarımda kullanılabilir örnek bir kamera ve alıcı-verici-2 ünitesi aşağıda (Şekil 3.23, Şekil 3.24 ve Çizelge 3.11, Çizelge 3.12) [37, 38] sunulmuştur.



Şekil 3.23 : Kamera

Çizelge 3.11 : Kamera özellikleri

Özellikler	
Voltaj	6 ile 24 VDC
Çözünürlük	NTSC : 656×49 PAL : 768×576
Sensör	1/3 CMOS
Boyutlar	11.5 x 11.5 x 20mm
Ağırlık	3,2g



Şekil 3.24 : RV-M9-U

Çizelge 3.12 : Alıcı-verici-2 özellikleri

Özellikler	
Voltaj	10,5 ile 30 VDC
Çalışma Sıcaklığı	-30°C ile +60°C
Menzil	80 km'ye kadar
Frekans	450-470MHz
Boyutlar	117mm x 66mm x 243mm
Ağırlık	150g
Bağlantı Hızı	1200 ile 2400bps

3.8 Lazer Altimetre

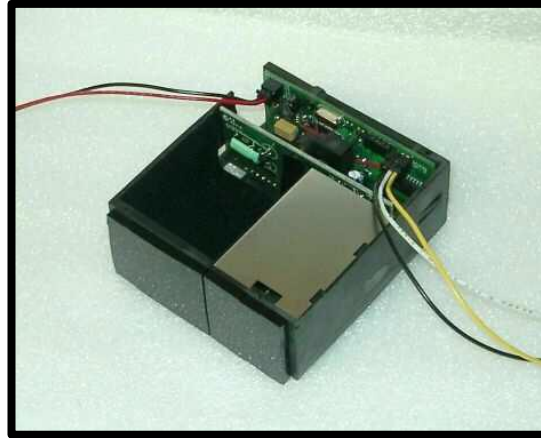
Lidar, Ladar (Laser Imaging Detection and Ranging, Laser Radar) yada lazer altimetresi, uzaktan algılama teknolojisi kullanarak kaynağından yoğun ve odaklanmış olarak yayınlanan lazer ışığının, hedef noktadan yansımaları arasında geçen sürenin hassas olarak ölçerek mesafe ve menzili hesaplayan bir sensördür. Lazer altimetresi çalışma prensibi olarak radar altimetreleri ile benzerlik gösterir. Ancak radarda radyo dalgaları ile hesaplama yapılırken lazer altimetrede ayırık olarak gönderilen lazer ışını kullanılır.[39, 40]

Lazer altimetre sistemleri herhangi bir harici kaynağa (güneş vb.) ihtiyaç duymadan çalışabildiklerinden aktif sistemlerdir. Genellikle gece açık havalarda daha doğru ve hızlı ölçümler yapabilmektedirler. Radar altimetrelere göre dezavantajları bulutlu, yağmurlu veya puslu havalarda sağlıklı ölçüm yapamamalarıdır. [39, 40]

Aktif kontrollü faydalı yük sistemlerinde hassas güdüm sağlamak için diğer irtifa bilgisi veren bileşenlerin yanında kullanılması daha hassas bir sonuç elde edilmesinde etkili olacaktır. Ancak sensörün alt kısmında kargo pleyti olduğunda yer ile ilişkisi güdüm kontrol ünitesinin orta katında olacak ve yere belirli bir açı ile bakacaktır. Uçuş yönetim bilgisayarında bir algoritma sayesinde bu açı ile alınan mesafe tekrar hesaplanarak irtifa bilgisi hesaplanacaktır.[41]

3.8.1 Lazer altimetre önerisi

TURAF aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemi tasarımında kullanılacak lazer altimetre ünitesi özellikleri (Şekil 3.25 ve Çizelge 3.13) aşağıda sunulmuştur.



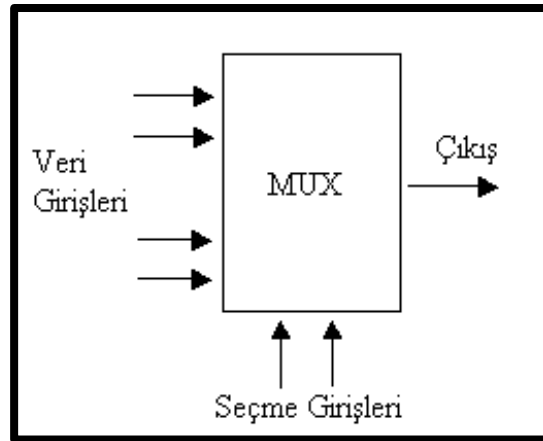
Şekil 3.25 : Opti-Logic RS800 modülü

Çizelge 3.13 : Lazer mesafe ölçer özellikleri

Özellikler	
Ağırlık	227 g
Boyutlar	32 x 78 x 84 mm
Çalışma Sıcaklığı	-28°C ile +60°C
Voltaj	+7 ile +9 VDC
Menzil	732 m
Hassasiyet	2 cm

3.9 Devre Seçici (Multiplexer)

Elektronikte çoklayıcı (multiplexer veya mux), birden fazla analog veya sayısal veri kaynağından birini seçerek o kaynağı çıktı olarak tek bir kanala ileten sistem olarak adlandırılır ve ÇOĞ (MUX) sembolü ile gösterilir. Bir çoklayıcı birden fazla girişten tek bir çıkışı sağlayan bir anahtar işlevi görür.[43]



Şekil 3.26 : Multiplexer fonksiyon şeması

(Şekil 3.26)' da sembolü ve fonksiyon şeması görünen veri seçici devresinde girişteki bilgilerden uygun olanının seçilmesi işlemi seçme girişleri (select inputs) ile yapılır. Dijital olarak kontrol edilebilen çok pozisyonlu anahtar gibi işlem yapan veri seçiciler, seçme hattının girişlerindeki değere göre çıkışa aktarılacak giriş hattına karar verir.[44]

TURAF aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sisteminde kullanılacak olan multiplexer devresi, sistemin otonom uçuş özelliğini yitirmesi durumunda servo motorlarının kontrolünü otomatik olarak UYB'ndan alarak uzaktan kumanda ünitesine verecek ve böylelikle, paraşüt sistemi faydalı yük ile birlikte uzak noktadan AGU ünitesine entegre edilmiş bir kamera yardımı ile uçurularak, mevcut şartlardaki en yakın noktaya indirilebilecektir.

3.9.1 Devre seçici önerisi

Sistem için önerilen analog Multiplexer-demultiplexer entegresi (Şekil 3.27), dijital olarak kontrol edilebilen ve 3-15 V arasındaki dijital sinyal aralığı sayesinde 15V'a kadar analog sinyallerin kontrolünü yapabilen 3 çift kontrol girişine sahip bir entegredir.[45]



Şekil 3.27 : Multiplexer entegresi

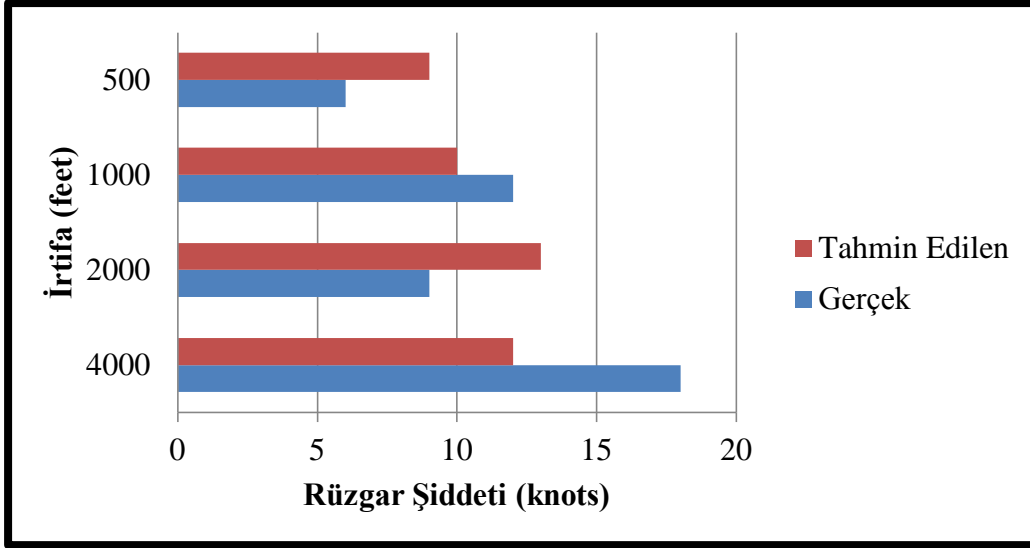
4. AKTİF KONTROLLÜ FAYDALI YÜK PARAŞÜT SİSTEMLERİNDE RÜZGAR BİLGİSİ

Rüzgarın şiddeti ve yönü günümüz teknolojisinde üretilmekte olan insansız hava aracı sistemleri için en gerekli bilgidir. Doğru şekilde hesaplanmış rüzgar bilgileri insansız hava aracının görevi etkin şekilde yerine getirebilmesi sağlayacak ya da hedef noktaya en hassas şekilde ulaşmasına olanak verecektir.

Aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemi, yer yüzeyi ile bırakma yapılacak olan irtifa (CARP) arasında gerçeğe yakın olarak hesaplanmış rüzgar bilgisinden yararlanacak şekilde geliştirilmiş ve uçak içerisinde bırakma irtifasının hesaplandığı taşınabilir bir görev planlayıcısı (MP) donanımına sahiptir. GPS güdümlü sistem hesaplanan bu bırakma noktasından itibaren uçuş yolu üzerinde düzeltmeler yaparak yerdeki istenilen hedef noktasına iniş yapar.[46]

Aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemlerinde uçuşu sağlayan en temel kumanda yüzeyi paraşütün yani kanopinin kendisidir. Görevin etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için rüzgarın yönünün ve şiddetinin hassas olarak hesaplanması gerekir. Yanlış olan bilgi sistemin hedef noktasından çok uzak bir noktaya düşmesine sebep olur.

Günümüz sistemlerinde (Jpads) mevcut konumdaki rüzgarın bilgilerini hesaplayabilen herhangi bir sensör bulunmamaktadır. Mevcut teknolojiye belirli bir hava hızına sahip hava araçlarının uçuş istikametinin belirli bir açısız alanının dışında kalan bölgelerinde hava hızı hesaplanamaz. Bu yüzden rüzgar bilgisi ya uçuş esnasında yada uçuş öncesinde çeşitli ekipmanlar ve yöntemlerle hesaplanarak güdüm kontrol bilgisayarına girilir. Ancak hesaplanan rüzgar bilgisi ile gerçek rüzgar bilgisi arasında fark olduğunda bu sistemin hesaplanan uçuş yolu üzerinde gitmesine engel olur.[47]



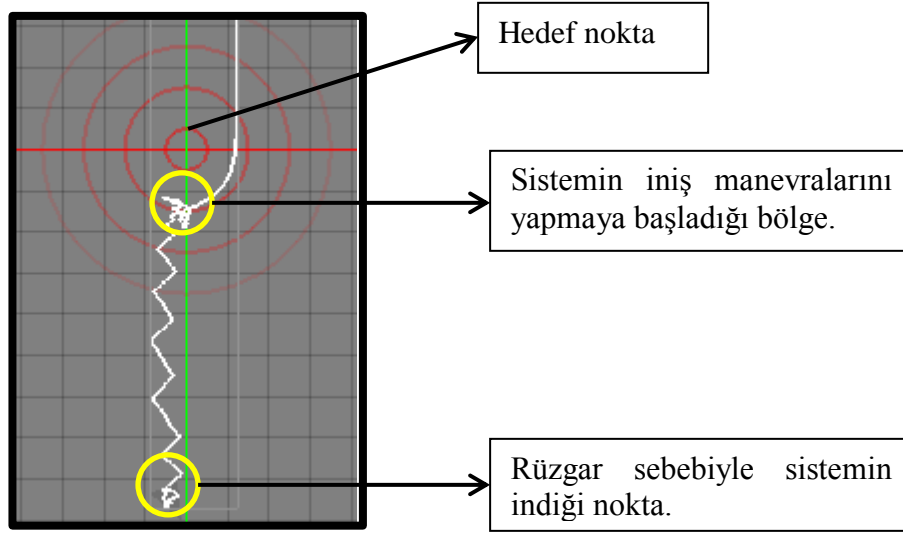
Çizelge 4.1 : Tahmin edilen ile gerçek rüzgar şiddetinin karşılaştırılması

Aşağıda (Çizelge 4.2) PATCAD 2009 toplantısında MMIST Sherpa Provider™ sistemi ile yapılan 4 görevde kullanılan rüzgar verileri, JAAWIN (Joint Air Force and Army Weather Information Network) tarafından sağlanmış olup, bırakma bölgesinde dropsonde ile herhangi bir ölçüm yapılmamıştır.[33]

Çizelge 4.2 : Sherpa Provider™ rüzgar şartları ve sonuçlar

Görev Numarası	Bırakılan Mesafe	İrtifa (MSL)	Faydalı Yük Ağırlığı	Rüzgar Bilgisi	Hata
26a	8.0 km.	12,000 ft.	910 kg.	11 kt./ 270°	127 m.
26b	8.0 km.	12,000 ft.	455 kg.	11 kt./ 270°	147 m.
71a	11.0 km.	17,500 ft.	910 kg.	5 kt./ 10°	124 m.
71b	11.0 km.	17,500 ft.	455 kg.	4 kt./ 10°	219 m.

Aşağıdaki (Şekil 4.1)'de ise Onyx UL aktif kontrollü faydalı yük taşıma sisteminin düşük irtifadaki yüzey rüzgarlarının doğru olarak kestirilememesi sebebiyle şiddetli rüzgar sistemi hedef noktasından 680 m. uzaklaştırmıştır.[33]

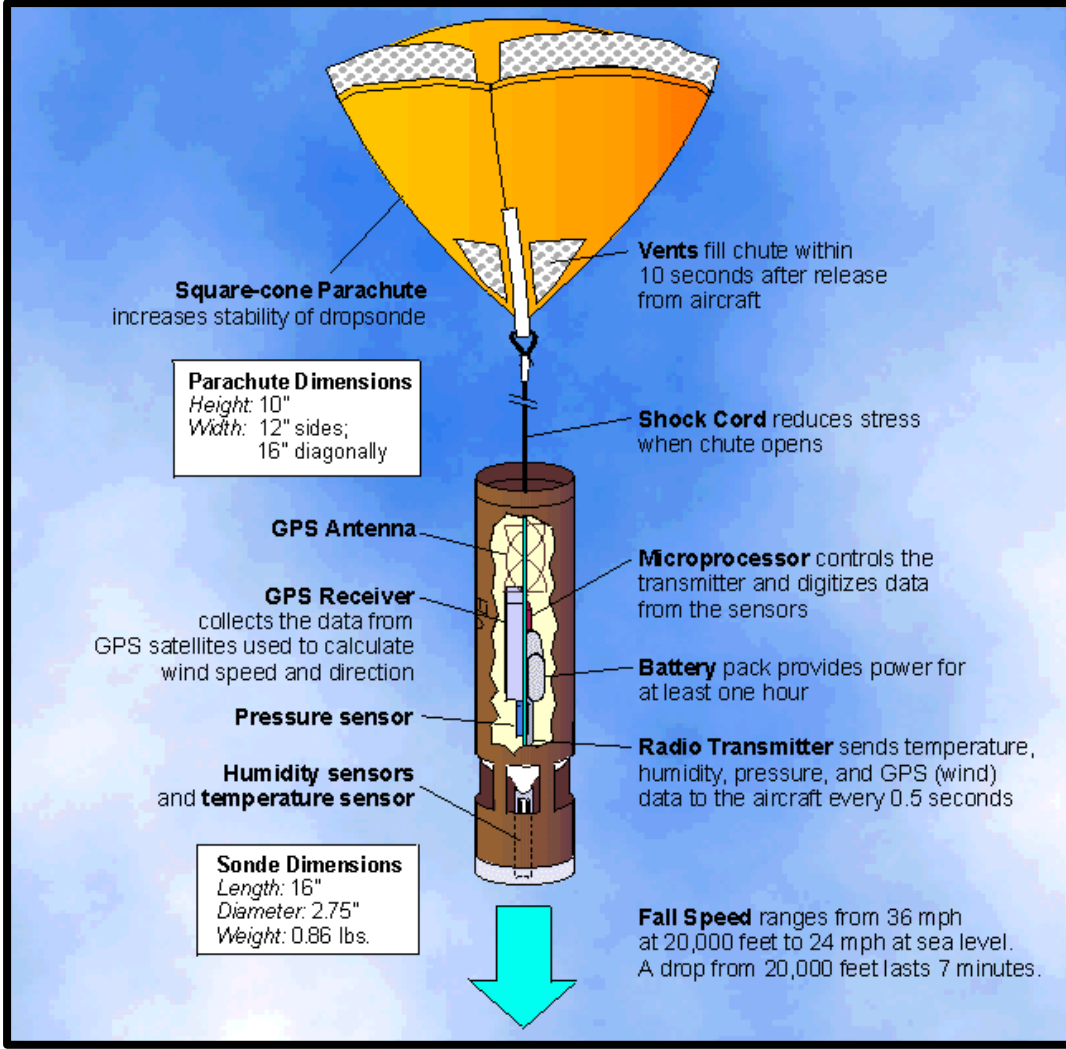


Şekil 4.1 : Onyx UL sistemi uçuş yolu

4.1 Dropsonde nedir?

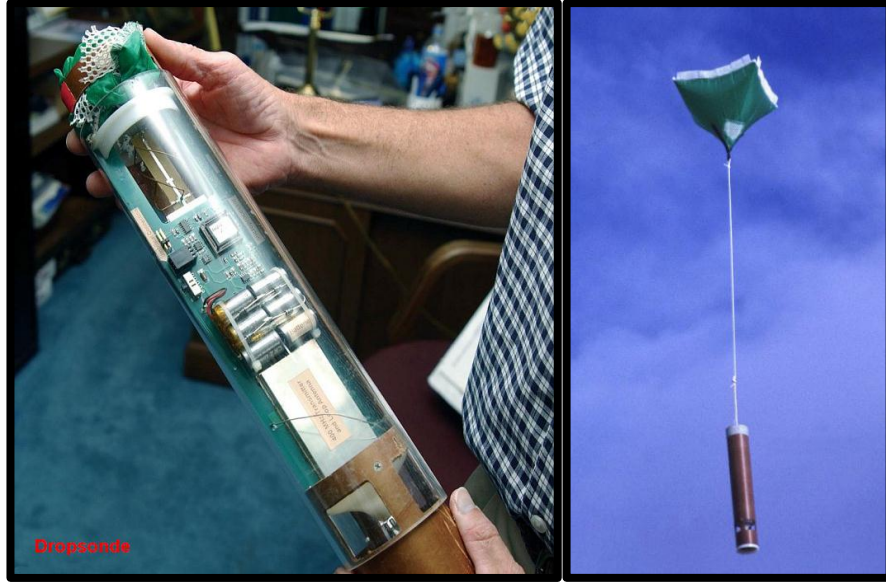
Bir sonraki kısımda bahsedilecek olan “Dropsonde” yada “Dropwindsonde” sistemi (Şekil 4.3) [48] ile ilgili kısa bir bilgilendirme yapılması, ilerleyen bölümlerin daha iyi anlaşılması açısından faydalı olacaktır.

Dropsonde, atmosferdeki belirli seviyelerden uçaklar aracılığıyla paraşüte bağlı olarak atılan cihazlarla yapılan gözlemlerde kullanılır. Dropsonde cihazları yere düşerken, nem, sıcaklık, basınç, rüzgâr yönü ve hızı bilgileri yayınlarlar. Uçaktaki alıcılar veya meteorolojik uydular ise yayınlanan bilgileri alırlar.[49]



Şekil 4.2 : NCAR dropsonde sistemi

Pahalı bir sistem olan dropsonde sistemleri (Şekil 4.3) [50, 51], okyanuslar üzerindeki bilgi boşluğunu doldurmak, şiddetli hava olaylarının tespit edilmesi ve özel amaçlar için kullanılır.[49]



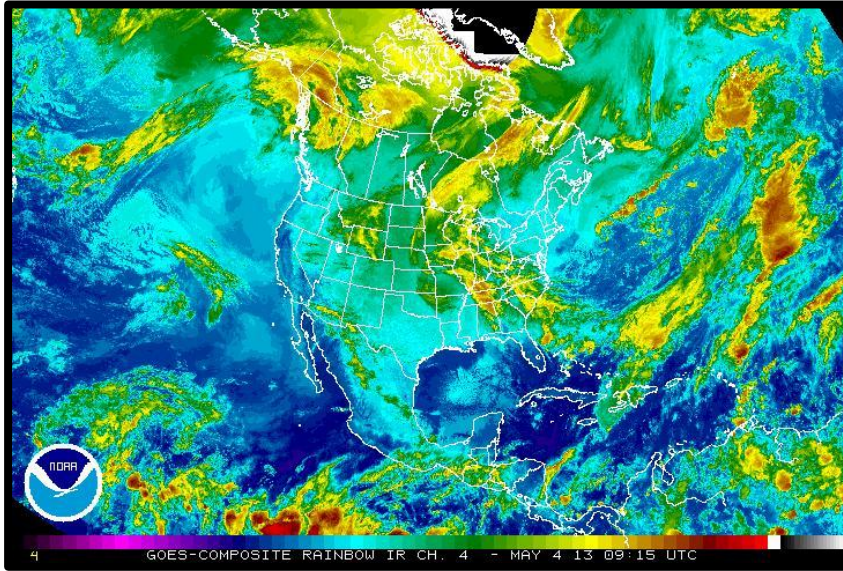
Şekil 4.3 : Dropsonde

4.2 Rüzgar Bilgisinin Elde Edilme Metodları

Mevcut aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemleri atmosferik modellemeleri kullanan yüksek çözünürlüklü 4-D rüzgar tahmini bilgisini kullanmaktadır. Bu rüzgar bilgisi uçuş öncesi yapılan görev planlamasında kullanılır. Ancak yüksek irtifalardan yapılan bırakmalar için kendi başına çok fazla güvenilir bir sistem olmadığı için hedef noktasına yüksek doğrulukta bir iniş için yeterli değildir. Uçuş ekibinin uçuş esnasında tahmin edilen ile gerçek olan değer arasındaki farktan kaynaklanan hataları giderebilmek için sistemde yüklü bulunan rüzgar bilgisini güncelleme kabiliyetine sahip olması gerekir. Günümüzde bu güncelleme iniş noktasına (IP, Impact Point) yakın civarda atılan ve mevcut rüzgar bilgisini radyo sinyalleri ile yayınlayan bir GPS Dropsonde sistemi ile sağlanmaktadır. Görev planlayıcısı (JPADS-MP) yeni rüzgar profili bilgisini alarak hesaplanmış bırakma noktasını (CARP) tekrar hesaplar. Görev planlayıcısında tekrar hesaplanan bırakma noktası uçuş ekibi tarafından onaylanır ve manuel olarak atım yapılacak hava aracının (uçak, helikopter vs.) navigasyon sistemine girilir. Hava aracının tipine göre bu görev bir seyrüsefer personeli yada ek olarak katılmış bir hassas hava atma (Precision Airdrop System, PADS) operatörü tarafından icra edilir.[46]

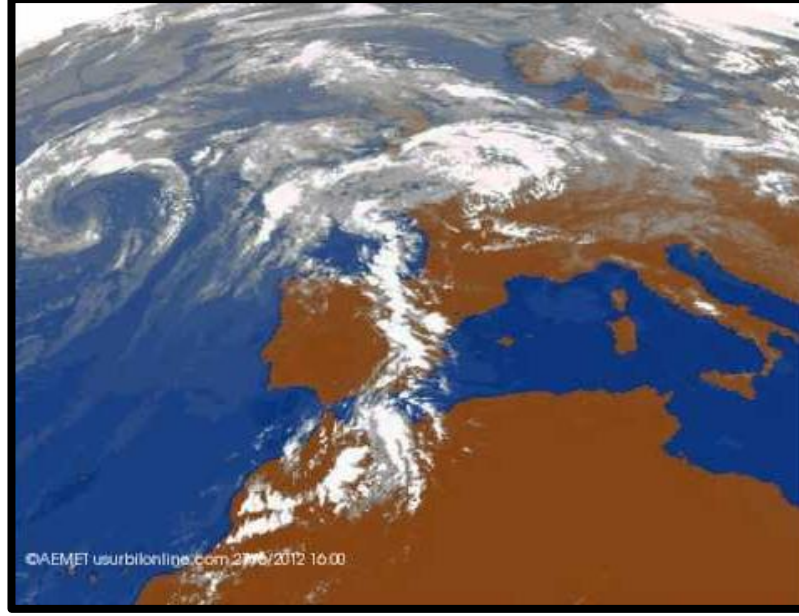
Rüzgar bilgisinin güncellenmesi için Dropsonde kullanımı etkili bir yöntemdir. Harekat sahasında bir uçağın aynı bölgede iki kez uçuş yapması oldukça riskli olduğundan otoriteler dropsonde kullanarak rüzgar bilgisi hesaplamasının haricinde farklı yöntemler geliştirmeye çalışmaktadırlar. Ancak rüzgar profilinin görev bilgisayarında güncellenmesi için geçerli başka metodlarda mevcuttur.

Mevcut rüzgar profili US GOES uydusu tarafından yüksek irtifa paraşüt atma görevlerinde kullanılabilir. Ancak US GOES uydusunun operasyon alanı yalnızca kuzey Amerika olduğundan bu yöntem diğer bölgelerde geçerli değildir. Uydu farklı bir çok irtifadaki sıcaklığı ölçerek uzaktan algılama yöntemlerini kullanma avantajına sahiptir. Ayrıca kapsama alanı içerisinde ayrıca bir dropsonde kullanma gereksinimi yoktur. Bir tek önemli dezavantajı sistemin yalnızca kuzay Amerikada kullanılabilir olmasıdır.[46]



Şekil 4.4 : US GOES uyduları görüntüsü

Bunun haricinde güneybatı Asya ve Afrikanın kuzey bölgesinde operasyon kabiliyetine sahip Avrupa METEOSAT sistemi kullanılabilir. Uydu kendi içerisinde yaptığı ölçümleri kullanarak rüzgar bilgisi üretme kabiliyetine sahip olmadığı için uydunun elde ettiği ham veriler kullanılarak rüzgar profili çıkartılabilir. Ancak elde edilen verilerin işlenerek doğruluğunun ve etkinliğinin artırılması gerekmektedir.[46]



Şekil 4.5 : METEOSAT görüntüsü

4.3 Rüzgar Bilgisi Doğruluğunun Geliştirilmesi

Günümüzde dropsonde kullanarak rüzgar bilgisi elde etme tekniği Jpads operasyonlarında etkinlikle kullanılmaktadır. Ancak hareket alanında kargo uçağının ikinci turu atması riskli olduğundan yada bir jet uçağı vasıtası ile dropsonde atımı yapılması koordinasyon gerektirdiğinden başka teknikler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Uzaktan algılama teknolojisinin ilerlemesi ile uydu kaynaklı olarak rüzgar bilgisi edinilmesi günümüzde geliştirilmeye çalışılan bir yöntemdir.[46]

Basınç gradyan kuvveti ve koryolis kuvveti etkisi ile esen hesaplanmış jeosferik rüzgarlar ve termal rüzgar profilinin kombine edilmesi ile gerçeğe yakın rüzgar profili elde etme tekniği üzerinde durulması gereken bir teknik olarak düşünülmektedir. Alçak irtifa rüzgar profili modellenmesi ve kutup yörüngelerdeki uydulardan elde edilen infrared sounder datalarının geliştirilmesi ile yakın gelecekte çok daha hassas bir şekilde yüksek irtifalardan operasyon yapılabilecektir. Çünkü rüzgar hızı genellikle yükseklik ile arttığından serbest atmosfer rüzgarları jpads'ler üzerinde en büyük sürüklenmeyi oluşturur. Örnek olarak 16000 feet irtifadan atılan bir sistem uçuşa geçmeden önce irtifanın %70 lik kısmını serbest düşüşle geçirir. Fakat bu süre zarfında atmosferdeki rüzgarların sürüklenme etkisinin %85 lik kısmına maruz kalır.[46]

Uzaktan algılama yönteminin dropsonde yöntemine karşı en büyük avantajı hareket alanını ikinci bir girişin olmamasıdır. Tek geçiş ile hareket icra edilebilir ve buda hareket için 20 ila 30 dakikalık bir avantaj sağlar. Bunun yanında uydu sistemi pasif bir sistem olduğundan dropsondenin amortisman masrafları ortadan kalkar ve herhangi bir radyasyon olmayacağı için hareket alanı karşı kuvvetler tarafından tespit edilemez. Ayrıca dropsonde sistemleri konumlama uydularına bağımlı olduklarından karşı kuvvetler tarafından jammer kullanımına açıktır. Buda görevin icrası için ayrı bir risk teşkil etmektedir.[46]

5. TURAF SİSTEM TEDARİK PROJE PLANI

Hava Kuvvetleri Komutanlığının birinci sorumluluğu üstün sürat ve tahrip gücü yeteneğine sahip silah sistemleri ile düşmanın caydırılması, ülkeye saldırı söz konusu olduğunda Türk hava sahasına girer girmez süratle düşman uçaklarının önlenmesidir. Buna karşılık milli menfaatler söz konusu olduğunda düşman ülkenin hayati önemdeki askeri hedeflerinin tahrip edilerek harbe devam etme azim ve gücünün kırılması, harbin en kısa zamanda ve en az zayıyla kazanılmasında kendisine verilen görevleri yerine getirmektedir. Bu sorumluluk ve görev anlayışı içerisinde envanterindeki tüm silah sistemlerinin işletme ve idamesini gerçekleştirmekte, bunların yanı sıra mevcut sistemlerini havacılık ve uzay sanayisindeki gelişmelere paralel olarak geliştirmektedir. Tüm bunlara paralel olarak kuvvet yapısını daima dinamik tutmak ve çağın gereklerine ayak uydurmak için gelişmiş teknoloji her türlü silah sistemlerini envanterine almakta, gelecekte ise mevcut sistemlerin milli imkan ve kabiliyetlerle üretilmesi için çalışmalar yapmaktadır.

Hava Kuvvetleri Komutanlığı için ihtiyaç duyulan aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemlerinin özellikleri, mevcut olan örnekleri, çalışma prensipleri ve tasarım için gerekli altsistemler tezin daha önceki bölümlerinde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu bölümde ise TURAF aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemi içerisindeki güdüm, kontrol ve navigasyon sistemi için alt sistem bazında tedarik planı oluşturulacak, hangi alt sistemlerin tedarikinin yerli yada yabancı olarak yapılabileceği tartışılacaktır.

5.2 Alt Sistem Bazında Tedarik Planı

Alt sistem bazında tedarik ilk defa envantere girecek olan bir sistemin, alt bileşenlerine ayırarak her bir alt sistemin yerli yada yabancı tedarik kaynaklarından temin edilerek bir araya getirilmesi sonucunda elde edilmesi yöntemidir.

Ancak ciddi bir mühendislik çalışması yapılması ve alt sistemlerin birbiri ile tam uyumlu olarak çalışması gerekmektedir. Bu sebeple alt sistem bazında tedarik etme faaliyeti riskli bir tedarik yöntemi olmakta, ancak sistemin yerli imkanlarla üretilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu kısımda aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sisteminin güdüm, kontrol ve navigasyon bileşenlerinin hangi yollarla temin edilebileceğine yönelik klavuz niteliğinde sonuçlar irdelenecektir.

Çizelge 5.1 : Alt sistem tedarik analizi.

Sistem	Alt Sistem	Tedarik Kaynağı		Birim Fiyat \$	
		Yerli	Yabancı		
Güdüm Kontrol ve Navigasyon Sistemi	Uçuş Yönetim Bilgisayarı	X	X	679	
	Servo Motor ve Kontrol Ünitesi	X	X	1446	
	Uydu Konumlama Sistemi			X	2495+950
					3445
	Inertial Measurement Unit			X	1161
	Air Data Probe	X	X		139
	Laser Ranger			X	299
	Alıcı-Verici	X	X		3500
	Devre Seçici	X	X		5
	Kamera	X	X		20
TOPLAM				10694	

Uçuş yönetim bilgisayarı

Yabancı kaynaklar tarafından havacılık ve uzay alanında çok çeşitli ihtiyaçlara cevap verebilecek nitelikte üretilmektedir. Yabancı kaynakların katalog fiyatlarındaki birim fiyatları 500 ile 2000 \$ arasında değişmekte olup tasarımda önerilmiş olan UYB'nin birim fiyatı 679 \$'dır.

Buna alternatif olarak yapılan araştırmalarda Türkiye'deki teknik üniversitelerin ve işbirliği içerisinde oldukları bazı yerli firmaların tasarımda ihtiyaç duyulan UYB'nı üretebilecekleri değerlendirilmektedir.

Servo motor ve kontrol ünitesi

Yapılan araştırma ile Türkiye'deki yerli firmaların ve üniversitelerin işbirliği içerisinde ihtiyaçlara cevap verebilecek çeşitli servo motor ve kontrol üniteleri üretebildikleri tespit edilmiştir. Örnek olarak servo motoru üreten Etum Elektronik San.ve Tic. Ltd.Şti. ve Emsan Elektrik Motorları San. ve Tic. A.ş. ihtiyaçlarımızı karşılayabilecek ürünler üretmektedir.

Yabancı kaynak olarak daha fazla alternatif olmakla birlikte bu kaynaklara ait distribütör firmalar ihtiyaca cevap verebilecek nitelikte ve sayıdadır. Bu kaynakların katalog fiyatları ortalama 1000 ile 3000 dolar arasında olup tasarımda önerilen ünitelerin toplam fiyatı 1440 dolardır.

Uydu konumlama sistemi

TURAF paraşüt sistemi için tedarigi ve kullanımı en kritik malzeme uydu konumlama sistemi alıcısıdır. Çünkü uluslar arası anlaşmalar gereği bu cihazların silah sistemlerinde kullanımı birçok üretici tarafından kısıtlanmıştır. Alıcıların üretimi ise genellikle küresel navigasyon uydu sistemlerine (GNSS) sahip ileri teknoloji üretebilen ülkelere yapılmaktadır. Bu sebeplerle uydu alıcısı yerli olarak üretilmediği için tedarigi yabancı kaynaklardan yapılacaktır.

TURAF aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemi için tasarımda kullanılacak alıcı ve anten fiyatları ortalama 2000-10000 \$ dolar arasındadır. Önerilen alıcı ve anten fiyatı toplam 3445 dolardır.

Inertial Measurment Unit

Bu ünite günümüz uydu ve iha'larda kullanılmakta ve ülkemiz teknolojisi ile üretimi yapılmamaktadır. Bu sebeple yabancı kaynaklardan temin edilmesi gerekmektedir. IMU katalog fiyatları ortalama 1000 ile 6000 dolar arası olup sistem için önerilen IMU cihazının katolog fiyatı 1161 dolardır.

Air Data Probe

Söz konusu sensörler birçok hava aracında kullanılan temel bir sistemdir. Milli olarak İHA geliştirebilen ülkemizde TURAF paraşüt sisteminde kullanılabilecek nitelikte sensörler geliştirilebilir.

Tasarımda kullanılabilecek olan sensörler çok geniş bir fiyat aralığına sahiptir. Ancak çalışmada önerilen hava hızı sensörü 139 dolardır.

Lazer Altimetre

Günümüzde lazer ışınımıyla mesafe ölçme tekniği çok alt seviye teknik işlerde dahi kullanılmaya başlasada ülkemiz şartlarında herhangi bir üreticiye ulaşlamamış olup, Türkiye şartlarında bu tarz bir teknolojiye sahip olmadığımız için lazer altimetre ünitesinin tedariki yabancı kaynaklardan yapılacaktır.

Bizim tasarımıımızda kullanılabilecek olan lazer altimetrenin firma tarafından teklif edilen fiyatı 299 dolardır.

Alıcı-verici

Yapılan araştırma ile uzak mesafe alıcı-erici sistemlerinin ülkemizin sahip olduğu teknolojik imkanlar ile ASELSAN, TÜBİTAK ve TUSAŞ gibi kurumlarda yada çok çeşitli alt yapıya sahip teknik üniversitelerimizde yerli olarak imal edilebileceği görülmüştür. Bunlara alternatif olarak yabancı kaynaklardan da temini sağlanabilir.

Normal ve emercensi şartlarda kullanılacak olan alıcı-verici (transciever) üniteleri için bir takım görüşmeler yapılmış olup, Novatel firması ile yapılan koordine sonucunda 1 adet RV-M9-U ünitesi için 1750 dolar fiyat bilgisi alınmıştır. Önerilen Spectra 920A alıcı-verici-2 ünitesi için gerekli koordine sağlanmış ancak herhangi bir sonuç alınamamıştır. Bu yüzden örnekleme usulü ile ünitenin fiyatı 1750 dolar olarak kabul edilmiştir.

Devre Seçici

Otonom ve uzaktan kumanda modu için yönlendirme yapacak olan devre seçicisi yerli imkanlarla imal edilebilmekte olup yabancı kaynaklardan da rahatlıkla temin edilebilir. Devre seçici için birim fiyatlar oldukça düşük olup, 1 ile 15 dolar arasında değişmektedir.

Kamera

Kullanılabilecek kamera düşük çözünürlüklü ve maliyeti düşük bir ünedir. Yabancı ve yerli kaynaklardan temin edilebilir. Öngörülen fiyatı 20 dolar civarındadır.

Önerilen sistem üniteleri için toplamda 10694 dolar civarında bir maliyetin karşımıza çıkabileceği değerlendirilmektedir.

TURAF aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemi alt sistemlerinin tedariklerinden önce, doğrudan satın alma yöntemi ile minimum sayıda sistemin yabancı kaynaklardan tedarik edilmesinden sonra, yapılacak laboratuvar çalışması sonucunda edinilecek tecrübe ile, sistemi güdümlü kontrol ve navigasyon sistemini alt bileşenlere ayırarak, her bir bileşen için alanında uzmanlaşmış personel ile tedarik kaynaklarından temin etmek tasarım için daha doğru bir yaklaşım olabilir.

Alt sistemlerin tedariki farklı kaynaklardan olacağı için ünitelerin birbirleri ile uyum problemi oluşabilir. Bu sebeple her bir sistem kendi içerisinde çok iyi bir şekilde araştırmalı, uçuş testleri öncesi laboratuvar şartlarında uzun süreli testler yapılmalıdır. Özellikle ünitelerin çıkış değerleri ve bağlantı arayüzleri birbirleri ile uyumlu olmalıdır.

Alt sistem bazında tedarik etme yönteminde karşılaşılabilecek cihaz uyum problemleri haricinde, sistemin bütünü üzerinde yapılması gereken bir takım testler vardır.

- Environmental Certification MIL-STD-810-F,
- Electromagnetic Interference (EMI) MIL-STD-461-E,
- Electrostatic Discharge (ESD) MIL-STD-1686-C.

Yukarıda verilen standartların [52, 53, 54] sağlanabilmesi için laboratuvar ve bir takım testlere ihtiyaç duyulacağı için ek bir maliyet oluşacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

TURAF aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemine ait güdüm, kontrol ve navigasyon sisteminin alt sistem bazında tedarik edilmesi yaklaşık olarak ortalama 10694 amerikan doları gibi bir maliyet oluşturacağı değerlendirilmektedir. Bu kısımda tedarik kaynakları olarak yurt dışı yabancı kaynaklarla koordine kurularak tedarikçi ve asıl firmalardan alınan fiyat bilgilerinden yararlanılmıştır. Bu sebeple yukarıda açıklaması yapılan bazı sistemlerin yerli kaynaklardan elde edilmesi ile maliyet düşürülebilir. Ayrıca bir takım fonksiyon testleri ve entegre çalışmaları esnasında oluşabilecek hatalardan dolayı, cihazlarda oluşabilecek kayıplar göz önüne alındığında, alt sistemlerin birden fazla olarak temin edilerek protip çalışmalarının yedekleme usulü yapılması gerekebilir. Firmalarla yapılan görüşmelerde 1 adetten fazla yapılan alımlarda fiyatların daha alt seviyelere çekilebileceği öğrenilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasının bu bölümünde, ileride alt sistem bazında yapılacak daha detaylı bir çalışma ile üretilebilecek olan TURAF aktif kontrollü faydalı yük taşıma sistemi ile ilgili sonuçlar çıkarılmış, yapılabilecek daha sonraki çalışmalara ilişkin önerilerde bulunulmuştur. Bu kapsamda, yapılan önerilerin diğer yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarına ışık tutabileceği değerlendirilmektedir.

6.1 Sonuçlar

Havacılık ve uzay teknolojilerinin durmaksızın her saniye ilerlediği günümüzde, ülkemizin bekası ve bölünmez bütünlüğü için mevcut teknolojileri yakından takip eden Türk Hava Kuvvetleri olarak aktif kontrollü faydalı yük taşıma sisteminin envantere kazandırılması ile hareket kabiliyetimizin ve ileri teknoloji sahibi orduların arasında prestijimizin daha da artacağı şüphesiz bir gerçektir.

Bugün yerli imkan ve kabiliyetler ile helikopter, İHA, uydu ve silah sistemleri üretebilen Türk Savunma Sanayisi her geçen gün büyüyerek yeni projeleri imza atmaktadır. Sahip olduğumuz imkan ve kabiliyetlerin, hava ve kara birlikleri ile işbirliği içerisinde kullanılacak olan JPAD sistemlerinin yerli olarak imaline olanak sağladığı düşünülmektedir.

Envantere kazandırılacak olan paraşüt sistemi ile Muharebe Arama Kurtarma ekipleri için daha etkin ve süratli kurtarma görevleri icra edilebilecek, hareket şartlarında ise uzak kara birliklerine insansız olarak havadan lojistik destek sağlanabilecektir. Bu sayede çok yüksek değerdeki hava araçlarının operasyon alanında kaza-kırım geçirmesi engellenebilecek, hemde insan kayıplarının önüne geçilebilecektir.

Bu tez kapsamında ilk olarak Dünyada bu teknolojiyi üreten ve geliştiren ülkelerin üreticileri ile temasa geçilmiş, envanter bilgisi çıkarılmış ve sistemin nasıl çalıştığına dair bilgiler elde edilmiştir. Araştırma sonucunda mevcut sistemin güdüm kontrol ve navigasyon alt sistemini genel çalışma prensibinin İHA sistemlerinden çok farklı olmadığı tespit edilmiştir. Ancak burada önemli olan parametrenin, sürekli çöküş halinde irtifa kaybeden bir paraşütü doğrudan etkileyen rüzgar olduğu görülmüştür. Bırakma noktası (CARP) ve uçuş yolunun görev bilgisayar tarafından hassas bir şekilde hesaplanabilmesi için uçuşun gerçekleşeceği alandaki rüzgar bilgisinin en doğru şekilde elde edilebilmesi gerekmektedir.

Ancak rüzgar bilgisinin en doğru şekilde hesaplanabilmesi, şuan mevcut tüm sistemlerde tasarımı ve konsepti etkileyen bir problem olarak görülmektedir. Dropsonde kullanımı, uydular vasıtasıyla uzaktan algılama yöntemleri ile rüzgar profilinin çıkarılması ve meteoroloji birimlerinin rüzgar tahminleri ile mevcut sistemler 50-200 m. hassasiyetlerde hedef noktaya iniş yapabildikleri görülmüştür.

“United States Army Research, Development and Engineering Command – Natick Soldier Research, Development and Engineering Center” tarafından Nisan 2010 tarihinde hazırlanan “Precision Airdrop Technology Conference and Demonstration, PATCAD 2009” isimli raporunda yapılan incelemede Joint Air Force and Army Weather Information Network (JAAWIN) tarafından sağlanan meteorolojik rüzgar verileri kullanılarak atılan paraşüt sistemlerinin hassas bir şekilde hedef noktaya inebildiği, ancak dropsonde kullanılarak yapılan atımlarda daha hassas rüzgar bilgisi elde edildiği dolayısı ile hedef noktaya daha küçük hata payları ile ulaşıldığı görülmüştür.

Tezin “aktif kontrollü faydalı yük paraşüt sistemlerinde rüzgar bilgisi” adlı 4’üncü bölümünde rüzgar bilgisi konusu daha detaylı bir şekilde incelenmiş olup ülkemiz şartlarında sistemin ilk etapda dropsonde kullanılarak geliştirilmesinin ve sonraki aşamalarda Devlet Meteoroloji Enstitüsü ile işbirliği içerisinde, meteorolojik tekniklerle bırakma alanının (DZ) rüzgar tahmininin yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Son bölümde ise yapılan araştırma sonucunda uçuş yönetim bilgisayarı, servo motor ve kontrol ünitesi, air data probe, devre seçici ve alıcı-verici ünitelerinin yerli ve yabancı kaynaklardan kaynaklardan tedarik edilebileceği, uydu konumlama sistemi, inertial measurement unit ile lazer altimetre ünitelerinin teknolojik ve politik kısıtlamalar nedeni ile yerli kaynaklardan temin edilemeyeceği, yalnızca yabancı kaynaklardan elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak literatür taraması yapılan, sistemin teknik olarak nasıl çalıştığı araştırıldığı ve mevcut sistemler üzerinden benzetim yolu ile basit tasarımı yapılarak alt sistem ünitelerinin tedarik kaynaklarının araştırıldığı bu tez çalışmasında, ülkemiz şartlarında bir aktif kontrollü faydalı yük taşıma sisteminin tasarımı ve prototip olarak yerli olarak üretimi mümkün olduğu görülmüştür.

6.2 Öneriler

Çalışmanın sonuçlar kısmında bahsedildiği gibi projenin hayata geçirilmesi için temel seviyede olan bu tez çalışması başlangıç noktası kabul edilerek, alt sistemler için kurgulanmış ünitelerin farklı tez öğrencileri ile deneysel bazda daha detaylı bir şekilde incelenmesi uygun olacaktır. Ayrıca otopilot sistemleri için gerekli yazılım mimarisi ile ilgili bilgisayar mühendisliği bölümü öğrencileri ile tez çalışması yapılabilir.

“The US Army Natick Soldier Research, Development and Engineering Center” tarafından Amerika Birleşik Devletlerinde gerçekleştirilen “Precision Airdrop Technology Conference and Demonstration, PATCAD” toplantılarına Türk Hava Kuvvetleri tarafından bu konuda donanımlı personelin görevlendirilerek Dünya üzerinde geliştirilmiş ve geliştirilmekte olan sistemlerin yerinde incelenmesi TURAF aktif kontrollü faydalı yük taşıma sisteminin tasarımı için oldukça faydalı olacaktır.

Çin ve Hindistan gibi havacılık ve uzay alanında atılım yapan ülkelerin kullandığı “inovasyon” yaklaşımı ile, yani mevcut sistemin incelenmesi ve geliştirilerek üretilmesi yaklaşımı ile, bir veya birkaç sistemin yabancı kaynaklardan komple tedarik edilmesi prototip üretim safhası öncesinde oldukça faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Tezin 4'üncü bölümünde incelenen rüzgar bilgisi için “Application of satellite-derived wind profiles to joint precision airdrop system (jpads) operations” (David C. Meier, Mart 2010) yapmış olduğu çalışma benzerinin Türkiye şartları göz önünde bulundurularak yapılması, rüzgar bilgisinin çok önemli olduğu aktif kontrollü faydalı yük taşıma sistemleri için oldukça faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.parachutehistory.com/eng/drs.html>
- [2] **Meyer, J.** (1985). Sandia Report SAND85-1180, An Introduction to Deployable Recovery Systems, Historical Review, p. 6-7,11.
- [3] Airborne Systems, 2K1T™, One-Time Use Parachute For GPADS. <http://www.airborne-sys.com/>
- [4] HDT Global Airborne Systems. (2013). JPADS Equipment and Capabilities Presentation by Gary McHugh.
- [5] **McHugh, G.** (17 Ocak 2013). Kişisel görüşme, Telekonferans, Customer Business Manager, Airborne Systems. Gary.McHugh@airborne-sys.com
- [6] Airborne Systems, FireFly™, Guided Precision Aerial Delivery System. <http://www.airborne-sys.com/>
- [7] HDT Global Airborne Systems. (2013). Technical WriteUp, Guided Precision Aerial Delivery System (GPADS) Technical Description,.
- [8] Airborne Systems, MicroFly™, Guided Precision Aerial Delivery System. <http://www.airborne-sys.com/>
- [9] Airborne Systems, DragonFly™, Guided Precision Aerial Delivery System. <http://www.airborne-sys.com/>
- [10] Airborne Systems, Products. <http://www.airborne-sys.com/>
- [11] MMIST, Sherpa Provider™. <http://www.mmist.ca/>
- [12] **İnce, F.** (2012). Uluslararası Uzay Politikaları-4 HUTEN Ders Sunusu Bahar 2012, Sf. 22-24
- [13] MMIST, Sherpa Ranger™. <http://www.mmist.ca/>
- [14] WAMORE, UltraFly™, Precision Guided Airdrop System. <http://www.wamore.com/>
- [15] UÇMAN HAVACILIK, Kuzgun™ 150 Kumandalı Kargo Paraşütü. <http://www.ucman.com.tr/>, <http://www.parasuthane.com/index.html>
- [16] <http://timeandnavigation.si.edu/>
- [17] http://tr.wikipedia.org/wiki/Güdümlü_sistem

- [18] SOFIC 2009 Paper No.8304, Joint Medical Distance Support and Evaluation (JMDSE) Joint Capability Technology Demonstration (JCTD) & Joint Precision Air Delivery Systems (JPADS), Sf. 5
- [19] M.E.B, Elektrik Elektronik Teknolojisi Step ve Servo Motorlar, Ankara 2007
- [20] M.E.B, Elektrik Elektronik Teknolojisi Servo Motor ve Sürücüler, Ankara 2011
- [21] http://www.robotiksistem.com/disliler_disli_kutulari_kremayer_planet.html
- [22] **Aydın, Ö.** (5-6 Mart 2013). Kişisel görüşme, Türk Hava Kurumu İnönü Hava Eğitim Merkezi Başkanlığı, Eskişehir.
- [23] **Hopbağlı, M.** (5 Nisan 2013). Kişisel görüşme, Elsim Elektroteknik Sistemler
- [24] **İnce, F.** (2012). Uluslararası Uzay Politikaları-4 HUTEN Ders Sunusu Bahar 2012, Sf. 44-46
- [25] **Benney, R. ve diğ.** (2005) The New Military Applications Of Precision Airdrop Systems, US Army Research, Development and Engineering Command.
- [26] **İnalhan, G.** (26 Mart 2013). Kişisel görüşme, İTÜ, İstanbul.
NOVATEL SKALA PROFORMA INVOICE - March 15th 2011-Rev1-Gokhan INALHAN.pdf
- [27] <http://en.wikipedia.org/wiki/CoCom>
- [28] http://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit
- [29] <http://www.xsens.com/en/general/mti-10-series>
- [30] M.E.B, Uçak Bakım Alet Sistemleri-1, Ankara 2011
- [31] **İnalhan, G.** (17 Nisan 2013). Kişisel görüşme.
<http://www.psginstrumentation.com/PitotPrandtlAirspeedSensor.pdf>
<http://www.psginstrumentation.com/FanAnemometer.pdf>
- [32] International Journal of Control, Automation, and Systems (2010), Autopilots for Small Unmanned Aerial Vehicles: A Survey, Sf. 36-44
- [33] United States Army Research, Development and Engineering Command – Natick Soldier Research, Development and Engineering Center (Nisan 2010), Precision Airdrop Technology Conference and Demonstration 2009 Final Report.
- [34] **İnalhan, G.** (26 Mart 2013). Kişisel görüşme, İTÜ, İstanbul.

- <http://www.phytec.com/products/rdk/ARM-XScale/phyCARD-M-ARM11-i.MX35.html>
- [35] **İnalhan, G.** (26 Mart 2013). Kişisel görüşme, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul. <http://www.microhardcorp.com/Spectra920A.php>
- [36] **İnalhan, G.** (11 Mayıs 2013). Kişisel görüşme.
- [37] <http://www.aliexpress.com/>
- [38] <http://www.raveon.com/Datasheets/RV-M9-U.pdf>
- [39] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, Yıl :2011, Sayı:11, Sf. 42-47
- [40] **Yılmaz, M. ve Yakar, M.** (2006). Teknik Not, Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi
- [41] **İnalhan, G.** (27 Nisan 2013). Kişisel görüşme.
- [42] **İnalhan, G.** (29 Nisan 2013). Kişisel görüşme.
<http://www.opti-logicprofessional.com/content/file/rsmanual.pdf>
- [43] <http://en.wikipedia.org/wiki/Multiplexer>
- [44] <http://320volt.com/coklayicilar-veri-seciciler-multiplexers-data-selector/>
- [45] <http://www.roboweb.net/rw-ml-1314.html>
- [46] **Meier, D.** (Mart 2010, USAF). Application Of Satellite-Derived Wind Profiles To Joint Precision Airdrop System (Jpads) Operations Thesis
- [47] **Eaton, J.** (Haziran 2012, MIT). Point of Impact: Delivering Mission Essential Supplies to the Warfighter through Joint Precision Airdrop System (JPADS)
- [48] <http://www.eol.ucar.edu/isf/facilities/dropsonde/>
- [49] **Polatkan, Ö. ve diğ.** (2007). Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Aeroloji, Sf. 43
- [50] <http://stratocat.com.ar/news0409e.htm>
- [51] http://www.nasa.gov/mission_pages/hurricanes/missions/hs3/multimedia/dropsonde2_prt.htm
- [52] **MIL-STD-1686-C.** (1995). Electrostatic Discharge Control Program For Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment (Excluding Electrically Initiated Explosive Devices).
<http://www.everyspec.com/>

- [53] **MIL-STD-461-F.** (1999). Requirement for The Control of Electromagnetic Interference Characteristics and Equipment.
<http://www.everyspec.com/>
- [54] **MIL-STD-810-F.** (2000). Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests.
<http://www.everyspec.com/>

EKLER

EK A : FireFly™

EK B : MicroFly™

EK C : 2K1T™

EK Ç : DragonFly™

EK D : Sherpa Provider™

EK E : Sherpa Ranger™

EK F : UltraFly™

EK G : Kuzgun™ 150

EK Ğ : Airborne Days IV, 2013 Educational Event Happening

EK H : Fiyat Bilgisi

EK I : Servo Motor Sistemi

EK İ : Uydu Konumlama Sistemi

EK J : Air Data Probe

EK K : Alıcı-verici

EK L : Lazer Altimetre

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Eskişehir’de doğan Sertaç KİRAZ, ilk, orta ve lise öğrenimini Eskişehir’de tamamlamış, 2006 yılında Hava Harp Okulu Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden mezun olmuştur. Sırasıyla 2’nci Ana Jet Üs K.lığı, Hava Teknik Okullar K.lığı, 1’inci Ana Jet Üs K.lığında görev yapmış ve halen 1’inci Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı Uçak FASBAT Müdürlüğü Kalite Güvence Amiri görevini icra etmektedir. Bayan Makbule KİRAZ ile evli olup İngilizce bilmektedir.